Anexo 7:

Proyecto ejecutivo del Acueducto Sustituto Chapala–Guadalajara

Comisión Estatal del Agua Jalisco

Acueducto Sustituto Chapala - Guadalajara

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

Av. Francia No. 1726, Col. Moderna,
Guadalajara, Jalisco. C.P. 44190
33 3030 9200

Informe del proyecto ejecutivo

Contenido

1. Resumen ejecutivo 6
2. Planeación 10
2.1. Antecedentes 10
2.1.1. Esquema de abastecimiento actual del AMG 10
2.2. Marco físico del AMG 16
2.2.1. Ubicación geográfica 16
2.2.2. Población 18
2.2.3. Clima 20
2.2.4. Litología 22
2.2.5. Uso de suelo y vegetación 24
2.2.6. Hidrografía 27
2.2.7. Relieve 35
2.2.8. Análisis de Pendientes 36
2.2.9 Huella de Ciudad 37
2.2.10 Escenario Tendencial de Crecimiento 39
2.2.11 Utilización de Suelo y Zonificación Primaria 41
2.2.12 Utilización de Suelo y Macro perspectiva 43
2.2.13 Vialidades y Conectividad Urbana 45
2.2.14. Aspectos sociales y económicos 53
3. Propuesta de solución 64
4. Estudios básicos 67
4.1. Datos básicos 67
4.2. Estudios Topográficos 70
4.3. Estudios de Calidad del agua 79
4.4. Estudios de Geotecnia 86
4.4.1 Geología 86
4.4.2 Sismicidad 87
4.4.3 Trabajos de Investigación de Campo 88
4.4.4 Estratigrafía 93

4.4.5 Clasificación de los Materiales para Excavación 96
4.4.6 Ensayos de Laboratorio 97
4.4.7 Recomendaciones y Procedimiento Constructivo Línea de Conducción 103
4.4.8 Bancos de Préstamo 109
5. Memoria descriptiva y de cálculo 113
5.1. Diseño conceptual 113
5.2. Diseño del Acueducto 115
5.2.1. Descripción de las condiciones topográficas 115
5.2.2 Diámetro económico Línea de Impulsión 118
5.2.3 Diámetro económico Línea de Gravedad 127
5.2.4. Alternativas para la Selección de Equipo de Bombeo 128
5.2.5. Criterios de Diseño. 140
5.2.6. Propiedades de la tubería 141
5.2.7. Diseño en flujo permanente 143
5.2.8. Modelación del fenómeno transitorio 159
5.2.9. Ubicación de válvulas de admisión y expulsión de aire 179
5.2.10 Atraques 181
5.2.11 Cruces de Carreteras 185
5.2.12 Cruces de Cauces Federales 186
5.2.13 Protección catódica 201
6. Catálogo de conceptos, análisis de precios unitarios y presupuesto base 206
7. Especificaciones de obra 208
8. Calendario de ejecución y programación 208
9. Manuales de operación y mantenimiento 208

Índice de tablas

Tabla 1.1 Cuadro de coordenadas de los componentes principales del acueducto 8
Tabla 2.1 Fuentes de abastecimiento actuales del AMG Fuente: CEA Jalisco 10
Tabla 2.2 Población servida por SIAPA y por Fuente de Abastecimiento....15
Tabla 2.3 Superficie total por áreas del AMG 18
Tabla 2.4 Población, Superficies y Densidades del AMG 19
Tabla 2.5 Proyecciones de Población del AMG Fuente; CONAPO 2024 19
Tabla 2.6 Unidades Climáticas en el AMG....21
Tabla 2.7 Clasificación del tipo de roca del AMG....22
Tabla 2.8 Uso de suelo del AMG 27
Tabla 2.9 Hidrografía en el AMG....31
Tabla 2.10 Disponibilidad de Agua Superficial en el AMG....32
Tabla 2.11 Disponibilidad de Agua Subterránea en el AMG....35
Tabla 2.12 Análisis de Pendientes en el AMG....37
Tabla 2.13 Superficies Urbanizadas por el Crecimiento del AMG 38
Tabla 2.14 Escenario tendencial de crecimiento....40
Tabla 2.15 Superficies de Zonificación Primaria del AMG 42
Tabla 2.16 Cuantificación en los usos de suelo zonificación secundaria....45
Tabla 2.17 Longitud de vialidades primarias y regionales en el AMG (Fuente: POTMet, IMAPLAN) 46
Tabla 2.18 Cobertura de transporte público en el AMG (fuente: POTMet, IMEPLAN)....52
Tabla 2.19 Variaciones de la Producción Bruta Total del Área Metropolitana de Guadalajara por municipio, 2008-2018 62
Tabla 2.20 Producción Bruta Total por sector de actividad económica en los municipios centrales 63
Tabla 4.1 Población Censo 2020 INEGI 67
Tabla 4.2 Proyección de Población del AMG (Fuente: Elaboración Propia)....67
Tabla 4.3 Demanda de agua potable del AMG 68
Tabla 4.4 Datos de proyecto 69
Tabla 4.5 Bancos de nivel y Puntos GPS 77
Tabla 4.6 Parámetros de calidad del agua de las muestras tomadas en el Canal de Llamada....81
Tabla 4.7 Parámetros de calidad del agua de las muestras tomadas en el Tanque de Cambio de Régimen 82
Tabla 4.8 Parámetros de calidad del agua de las muestras tomadas en el Tanque de Entrega 82
Tabla 4.9 Índice de Langelier Canal de Llamada....84
Tabla 4.10 Índice de Langelier Tanque de Cambio de Régimen 84
Tabla 4.11 Índice de Langelier Tanque de Entrega 84
Tabla 4.12 Valores Promedio Índice de Langelier 85
Tabla 4.13 Ubicación y Profundidades de Sondeos SPT 90
Tabla 4.14 Ubicación y Profundidades de Sondeos PCA 92
Tabla 4.15 Propiedades de Materiales de los SPT....95
Tabla 4.16 Propiedades de Materiales de los PCA....96
Tabla 4.17 Resultados de Gravedad especifica de las partículas sólidas. 97
Tabla 4.18. Resultados de contenido de cloruros y sulfatos.....98
Tabla 4.19. Resultados de pH del suelo 99
Tabla 4.20. Resultados de triaxiales (U.U.)....100
Tabla 4.21. Resultados de triaxiales (C.U.)....100
Tabla 4.22. Resultado de Coeficiente Volumétrico de Abundamiento en sondeos SPT....101
Tabla 4.23. Resultado de Coeficiente Volumétrico de Abundamiento en sondeos PCA. 102

Tabla 4.24 Ubicación por Tipo de Mejoramiento a lo largo del Acueducto. 107
Tabla 5.1 Aplicación de fórmulas para el diámetro tentativo 118
Tabla 5.2 Cálculo de Diámetro Económico 119
Tabla 5.3 Características Particulares de las tuberías analizadas 119
Tabla 5.4 Características de las tuberías analizadas 120
Tabla 5.5 Ventajas y desventajas de los diferentes materiales 121
Tabla 5.6 Análisis de Costos de Inversión 123
Tabla 5.7 Costo Consumo Energía para Bombeo de 24 Horas 124
Tabla 5.8 Costo Consumo Energía para Bombeo de 24 Horas 125
Tabla 5.9 Análisis de Costos de Operación para 24 horas de bombeo 125
Tabla 5.10 Análisis de Costos de Operación para 18 horas de bombeo 126
Tabla 5.11 Análisis de Costos Anuales para 24 horas de bombeo 126
Tabla 5.12 Análisis de Costos Anuales para 18 horas de bombeo 126
Tabla 5.13 Cálculo de Diámetro Económico Tramo Gravedad 128
Tabla 5.14 Datos de Cargas dinámicas totales para Selección de Equipo de Bombeo 130
Tabla 5.15 Resumen de Evaluación Cuantitativa de Equipos de Bombeo 136
Tabla 5.16 Matriz Técnica Comparativa Equipos de Bombeo 136
Tabla 5.17 Datos técnicos de los Equipos de Bombeo 139
Tabla 5.18 Costos de Inversión y Operación Equipos de Bombeo 139
Tabla 5.19 Velocidades permisibles (MAPAS, 2015) 141
Tabla 5.20 Propiedades mecánicas de la tubería de acero propuesta 142
Tabla 5.21 Rugosidades absolutas en algunos materiales (Sotelo, 2002) 146
Tabla 5.22 Valores del coeficiente k por tipo de accesorio (Sotelo) 148
Tabla 5.23 Coeficientes de pérdidas locales en Línea de Impulsión y de Gravedad 149
Tabla 5.24 Coeficientes de pérdidas locales en deflexiones Línea de Impulsión 150
Tabla 5.25 Coeficientes de pérdidas locales en deflexiones Línea de Gravedad 151
Tabla 5.26 Coordenadas del trazo de la línea de conducción Tramo Impulsión 153
Tabla 5.27 Coordenadas del trazo de la línea de conducción Tramo Gravedad 154
Tabla 5.28 Datos de Puntos de Operación con condición de Tubería Nueva 155
Tabla 5.29 Datos de Puntos de Operación con condición de Tubería Usada 156
Tabla 5.30 Valores Iniciales para Modelo Hidráulico 158
Tabla 5.31 Datos de entrada para el Análisis de Transitorio en Línea de Agua Potable (Hammer) 164
Tabla 5.32 Resultados de la carga hidráulica de trabajo, corrida 1 según Hammer 166
Tabla 5.33 Datos de entrada para la cámara de aire en el software Hammer 167
Tabla 5.34 Resultados de la carga hidráulica de trabajo, corrida dos según Hammer 169
Tabla 5.35 Resultados de la carga hidráulica de trabajo, corrida tres según Hammer 172
Tabla 5.36 Resultados de la carga hidráulica de trabajo, corrida cuatro según Hammer 174
Tabla 5.37 Resultados de la carga hidráulica de trabajo, corrida cinco según Hammer (Ejemplo) 177
Tabla 5.38 Diámetros de las válvulas de admisión y expulsión de aire en función del diámetro de la tubería 179
Tabla 5.39 Ubicación de las válvulas de admisión y expulsión de aire 180

Comisión Estatal del Agua Jalisco

FRAIS PROYECTOS Y EDIFICACION S.A. DE C.V.

PROYECTOS Y CONSTRUCCIONES DE INGENIERÍA HIDRÁULICA Y CIVIL S.A. DE C.V.

Índice de láminas

Lámina 1.1 Ubicación del Acueducto Chapala Guadalajara 6
Lámina 1.2 Componentes del Acueducto Sustituto Chapala Guadalajara 9
Lámina 2.1 Cobertura de Servicio de Agua Potable del AMG. Fuente: Elaboración propia a partir de Información de SIAPA 12
Lámina 2.2 Fuentes de Abastecimiento Superficiales del AMG operadas por SIAPA. 13
Lámina 2.3 Cobertura de Servicio de Agua Potable operada por SIAPA por Fuentes de Abastecimiento 15
Lámina 2.4 Ubicación del AMG y Regiones del Estado de Jalisco. 17
Lámina 2.5 Delimitación del AMG 18
Lámina 2.6 Unidades climatológicas de la zona de estudio 20
Lámina 2.7 Clasificación del tipo de roca del AMG (Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI) 24
Lámina 2.8 Uso de suelo del AMG (Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI - Serie VII de Uso de Suelo y Vegetación) 26
Lámina 2.9 Hidrografía del AMG 28
Lámina 2.10 Disponibilidad hídrica de aguas superficiales en el AMG 33
Lámina 2.11 Disponibilidad de aguas subterránea de los acuíferos localizados en el AMG 34
Lámina 2.12 Relieve del AMG 36
Lámina 2.13 Análisis de Pendientes del AMG 37
Lámina 2.14 Huella del Crecimiento de las Zonas Urbanizadas en el AMG 38
Lámina 2.15 Escenario tendencial 2045 40
Lámina 2.16 Zonificación primaria del AMG 42
Lámina 2.17 Macro perspectiva en el uso de suelo 44
Lámina 2.18 Vialidades principales del AMG (fuente: POTMet, IMEPLAN) 46
Lámina 2.19 Grado de conectividad del AMG (fuente: POTMet, IMEPLAN) 50
Lámina 2.20 Vías férreas, aeropuertos y terminales (fuente: POTMet, IMEPLAN) 51
Lámina 2.21 Cobertura de transporte público del AMG (fuente: POTMet, IMEPLAN) 52
Lámina 2.22 Grado de marginación del AMG (con datos de la plataforma SIGMetro, IMEPLAN) 57
Lámina 2.23 Índice de servicios básicos (con datos de la plataforma SIGMetro, IMEPLAN) 58
Lámina 3.1 Línea de Conducción Estación de Bombeo a Tanque de Cambio de Régimen 64
Lámina 3.2 Tanque de Oscilación 64
Lámina 3.3 Tanque de Cambio de Régimen 65
Lámina 3.4 Línea de Conducción de Tanque de Cambio de Régimen a Tanque de Entrega 66
Lámina 3.5 Tanque de Entrega 66
Lámina 4.1 Área de estudio Acueducto Sustituto Chapala Guadalajara 72
Lámina 4.2 Planimetría, Altimetría y Ortofoto 74
Lámina 4.3 Ubicación y Datos de Puntos GPS 75
Lámina 4.4 Planos Topográficos 78
Lámina 4.5 Ubicación de los muestreos de calidad del agua 80
Lámina 4.6 Ubicación de SPT a lo largo del eje de trazo del Acueducto 89
Lámina 4.7 Ubicación de PCA a lo largo del eje de trazo del Acueducto 91
Lámina 5.1 Perfil topográfico del trazo del acueducto 113
Lámina 5.2 Perfil topográfico de la línea de impulsión 116
Lámina 5.3 Perfil topográfico de la línea de gravedad 117
Lámina 5.4 Diseño conceptual de la línea de impulsión 118

1. Resumen ejecutivo

La Secretaría de Gestión Integral del Agua y la Comisión Estatal del Agua requiere del reforzamiento del Sistema de Abastecimiento y Distribución del Agua Potable en el AMG principalmente en el Acueducto Chapala Guadalajara que abastece al 60% de la población.

La razón principal es contar con infraestructura para que se asegure el suministro de agua potable en cantidad, calidad y a la presión adecuada a toda la población en las próximas generaciones y optimizando el costo energético en la operación para el organismo operador.

El acueducto Chapala – Guadalajara se ha mantenido en operación continua desde que fue puesto en operación en 1992, con pocas acciones de mantenimiento. La condición anterior ha generado un deterioro notable en su capacidad de conducción por lo que presenta una alta probabilidad de falla y serias limitaciones en su operación.

La obra en comento pretende ser la infraestructura de respaldo del actual Acueducto Chapala con el objetivo de poder garantizar la redundancia del sistema actual para el abastecimiento del AMG y con ello poder realizar las acciones de prevención y mantenimiento con el fin de resguardar y garantizar el abastecimiento de la fuente principal del AMG. En la lámina 1.1 se muestra una la ubicación del Acueducto Chapala Guadalajara

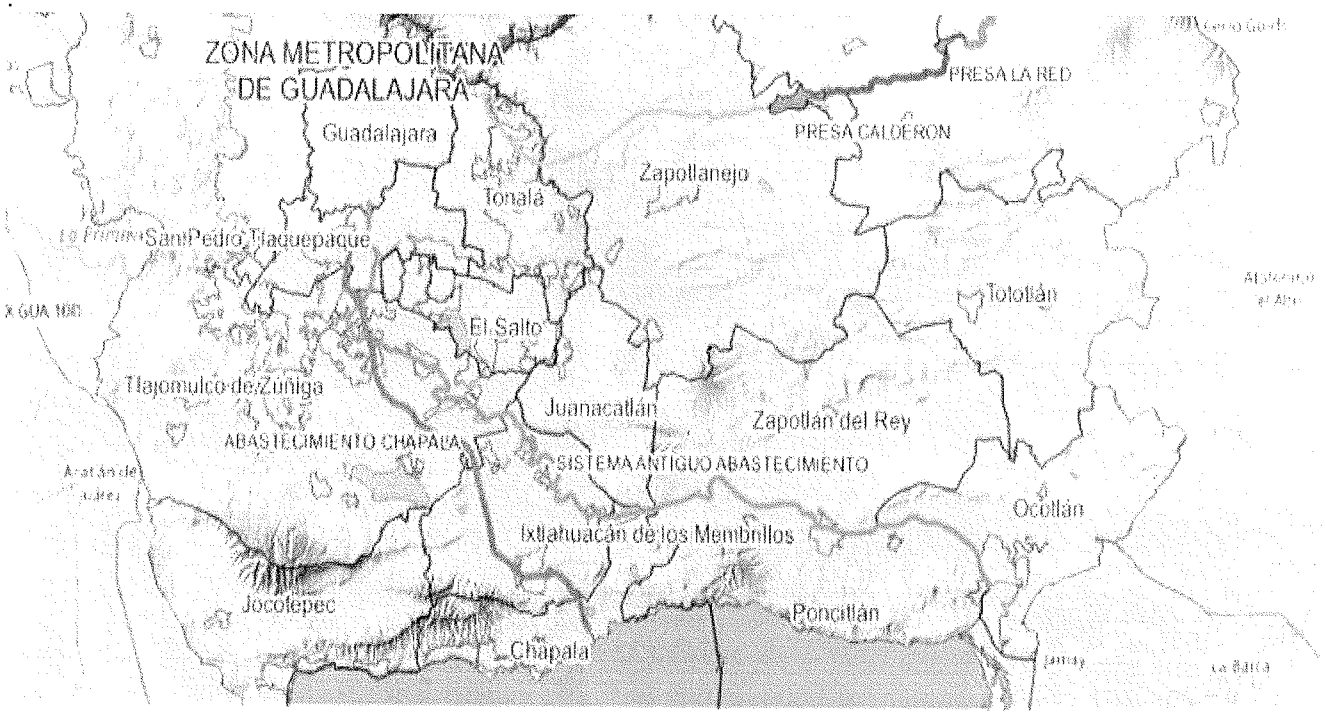


Lámina 1.1 Ubicación del Acueducto Chapala Guadalajara

El sistema ha sido diseñado para una capacidad máxima de conducción de 10.0 m³/s, correspondiente al gasto pico de operación requerido para optimizar el régimen de bombeo.

No obstante, el volumen anual conducido se mantiene dentro del límite establecido en el título de concesión vigente (236 hm³/año, equivalente a 7.5 m³/s en promedio), mediante una estrategia de operación intermitente que reduce las horas efectivas de bombeo diario.

Este esquema permite desplazar la operación hacia horarios de menor costo energético, disminuyendo el consumo en horas punta y optimizando el costo global del sistema, sin comprometer la disponibilidad del recurso hídrico ni exceder los volúmenes concesionados.

El dimensionamiento hidráulico de la infraestructura se realizó con base en el gasto máximo instantáneo (10.0 m³/s), garantizando condiciones adecuadas de operación bajo escenarios de demanda pico y asegurando la flexibilidad operativa del sistema.

La disponibilidad de los volúmenes del Lago de Chapala se respalda en el Título de Concesión 08JAL125681/12HSDA18.

Debido a las condiciones topográficas que imperan en la zona, el diseño y construcción del acueducto se dividen en los siguientes frentes:

- Adecuación del cárcamo de Bombeo del Canal de Llamada Chapala.
- Estación de bombeo: Se equipará la estación con 4+R bombas y una de reserva tipo *booster*, que permitirán aprovechar la carga disponible en el Lago y reducir consumos de energía eléctrica. Los equipos tendrán una capacidad de bombeo de 2000 litros por segundo y con una carga dinámica total (CDT) de 120.80 metros columna de agua con una potencia de 3855 HP por equipo.
- Dispositivos para el Golpe de Ariete: Se construirán 5 + R cámaras de aire de 3.50 metros de diámetro y 18 metros de altura para un volumen de inicial de 182 m³ por cámara. Además, un tanque de oscilación de 20 metros de diámetro y 35 metros de altura ubicado en el km 8+780 del Acueducto.
- Ampliación de la infraestructura para el abastecimiento eléctrico de la estación de bombeo: Se efectuará la construcción de subestación eléctrica para la nueva estación de bombeo.
- Línea de impulsión de la estación de bombeo al tanque de cambio de régimen: tendrá una capacidad de conducción de 10.00 m3/s con una longitud de 25.92 km para la carga dinámica total requerida y se utilizará tubería de acero ASTM A-53 de 106" de diámetro con espesores variables de 5/8" y 3/4" según la presión máxima alcanzada durante el fenómeno transitorio.
- Tanque de cambio de régimen: Tendrá forma rectangular, con un volumen efectivo de 6000 m3, una longitud de 105 metros y un ancho de 16 metros y altura efectiva de 8 metros. Será construido en concreto reforzado.
- Línea de conducción por gravedad al Tanque de Entrega Cerro del Cuatro: tendrá una capacidad de conducción de 10.00 m3/s con una longitud de 16.46 km y un desnivel topográfico de 25m, estará constituida por tubería de acero ASTM A-53 de 106" de diámetro con espesor de 5/8" para la presión máxima alcanzada durante el fenómeno transitorio.
- Caja de Operación de Válvulas: tendrá 3 válvulas de control para la operación del Tanque de Entrega.

- Tanque de Entrega: Actualmente esta estructura cuenta con 35,000 m3 de capacidad y se pretende ampliar a 42,000 m3.

En la tabla 1.1. se muestran las coordenadas de los componentes principales del Acueducto así como las elevaciones del terreno referenciadas al nivel medio del mar.

Tabla 1.1 Cuadro de coordenadas de los componentes principales del acueducto

No.	Componente	Coordenada E	Coordenada N	Elevación (msnm)
1	Canal de Llamada	693,679.916	2'247,520.483	1526.30
2	Estación de bombeo	693,581.762	2'247,585.593	1526.80
3	Tanque de Oscilación	687,358.207	2'251,537.296	1609.50
4	Tanque de cambio de régimen	677,283.998	2'263,435.387	1614.00
5	Caja de Control	673,646.955	2'266,500.377	1560.00
6	Tanque de entrega	670,800.410	2'276,909.262	1586.00

El objetivo del presente documento es fungir como el informe general del proyecto, en el cual se incluirá una descripción detallada del diseño de los componentes principales del proyecto. Dejando como anexos, el diseño de las obras complementarias a la obra principal. En la lámina 1.2 se puede apreciar geográficamente los componentes principales del Acueducto Sustituto Chapala Guadalajara.

Lámina 1.2 Componentes del Acueducto Sustituto Chapala Guadalajara

2. Planeación

2.1. Antecedentes

2.1.1. Esquema de abastecimiento actual del AMG

El Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) es la segunda metrópoli más grande de México, con una población de poco más de 5.2 millones de habitantes, y una superficie de 3,265.46 km^2, de los cuales 883 son clasificados como superficie urbana Comprende nueve municipios: El Salto, Guadalajara, Ixtlahuacán de los Membrillos, Juanacatlán, San Pedro Tlaquepaque, Tlajomulco de Zúñiga, Tonalá, Zapopan y Zapotlanejo. (Agenda de Resiliencia Hídrica del Área Metropolitana de Guadalajara, IMEPLAN, 2023)

El AMG se localiza en la cuenca del Valle del Río Grande de Santiago, en los Valles de Atemajac y la Planicie de Tonalá, entre las provincias montañosas de la Sierra Madre Occidental y el Eje Neovolcánico, en la Región Centro del Estado de Jalisco.

Derivado del artículo 94 de la Ley de Gobierno y la Administración Pública Municipal del Estado, la infraestructura urbana es la que corresponde a los servicios públicos municipales tales como el agua potable, el alcantarillado, energía eléctrica y recolección de residuos sólidos. De manera introductoria a continuación se menciona la situación general de la infraestructura urbana y servicios públicos municipales antes mencionados.

Los servicios de agua potable y alcantarillado son proporcionados por organismos públicos descentralizados y comisiones edilicias, siendo esta heterogeneidad una de las grandes problemáticas en la prestación del servicio metropolitano. En Guadalajara, Tlaquepaque, Zapopan y Tonalá se abastece a la mayoría de la población a través del Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA). A pesar de esto el municipio de Tonalá aún no tiene abastecimiento en la totalidad del territorio. En Tlajomulco, opera el Sistema de Agua Tlajomulco (SIAT); y el resto de los municipios son operados por las comisiones edilicias de agua potable y alcantarillado. La lámina 1.2 muestra la cobertura del Servicio de Agua Potable en la AMG.

Dicha cobertura se abastece tanto de fuentes de abastecimiento superficiales y subterráneas que cuentan con sus títulos de concesión para el uso público urbano. El total del volumen concesionado es de 19.89 metros cúbicos por segundo hoy en día.

Tabla 2.1 Fuentes de abastecimiento actuales del AMG (Fuente: CEA Jalisco 2015-2018)

Fuente de abastecimiento	Volumen concesionado		Título de concesión
	m³/s	hm³	
Sistema acueducto Chapala-Guadalajara	7.500	236.00	08JAL125681/12HSDA18
Sistema antiguo Chapala-Guadalajara			
Sistema de presas La Red-Calderón	2.000	63.07	08JAL125681/12HSDA18
Manantiales	0.250	7.88	08JAL100308/12HMDA17
Aguas subterráneas (pozos profundos)	3.040	95.87	08JAL100308/12HMDA18
Presa Zapotillo	5.600	176.60	08JAL155095/12HAOC15
Otras fuentes no operadas por el SIAPA	1.500	47.304	Varios
Total	**19.890**	**626.734**	

La lámina 2.1 muestra en color azul la cobertura por parte del SIAPA, que abarca una superficie de 506 km2 de un total de 883 km2 de área urbanizada, lo que representa el 57% de la cobertura y donde se puede observar que las zonas fuera de esta cobertura son dispersas y donde la zona al sur resalta por ser la de mayor dimensión sin este tipo de servicio intermunicipal.

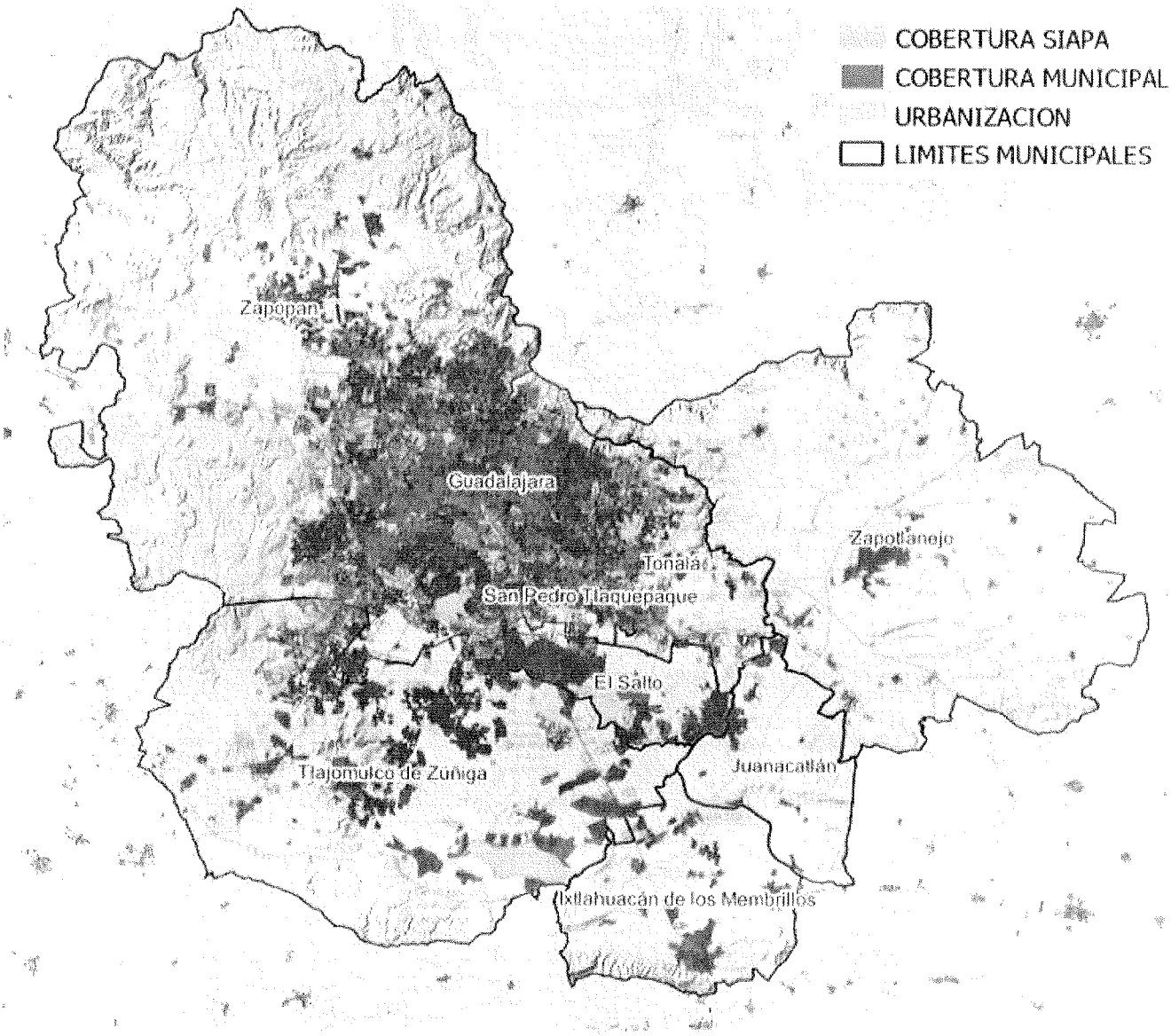


Lámina 2.1 Cobertura de Servicio de Agua Potable del AMG. (Fuente: Elaboración propia a partir de Información de SIAPA, 2024)

Las fuentes de abastecimiento superficiales operadas por el Organismo Operador SIAPA se pueden englobar en el Sistema Chapala cuya infraestructura para el aprovechamiento del mismo consta del Sistema Antiguo (Conducción en Canal, 1956) y el

Acueducto Chapala Guadalajara (Conducción Cerrada, 1992) y 2 plantas potabilizadoras (Miravalle 1956-1975) y (Las Huertas 2000) y por otro lado el Sistema Calderón (1975) al que se le agregó el Sistema de Presas Zapotillo-La Red- Calderón (2024) el cual recibe el caudal en la Planta Potabilizadora No. 3 San Gaspar (1976). Lo anterior se muestra en la lámina 2.2.

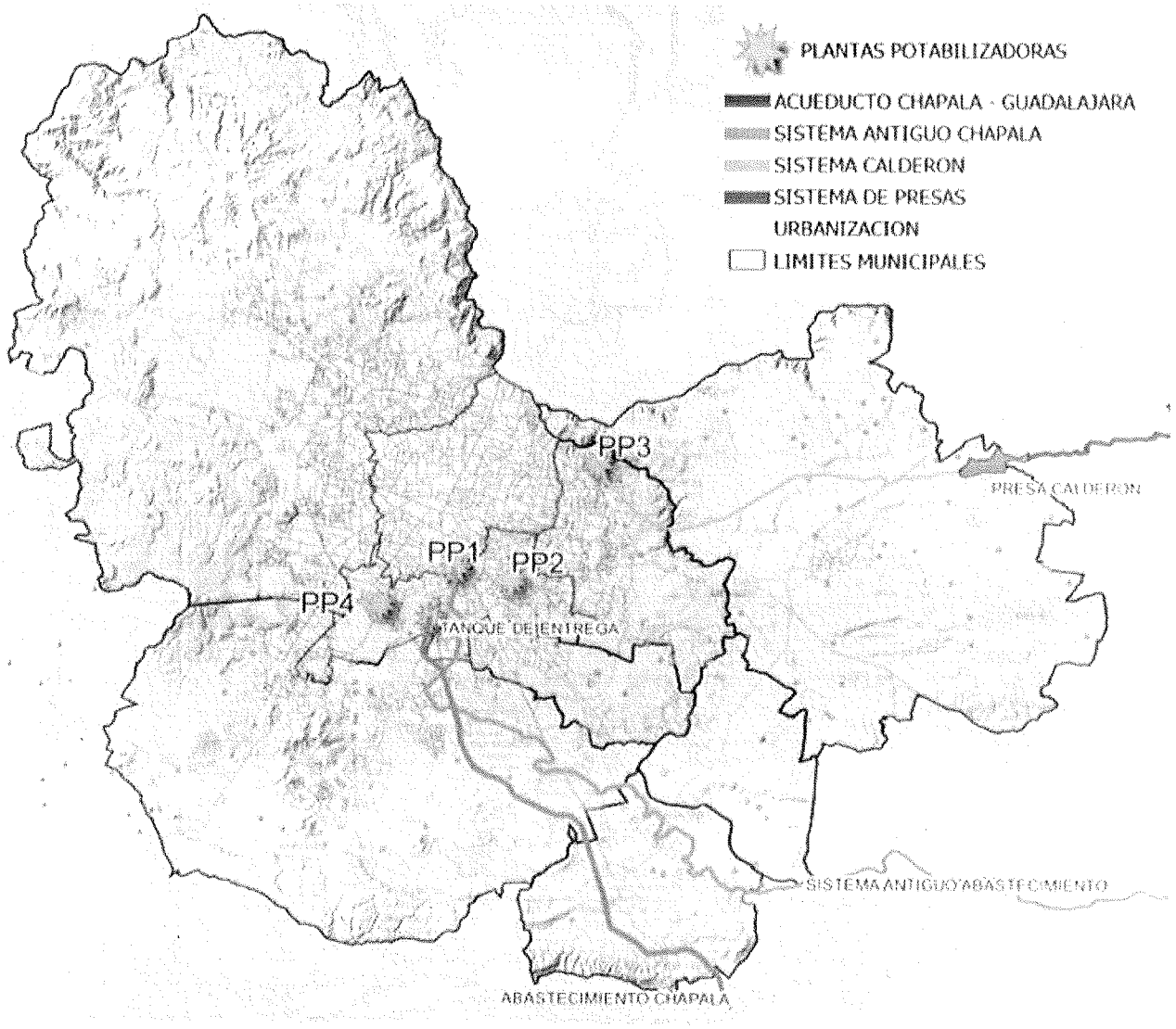


Lámina 2.2 Fuentes de Abastecimiento Superficiales del AMG operadas por SIAPA.
(Fuente: Elaboración propia a partir de Información de SIAPA, 2024)

A continuación, se presenta una breve descripción de los Sistemas que conforman la infraestructura actual de las fuentes de abastecimiento superficial que opera el SIAPA.

SISTEMA CHAPALA

El Lago de Chapala es la principal fuente de abastecimiento a la ciudad y su aprovechamiento se realiza desde 1956 a través del cauce del Río Santiago por aproximadamente 18 kms hasta la Presa Poncitlán. Posteriormente se continúan 20 kms más por el mismo Río Santiago hasta la Presa Corona para continuar por el Canal Atequiza en una longitud de 28 kms hasta la planta de bombeo No. 1 La Calera. En este tramo, la ciudad comparte los caudales con las Zonas de Riego aledañas al Sistema y a partir de este punto se bombean hasta 10 m3/seg con una carga de 22 mts hacia el Canal de las Pintas en una longitud de 24.5 kms hasta llegar a la Presa Las Pintas para su almacenamiento y presedimentación. La Planta de Bombeo No. 2 recibe el caudal a través del canal de 450 mts de longitud y se eleva este caudal hasta el Canal del Cerro del Cuatro por una altura de aproximada de 70 mts. Este conducto es cerrado teniendo secciones variables (rectangular, trapezoidal y tipo herradura) en una longitud de 3 kms hasta llegar a la Planta Potabilizadora No.1 Miravalle. Este sistema se le conoce como Sistema Antiguo.

En 1992 se inició la operación del Acueducto Chapala-Guadalajara que consiste en una tubería de 2.10mts de diámetro en concreto reforzado y una longitud de 42.6 kms para una capacidad de conducción de 7.5 m3/seg el cual inicia la estación de bombeo ubicada entre las localidades de Santa Cruz de la Soledad y San Nicolás de Ibarra, en el municipio de Chapala, donde se construyó un canal de llamada de 1300 mts de longitud. Se requieren vencer 138 mts de altura hasta el Tanque de Cambio de Régimen cuya capacidad es de 35,000 m3 ubicado en el km 27 en el Municipio de Tlajomulco, el acueducto continúa por la Prolongación de la Av. Adolf Horn hasta la Presa de las Pintas SIAPA en la colonia Toluquilla del municipio de San Pedro Tlaquepaque en donde se localiza la Planta de Bombeo del mismo nombre, venciendo una carga de 80 mts aproximadamente así se bombea a caja de enlace y posteriormente a través de canal de concreto en conducto cerrado llega finalmente a la Planta Potabilizadora Miravalle.

SISTEMA DE PRESAS ZAPOTILLO-EL SALTO-LA RED-CALDERON

Por otro lado, el sistema que compone el abastecimiento de la presa Zapotillo tiene su origen en el municipio de Cañadas de Obregón al noreste del Área Metropolitana de Guadalajara, su cauce tiene un recorrido total aproximado de 120 kilómetros a partir de esta fuente, se conduce hacia la presa El Salto en una longitud aproximada a los 27 kilómetros en el municipio de Valle de Guadalupe, sigue hacia la presa la Red por 47 kilómetros hasta el municipio de Tepatitlán de Morelos y continua a la presa Calderón por 15 kilómetros hasta el municipio de Zapotlanejo donde a través del Acueducto Calderón finalmente se destina a la planta potabilizadora No. 3 San Gaspar en la colonia La Noria en los últimos 31 kilómetros en el municipio de Tonalá. Este último sistema mencionado inició parte de su funcionamiento este 2025 quedando pendiente la sustitución del Acueducto Calderón para la capacidad total del sistema a la fecha.

Adicionalmente a las fuentes de abastecimiento superficial, el AMG depende de Pozos Profundos y Manantiales sobre en la zona Norponiente y periferia del AMG. En la lámina 2.3 se puede observar la distribución por las diferentes Fuentes de Abastecimiento.

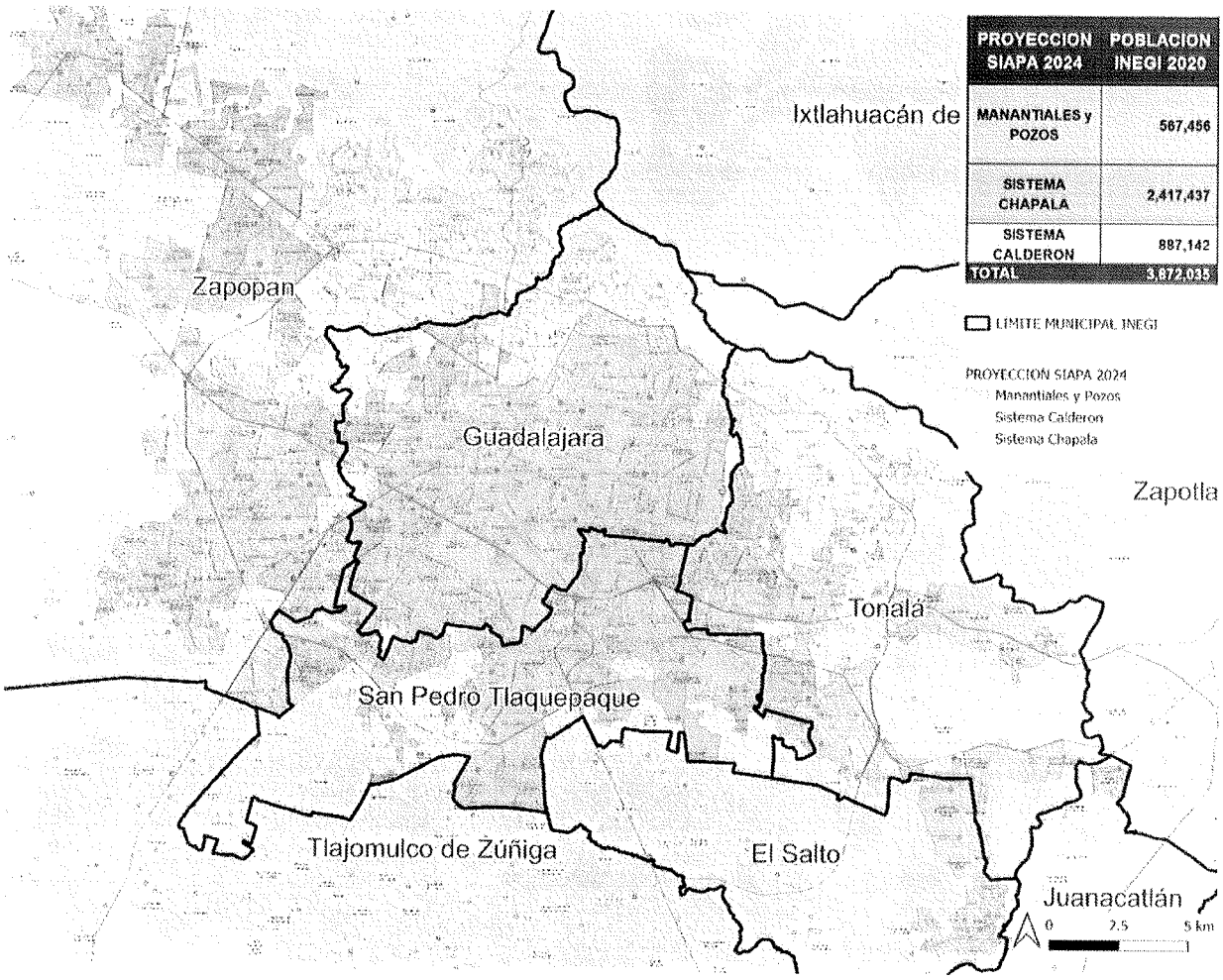


Lámina 2.3 Cobertura de Servicio de Agua Potable operada por SIAPA por Fuentes de Abastecimiento (Fuente: Elaboración propia con datos de SIAPA, 2024)

En la Tabla 2.2 se muestran las poblaciones atendidas por tipo de fuente y el porcentaje resultante. Como puede observarse si se logra que las fuentes superficiales cuenten con una infraestructura eficiente podemos reducir el uso de las fuentes subterráneas.

Tabla 2.2 Población servida por Fuentes de Abastecimiento (Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI 2020)

FUENTE DE ABASTECIMIENTO	POBLACION CENSO INEGI 2020	DEMANDA m3/seg	%

SISTEMA CHAPALA	2417437	5.88	62.43%
SISTEMA CALDERON	887,142	2.16	22.91%
POZOS Y MANANTIALES	567,456	1.38	14.66%
SUMAS	3'872,035	9.42	100.00%

2.2. Marco físico del AMG

2.2.1. Ubicación geográfica

El Área Metropolitana de Guadalajara está compuesta por nueve municipios: Guadalajara, Zapopan, San Pedro Tlaquepaque, Tonalá, Tlajomulco de Zúñiga, Ixtlahuacán de los Membrillos, Juanacatlán, El Salto y Zapotlanejo1 y se localiza dentro de la Región Centro del Estado de Jalisco. En la lámina 2.4 se puede observar en color rojo el perímetro y su relación geográfica dentro del Estado de Jalisco. Las coordenadas geográficas del Municipio de Guadalajara son Latitud: Entre 20° 36' N y 20° 45' N y Longitud: Entre 103° 15' W y 103° 24' W que en términos tradicionales es el núcleo administrativo de la metrópoli.

[1] Instituto Metropolitano de Planeación (IMEPLAN). Área Metropolitana de Guadalajara. Recuperado en agosto 2023, de [https://www.imeplan.mx/].

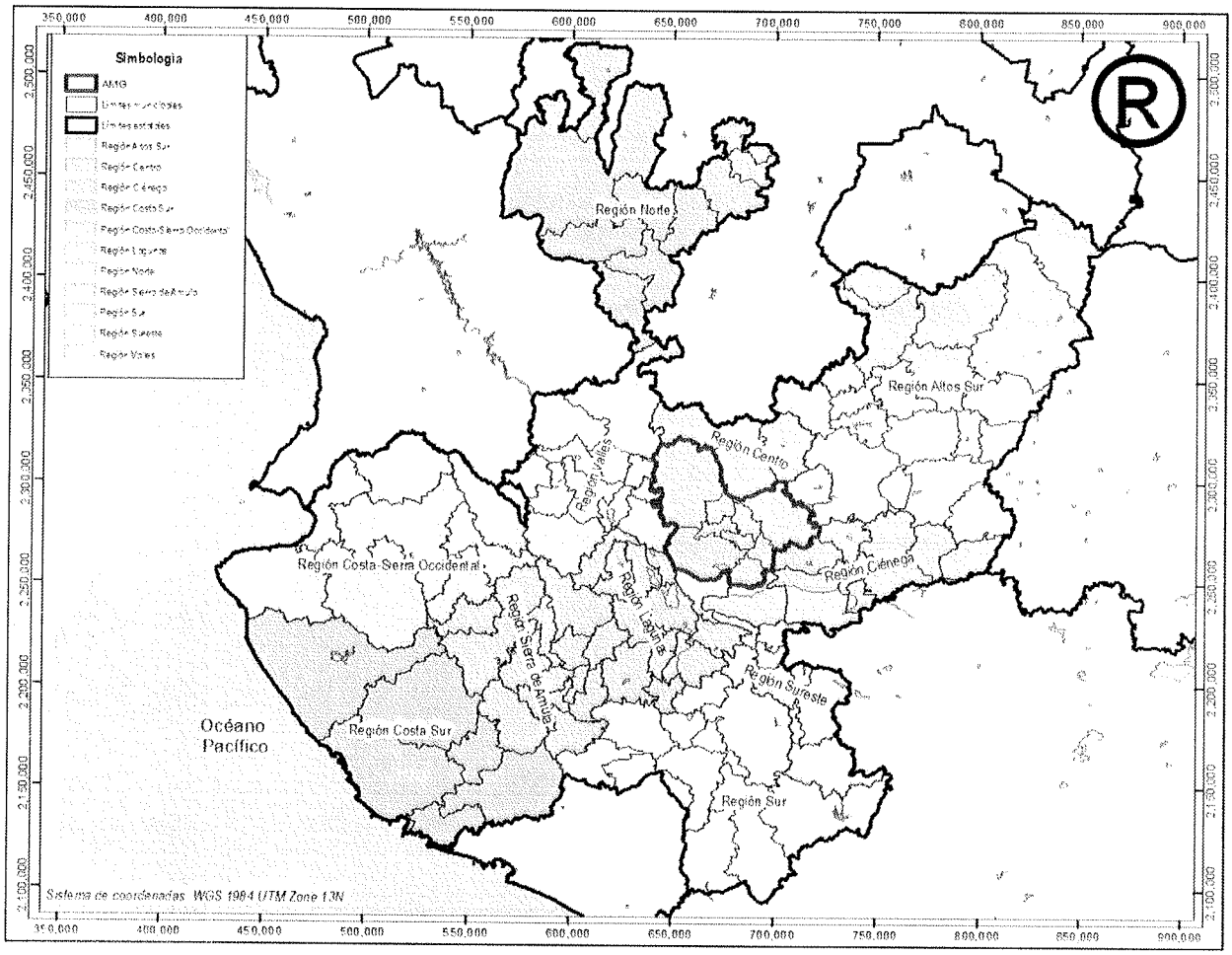


Lámina 2.4 Ubicación del AMG y Regiones del Estado de Jalisco. (Fuente: Elaboración Propia a partir de datos de INEGI)

El Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) se divide en dos partes principales en términos de su extensión territorial. Primero, el área urbanizada cubre 883 km2, lo que corresponde aproximadamente al 27% de la totalidad del AMG. En segundo lugar, el área no urbanizada abarca 2,382 km2, representando así el 73% del área total. Finalmente, la superficie total del AMG es de 3,265 km2, abarcando la totalidad del área metropolitana[2]. Ver Lámina 2.5 y Tabla 2.3

[2] Elaboración propia con datos del sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (2022). Plan Institucional del Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. Septiembre 2023, de plan.jalisco.gob.mx/wp-content/uploads/2022/12/PI-SIAPA-2022-Paginado.pdf.

Lámina 2.5 Delimitación del AMG (Fuente: Elaboración Propia a partir de datos de INEGI)

Tabla 2.3 Superficie total por áreas del AMG

Área Metropolitana de Guadalajara (km²)		
Área Urbanizada	883	27%
Área no urbanizada	2,382	73%
Superficie total	3,265	100%

2.2.2. Población

La distribución de la población del AMG se concentra en los territorios urbanizados de cada municipio y no es proporcional a la extensión del área urbana. Cabe mencionar que Zapopan es el municipio con mayor superficie urbanizada y el que concentra mayor población. Por otro lado, la población asentada en el AMG y clasificada por los Municipios que la conforman se pueden visualizar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, siendo los Municipios de Guadalajara y San Pedro T laquepaque los de mayor densidad de habitantes por km².

Tabla 2.4 Población, Superficies y Densidades del AMG

	Área Metropolitana de Guadalajara	Censo 2020	Superficie (km2)	Densidad (Hab/Km2)
1	El Salto	232,852	92.39	2520.32
2	Guadalajara	1,385,629	150.36	9215.41
3	Ixtlahuacán de los Membrillos	67,969	184.32	368.76
4	Juanacatlán	30,855	141.22	218.49
5	San Pedro Tlaquepaque	687,127	118.60	5793.65
6	Tlajomulco de Zúñiga	727,750	682.50	1066.30
7	Tonalá	569,913	156.50	3641.62
8	Zapopan	1,476,491	1017.24	1451.47
9	Zapotlanejo	64,806	722.33	89.72
	Total	**5,243,392**	**3265.00**	**1605.71**

En tanto a las proyecciones poblacionales, éstas son referencia para las acciones de previsión en materia de necesidad de servicios e infraestructura para el abasto de agua potable. Dentro del Plan de ordenamiento Territorial del AMG, se presentan las cifras de 2025, 2030, 2035 y 2040 las cuales forman parte de la Proyección de Población de CONAPO 2024.

Tabla 2.5 Proyecciones de Población del AMG Fuente; CONAPO 2024

Área Metropolitana de Guadalajara	2025	2030	2035	2040
El Salto	294,703	354,920	416,805	475,964
Guadalajara	1,383,955	1,362,948	1,336,778	1,316,107
Ixtlahuacán de los Membrillos	82,631	95,742	108,554	120,263
Juanacatlán	36,869	41,162	44,820	47,224
San Pedro Tlaquepaque	732,507	759,272	776,262	783,276
Tlajomulco de Zúñiga	829,928	914,861	1,004,364	1,105,538
Tonalá	609,974	632,978	646,966	650,859
Zapopan	1,597,906	1,689,444	1,778,917	1,876,674
Zapotlanejo	65,286	64,287	62,439	59,972
Total	**5,633,759**	**5,915,614**	**6,175,905**	**6,435,877**

2.2.3. Clima

El Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) presenta una diversidad de climas que reflejan la interacción entre su relieve, latitud y patrones de precipitación. La clasificación climática permite identificar las condiciones predominantes y orientar políticas de planeación territorial y desarrollo de infraestructura. En la lámina 2.6 podemos observar las condiciones climáticas predominantes por zona de la AMG.

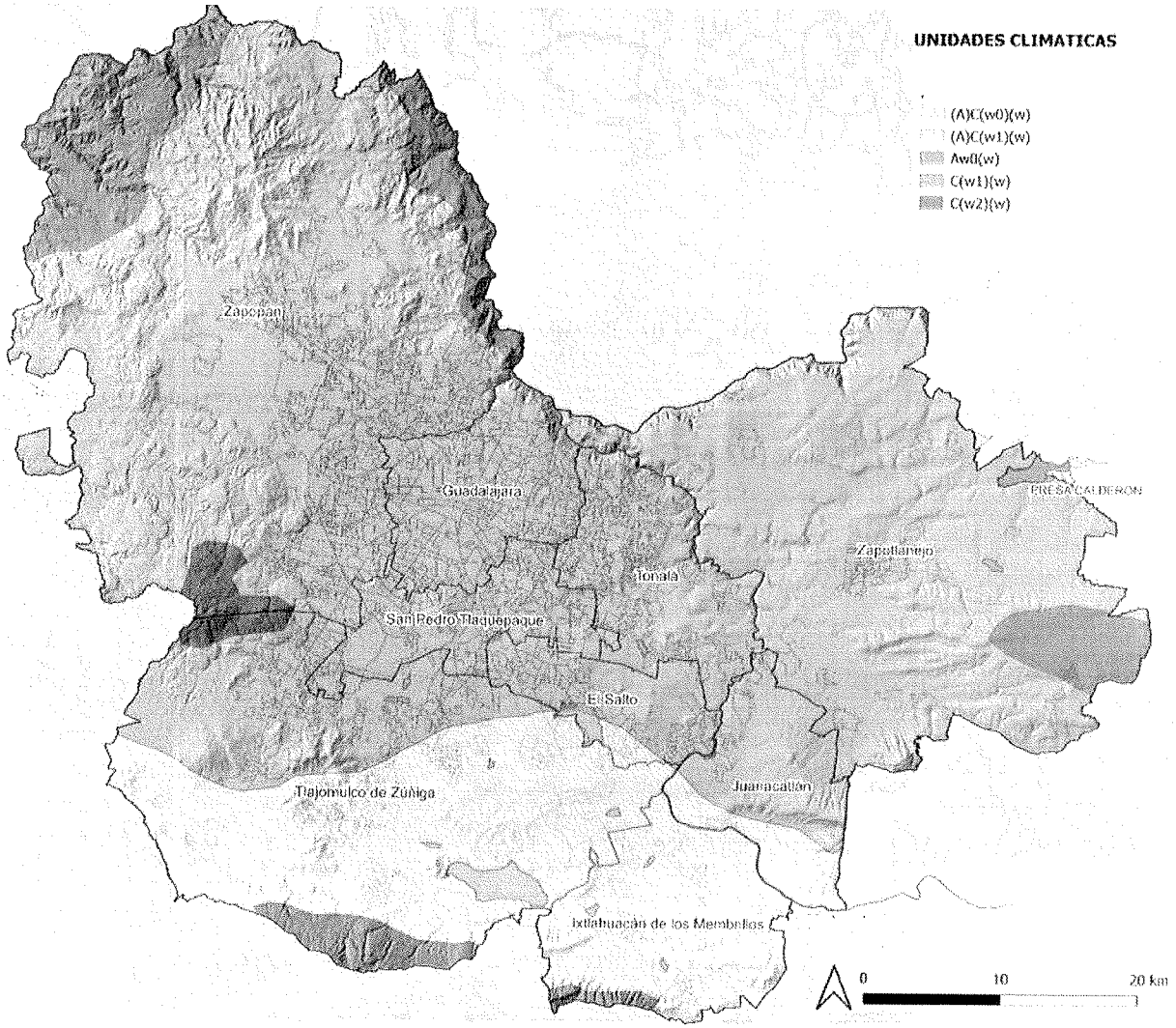


Lámina 2.6 Unidades climatológicas de la zona de estudio. (Fuente: Elaboración Propia a partir de datos de INEGI)

La tabla de unidades climáticas del AMG muestra cinco variantes principales. El clima (A)C(w1)(w), cálido subhúmedo de transición con lluvias en verano y precipitación invernal menor al 5%, ocupa la mayor extensión con 2,425 km², lo que evidencia su predominio en la región. Le sigue el (A)C(w0)(w), también cálido subhúmedo con lluvias en verano pero con precipitación invernal entre 5 y 10%, que abarca 658 km². En menor proporción aparece el clima Aw0(w), tropical con lluvias en verano y precipitación invernal de 5 a 10%, presente en 189 km².

Dentro de los climas templados, el C(w1)(w), subhúmedo con lluvias en verano y menos del 5% de precipitación invernal, se distribuye en 98 km², mientras que el C(w2)(w), con lluvias en verano y menos del 4% de precipitación invernal, ocupa apenas 35 km². Estos últimos reflejan áreas más reducidas, generalmente asociadas a zonas de altitud mayor. El Área tiene una precipitación media anual de 888.59 mm, con un rango de variación de 774 mm a 987 mm. Se puede observar en la tabla 2.6 las unidades climáticas en kilómetros cuadrados dentro de la AMG.

Tabla 2.6 Unidades Climáticas en el AMG

Unidades Climáticas en el AMG				
Clave	**Descripción**	**% Precipitación Invernal**	**Km2**	**%**
(A)C(w1)(w)	Cálido subhúmedo transición, lluvias en verano	< 5%	2425	71%
(A)C(w0)(w)	Cálido subhúmedo, lluvias en verano	5–10%	658	19%
Aw0(w)	Tropical lluvias en verano	5–10%	189	6%
C(w1)(w)	Templado subhúmedo, lluvias en verano	< 5%	98	3%
C(w2)(w)	Templado subhúmedo, lluvias en verano	< 4%	35	1%

En conjunto, la información evidencia que el AMG se caracteriza principalmente por climas cálidos subhúmedos, con lluvias concentradas en verano y baja proporción de precipitación invernal. Los climas templados ocupan superficies menores, pero resultan relevantes para comprender la variabilidad ambiental en zonas específicas. Esta distribución climática es fundamental para la gestión urbana y ambiental, pues condiciona la disponibilidad de agua, la vegetación y la habitabilidad del territorio metropolitano.

2.2.4. Litología

El subsuelo pertenece al período Terciario, y se compone de rocas sedimentarias, rocas ígneas, extrusivas, riolita, andesita, basalto, toba y brecha volcánica.

La litología del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) se caracteriza por un claro predominio de rocas ígneas de origen volcánico, reflejo de la dinámica geológica regional. La toba ocupa la mayor extensión con más de 1,200 km², seguida por el basalto, que cubre cerca de 990 km², ambos derivados de procesos eruptivos que han modelado el relieve. También destacan las rocas extrusivas ácidas y extrusivas básicas, junto con la riolita y la andesita, que en conjunto consolidan la diversidad ígnea del territorio.

En menor proporción aparecen formaciones como la brecha volcánica y materiales de carácter vítreo, que evidencian episodios eruptivos específicos. Aunque la litología ígnea domina ampliamente, se registran áreas con materiales sedimentarios y zonas clasificadas como "no aplica", que corresponden a espacios sin una roca predominante definida o con coberturas superficiales distintas.

Este mosaico litológico explica tanto la configuración del paisaje como la disponibilidad de recursos naturales y condiciona procesos de urbanización, uso de suelo y riesgos geológicos. La fuerte presencia de rocas volcánicas subraya la importancia de considerar la geodinámica regional en la planificación territorial y ambiental del AMG. En la tabla 2.7 se observa la clasificación de roca en la AMG, en donde se observa que la "toba" es la roca predominante con un 36.3% de predominancia en la región.

Tabla 2.7 Clasificación del tipo de roca del AMG

Tipo de Roca (Litología)				
Clave	**Roca Predominante**	**Génesis**	**km² en AMG**	**%**
T	Toba	Ígnea	1238	36.3
B	Basalto	Ígnea	990	29.1
Igea	Extrusiva ácida	Ígnea	446	13.1
al	No aplica	No aplica	335	9.8
re	No aplica	No aplica	116	3.4
V	Vítrea	Ígnea	82	2.4
R	Riolita	Ígnea	69	2.0
A	Andesita	Ígnea	65	1.9
Bv	Brecha volcánica	Ígnea	28	0.8
Igeb	Extrusiva básica	Ígnea	20	0.6
ar-cg	No aplica	Sedimentaria	17	0.5

En la figura 2.1 se observa una gráfica de pie la cual demuestra los porcentajes por tipo de roca que se observan en la tabla 2.7.

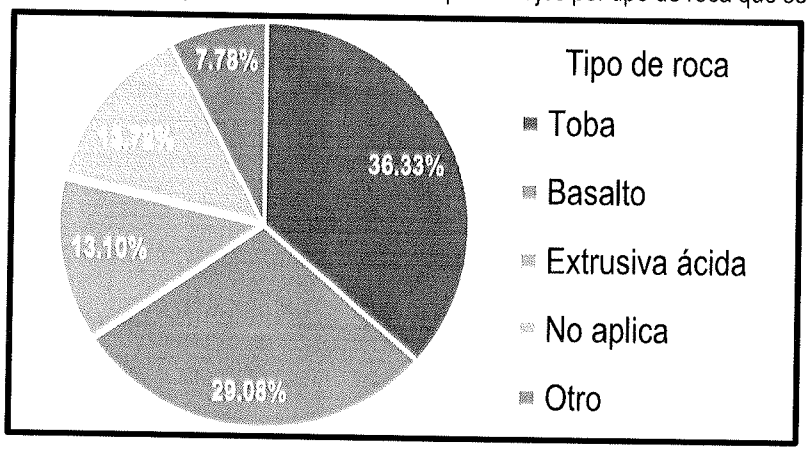


Figura 2.1 Gráfico de clasificación del tipo de roca del AMG

En la lámina 2.7 se muestra la clasificación del tipo de roca en la AMG por colores, estos definen qué roca hay en cada región.

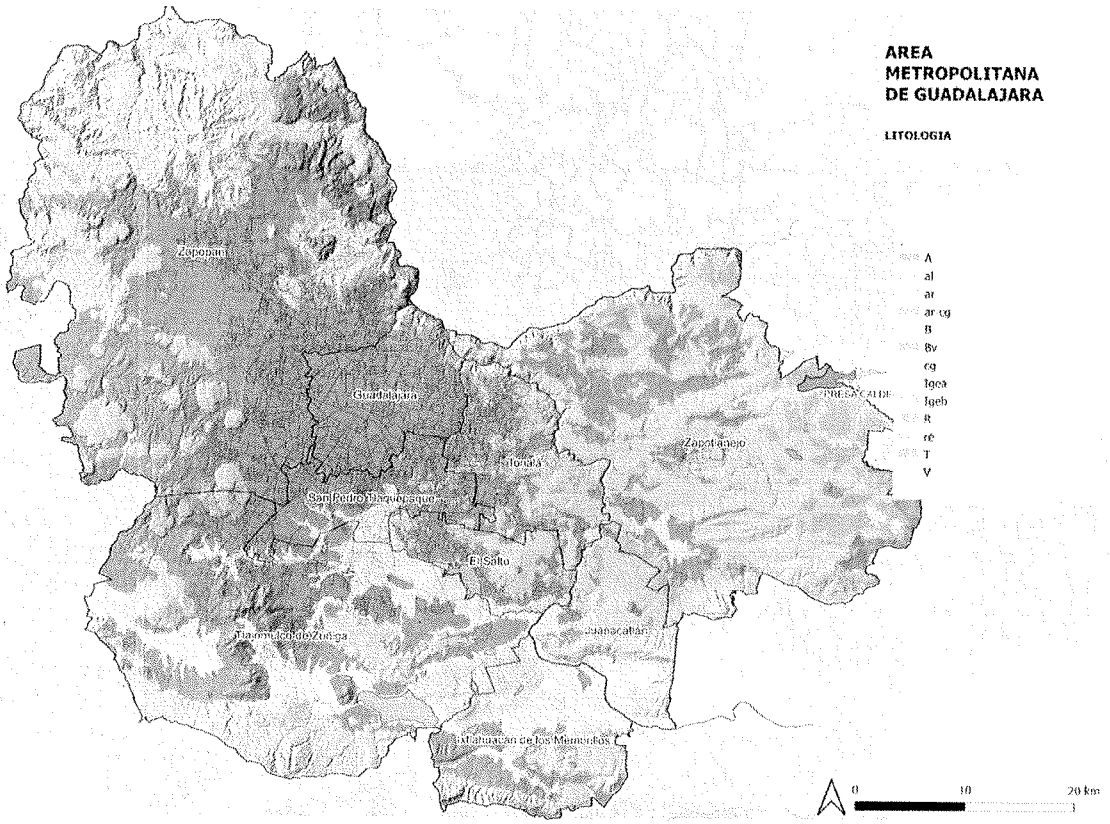


Lámina 2.7 Clasificación del tipo de roca del AMG (Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI)

2.2.5. Uso de suelo y vegetación

El uso de suelo y la vegetación en el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) reflejan una marcada transformación territorial, con predominio de actividades agrícolas y urbanas. La agricultura de temporal anual ocupa la mayor extensión, con más de 1,100 km², seguida por los asentamientos humanos, que abarcan alrededor de 693 km², evidenciando la presión urbana sobre el entorno.

En segundo plano destacan los pastizales inducidos y la vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia, que juntos suman más de 550 km², mostrando procesos de sustitución y degradación de ecosistemas originales. La agricultura de riego anual y los bosques de encino-pino y encino también tienen presencia significativa, aportando diversidad productiva y ambiental.

Los remanentes de selva baja caducifolia y los distintos tipos de vegetación secundaria vinculada a bosques de encino y pino-encino reflejan la fragmentación de la cobertura natural. Asimismo, los cuerpos de agua y áreas agrícolas de humedad, aunque menores en extensión, cumplen funciones estratégicas en la regulación hídrica.

En conjunto, el AMG presenta un mosaico territorial donde la expansión agrícola y urbana domina, mientras los ecosistemas forestales y selváticos persisten en áreas reducidas, subrayando la necesidad de gestión sostenible. En la figura 2.2 se puede observar una gráfica de pie en la que se muestra el uso de suelo en la AMG.

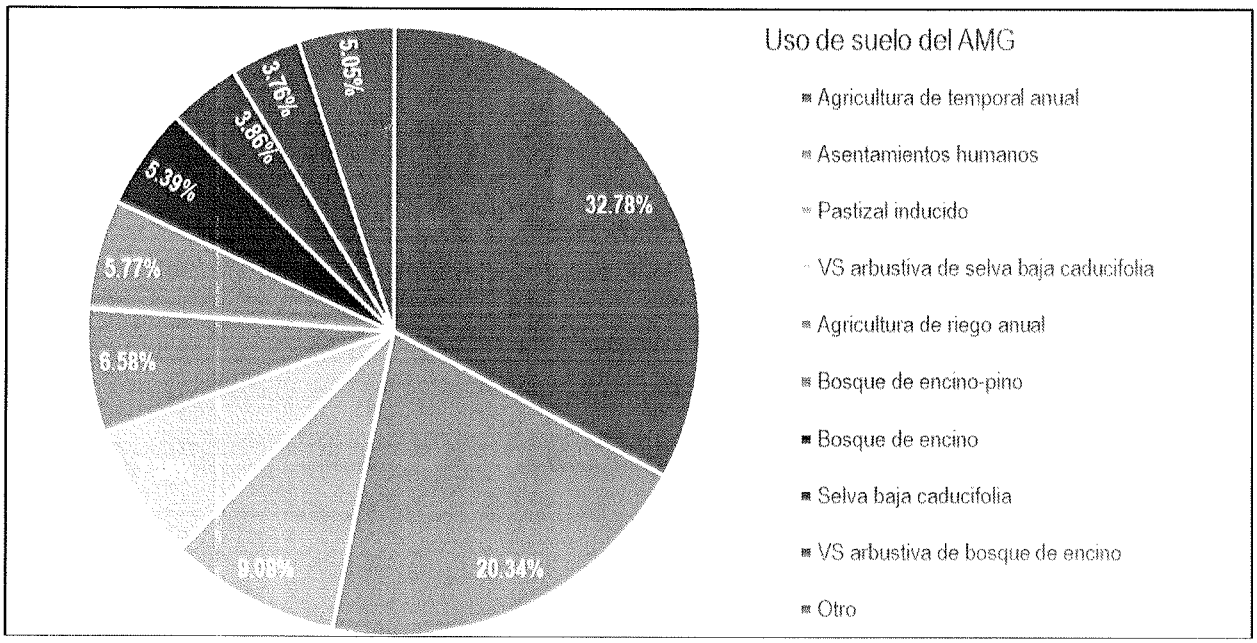


Figura 2.2 Uso del Suelo en el AMG

En la lámina 2.8 se muestra la clasificación del uso de suelo en la AMG por colores, estos definen qué uso de suelo y vegetación hay en cada región. Se puede observar el crecimiento de la mancha urbana hasta límites de bosques de encinos y pinos. Además en la periferia todavía existen zonas agrícolas sobre todo en la parte sur.

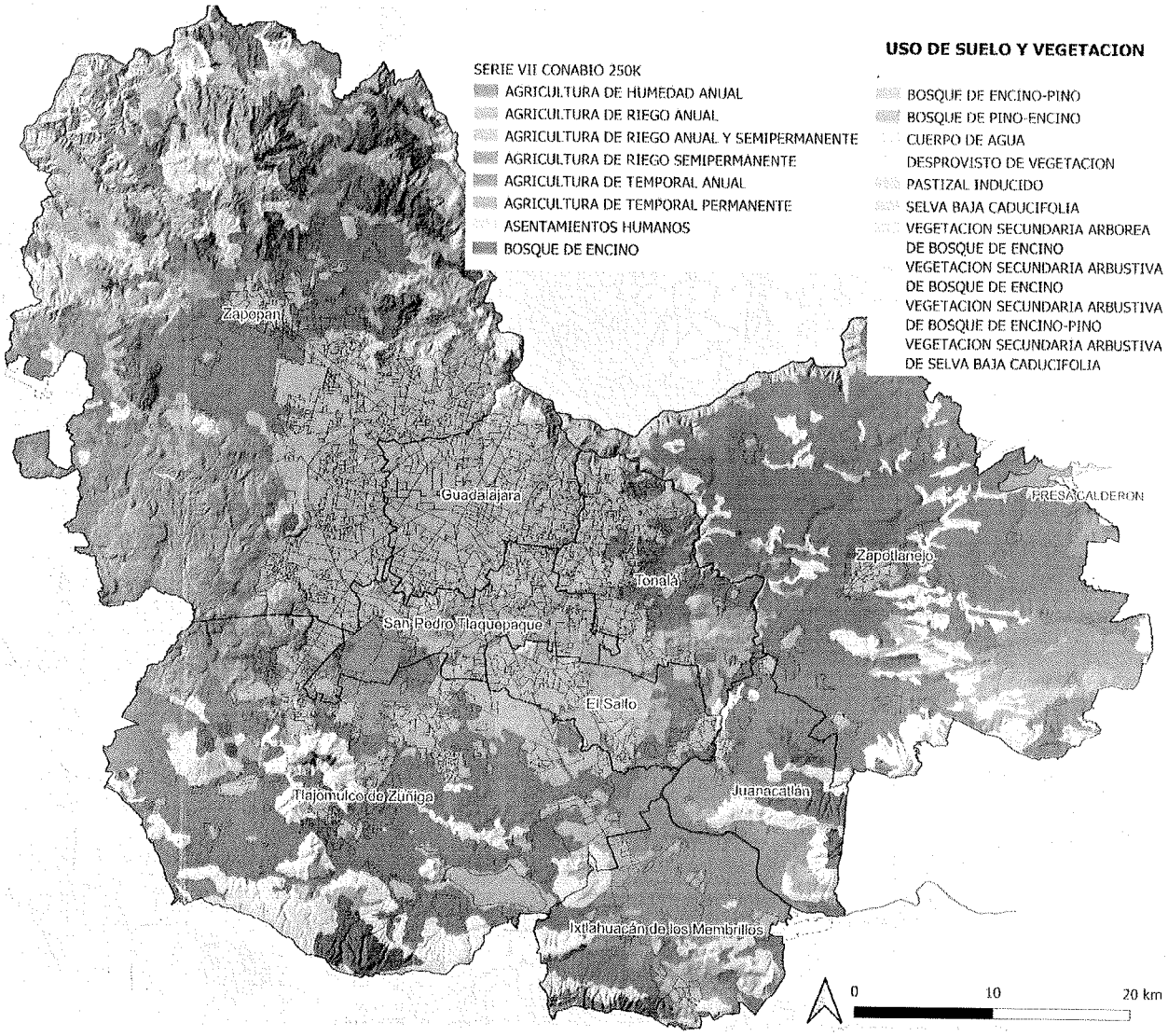


Lámina 2.8 Uso de suelo del AMG (Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI - Serie VII de Uso de Suelo y Vegetación)

En la tabla 2.8 se muestra la clasificación del uso de suelo en la AMG por colores, se puede observar que la agricultura

de temporal anual tiene el mayor porcentaje, con 32.78% de la superficie total. Por otro lado los asentamientos humanos cubren el 20.34% y los bosques suman el 12.52%.

Tabla 2.8 Uso de suelo del AMG

Uso	Área (km²)	Porcentaje
Agricultura de humedad anual	30.63	0.90%
Agricultura de riego anual	224.22	6.58%
Agricultura de riego anual y semipermanente	3.24	0.10%
Agricultura de riego permanente	0.37	0.01%
Agricultura de riego semipermanente	7.02	0.21%
Agricultura de temporal anual	1116.77	32.78%
Agricultura de temporal permanente	8.74	0.26%
Asentamientos humanos	692.92	20.34%
Bosque de encino	183.66	5.39%
Bosque de encino-pino	196.47	5.77%
Bosque de pino-encino	46.40	1.36%
Cuerpo de agua	40.88	1.20%
Desprovisto de vegetación	1.69	0.05%
Pastizal cultivado	0.67	0.02%
Pastizal inducido	309.34	9.08%
Selva baja caducifolia	131.45	3.86%
Vegetación halófila hidrófila	1.10	0.03%
VS arbórea de bosque de encino	21.07	0.62%
VS arbórea de bosque de encino-pino	1.24	0.04%
VS arbórea de bosque de pino-encino	1.51	0.04%
VS arbustiva de bosque de encino	128.00	3.76%
VS arbustiva de bosque de encino-pino	5.94	0.17%
VS arbustiva de bosque de pino-encino	1.31	0.04%
VS arbustiva de selva baja caducifolia	251.53	7.38%
VS herbácea de bosque de encino-pino	0.32	0.01%
Suma	3406.49	100.00%

2.2.6. Hidrografía

La hidrografía del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) se organiza en torno a diversas cuencas que forman parte de la región hidrológica Lerma-Santiago y, en menor medida, del río Ameca. El sistema principal es el río Santiago, cuyo recorrido se divide en tramos desde la salida del lago de Chapala hasta la estación hidrométrica Las Juntas y posteriormente hasta San Cristóbal II, con extensiones que superan los 2,500 km² dentro del AMG. A este sistema se suman cuerpos de agua relevantes como la presa Santa Rosa y las lagunas de Villa Corona, que se subdividen en dos segmentos vinculados al río San Antonio y la presa Hurtado.

El río Verde, con un tramo específico desde la estación hidrométrica La Cuña hasta su confluencia con el río Santiago, constituye un aporte estratégico en la dinámica hídrica regional. Otros afluentes menores, como el río Lerma en su séptimo tramo y el río Zula, complementan la red. Finalmente, el río Salado, con origen en varios afluentes y controlado en la estación La Vega, representa la conexión con la región del Ameca.

En conjunto, esta red hidrográfica refleja la complejidad territorial del AMG, articulando recursos hídricos que sostienen actividades urbanas, agrícolas y ambientales.

Por otro lado, en la Lámina 2.9 se puede observar la jerarquía de los cauces obtenido de datos de INEGI mediante el método Strahler, el cual clasifica a los mismos en base a sus afluentes, siendo los ríos principales los de mayor orden dentro de la cuenca. Esta clasificación es fundamental en hidrología para entender la estructura de las redes de drenaje, diferenciar las funciones de los cauces (erosión en los pequeños vs. transporte en los grandes) y caracterizar el comportamiento de una cuenca.

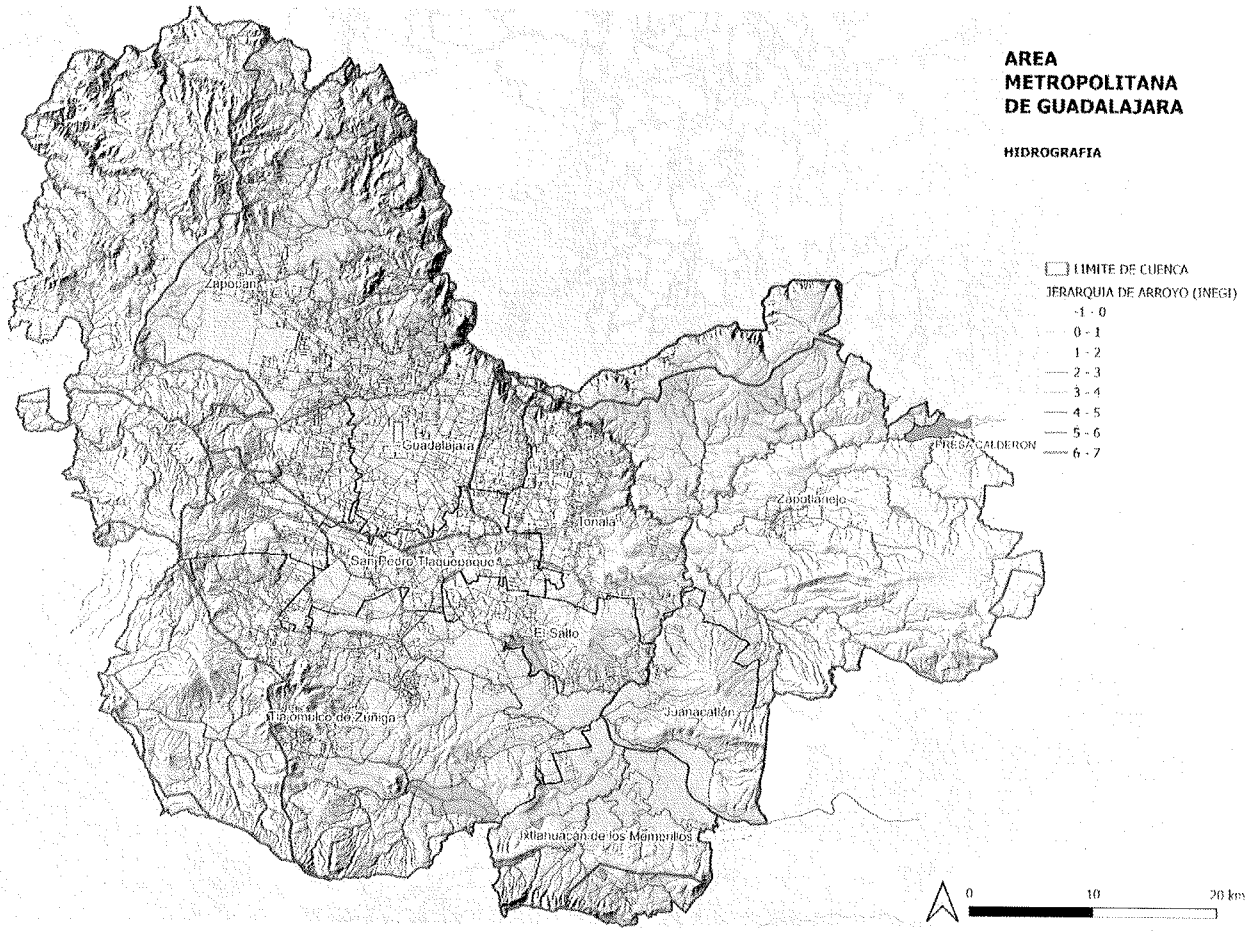


Lámina 2.9 Hidrografía del AMG (Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI)

El AMG, se encuentra dentro de las regiones hidrológicas No. 12 Lerma Santiago (96.9%) y No. 14. Río Ameca (3.1%), pertenecientes al Región Hidrológica Administrativa No. 8 Lerma-Santiago-Pacífico.

A continuación, se presensta

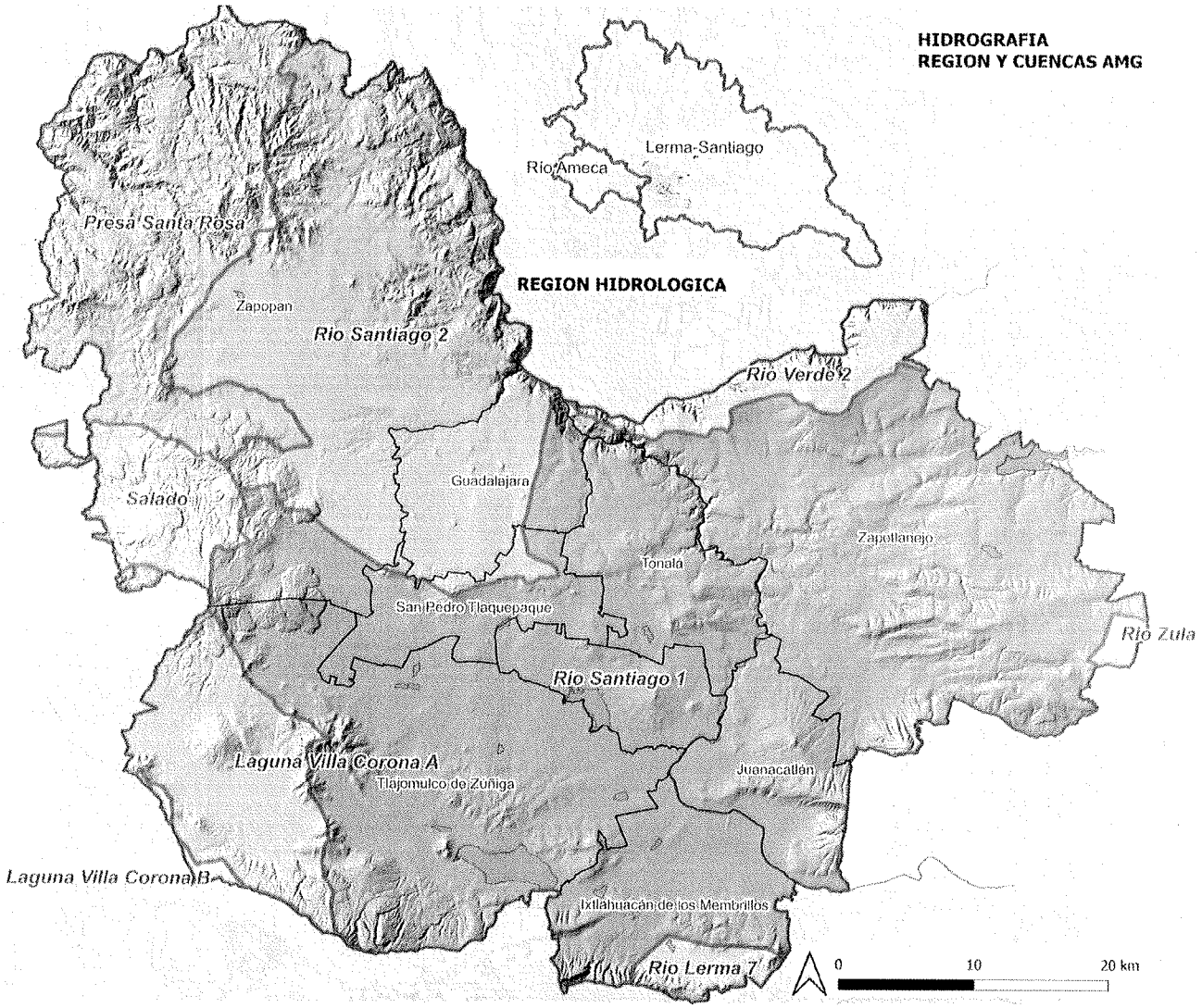


Lámina 2.10 Regiones hidrográficas y cuencas presentes en el AMG (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INEGI).

En la Tabla 2.9 podemos observar la superficie de la cuenca hidrográfica asociada a los tramos de los ríos principales que tienen influencia en la zona de estudio. Como puede observarse el Río Santiago es el más importante del AMG y su cuenca cubre el 74.7%.

Tabla 2.9 Hidrografía en el AMG

Cuenca	Descripción	Región Hidrológica	Km2	%
Rio Santiago 1	Desde la salida del Lago de Chapala, hasta la EH Las Juntas	Lerma-Santiago	1847	54.2%
Rio Santiago 2	Desde donde se localiza la EH Las Juntas, hasta la EH San Cristóbal II	Lerma-Santiago	698	20.5%
Presa Santa Rosa	Desde donde se localiza la EH San Cristóbal II, hasta la Presa Santa Rosa	Lerma-Santiago	415	12.2%
Laguna Villa Corona A	Desde el nacimiento del Rio San Antonio, hasta la presa Hurtado	Lerma-Santiago	202	5.9%
Salado	Desde el nacimiento de los ríos El Cocoliso, El Chapulimita y El Salado, hasta la estación hidrométrica La Vega.	Rio Ameca	106	3.1%
Rio Verde 2	Desde donde se localiza la EH La Cuña, hasta la confluencia del Rio Verde con el Rio Santiago	Lerma-Santiago	84	2.5%
Rio Lerma 7	Desde donde se localizan las EH Yurécuaro, Estanzuela y Zula, hasta su descarga en el lago de Chapala.	Lerma-Santiago	35	1.0%
Rio Zula	Desde su nacimiento, hasta la EH Zula.	Lerma-Santiago	11	0.3%
Laguna Villa Corona B	Desde donde se localiza la presa Hurtado, hasta la Laguna Atotonilco	Lerma-Santiago	9	0.3%
EH (Estación Hidrométrica)				

Disponibilidad de Aguas Superficiales

De las 9 cuencas hidrográficas ubicadas dentro del AMG solamente seis de ellas cuentan con disponibilidad hídrica. La tabla 2.9 muestra los datos del SINA de CONAGUA 2023. Cada fila representa una cuenca o cuerpo de agua (ríos, lagunas, presas) y se identifican los volúmenes concesionados, uso consuntivo, extracción, pérdidas por evaporación, demanda y la disponibilidad anual (av) en hectómetros cúbicos por año.

El indicador clave es av, que refleja si existe agua disponible para nuevas concesiones o si la cuenca está en déficit. Las cuencas que presentan disponibilidad positiva son el Río Verde 2, Río Santiago 1 y 2, Salado y Presa Santa Rosa, lo que significa que aún pueden otorgarse volúmenes adicionales. En contraste, otras cuencas como Río Lerma 7, Laguna Villa Corona A y B, y Río Zula muestran av negativo, indicando sobreexplotación y ausencia de disponibilidad.

Tabla 2.10 Disponibilidad de Agua Superficial en el AMG

Cuenca	cp	uc	ex	ev	av	d	Clasificación	Área (Km2)
Río Verde 2	187.33	159.044	0	4.574	0	0.043	Con disponibilidad	84
Río Santiago 1	474.193	13.924	0	38.933	0.308	0.097	Con disponibilidad	1,847
Río Santiago 2	414.005	70.743	0	4.002	0	0.344	Con disponibilidad	698
Río Lerma 7	872.786	2.145	355.865	1405.799	-38.345	-8.75	Sin disponibilidad	35
Laguna Villa Corona A	35.937	0	0	7.192	-0.15	0	Sin disponibilidad	202
Laguna Villa Corona B	62.508	0.127	0	50.062	0	0	Sin disponibilidad	9
Salado	259.034	9.434	0	18.748	2.249	29.209	Con disponibilidad	106
Presa Santa Rosa	447.533	2.585	0	14.545	7.018	0.557	Con disponibilidad	415
Río Zula	221.616	1.76	0	0	0	-0.576	Sin disponibilidad	11

• cp (Concesiones de agua potable) • uc (Uso consuntivo total –potable, agrícola, industrial) • ex (Extracción total, todos los usos)
• ev (Evaporación o pérdidas) • av (Disponibilidad de agua superficial) Positivo: agua disponible, Negativo: déficit.
• d (Demanda total)
Conagua Sina 2023

Complementando la información en la lámina 2.11 se muestra la mancha color azul como zonas "con disponibilidad" y la mancha blanca "sin disponibilidad". En síntesis, el AMG combina cuencas con cierta capacidad de concesión junto a otras en déficit severo, lo que subraya la necesidad de una gestión diferenciada y cuidadosa del recurso superficial.

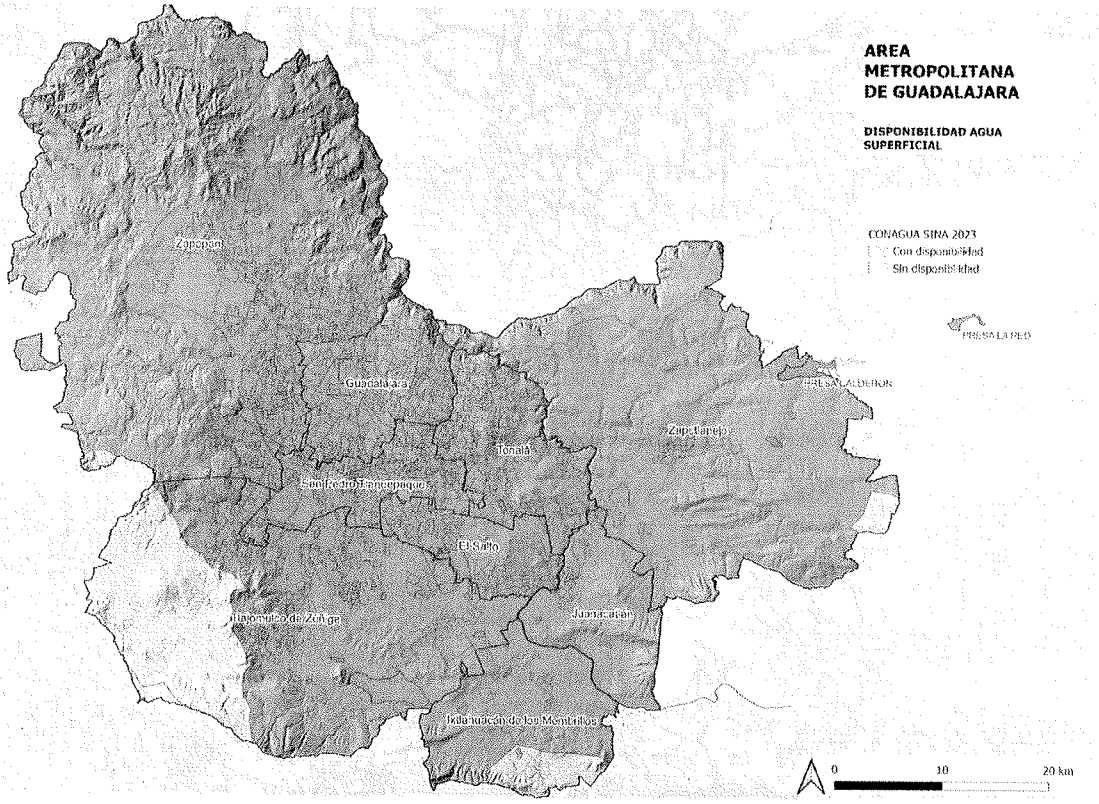


Lámina 2.11 Disponibilidad hídrica de aguas superficiales en el AMG (Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI)

Disponibilidad de Aguas subterráneas

El AMG se encuentra localizado sobre 13 acuíferos, destacando los acuíferos Arenal, Atemajac, Altos de Jalisco, Toluquilla, San Isidro y Cajititlán. De todos ellos solamente el acuífero Chapala cuenta con una disponibilidad apenas marginal y además la superficie es la más pequeña con apenas 14 km^2. El acuífero Toluquilla es el que presenta menor disponibilidad siendo el tercer acuífero en superficie. Del total de la superficie del AMG, solo un 0.49% cuenta con disponibilidad de aguas subterránea; con un déficit acumulado total de 163.88 hm3.

La lámina 2.12 muestra la disponibilidad de agua subterránea por región según datos recabados por la CONAGUA al 2023 y se puede apreciar que los acuíferos Atemajac y Toluquilla son los que se encuentran en la zona urbanizada del AMG. Lo anterior nos permite concluir que al contar con una mayor eficiencia en el aprovechamiento del Sistema Chapala podremos controlar estos acuíferos los cuales se encuentran muy presionados.

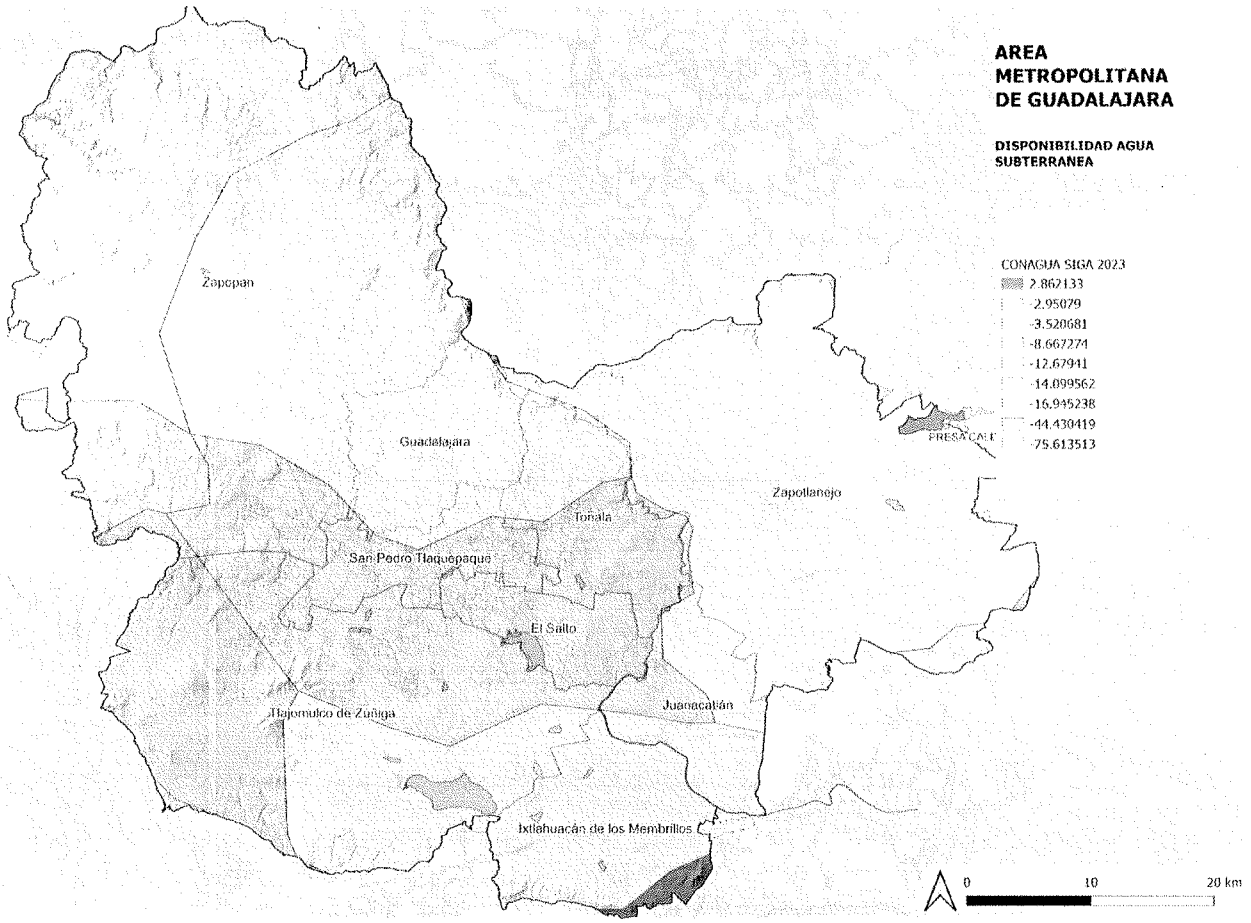


Lámina 2.12 Disponibilidad de aguas subterránea de los acuíferos localizados en el AMG (Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI)

La tabla 2.11 corresponde a la disponibilidad de agua subterránea en acuíferos del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG), dentro de la región Lerma–Santiago–Pacífico, en Jalisco, México. Cada acuífero se describe con volúmenes concesionados (VCAS), pendientes de registro (VAPTYR), destinados a reservas (VAPRH), extraídos (VEAS) y la disponibilidad media anual (DMA), todos en hectómetros cúbicos por año.

El indicador clave es el DMA, que muestra si aún existe agua para concesionar o si el acuífero está en déficit. Solamente el acuífero Chapala presenta un balance positivo (+2.86 hm³/año), lo que significa que conserva disponibilidad. En contraste, los demás acuíferos —San Isidro, Poncitlán, Arenal, Atemajac, Altos de Jalisco, Cajititlán, Ameca y Toluquilla— registran DMA negativo, reflejando sobreexplotación. Los casos más críticos son Toluquilla (-75.61 hm³/año) y Ameca (-

44.43 hm³/año), donde la extracción supera ampliamente la recarga natural.

Tabla 2.11 Disponibilidad de Agua Subterránea en el AMG

ACUIFERO	VCAS	VAPTYR	VAPRH	VEAS	DMA	AREA (km²)
Chapala	38.488082	0.752837	0.296948	39.537867	2.862133	14
San Isidro	46.256785	1.115593	0.178411	47.55079	-2.95079	237
Poncitlán	32.918966	0.001715	0	32.920681	-3.520681	16
Arenal	29.033274	0.234	0	29.267274	-8.667274	470
Atemajac	133.368504	0.910906	0	134.27941	-12.67941	728
Altos de Jalisco	75.357016	0.442546	0	75.799562	-14.099562	742
Cajititlán	61.838466	2.206771	0	64.045238	-16.945238	460
Ameca	289.405981	11.424438	0	300.830419	-44.430419	95
Toluquilla	122.074955	0.238558	0	122.313513	-75.613513	637

• VCAS: Volumen de agua ya concesionado o asignado por CONAGUA.
• VAPTYR: Volumen aún sin título o registro en REPDA; usos en trámite o irregulares.
• VAPRH: Volumen destinado a reservas, reglamentos o programación hídrica oficial.
• VEAS: Volumen total extraído en un acuífero; refleja la presión sobre el recurso.
• DMA: Disponibilidad media anual de agua subterránea.
• Positivo: hay agua para concesionar.
• Negativo: déficit, no se otorgan más volúmenes
Unidades en hectómetros cúbicos por año (hm³/año)

2.2.7. Relieve

En cuanto a los aspectos naturales del área, podemos mencionar el relieve, el cual presenta diversas formas de terreno, como colinas, mesetas o llanuras, que influyen en actividades humanas como la construcción y el diseño de infraestructuras[3]. Dada su complejidad, es común emplear modelos digitales de terreno para su análisis. Estos modelos permiten identificar elevaciones, medir desniveles y calcular pendientes. La lámina 2.13 representa los valores de nivel agrupados por rangos, lo que facilita la distinción entre zonas altas y bajas y contribuye a comprender la superficie. Al sur (representado en azul), encontramos las zonas más elevadas, con altitudes de hasta 2,324 metros sobre el nivel del

[3] Imasgal. (2032). Análisis de modelos digitales del terreno y superficies. Recuperado de URL de Imasgal.

mar (msnm), mientras que al norte se ubican las áreas más bajas, con niveles de 1,082 msnm. De manera general, la mayor parte de la zona urbanizada se encuentra entre las cotas de 1500 y 1600 msnm.

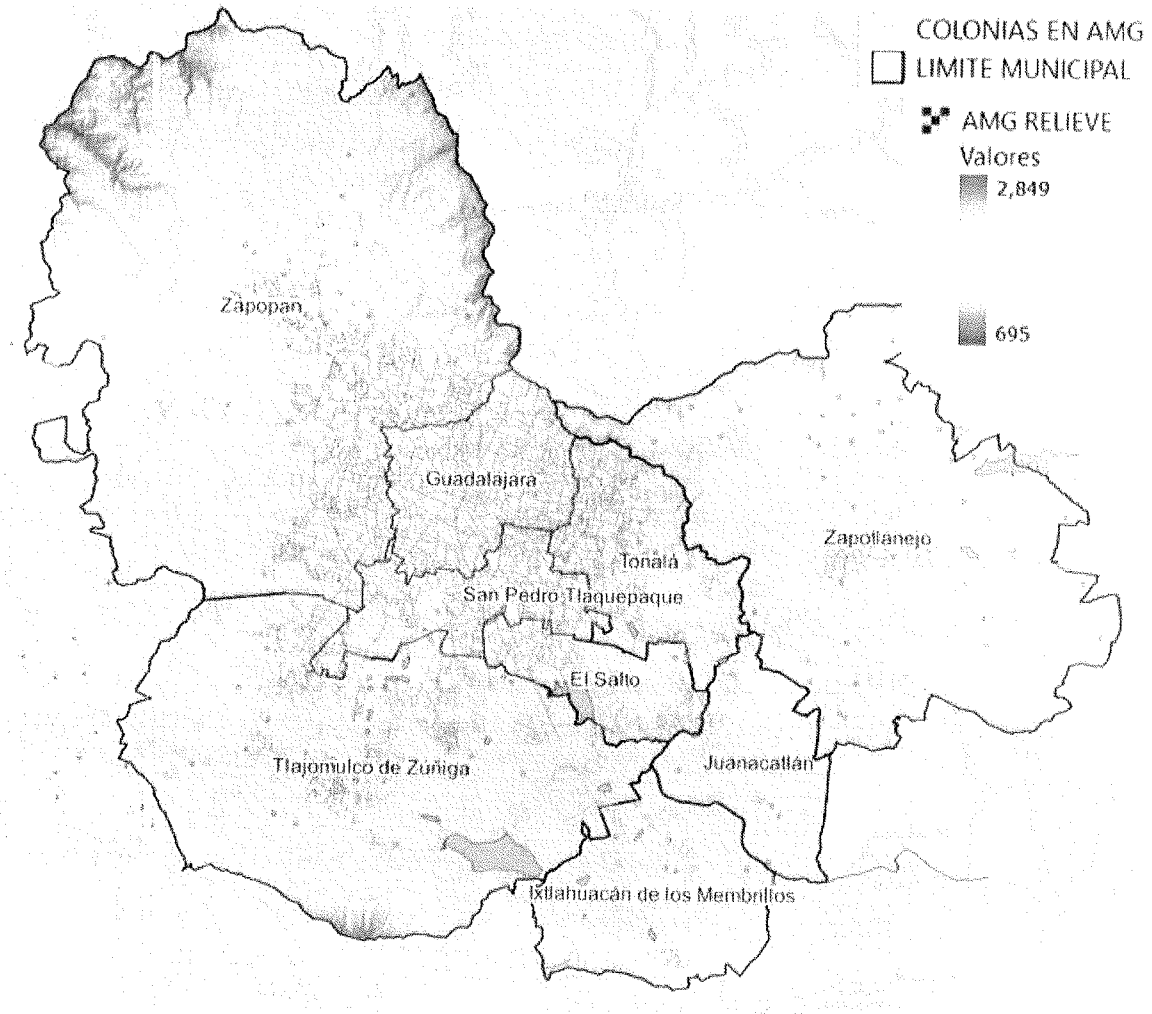


Lámina 2.13 Relieve del AMG (Fuente: Elaboración propia con datos de IMASGAL)

2.2.8. Análisis de Pendientes

Otro aspecto natural que considerar es el análisis de pendientes el cual evalúa la inclinación del terreno respecto a la horizontal en el espacio estudiado. En la lámina 2.14 se aprecia que las principales extensiones de pendientes accidentadas, resaltadas en el gráfico, se encuentran en la parte norte de Zapopan, al poniente de la zona urbanizada del mismo municipio, así como en la zona centro y sur de Tlajomulco de Zúñiga. Además, existen otras zonas de tamaño mediano al sur de Ixtlahuacán de los Membrillos, al este de Juanacatlán y al norte de Zapotlanejo.

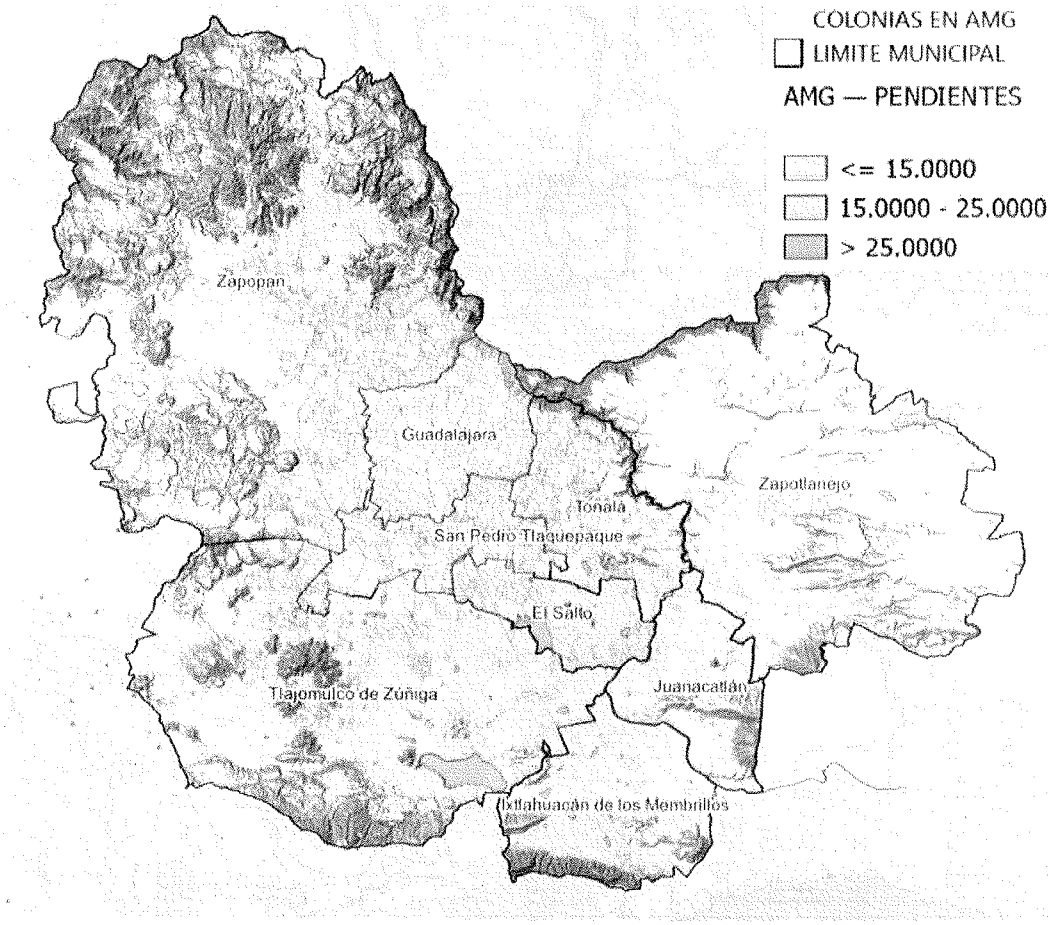


Lámina 2.14 Análisis de Pendientes del AMG (Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI)

Las áreas rojizas con pendientes del 15% al 25% suman 11% del AMG y un 19% se presentan pendientes mayores al 25% limitando la accesibilidad y la urbanización. El 70% restante graficado en color gris tiene pendientes menores al 15% como se observa en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12 Análisis de Pendientes en el AMG

Rango de Pendientes	Superficie (km²)	Porcentaje
0 a 15%	2,292	70%
15 a 25%	350	11%
Mayor a 25%	623	19%

2.2.9 Huella de Ciudad

Para ampliar la visión actual del crecimiento de la ciudad resulta pertinente mirar hacia atrás y reconocer cual ha sido el crecimiento de la ciudad, es decir cuál es la huella que ha dejado su expansión. Con datos del INEGI, el IMEPLAN ha registrado

estos eventos[4] . La lámina 2.15 muestra la huella registrada en 1990 en amarillo, en naranja claro la del año 2000, en naranja oscuro la de 2010 y en rojo la de 2020. La Tabla 2.13 presenta datos sobre esta expansión en hectáreas durante los mismos periodos. En 1990, el área afectada era de 53,834.36 hectáreas, representado como el 100%. Para el año 2000, esta área se incrementó a 69,093.91 hectáreas, marcando un crecimiento del 128.35% con respecto al período anterior. En 2010 y 2020, se amplió a 82,415.07 y 115,329.55 hectáreas respectivamente, con 119.28% y 139.94% en relación con el período anterior. El análisis de este crecimiento proporciona una base para comprender la demanda creciente y los desafíos en la gestión del recurso hídrico en la región.

Tabla 2.13 Superficies Urbanizadas por el Crecimiento del AMG

Afectación por urbanización	Superficie (has)	% Crecimiento con el periodo anterior
1990	53,834.36	100%
2000	69,093.91	128.35%
2010	82,415.07	119.28%
2020	115,329.55	139.94%

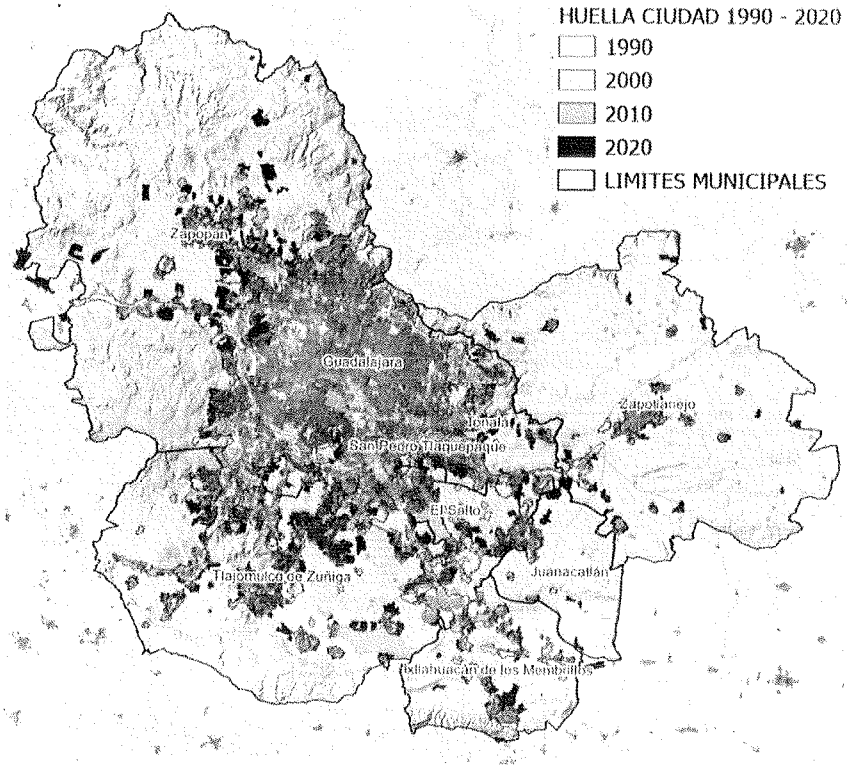


Lámina 2.15 Huella del Crecimiento de las Zonas Urbanizadas en el AMG Fuente: Elaboración propia con datos de Imeplan)

[4] Orozco Ochoa, A., & Shalisko, V. (2015). *Expansión Urbana. Área Metropolitana de Guadalajara. Análisis y Prospectiva 1970 - 2045.* IMEPLAN. Recuperado en octubre 2023

En la siguiente lámina, publicada por IMEPLAN en el POTmet 2024, se muestra el cambio porcentual de población urbana entre 2010 y 2020 en el estado de Jalisco, utilizando una cuadrícula hexagonal para representar espacialmente las variaciones. La simbología temática distingue tres rangos principales: zonas con ganancias (en tonos azules), cambios marginales (en grises) y pérdidas (en rojos).

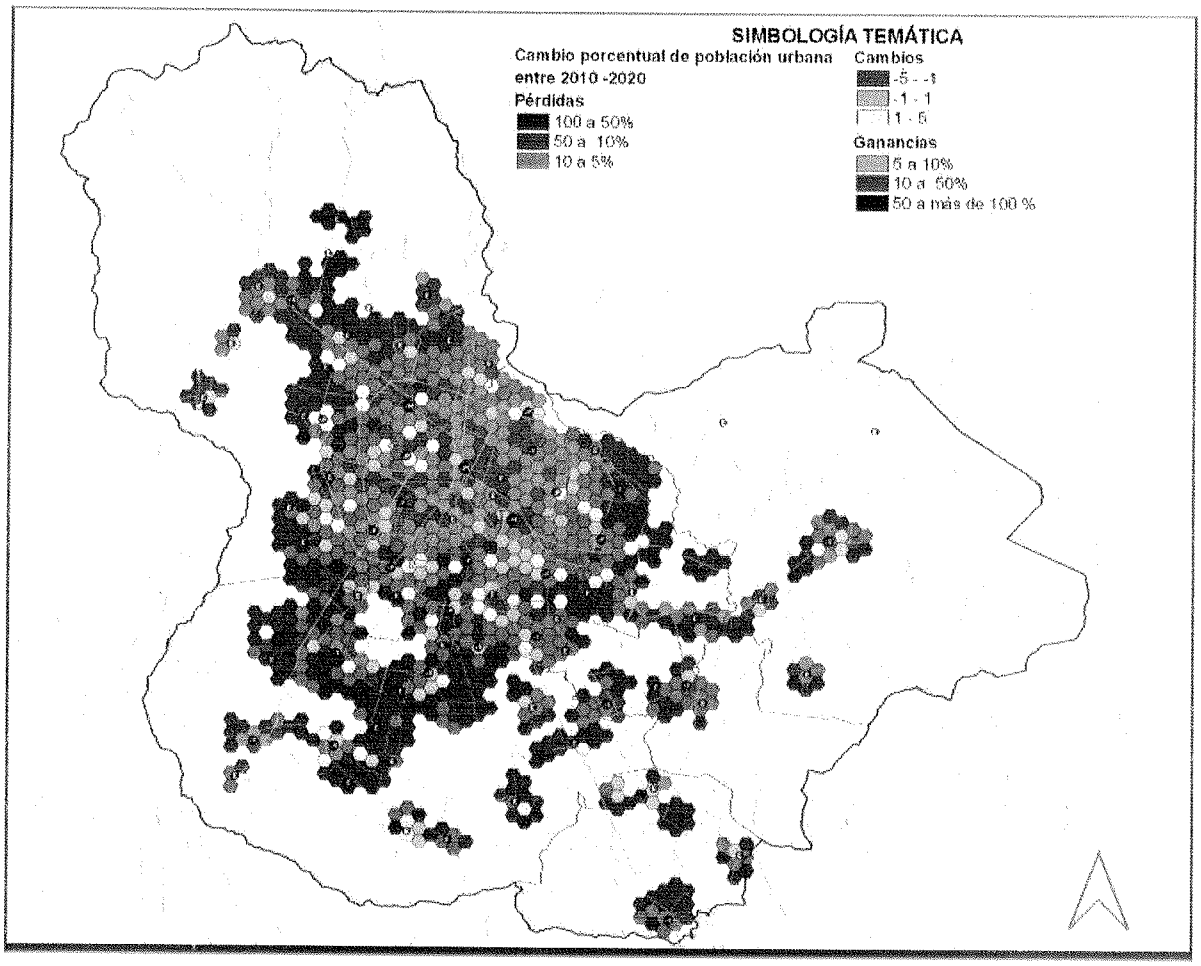


Lámina 2.16. Cambio porcentual de población urbana entre 2010 y 2020 en el estado de Jalisco (Fuente: IMEPLAN)

Las áreas en azul indican crecimiento urbano, con incrementos que van desde el 5% hasta más del 100%, destacando zonas de expansión acelerada. Las celdas grises representan estabilidad o cambios mínimos, entre −5% y +5%, lo que sugiere consolidación o estancamiento. En contraste, los tonos rojos señalan disminuciones significativas en población urbana, con pérdidas que alcanzan hasta el 100%, reflejando procesos de despoblamiento o migración hacia otras zonas metropolitanas.

Este tipo de visualización es esencial para orientar la planeación de infraestructura y servicios públicos, ya que permite identificar dónde se deben priorizar inversiones en movilidad, equipamientos urbanos y, de manera crítica, en sistemas de abastecimiento de agua. Las zonas de crecimiento sostenido demandan nuevas redes hidráulicas, plantas de tratamiento y sistemas de distribución capaces de garantizar el acceso equitativo al recurso. En contraste, las áreas en pérdida poblacional requieren estrategias de reconversión y mantenimiento que eviten infraestructuras sobredimensionadas.

En conjunto, la lectura territorial vinculada al abastecimiento de agua asegura que el desarrollo urbano sea sostenible, equilibrado y resiliente frente a las variaciones demográficas

2.2.10 Escenario Tendencial de Crecimiento

Es igualmente oportuno revisar la huella del pasado como reconocer el escenario tendencial de crecimiento del AMG. La lámina 2.17 muestra en color morado las áreas donde se prevé la nueva expansión para 2045 [5], revelando principalmente su ocurrencia al norte, este y sur del AMG. Es esencialmente una proyección, basada en tendencias históricas y actuales de población, uso del suelo, movilidad, industria y medio ambiente.

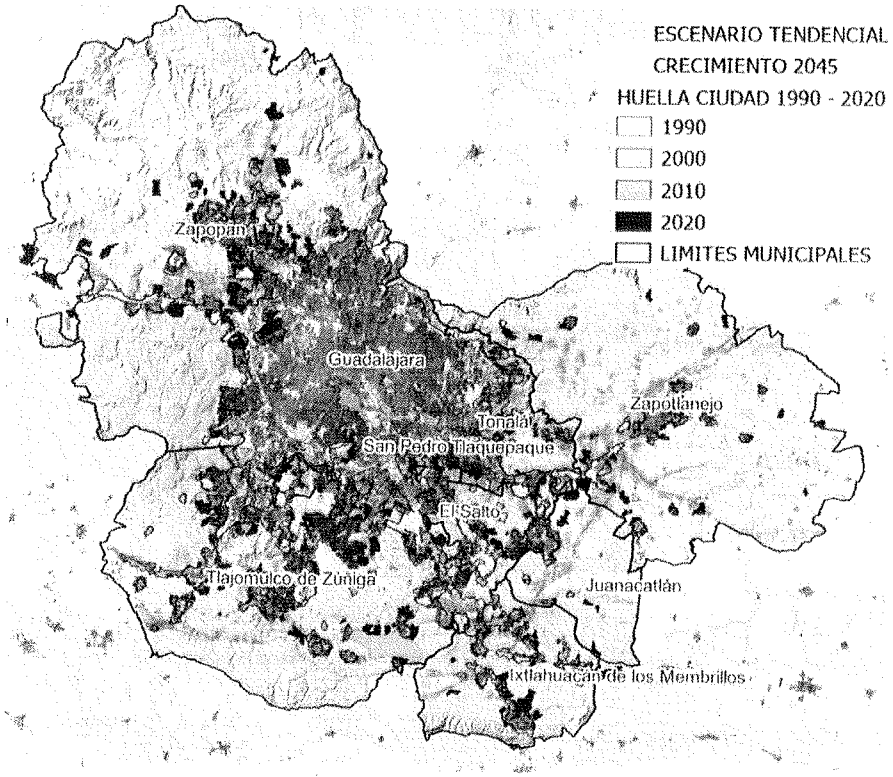


Lámina 2.17 Escenario tendencial 2045 (Fuente: Elaboración propia con datos de Imeplan)

Se estima que para 2045, el AMG se expandirá territorialmente a 1,350 km2, desde los 1,153 km2 de 2020. Esto se puede visualizar en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14 Escenario tendencial de crecimiento

AFECTACION POR URBANIZACION	AREA HAS	% CRECIMIENTO CON EL PERIODO ANTERIOR

[5] Instituto Metropolitano de Planeación (IMEPLAN). (2016). *Plan de Ordenamiento Territorial Metropolitano del Área Metropolitana de Guadalajara (POTmet)*. Recuperado en septiembre 2023, de IMEPLAN[1].

1990	53,834.36	100%
2000	69,093.91	128.35%
2010	82,415.07	119.28%
2020	115,329.55	139.94%
Estimación 2045	134,976.00	117.04%

2.2.11 Utilización de Suelo y Zonificación Primaria

El uso general del suelo es la forma en que se clasifica y regula el territorio según las actividades que se pueden realizar en él. La zonificación primaria es la determinación de las áreas que integran y delimitan un centro de población, según sus características y funciones. Esta determinación se realiza en los Programas de Desarrollo Urbano (PDU) y Parciales (PPDU) de cada municipio, que establecen los usos de suelo permitidos[6].

La determinación de estos usos impacta directamente en la demanda de recursos hídricos. Los componentes de esta zonificación se aprecian en la lámina 2.18 donde en color magenta se aprecian grandes corredores que marcan la tendencia del crecimiento de las zonas de urbanización en el AMG las cuales se presentan hacia la zona sur poniente y suroriente principalmente.

[6] Instituto Metropolitano de Planeación (IMEPLAN). (n.d.). SIGmetro: Sistema de Información y Gestión Metropolitana.

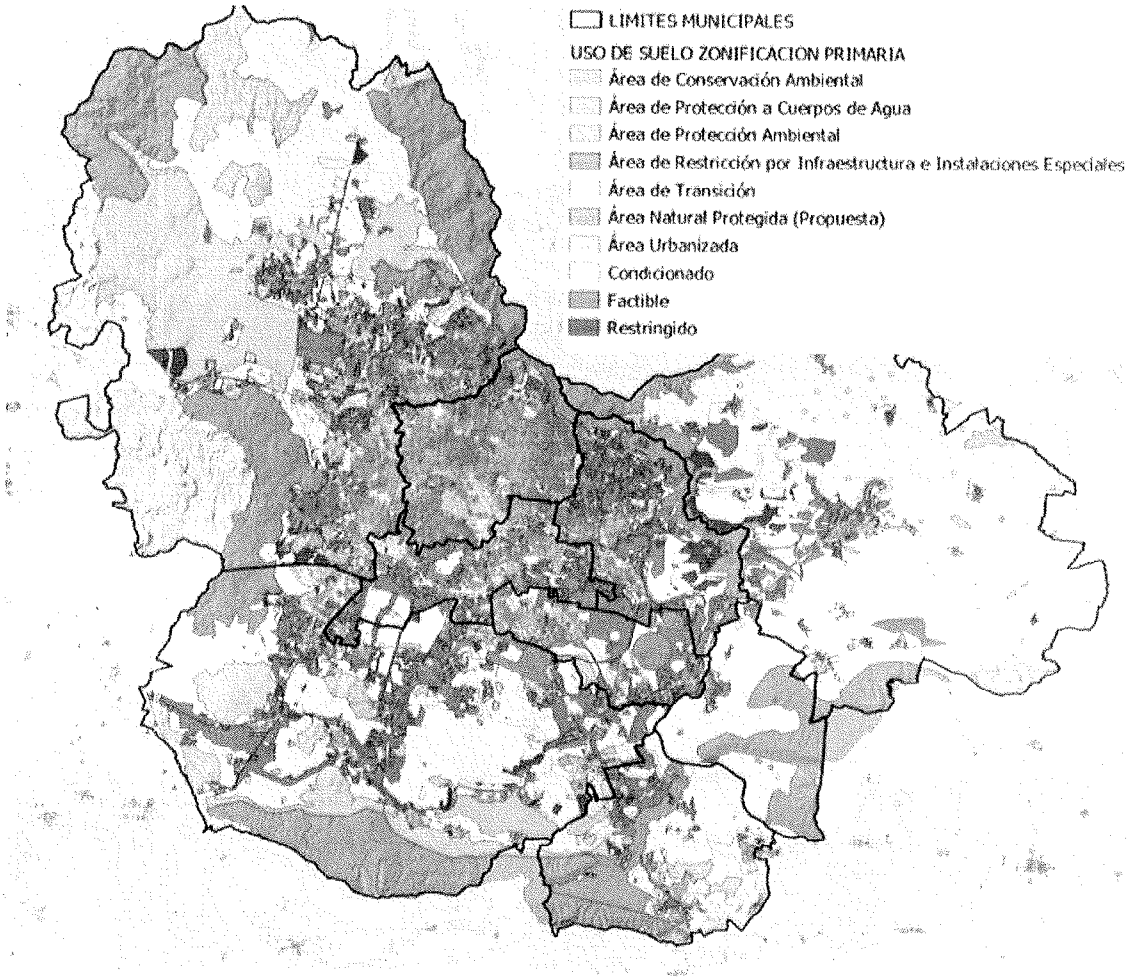


Lámina 2.18 Zonificación primaria del AMG Fuente: Elaboración propia con datos de Imeplan)

Al cuantificar la extensión de esta clasificación podemos mencionar que destacan 1095.3 km2 como Área de Conservación Ambiental lo cual representa el 34%, 35.7 km2 de zonas de Protección a Cuerpos de Agua que equivale apenas al 1% y 351.1 km2 de Áreas de Protección Ambiental que suma el 11%. Se proponen 48.1 km2 para Zonas de Restricción por Infraestructura e Instalaciones Especiales (1%) y 51.7 km2 como Área de Transición (2%). Las Áreas Naturales Protegidas suman 596.5 km2 correspondiente al 18%. Del total, 647.1 km2 están urbanizados (20%), 237.0 km2 son factibles para desarrollo urbano (7%), 171.8 km2 tienen uso condicionado a la actividad humana (5%), y 31.3 km2 están restringidos a la actividad humana (1%). Esto se puede visualizar en la Tabla 2.15

Tabla 2.15 Superficies de Zonificación Primaria del AMG

ZONIFICACION PRIMARIA	Área (km²)	%
Área de Conservación Ambiental	1095.3	34%

Área de Protección a Cuerpos de Agua	35.7	1%
Área de Protección Ambiental	351.1	11%
Área de Restricción por Infraestructura e Instalaciones Especiales	48.1	1%
Área de Transición	51.7	2%
Área Natural Protegida (Propuesta)	596.5	18%
Área Urbanizada	647.1	20%
Factible para Desarrollo urbano	237.0	7%
Uso Condicionado a la Actividad Humana	171.8	5%
Uso Restringido a la Actividad Humana	31.3	1%

La importancia de planear el abasto de agua en este contexto es que el aumento de la población y la expansión urbana generan una mayor demanda de agua potable, que puede superar la oferta disponible y provocar problemas de escasez, contaminación y conflictos por el uso del recurso. Por eso, se necesita una visión futura sobre los mejores aprovechamientos de las concesiones disponibles del agua potable mediante la optimización de la infraestructura para hacer frente al crecimiento poblacional, y además políticas públicas que fomenten la eficiencia, la equidad, la calidad y la sustentabilidad del servicio.

2.2.12 Utilización de Suelo y Macro perspectiva

La macro perspectiva en el uso de suelo del AMG es la visión general y estratégica que se tiene del territorio metropolitano, considerando sus características físicas, sociales, económicas y ambientales, así como sus potencialidades y problemáticas. Sus componentes están basados en los instrumentos de planeación urbana de cada municipio, como los Programas de Desarrollo Urbano (PDU) y Parciales (PPDU). Sus componentes se muestran en la lámina 2.19.

Es importante tener presente que este aspecto busca orientar el desarrollo urbano hacia un modelo de AMG más sostenible, equitativo y competitivo, que respete la diversidad y la identidad de cada municipio y que promueva la integración y la coordinación entre ellos.

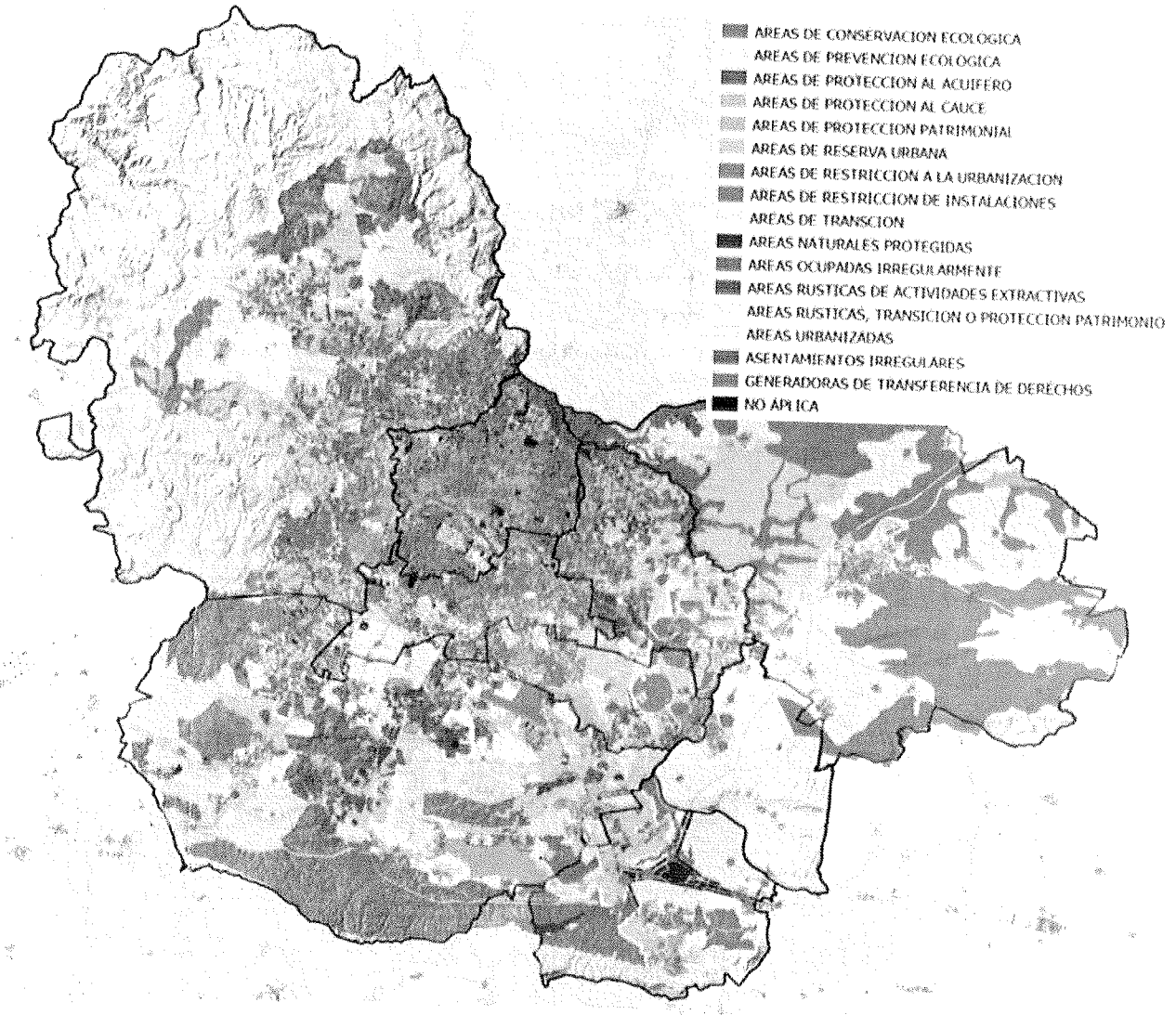


Lámina 2.19 Macro perspectiva en el uso de suelo Fuente: Elaboración propia con datos de Imeplan)

La cuantificación de la extensión de estas superficies se aprecia en la Tabla 2.16 donde resaltan las áreas de conservación ecológica que constituyen el mayor porcentaje del territorio, abarcando un 26% y ocupando 622.03 km2. Le siguen las áreas de reserva urbana, que representan el 19% del área total con 438.06 km2, y las áreas rústicas, de transición o protección patrimonial, que cubren el 18% del territorio con 430.38 km2. Las áreas urbanizadas representan el 17% del área total, abarcando 391.93 km2. Además, las áreas de protección al cauce ocupan el 6% del área total con 135.09 km2. Las áreas de restricción de instalaciones y las áreas naturales protegidas comparten el 4% del territorio, con 44.28 km2 y 88.43 km2, respectivamente. Finalmente, los asentamientos irregulares y las áreas de prevención ecológica ocupan cada uno el 1% del territorio, con 13.45 km2 y 19.88 km2, respectivamente.

Tabla 2.16 Cuantificación en los usos de suelo zonificación secundaria

DESCRIPCIÓN	ÁREA km²	%
Áreas de reserva urbana	438.06	19%
Áreas de transición	127.22	5%
Áreas ocupadas irregularmente	0.13	0%
Áreas urbanizadas	391.93	17%
Áreas rústicas de actividades extractivas	0.37	0%
Áreas de prevención ecológica	19.88	1%
Generadoras de transferencia de derechos	0.19	0%
Asentamientos irregulares	13.45	1%
Áreas de protección patrimonial	4.88	0%
Áreas rústicas, transición o protección patrimonio	430.38	18%
No aplica	37.06	2%
Áreas de protección al cauce	135.09	6%
Áreas de restricción a la urbanización	0.09	0%
Áreas de protección al acuífero	1.09	0%
Áreas de conservación ecológica	622.03	26%
Áreas de restricción de instalaciones	44.28	2%
Áreas naturales protegidas	88.43	4%

2.2.13 Vialidades y Conectividad Urbana

La conectividad vial del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) se considera como el eje estratégico para articular la dinámica urbana, rural y económica de la región. El sistema de transporte y vías de comunicación enlaza centralidades y localidades, permitiendo la movilidad de personas y mercancías, así como el intercambio de bienes y servicios.

Debido a la extensión y posición geográfica del AMG, coinciden varias vialidades de jerarquía regional y primaria, las cuales funcionan como ejes de la movilidad metropolitana.

Este sistema refleja la magnitud y jerarquía de las vías que sostienen la movilidad metropolitana. En total, la red suma 3,204 kilómetros, distribuidos en cuatro tipos principales. La vialidad secundaria concentra la mayor extensión con 1,650 km (51%), lo que evidencia su papel como soporte cotidiano de la movilidad interna y de conexión entre localidades. Le sigue la vialidad primaria, con 945 km (29%), que articula los flujos principales hacia las centralidades urbanas y suburbanas.

La vialidad regional, con 391 km (12%), cumple una función estratégica al vincular el AMG con municipios y zonas rurales de influencia, mientras que la vialidad federal, con 218 km (7%), asegura la conexión con corredores nacionales y rutas de largo alcance.

Por su condición de superficie urbanizada y destino histórico de las principales obras de la ciudad, Guadalajara es el municipio con mayor número de kilómetros lineales de vialidades primarias. Le sigue Zapopan, con una cifra muy similar. Por el contrario,

Ixtlahuacán de los Membrillos es el municipio con menor longitud de vialidades primarias, con apenas 7 km, lo que evidencia su nivel de baja consolidación en términos urbanísticos.

El sistema vial primario estructura la movilidad de la población con alcance metropolitano y conecta la ciudad con el sistema regional de ciudades, por lo que es importante contar con una cobertura mucho más equilibrada y jerarquizada en función de las principales actividades de la ciudad. La estructura vial existente se presenta discontinua, concentrada en la ciudad central y desestructurada en función de las necesidades de movilidad de la población, lo cual significa un reto importante para consolidarla e intensificar equilibradamente su utilización. En la lámina 2.20 se observa gráficamente las vialidades principales de la AMG y en la tabla 2.17 se puede visualizar las longitudes de los tipos de vialidades presentes.

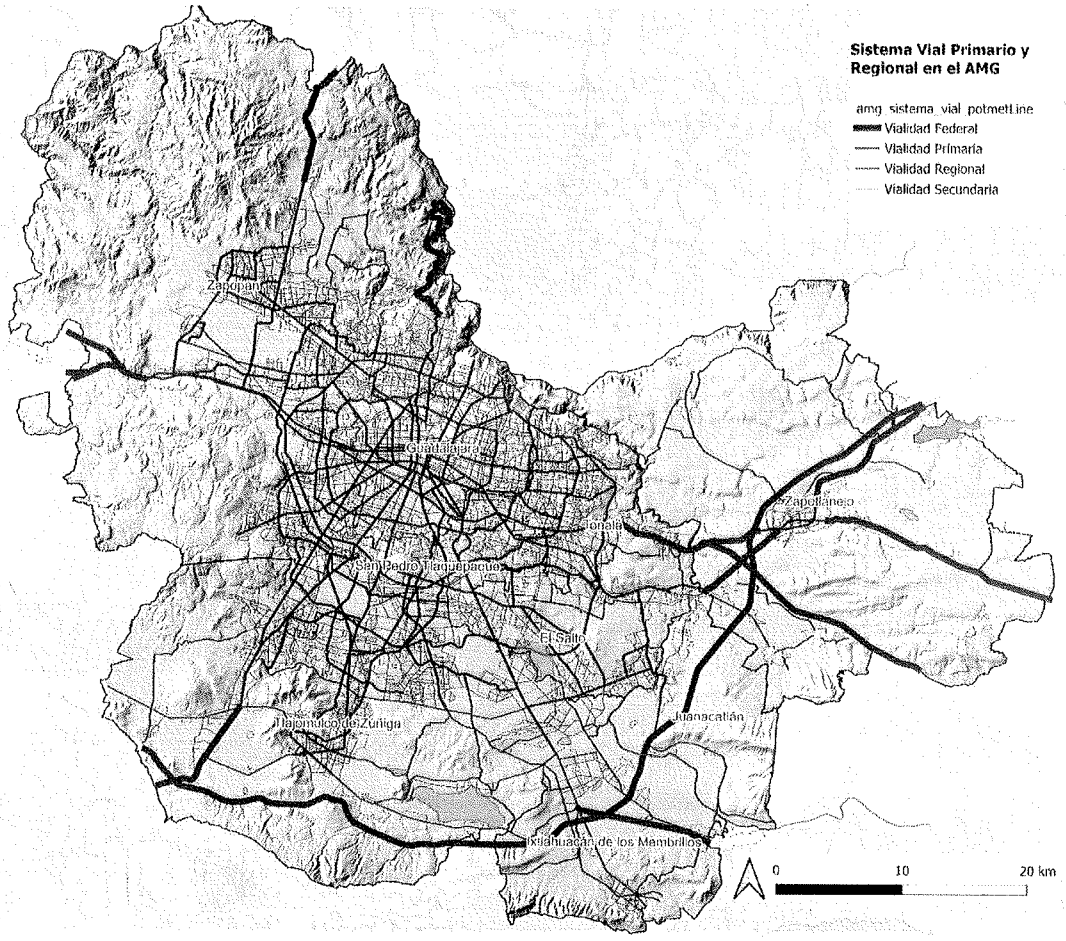


Lámina 2.20 Vialidades principales del AMG (Fuente: Elaboracón propia a partir de datos obtenidos del POTMet, IMEPLAN)

Tabla 2.17 Longitud de vialidades primarias y regionales en el AMG (Fuente: POTMet, IMAPLAN)

SISTEMA VIAL AMG

TIPO	LONGITUD (km)	%
Vialidad Regional	391	12%
Vialidad Secundaria	1650	51%
Vialidad Federal	218	7%
Vialidad Primaria	945	29%
TOTAL	**3,204**	**100%**

Por otro lado, es relevante mencionar que persisten contrastes en esta red: mientras algunas zonas muestran alta integración al continuo urbano, otras presentan baja conectividad, lo que limita su consolidación y genera desigualdades en accesibilidad. En este sentido podemos mencionar que el Sistema Vial Primario Regional muestra la extensión y características de las vialidades en el AMG, diferenciando entre tramos consolidados, existentes y propuestos.

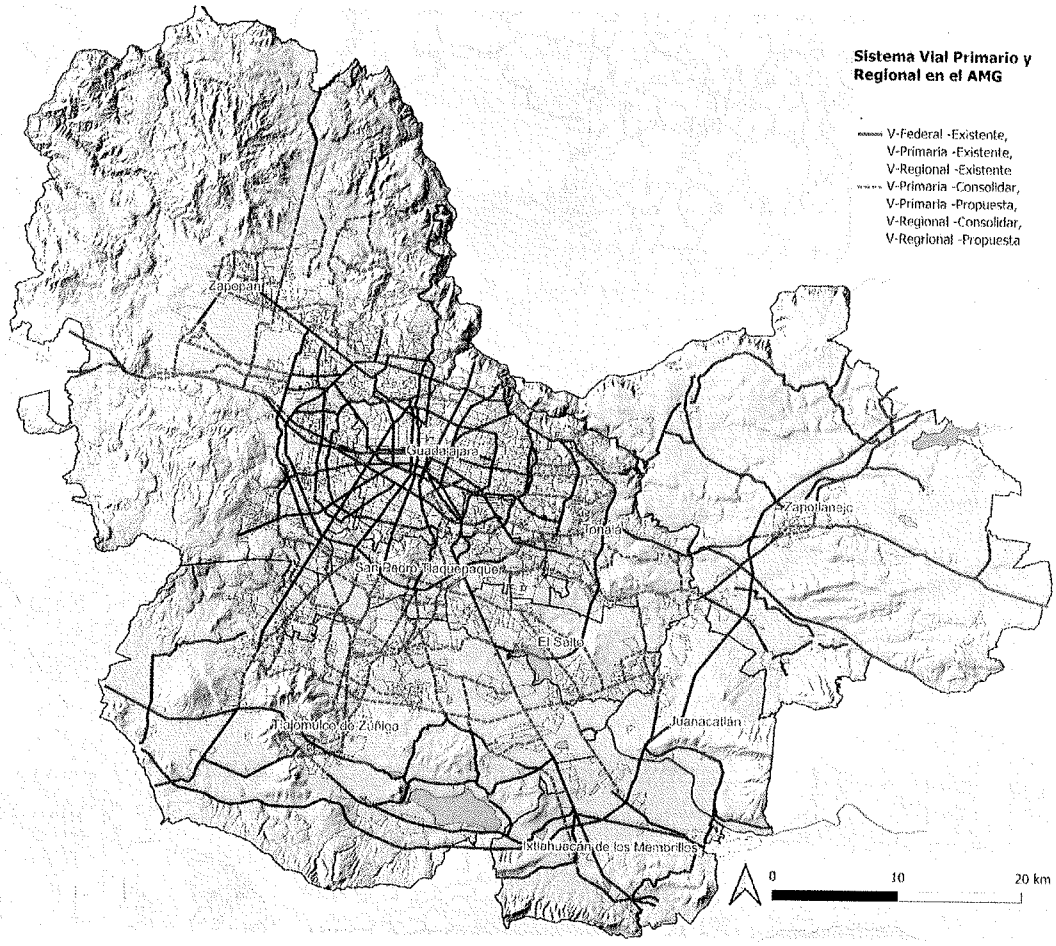


Lámina 2.21 Sistema vial primario y regional en el AMG.

- En el apartado **consolidar**, se registran 78.57 km de vialidad regional, 308.20 km primaria y 576.30 km secundaria, reflejando la necesidad de reforzar su integración.

- En el rubro **existente**, las cifras son mayores: 283.31 km regionales, 473.65 km primarias y 719.43 km secundarias, además de 218.28 km federales, lo que evidencia la base actual de conectividad que sostiene la movilidad metropolitana.
- Finalmente, en el bloque **propuesta**, se contemplan 29.60 km regionales, 163.56 km primarias y 354.74 km secundarias, que representan la expansión planificada para mejorar la cobertura y eficiencia del sistema.

Esta tabla facilita comprender la conectividad vial del AMG.

Tabla 2.18 Sistema vial primario regional del AMG.

Sistema Vial Primario Regional			
Tipo de Vialidad	**Long (Kms)**	**%**	**Característica**
Regional	78.57	30%	Consolidar
Primaria	308.208		
Secundaria	576.302		
Federal	218.286	53%	Existente
Regional	283.316		
Primaria	473.656		
Secundaria	719.435		
Regional	29.604	17%	Propuesta
Primaria	163.565		
Secundaria	354.743		

Este análisis de la conectividad vial no solo orienta la movilidad territorial, sino que también permite identificar zonas prioritarias para el impulso de infraestructura básica, como el abastecimiento de agua. Las vialidades regionales y secundarias, al vincular áreas rurales y suburbanas con el continuo urbano, facilitan la localización y operación de redes hidráulicas, plantas de tratamiento y sistemas de distribución. En zonas con baja conectividad, reforzar la infraestructura vial puede ser el primer paso para garantizar el acceso equitativo a servicios hídricos, especialmente en contextos de expansión urbana o déficit histórico. Así, la planeación vial se convierte en una herramienta clave para articular movilidad, habitabilidad y sostenibilidad hídrica.

Las mejores condiciones de conectividad regional se presentan hacia el sur-suroriente de la ciudad, justo donde es más evidente la dispersión urbana de los últimos años. Esto nos dice que la conectividad vial es un detonador del crecimiento urbano, por lo que la dotación de infraestructura vial (primaria y regional), debe utilizarse como orientador del crecimiento de la ciudad; siempre debe ir acompañada de estrategias puntuales de consolidación urbana para evitar el fenómeno de dispersión. Sin duda, los instrumentos de planeación urbana municipal serán aliados importantes en la búsqueda de tales objetivos.

La lámina 2.22 muestra el grado de conectividad del área metropolitana de Guadalajara en donde el color rojo muestra las zonas con mayor conectividad y el color azul con menor conectividad.

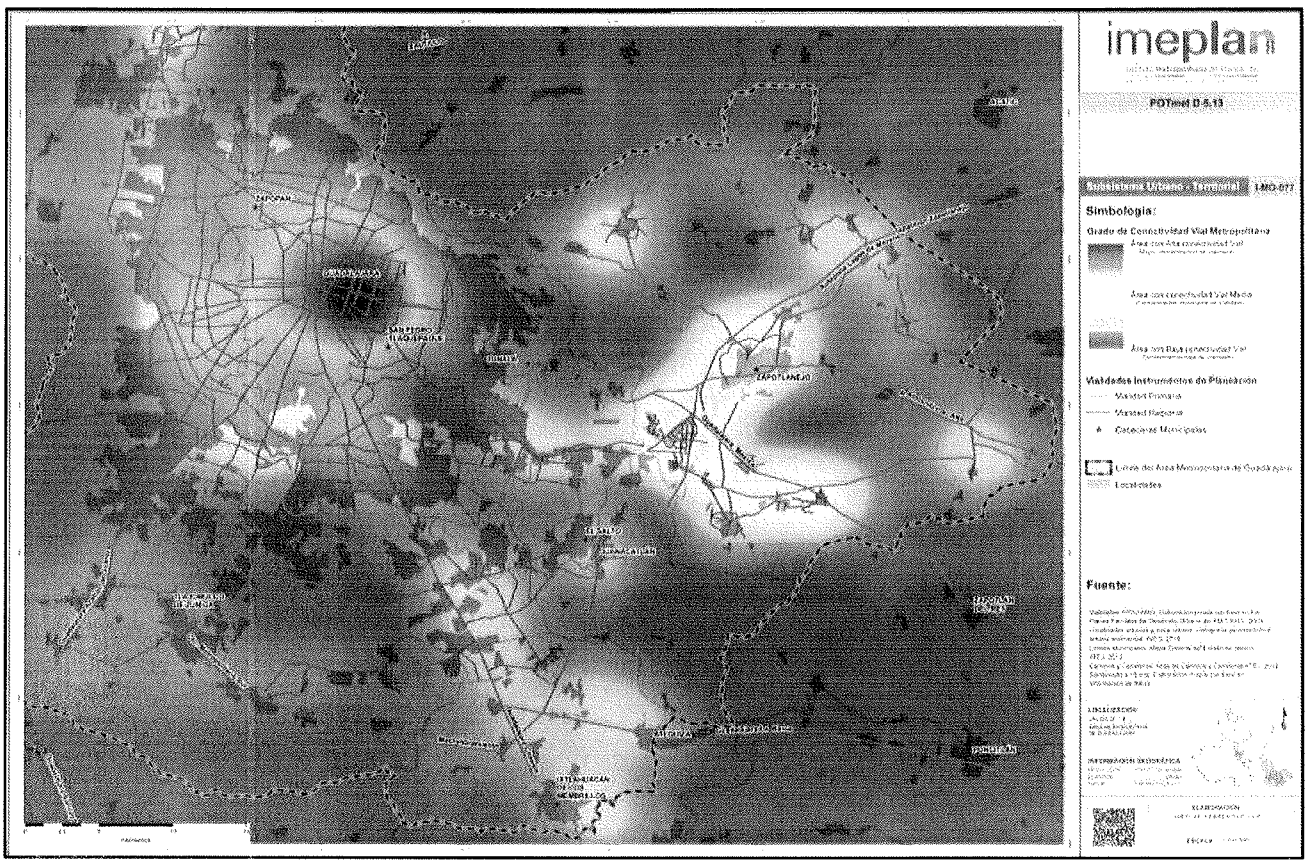


Lámina 2.22 Grado de conectividad del AMG (Fuente: POTMet, IMEPLAN 2016)

La red ferroviaria de cercanías en el AMG tiene una longitud de 1,472 km y cruza 6 municipios. Los municipios con mayor longitud de esta red son Tlajomulco de Zúñiga con 38.8 km y Zapopan con 27.1 km. Lo anterior se puede visualizar en la Lámina 2.20 y se debe a la conexión con el puerto de Manzanillo, al Norte con punto final Nogales, Sonora y al Sur con la ciudad de México.

Por su parte, el aeropuerto de Guadalajara se encuentra a 17 kilómetros al sur de la ciudad y a 15 kilómetros al norte de Chapala. Ofrece 836 frecuencias semanales a 48 destinos: 26 nacionales, 21 a Estados Unidos y Ciudad de Panamá. En diciembre de 2015 se transportaron a 616.6 miles de pasajeros. Se puede observar la ubicación del Aeropuerto en la lámina 2.20 el cual se ubica en el Municipio de Tlajomulco de Zúniga. Es importante mencionar que actualmente el Aeropuerto cuenta con planes de crecimiento.

En el AMG existen 4 terminales de autobús. La más grande y de mayor movimiento es la Nueva Central Camionera, ubicada en San Pedro Tlaquepaque. Este municipio también cuenta con la Central Tlaquepaque que ofrece, principalmente, salidas hacia el sur del Estado. En Zapopan se encuentra la Central Zapopan, al cruce de Av. Vallarta y Av. Aviación, la cual sirve

principalmente a las rutas de Puerto Vallarta y el Noroeste del país. En el centro de Guadalajara aún funciona la Central Vieja, la cual da servicio a localidades cercanas al AMG.

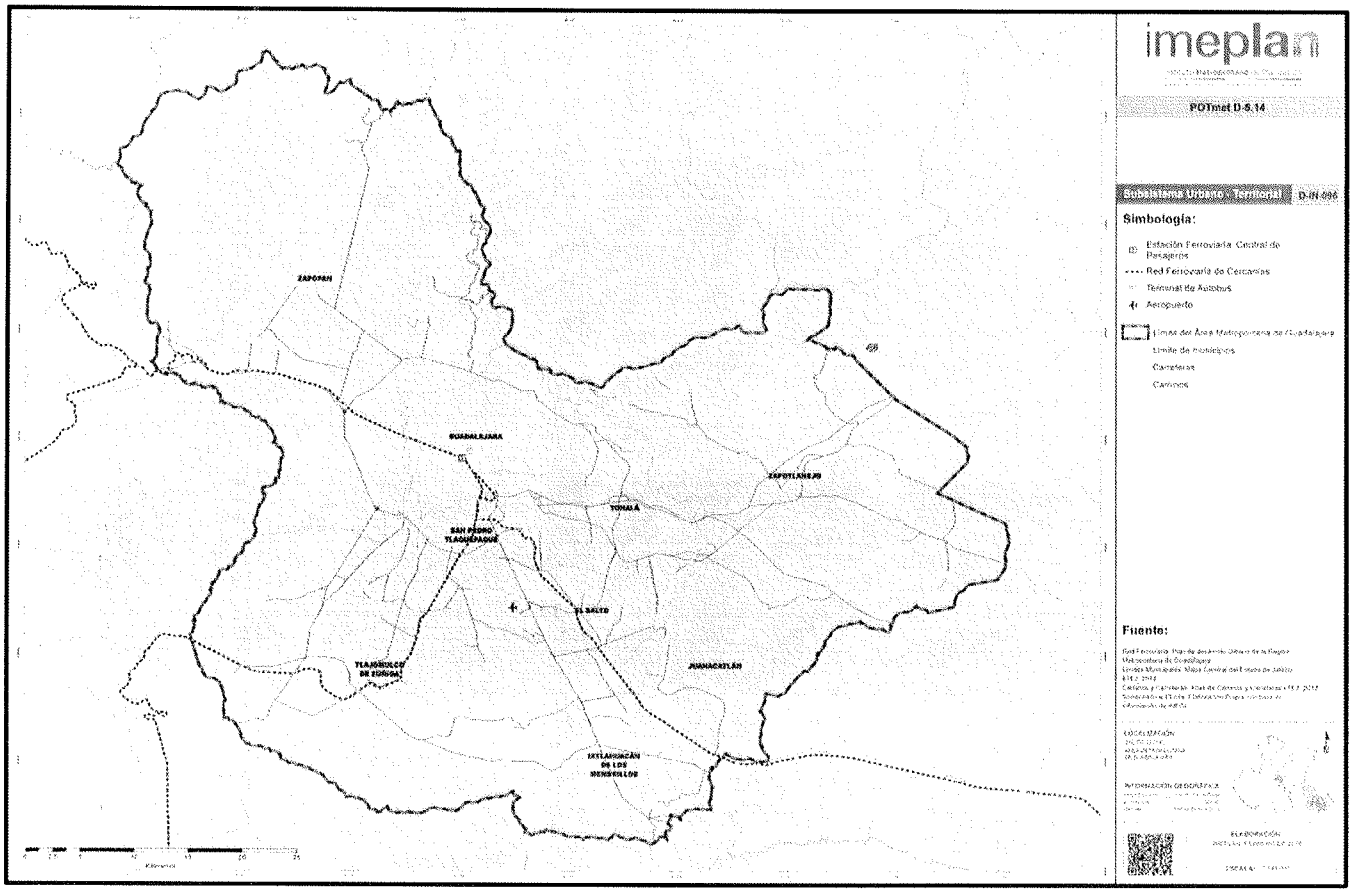


Lámina 2.23 Vías férreas, aeropuertos y terminales (Fuente: POTMet, IMEPLAN 2016)

La superficie de cobertura de transporte público colectivo y masivo para el área urbana del AMG es de 53,031 ha. Zapopan concentra la mayor superficie cubierta cuenta con 16,281 ha, sin embargo, esto apenas representa el 74% de su territorio. Guadalajara es el municipio con mayor porcentaje cubierto de acuerdo con su superficie urbana, con el 99%. Por su parte, Ixtlahuacán de los Membrillos y Juanacatlán son los que menor porcentaje y superficie tienen con cobertura de transporte público en su área urbana, con 7 y 25%, respectivamente. Los datos anteriores se muestran en la lámina 2.24 y la tabla 2.19.

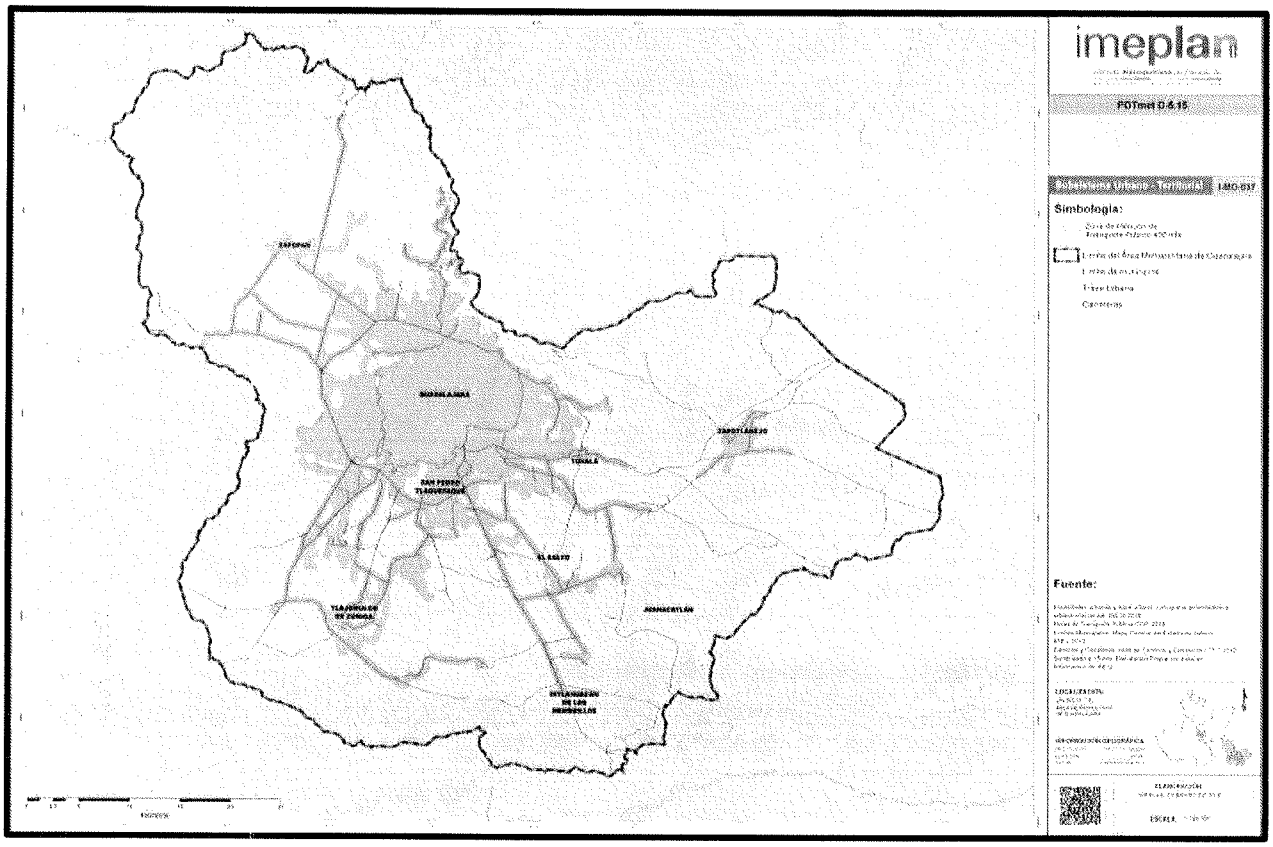


Lámina 2.24 Cobertura de transporte público del AMG (Fuente: POTMet, IMEPLAN 2016)

Tabla 2.19 Cobertura de transporte público en el AMG (fuente: POTMet, IMEPLAN 2016)

COBERTURA DE TRANSPORTE PUBLICO EN EL AMG EN HECTÁREAS.			
MUNICIPIO	CON COBERTURA	SIN COBERTURA	PORCENTAJE DE COBERTURA
Guadalajara	13,646	169	99%
San Pedro Tlaquepaque	7,606	963	89%
Tonalá	5,356	1,368	80%
Zapopan	16,281	5,848	74%
El Salto	2,948	1,456	67%
Tlajomulco de Zúñiga	5,909	5,802	50%
Zapotlanejo	1,004	1,279	44%
Juanacatlán	108	324	25%
Ixtlahuacán de los Membrillos	172	2,223	7%

2.2.14. Aspectos sociales y económicos

La dinámica de urbanización expansiva y dispersa a lo largo de los 9 territorios municipales que conforman el AMG, se ha distinguido por ser socialmente excluyente y por impactar negativamente sobre la dinámica económica del conjunto metropolitano. Las dinámicas poblacionales observadas al interior del AMG, mismas que derivaron en un crítico despoblamiento de su municipio central y el acelerado poblamiento del resto de los territorios municipales, particularmente los ubicados en su periferia, favorecieron la proliferación de asentamientos de origen irregular y de los más diversos fenómenos como la pobreza y marginación social.

Las dinámicas poblacionales observadas al interior del AMG, mismas que derivaron en un crítico despoblamiento de su municipio central y el acelerado poblamiento del resto de los territorios municipales, particularmente los ubicados en su periferia, favorecieron la proliferación de asentamientos de origen irregular y de los más diversos fenómenos como la pobreza y marginación social.

2.2.14.1. Intensidad migratoria

El estado de Jalisco tiene una añeja tradición migratoria a Estados Unidos que se remonta hacia los finales del siglo XIX. Se estima que 1.4 millones de personas nacidas en Jalisco habitan en Estados Unidos y que alrededor de 2.6 millones de personas nacidas en aquel país son hijos de padres jaliscienses. Según el índice de intensidad migratoria calculado por Consejo Nacional de Población (CONAPO) con datos del censo de población de 2020 del INEGI, Jalisco tiene un grado alto de intensidad migratoria, y tiene el lugar decimotercero entre las entidades federativas del país con mayor intensidad migratoria.

Conforme a datos del Censo de 2020, el 0.9% de la población residente del AMG son extranjeros, es decir, 43 mil 932 habitantes; de ellos, 24 mil 520 personas nacieron en Estados Unidos de América (0.5%) y 19 mil 412 en otros países (0.4%). Asimismo, destaca que el 13.6% de la población de los municipios de esta Área Metropolitana, eran migrantes de otras entidades federativas del país. Lo anterior se puede visualizar en la Figura 2.3

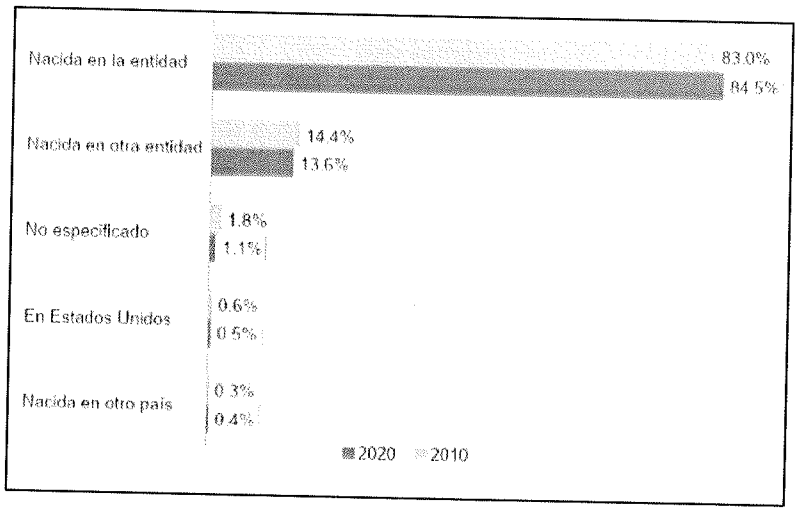


Figura 2.3 Porcentaje de población del Área Metropolitana de Guadalajara por lugar de nacimiento en el AMG (Análisis General del Área Metropolitana de Guadalajara, IIEG, 2020)

Es importante mencionar que el censo del 2020 captó las causas por las que las personas deciden migrar. Entre las principales, dentro del Área Metropolitana de Guadalajara el 36.2% señaló que migró para reunirse con la familia, el 12.7% por un cambio u oferta de trabajo y el 10.7% para buscar trabajo. Destaca que el 3.2% lo hizo por inseguridad delictiva o violencia y el 6.9% para estudiar. Estos datos se muestran en la Figura 2.4

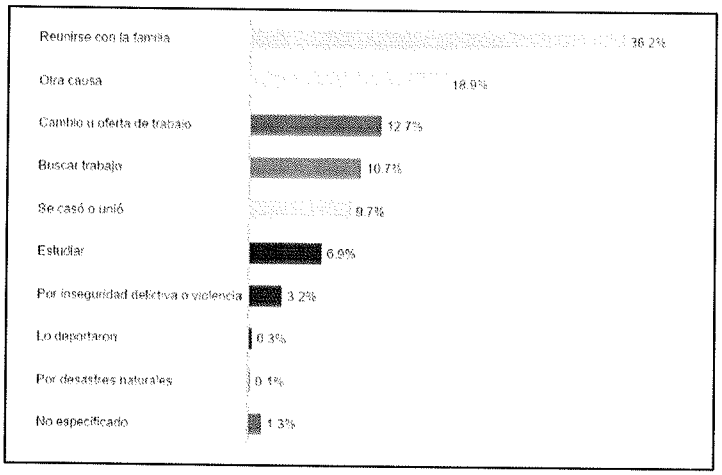


Figura 2.4 Porcentaje de población de 5 años y más migrante según causa de la migración en el AMG (Fuente: Análisis General del Área Metropolitana de Guadalajara, IIEG, 2020)

2.2.14.2. Educación

En 2020 el 98.0% de la población del Área Metropolitana de Guadalajara de 15 años y más se encontraba alfabetizada, un 98.1% de los hombres y 97.8% de las mujeres. Entre 2010 y 2020, la tasa de alfabetización en el Área Metropolitana se incrementó en un 1.2%, un 1.0% para los hombres y un 1.4% entre las mujeres de 15 años y más. A lo largo de esa década, estas últimas pasaron de 96.5% a 97.8% de la población femenina adulta en esa condición. Esto se muestra en la Figura 2.5 y revela un paso para igualdad de género.

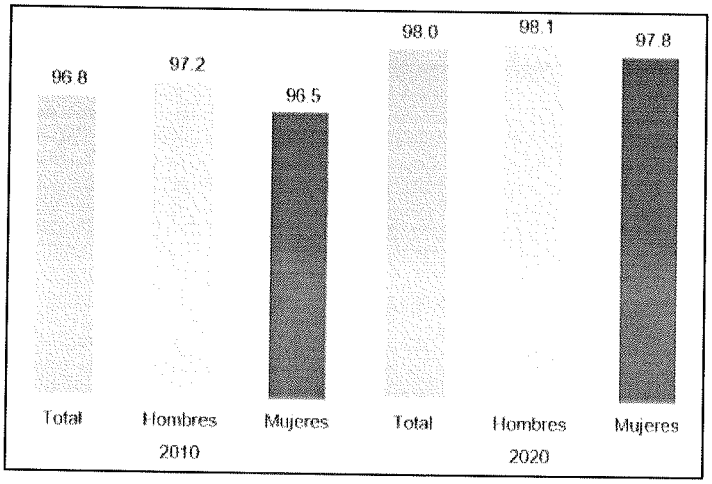


Figura 2.5 Tasas de alfabetización de la población de 15 años y más según sexo, en el AMG (Fuente: Análisis General del Área Metropolitana de Guadalajara, IIEG, 2020)

Por su parte, en el período 2010-2020, el promedio de escolaridad de la población de 15 años y más en el AMG se incrementó en todos los municipios. De acuerdo con los resultados del Censo 2020, Zapopan es el municipio con mayor grado promedio de escolaridad, con 11.5 años aprobados, esto es, el equivalente a dos años de bachillerato, un 10.5% más que el reportado en 2010, cuando era de 10.4 años. En el otro extremo, el municipio con menor grado promedio de escolaridad de esta Área Metropolitana es Zapotlanejo, con 7.9 años; quien registró un incremento del 18.4% en este indicador, respecto al reportado en 2010 que fue de 6.6 años. Lo anterior se muestra en la Figura 2.6.

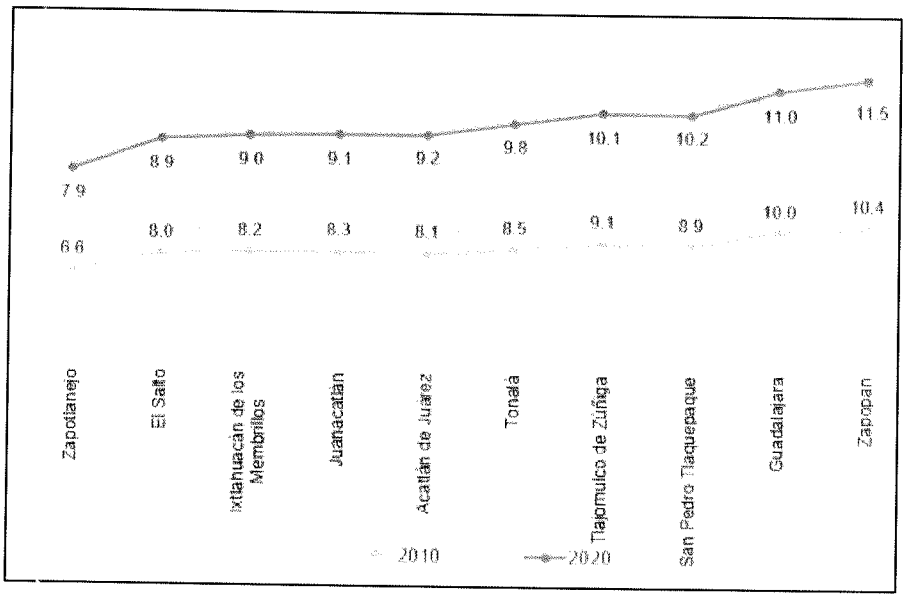


Figura 2.6 Grado promedio de escolaridad por municipio en el AMG
(Fuente: Análisis General del Área Metropolitana de Guadalajara, IIEG, 2020)

2.2.14.3. Marginación

La construcción del índice para las entidades federativas, regiones y municipios considera cuatro dimensiones estructurales de la marginación: falta de acceso a la educación (población analfabeta de 15 años o más y población sin primaria completa de 15 años o más), residencia en viviendas inadecuadas (sin disponibilidad de agua entubada, sin drenaje ni servicio sanitario exclusivo, con piso de tierra, sin disponibilidad de energía eléctrica y con algún nivel de hacinamiento), percepción de ingresos monetarios insuficientes (ingresos hasta 2 salarios mínimos) y residir en localidades pequeñas con menos de 5 mil habitantes.

Dentro de las áreas urbanas existe una gran marginación. De acuerdo con el INEGI, en las áreas urbanas existen 13,356 zonas que tienen un alto y muy alto grado de marginación, lo que representa un 18% de las áreas urbanas en su totalidad. Con respecto a las localidades rurales, el INEGI establece que, de las 859 localidades, existen 268 que tienen el mismo grado de marginación y se ubican principalmente en la periferia de la mancha urbana. Lo anterior se puede apreciar en la lámina 2.25.

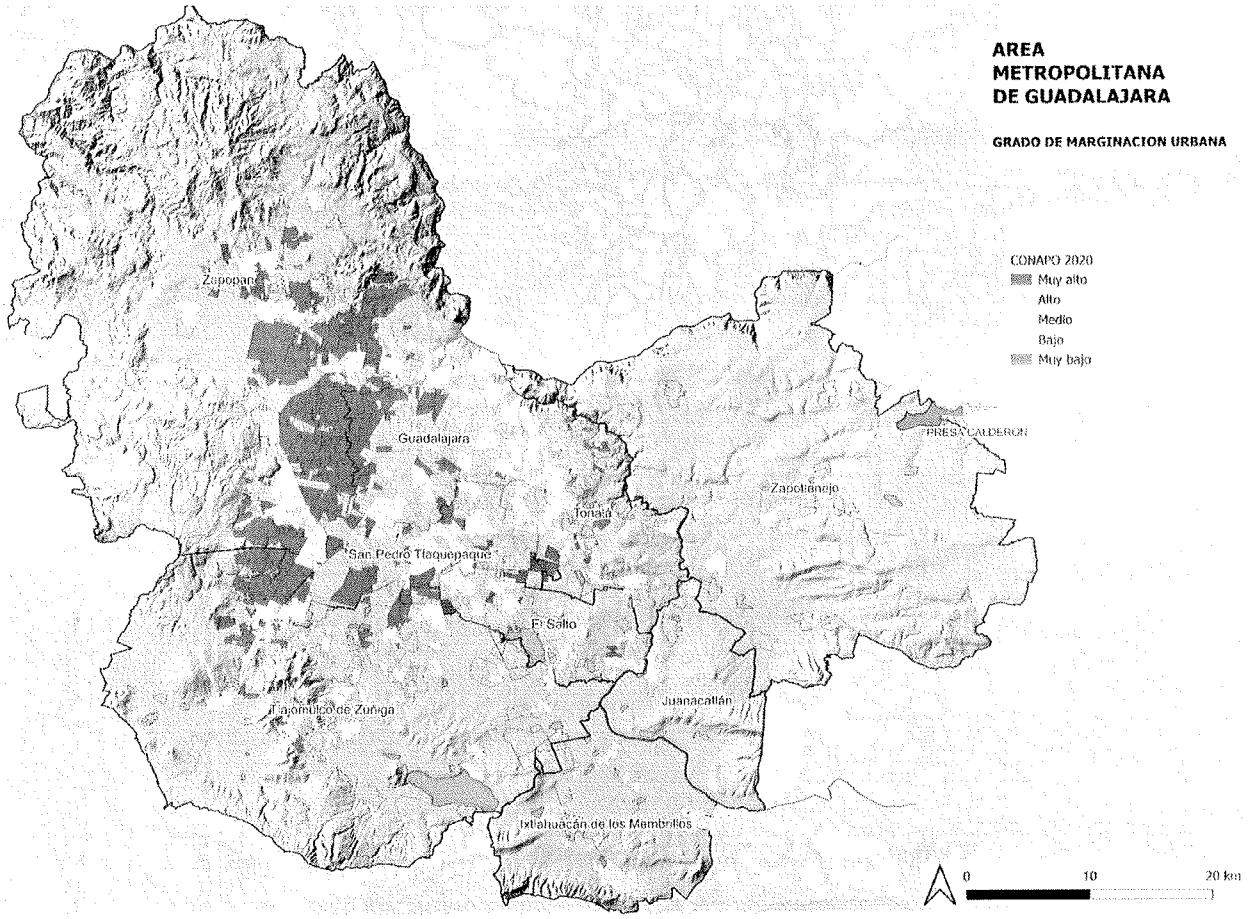


Lámina 2.25 Grado de marginación del AMG (Elaboración propia con datos de la plataforma SIGMetro, IMEPLAN)

2.2.14.4. Índice de Suficiencia de Servicios Básicos

La capa denominada Índice de Suficiencia de Servicios Básicos forma parte de los indicadores metropolitanos que IMEPLAN utiliza para evaluar condiciones de habitabilidad y planeación urbana en el Área Metropolitana de Guadalajara. La información refleja la cobertura de: agua potable, drenaje, electricidad y pavimentación. Su propósito es mostrar qué tan bien están distribuidos estos servicios en relación con la población y el suelo urbano, permitiendo identificar áreas con suficiencia o carencia. En la lámina 2.26 podemos observar geográficamente el comportamiento en el AMG.

En síntesis, esta capa es un indicador espacial de la suficiencia de servicios básicos en el AMG, útil para identificar desigualdades territoriales y orientar políticas de planeación permitiendo visualizar contrastes entre zonas consolidadas y áreas con rezago.

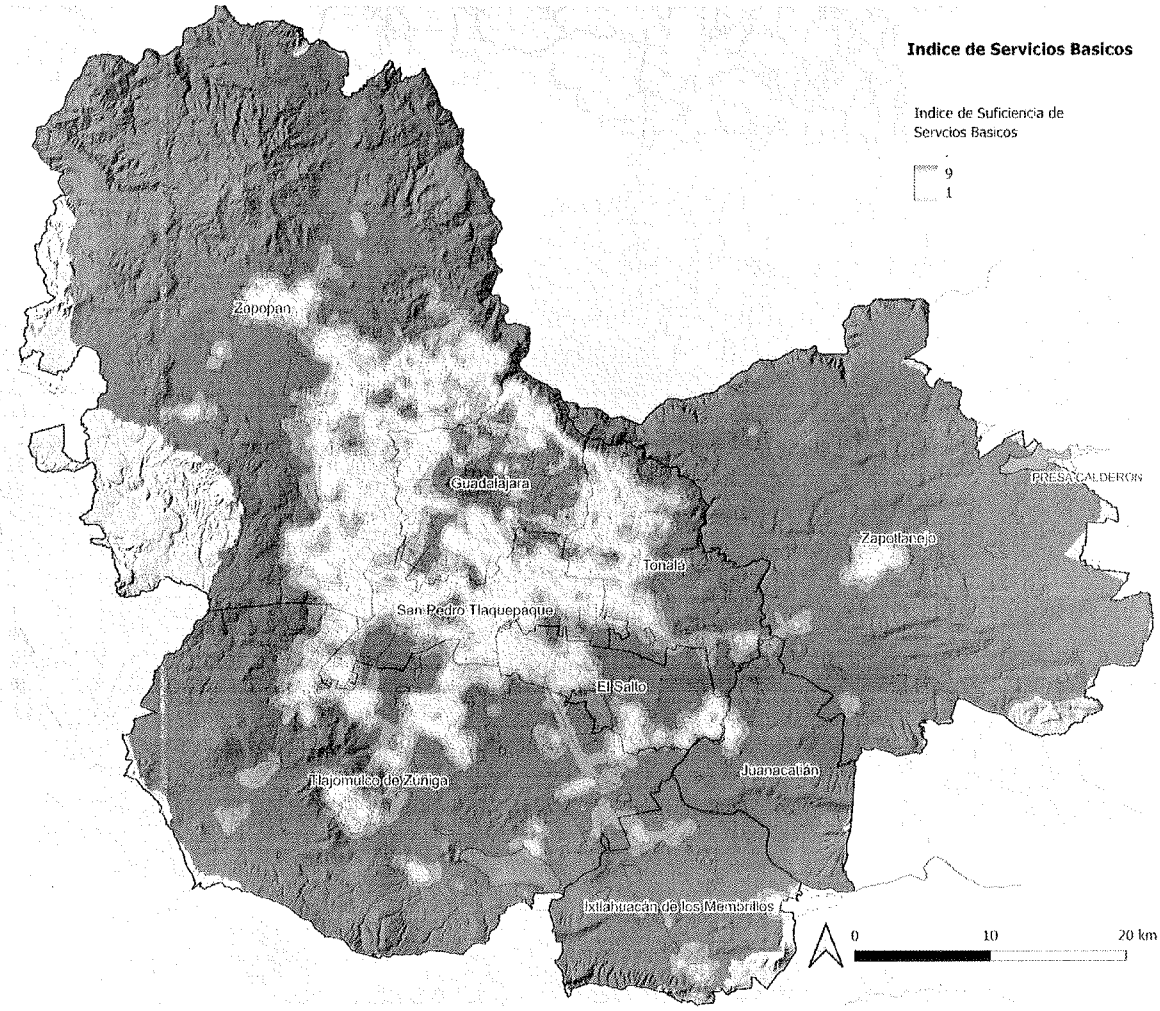


Lámina 2.26 Índice de servicios básicos (c Elaboración propia con datos de la plataforma SIGMetro, IMEPLAN)

Los valores altos son zonas con buena cobertura y acceso a servicios básicos; valores bajos son zonas con déficit, carencias o insuficiencia de servicios. La distribución espacial del índice en el AMG muestra contrastes significativos: las áreas con mayor suficiencia se concentran en superficies reducidas, mientras que las zonas con menor cobertura abarcan extensiones mucho más amplias. Según los datos, únicamente 6 km² alcanzan un valor de 9, mientras que 57 km² se ubican en el nivel 8 y 71 km²

en el nivel 7. Conforme disminuye la suficiencia, la superficie aumenta: 89 km² en nivel 6, 99 km² en nivel 5, 126 km² en nivel 4 y 143 km² en nivel 3. Las áreas con valores más bajos son las más extensas: 236 km² en nivel 2 y 2,378 km² en nivel 1.

2.2.14.5. Vivienda

Respecto a la disponibilidad de bienes y tecnologías de la información y de la comunicación en las viviendas del Área Metropolitana de Guadalajara, conforme a los resultados del Censo 2020, el 94.4% de las viviendas particulares habitadas disponían de televisión, 94.4% de refrigerador, 93.7% de teléfono celular, 66.6% contaban con internet, 55.3% con automóvil o camioneta y el 48.6% tenían computadora.

Entre 2010 y 2020 la proporción de viviendas con acceso a internet se incrementó en un 104.2%, el porcentaje de las que tenían computadora creció 15.8% y los de teléfono celular un 15.3%. Esta información se muestra en la Figura 2.7

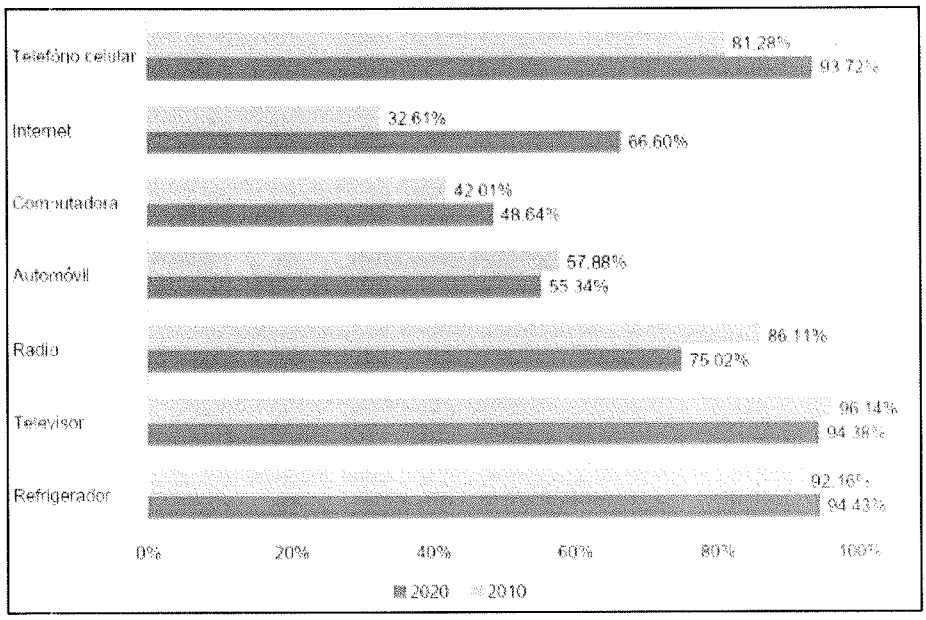


Figura 2.7 Porcentaje de viviendas particulares habitadas según disponibilidad de bienes y tecnologías de la información y de la comunicación (Fuente: Análisis General del Área Metropolitana de Guadalajara, IIEG, 2020)

2.2.14.5. Producción Bruta Total

De acuerdo con información de Censos Económicos de INEGI, en el Área Metropolitana de Guadalajara, Guadalajara se

ha mantenido como el municipio con la mayor producción bruta total, sin embargo, su participación porcentual respecto al total del área metropolitana ha disminuido de manera continua, cayendo de 45.7% en 2003 a 36.1% en 2018. Zapopan se mantiene como el segundo municipio con valor contribución a la producción bruta total, pasando de 25.3% en 2003 a 27.1% en 2018.

Por otra parte, los municipios que han ganado una mayor participación han sido San Pedro Tlaquepaque, que aumentó de 5.9% en 2003 a 11.0% en 2018, un incremento de 5.1 puntos porcentuales y Tlajomulco de Zúñiga, que aumentó de 6.8% en 2003 a 10.0% en 2018, un incremento de 3.2 puntos. Lo anterior se muestra en la Figura 2.8

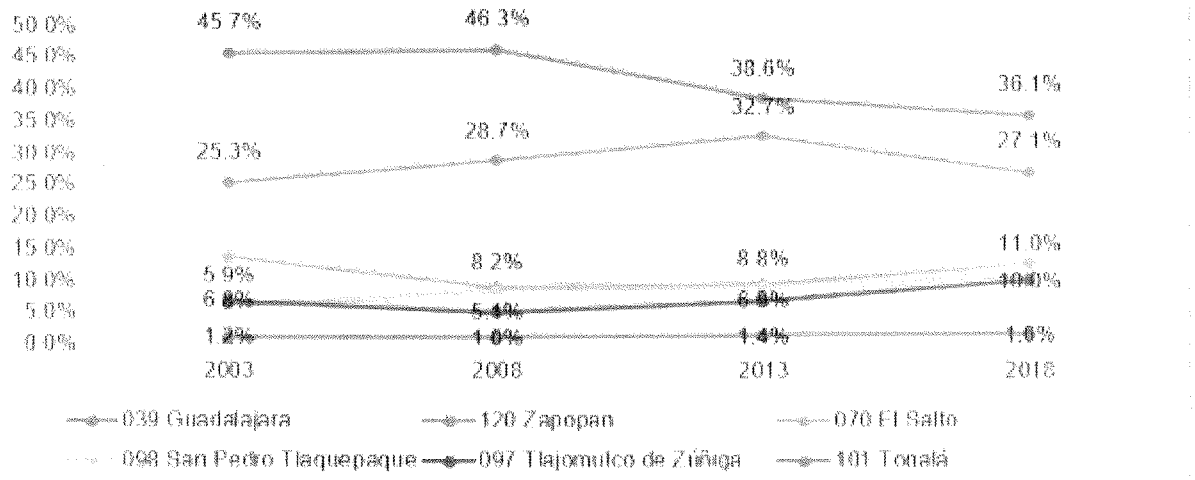


Figura 2.8 Distribución porcentual de la Producción Bruta Total de los municipios centrales del Área Metropolitana de Guadalajara por municipio, 2003-2018 (Fuente: Análisis General del Área Metropolitana de Guadalajara, IIEG, 2020)

A pesos corrientes, el municipio de Guadalajara tuvo el mayor incremento en la PRODUCCIÓN BRUTA TOTAL en términos absolutos de 186,071 millones de pesos en 5 años de 2013 a 2018, Zapopan el segundo con 118,247 mdp, y El Salto el tercero con 90,224 mdp. En total, el Área Metropolitana de Guadalajara creció 97.1% en términos nominales en 5 años, con 555,674 millones de pesos. Ver Figura 2.9.

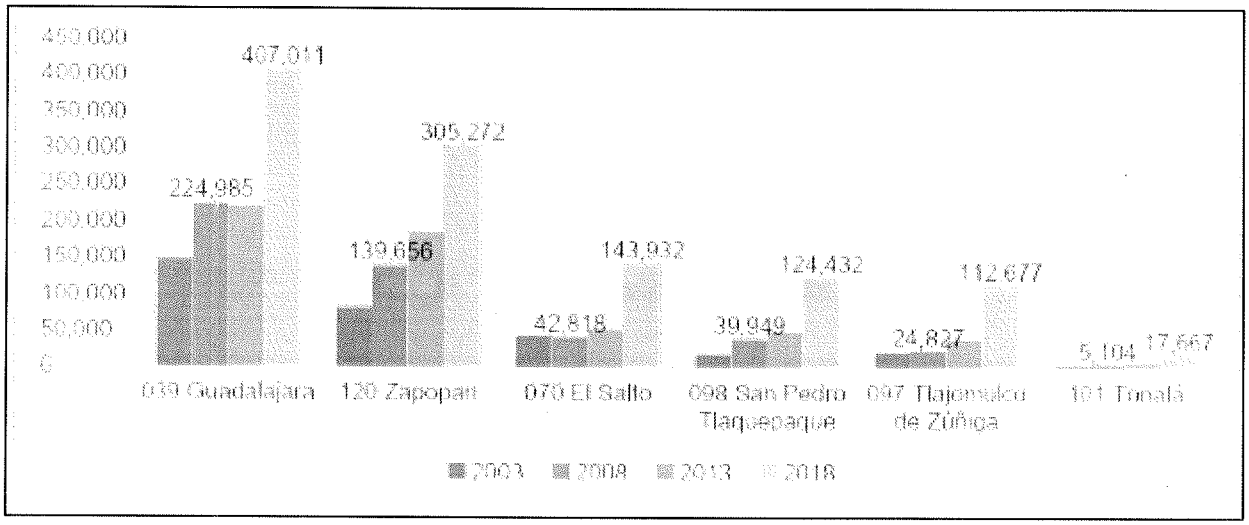


Figura 2.9 Producción Bruta Total de los municipios centrales del Área Metropolitana de Guadalajara por municipio, millones de pesos corrientes, 2003-2018 (Fuente: Análisis General del Área Metropolitana de Guadalajara, IIEG, 2020)

Zapotlanejo, Ixtlahuacán de los Membrillos, Acatlán de Juárez y Juanacatlán concentran apenas el 1.5% de la PRODUCCIÓN BRUTA TOTAL del Área Metropolitana de Guadalajara. Dentro de los municipios exteriores, Ixtlahuacán de los Membrillos se ha mantenido como el municipio con la mayor producción bruta total, con un 0.6% de participación en 2018. Sin embargo, Zapotlanejo ha aumentado su participación de 0.2% en 2003 a 0.6% en 2018. Lo anterior se muestra en la Figura 2.10.

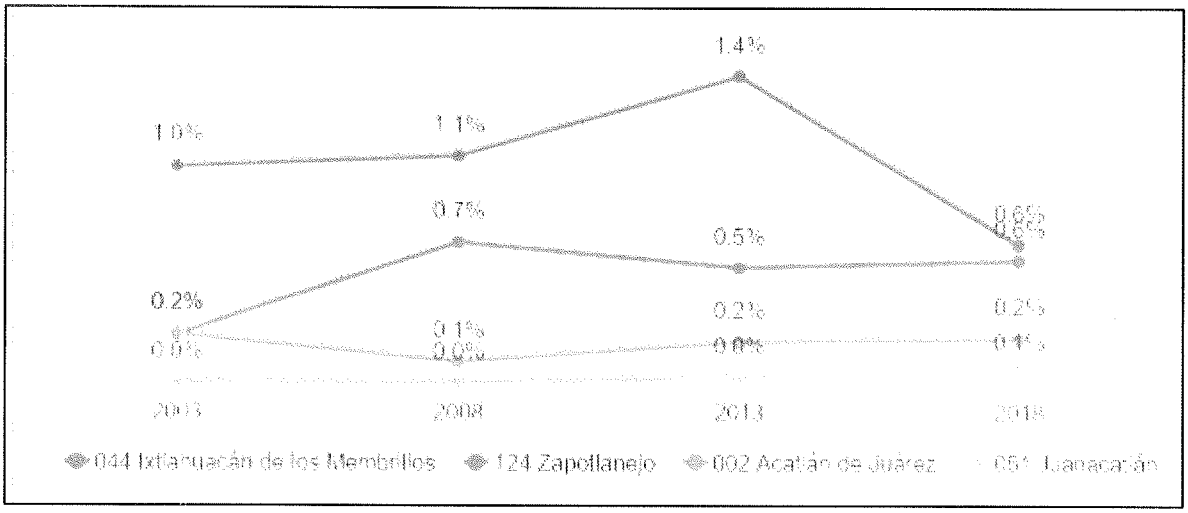


Figura 2.10 Distribución porcentual de la Producción Bruta Total de los municipios exteriores del Área Metropolitana de Guadalajara por municipio, 2003-2018 (Fuente: Análisis General del Área Metropolitana de Guadalajara, IIEG, 2020)

En la Tabla 2.20 se puede observar en conjunto las variaciones de la Producción Bruta Total por Municipio tanto en millones de pesos como en porcentajes siendo Tlajomulco de Zúñiga el de mayor crecimiento.

Tabla 2.20 Variaciones de la Producción Bruta Total del Área Metropolitana de Guadalajara por municipio, 2008-2018 (Análisis General del Área Metropolitana de Guadalajara, IIEG, 2020)

Municipio	Variación absoluta, millones de pesos			Variación porcentual		
	2008	2013	2018	2008	2013	2018
Guadalajara	75,482	-4,046	186,071	50.5%	-1.8%	84.2%
Zapopan	56,935	47,369	118,247	68.8%	33.9%	63.2%
El Salto	-1,516	10,890	90,224	-3.4%	25.4%	168.0%
San Pedro Tlaquepaque	20,514	10,425	74,058	105.6%	26.1%	147.0%
Tlajomulco de Zúñiga	2,508	14,680	73,171	11.2%	59.1%	185.2%
Tonalá	1,208	2,847	9,716	31.0%	55.8%	122.2%
Ixtlahuacán de los Membrillos	1,835	3,013	-845	55.9%	58.9%	-10.4%
Zapotlanejo	2,417	-103	3,363	310.1%	-3.2%	108.7%
Acatlán de Juárez	-234	616	1,264	-30.3%	114.4%	109.5%
Juanacatlán	36	149	405	85.7%	189.3%	178.2%
Total	**159,184**	**85,840**	**555,674**	**48.7%**	**17.7%**	**97.1%**

Las industrias manufactureras son las que tienen mayor participación en la producción bruta total en todos los municipios del área metropolitana, de acuerdo con los Censos Económicos 2019. Para Guadalajara representan el 38%, para El Salto el 92%, para Tlajomulco el 79%, para Tlaquepaque el 55%, para Tonalá el 42%, para Zapopan el 45%, para Acatlán de Juárez el 84%, para Ixtlahuacán de los Membrillos el 93.5%, para Juanacatlán 78.4%, y para Zapotlanejo 53.5%. En la Tabla 2.21 se pueden observar los valores en millones de pesos tanto por sectores como por los Municipios Centrales.

Tabla 2.21 Producción Bruta Total por sector de actividad económica en los municipios centrales del Área Metropolitana de Guadalajara, 2018 (Fuente:Análisis General del Área Metropolitana de Guadalajara, IIEG, 2020)

Sector de actividad económica	Millones de pesos					
	Guadalajara	El Salto	Tlajomulco de Zúñiga	San Pedro Tlaquepaque	Tonalá	Zapopan
Sector 11 Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza	12	-	13	-	3	14
Sector 21 Minería	-		-	-		36
Sector 22 Gen., trans., distribución y comercialización de energía eléctric. suministro agua, gas natural por ductos al consumidor final	-	-	-	-		-
Sector 23 Construcción	27,117	210	320	1,445	114	10,963
Sector 31-33 Industrias manufactureras	154,044	132,214	89,248	68,942	7,344	137,565
Sector 43 Comercio al por mayor	43,929	6,675	3,902	25,970	926	22,715
Sector 46 Comercio al por menor	40,984	1,499	7,991	8,183	4,319	33,400
Sector 48-49 Transportes, correos y almacenamiento	19,018	1,483	2,746	6,345	1,173	3,424
Sector 51 Información en medios masivos	25,480	45	299	267	222	1,999
Sector 52 Servicios financieros y de seguros	7,388	31	334	628	265	2,834
Sector 53 Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	6,763	131	577	1,109	86	4,543
Sector 54 Servicios profesionales, científicos y técnicos	12,808	47	306	925	71	6,022
Sector 55 Corporativos	2,217					-
Sector 56 Servicios de apoyo a los negocios y manejo de residuos, y servicios de remediación	25,900	643	2,262	3,623	882	9,441
Sector 61 Servicios educativos	4,637	37	733	2,126	253	6,005
Sector 62 Servicios de salud y de asistencia social	8,029	38	614	269	222	4,832
Sector 71 Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	2,080	12	288	139	128	4,913
Sector 72 Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	15,050	497	2,091	2,207	951	10,834
Sector 81 Otros servicios excepto actividades gubernamentales	8,044	345	807	1,545	707	5,726
Total municipal	**407,011**	**143,932**	**112,677**	**124,432**	**17,667**	**305,272**

Cabe señalar que los Censos Económicos son levantamientos urbanos y semiurbanos, por lo que las actividades primarias que corresponden a agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza están subrepresentadas en esta fuente del INEGI.

3. Propuesta de solución

El Acueducto Chapala Guadalajara se ubica dentro del derecho de vía en el cual se había previsto un segundo acueducto. Es por lo anterior, que el Acueducto Sustituto tendrá el mismo trazo del actual Acueducto.

En este estudio, se pretenden realizar las siguientes acciones.

- 1. Línea de Conducción de la Estación de Bombeo Chapala a Tanque de Cambio de Régimen.
- 2. Tanque de Oscilación.
- 3. Estructura de Cambio de Régimen.
- 4. Línea de Conducción por Gravedad del Tanque de Cambio de Régimen al Tanque de Entrega Cerro del 4.
- 5. Tanque de Entrega.

Lámina 3.1 Línea de Conducción Estación de Bombeo a Tanque de Cambio de Régimen

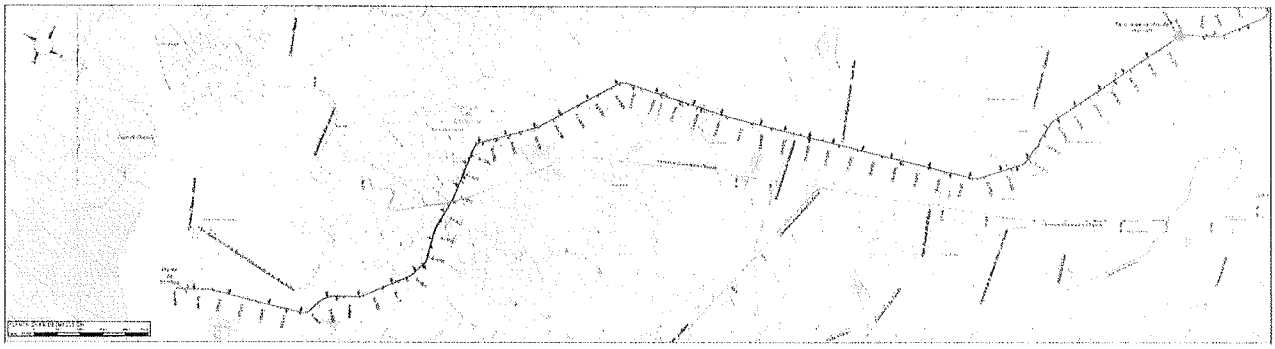


Lámina 3.2 Tanque de Oscilación

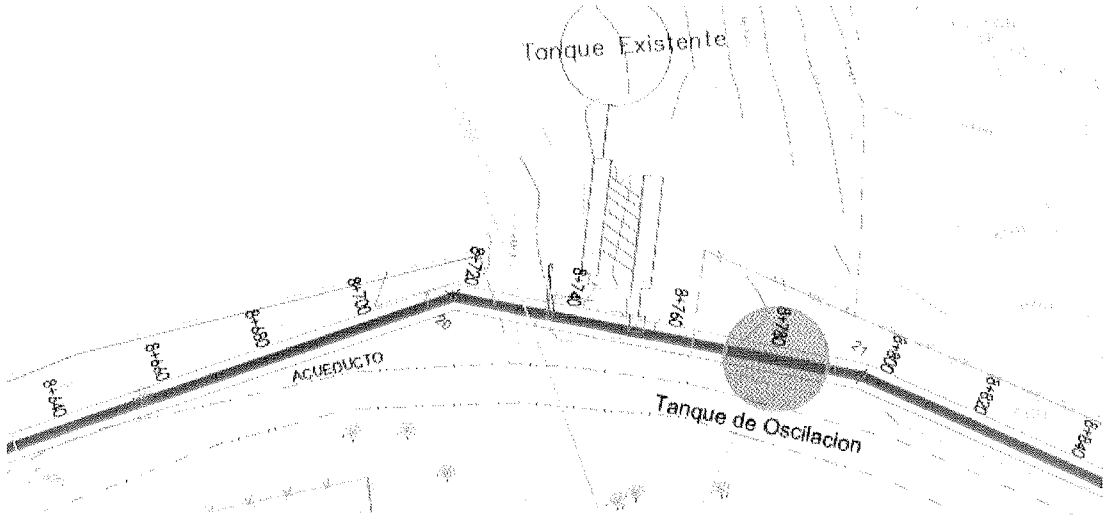


Lámina 3.3 Tanque de Cambio de Régimen

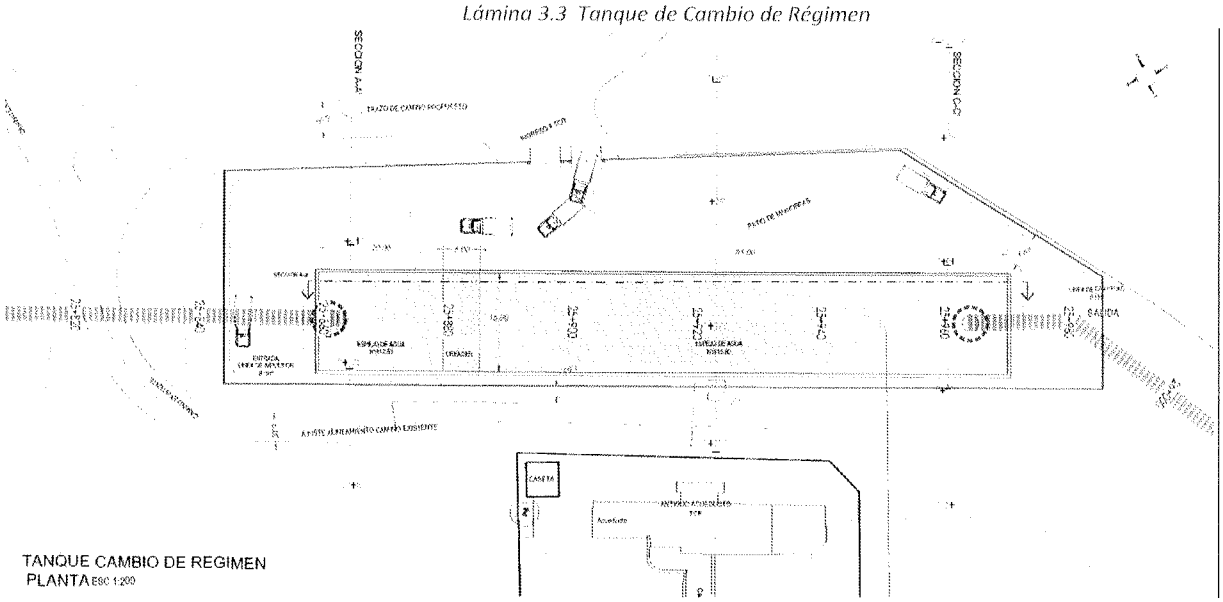


Lámina 3.4 Línea de Conducción de Tanque de Cambio de Régimen a Tanque de Entrega

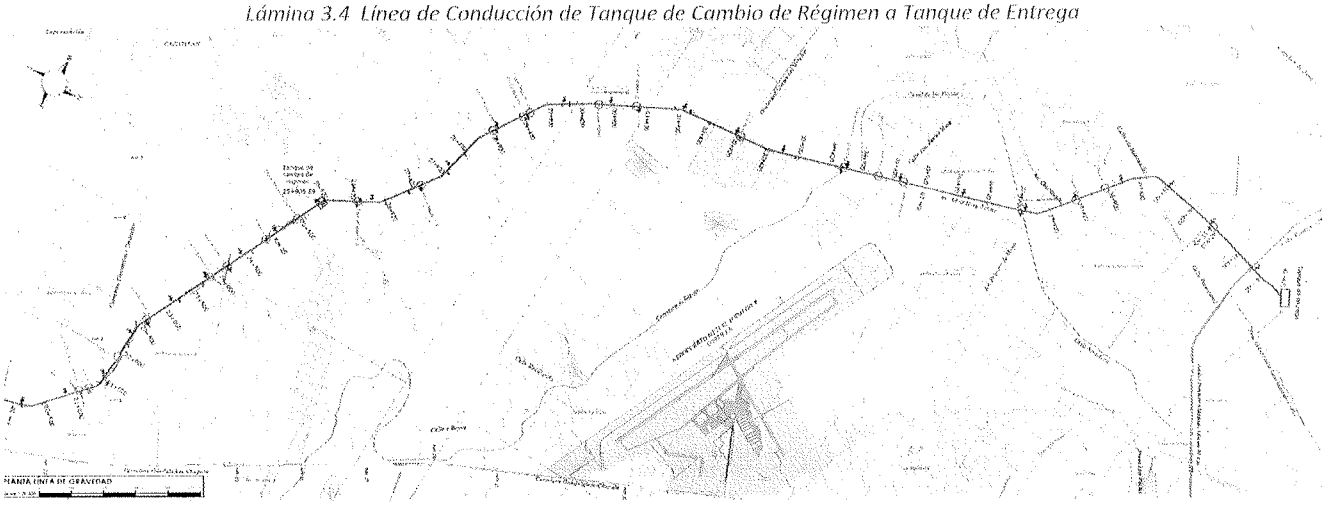


Lámina 3.5 Tanque de Entrega

4. Estudios básicos

4.1. Datos básicos

En los últimos 30 años la población del AMG creció en 2.2 millones de habitantes, esto resultante de la conurbación de 9 municipios. En 2020 contaba con una población de 5,243,392 habitantes según los datos del censo 2020 publicados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Ver Tabla 4.1

Tabla 4.1 Población Censo 2020 INEGI

Área metropolitana de Guadalajara	POBLACION CENSO INEGI				
	1990	2000	2010	2015	2020
El Salto	38,281	83,453	138,226	183,437	232,852
Guadalajara	1,650,205	1,646,319	1,495,189	1,460,148	1,385,629
Ixtlahuacán de los Membrillos	16,674	21,605	41,060	53,045	67,969
Juanacatlán	10,068	11,792	13,218	17,955	30,855
San Pedro Tlaquepaque	339,649	474,178	608,114	664,193	687,127
Tlajomulco de Zúñiga	68,428	123,619	416,626	549,442	727,750
Tonalá	168,555	337,149	478,689	536,111	569,913
Zapopan	712,008	1,001,021	1,243,756	1,332,272	1,476,491
Zapotlanejo	39,902	53,461	63,636	68,519	64,806
Total	**3,043,770**	**3,752,597**	**4,498,514**	**4,865,122**	**5,243,392**

El período de diseño del Acueducto Sustituto Chapala Guadalajara será de 30 años por lo cual se calculó en base a la población histórica presentada en la Tabla 2.21 como las proyecciones de CONAPO para el Área Metropolitana de Guadalajara la población esperada para el 2055 las cuales se consignan en la Tabla 4.2 la cual se estima en 7'004,728 habitantes.

Tabla 4.2 Proyección de Población del AMG (Fuente: Elaboración Propia)

Área metropolitana de Guadalajara	PROYECCIÓN CONAPO			PROYECCIÓN CALCULADA		
	2030	2035	2040	2045	2050	2055
El Salto	354,920	416,805	475,964	546,724	617,304	690,777
Guadalajara	1,362,948	1,336,778	1,316,107	1,289,052	1,262,551	1,236,595
Ixtlahuacán de los Membrillos	95,742	108,554	120,263	133,044	145,771	158,603
Juanacatlán	41,162	44,820	47,224	53,202	59,221	65,282
San Pedro Tlaquepaque	759,272	776,262	783,276	800,675	816,737	831,650
Tlajomulco de Zúñiga	914,861	1,004,364	1,105,538	1,162,081	1,200,472	1,220,657
Tonalá	632,978	646,966	650,859	668,159	684,226	699,224
Zapopan	1,689,444	1,778,917	1,876,674	1,940,508	1,997,438	2,048,810

Zapotlanejo	64,287	62,439	59,972	57,602	55,321	53,131
Total	**5,915,614**	**6,175,905**	**6,435,877**	**6,651,048**	**6,839,042**	**7,004,728**

Considerando para fines de planeación una dotación promedio para el AMG de 210 litros por habitante por día en 2020 la demanda del Área Metropolitana de Guadalajara era de 12.74 metros cúbicos por segundo. De acuerdo con las proyecciones de población calculadas para el 2050 se tendría una demanda de 17.03 metros cúbicos por segundo para todos los Municipios. Lo anterior se aprecia en la Tabla 4.3

Tabla 4.3 Demanda de agua potable del AMG

Municipio - Período	***2020***	***2025***	***2030***	***2035***	***2040***	***2045***	***2050***	***2055***
El Salto	566	716	863	1013	1157	1329	1500	1679
Guadalajara	3368	3364	3313	3249	3199	3133	3069	3006
Ixtlahuacán de los Membrillos	165	201	233	264	292	323	354	385
Juanacatlán	75	90	100	109	115	129	144	159
San Pedro Tlaquepaque	1670	1780	1845	1887	1904	1946	1985	2021
Tlajomulco de Zúñiga	1769	2017	2224	2441	2687	2825	2918	2967
Tonalá	1385	1483	1538	1572	1582	1624	1663	1700
Zapopan	3589	3884	4106	4324	4561	4717	4855	4980
Zapotlanejo	158	159	156	152	146	140	134	129
Total en litros por segundo	12744	13693	14378	15011	15643	16166	16623	17025
Total en metros cúbicos por segundo	**12.74**	**13.69**	**14.38**	**15.01**	**15.64**	**16.17**	**16.62**	**17.03**

Cabe mencionar que la concesión para el Sistema Chapala cuenta con un volumen de 7.5 metros cúbicos por segundo y esto representa el 54.78% de la demanda total de los 9 Municipios.

La demanda en base al crecimiento poblacional en la zona abastecida actualmente por Siapa y de acuerdo con las diferentes fuentes de abastecimiento se muestra en la Tabla 4.4. Esto se calculó proporcionalmente a las proyecciones de población utilizada para la Zona Metropolitana.

Tabla 4.4 Demanda Futura de Agua Potable en las Zonas Abastecidas Actualmente por Siapa

FUENTE DE ABASTECIMIENTO	**2020**	**2025**	**2035**	**2045**	**2055**
SISTEMA CHAPALA	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50
SISTEMA CALDERON	2.16	2.33	2.20	2.25	2.30
POZOS Y MANANTIALES	1.40	1.60	2.00	2.40	2.50
SUMAS	**10.20**	**11.10**	**12.00**	**12.90**	**13.50**

Con el propósito de aprovechar de manera óptima el volumen concesionado del Lago de Chapala, y con base en el análisis histórico de los niveles del lago (1990 a la fecha), así como en los resultados de los estudios hidráulicos realizados para la determinación del diámetro económico bajo distintos escenarios de operación, se definió que el acueducto será diseñado para una capacidad máxima de conducción de 10.0 m³/s.

Este dimensionamiento corresponde al gasto máximo instantáneo de operación, el cual se operará bajo un esquema controlado de 18 horas diarias de bombeo, de tal manera que el volumen anual conducido se mantenga dentro de los límites establecidos en el título de concesión vigente (236 hm³/año, equivalente a un gasto promedio de 7.5 m³/s), sin exceder la disponibilidad autorizada por la Comisión Nacional del Agua.

En base a lo anterior en la Tabla 4.5 se muestran el resumen de los resultados obtenidos en el diseño hidráulico.

Tabla 4.5 Datos de proyecto

Datos de proyecto Acueducto Sustituto Chapala Guadalajara		
Datos Generales		
Gasto de diseño del acueducto sustituto Chapala Guadalajara	10.00	m³/s
Días en operación por año	365	
Horas de bombeo por día	18	horas
Volumen anual extraído de Lago de Chapala	236.00	hm³
Volumen disponible de Lago de Chapala	236.00	hm³
Tipo de acueducto	Bombeo-Gravedad	
Línea de impulsión		
Material principal de la tubería	Acero ASTM A 53	
Rugosidad absoluta del material	0.10	mm
Diámetro de la tubería	106	pulgadas
Longitud de la conducción	25,920	metros
Desnivel topográfico	96.50	metros
Altura efectiva del tanque de cambio de régimen (flujo permanente)	6.50	metros
Namino Lago de Chapala	1522.00	msnm
Namo Lago de Chapala	1516.00	msnm
Nivel SLA del TCR	1612.50	msnm
Pérdidas por fricción	23.14	metros
Pérdidas locales	1.16	metros
Pérdidas totales	24.30	metros
Carga dinámica total	120.80	metros
Línea a gravedad		
Material principal de la tubería	Acero ASTM A 53	
Rugosidad absoluta del material	0.10	mm
Diámetro de la tubería	106	pulgadas
Longitud de la conducción	16,460	metros
Desnivel topográfico	25.14	metros
Nivel SLA del TCR	1610.60	msnm

Nivel SLA del Tanque de Entrega	1585.46	msnm
Pérdidas por fricción	22.08	metros
Pérdidas locales	1.10	metros
Pérdidas totales	23.19	metros

4.2. Estudios Topográficos

La topografía es una ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones relativasde puntos sobre la superficie de la tierra, así como debajo de la misma, mediante la combinación de las medidas según los tres elementos del espacio: distancia, elevación y dirección. La topografía explica los procedimientosy operaciones del trabajo de campo, los métodos de cálculo o procesamiento de datos y la representación delterreno en un plano o dibujo topográfico a escala. El conjunto de operaciones necesarias para determinar las posiciones de puntos en la superficie de la tierra, tanto en planta como en altura, los cálculos correspondientesy la representación en un plano (trabajo de campo más trabajo de gabinete) es lo que comúnmente se llama "Levantamiento Topográfico". La topografía como ciencia que se encarga de las mediciones de la superficie de la tierra se divide en tres ramas principales que son la geodesia, la fotogrametría y la topografía plana.

El levantamiento que se requiere para el presente estudio tiene por objeto marcar o localizar linderos, medianías o límites de propiedades, medir y dividir superficies, ubicar terrenos en planos generales ligando con levantamientos anteriores o proyectar obras y construcciones. Las principales operaciones son:

•Levantamiento topográfico de la franja donde va a quedar emplazada la obra tanto en planta como en elevación (planimetría y altimetría simultáneas).

•Definición de itinerario y medición de poligonales por los linderos existentes para hallar su longitud y orientación o dirección.

•División de fincas en parcelas de forma y características determinadas, operación que se conoce con el nombre de particiones.

•Referencia de mojoneras, ligados posicionalmente a señales permanentes en el terreno.

•Diseño en planta del eje de la vía según las especificaciones de diseño geométrico dadas para el tipo de obra.

•Trazo y localización de las obras respecto al eje, tales como puentes, desagües, alcantarillas, drenajes, filtros, muros de contención, etc.

•Localización y señalamiento de los derechos de vía o zonas legales de paso a lo largo del eje de la obra.

•Nivelación del eje estacado mediante itinerarios de nivelación para determinar el perfil del terreno a lo largo del eje diseñado y localizado.

•Representación gráfica del levantamiento mediante la confección o dibujo de planos.

•Cálculo de volúmenes (cubicación) y programación de los movimientos de tierras (diagramas de masas) para la optimización de cortes y rellenos hasta alcanzar la línea de subrasante de la vía.

La incorporación de microprocesadores y distanciómetros electrónicos en todos los teodolitos electrónicos hadado paso a la construcción de las Estaciones Totales.

Con una estación total electrónica se pueden medir las distancias verticales y horizontales, ángulos verticales y horizontales, e internamente, con el microprocesador programado, calcular las coordenadas topográficas (norte[y], este[x], elevación[z]) de los puntos visados. Estos instrumentos poseen también tarjetas magnéticaspara almacenar datos, los cuales pueden ser cargados en una computadora y utilizados con el programa de aplicación seleccionado.

Una de las características importantes tanto de los teodolitos electrónicos como de las estaciones totales, es que pueden medir ángulos horizontales en ambos sentidos y ángulos verticales con el cero en el horizonte o en el zenit.

El levantamiento topográfico se realizó empleando un equipo RTK GNSS SOUTH y una estación total marca TRIMBLE modelo 5600 con precisión angular de 2". Los equipos se pueden apreciar en la Figura 4.1

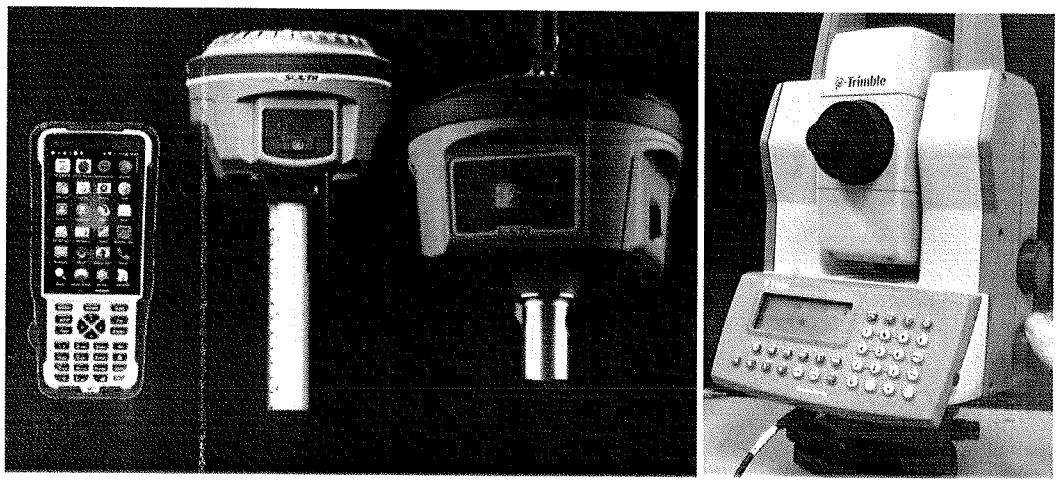


Figura 4.1 Equipo topográfico RTK GNSS SOUTH y Estación total marca TRIMBLE 5600

El lugar donde se lleva a cabo este levantamiento se localiza en los Municipios de San Pedro Tlaquepaque, Tlajomulco de Zúñiga, Ixtlahuacán de los Membrillos y Chapala. El trabajo se llevó a cabo realizando las siguientes actividades:

Reconocimiento del terreno. El objetivo de este paso es el de delimitar la superficie de estudio, en este caso se realizó un vuelo con dron a lo largo de los 42 kilómetros del trazo. Posteriormente se editaron las imágenes y se realizó un video indicando los valores de los cadenamientos a cada kilómetro.

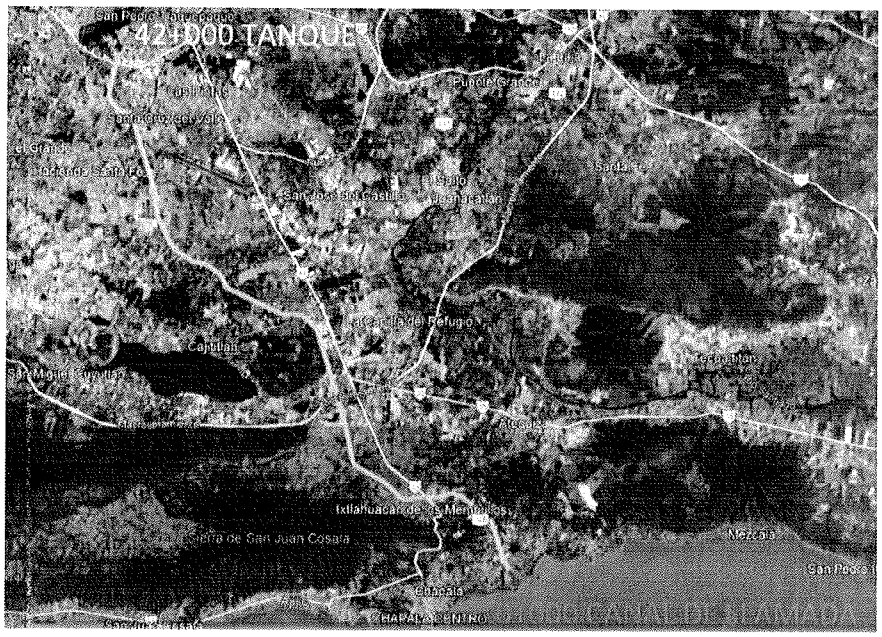


Lámina 4.1 Área de estudio Acueducto Sustituto Chapala Guadalajara

Estudio Aerofotogramétrico. El estudio aerofotogramétrico con dron es un método que permite obtener de forma confiable información adicional a la topografía para la realización de proyectos de ingeniería, esto es posible a los avances tecnológicos actuales. El objetivo del presente estudio, en primer lugar, es llevar a cabo la toma de fotografías aéreas, utilizando una cámara digital de 20MgPixeles, montada sobre un dron, mismo que se opera con un sistema de piloto automatizado y que este nos permite tener un control en la dirección, altura, y obturación de la cámara. Posteriormente se realizan trabajos de apoyo terrestre con receptores de señal satelital conocidos como GPS, mediante la medición sobre puntos previamente marcados con el fin de ser fácilmente identificados en el proceso de Aero triangulación analítica digital. En la aerotriangulación se obtienen los puntos de paso suficientes para lograr la orientación interna, relativa y absoluta, necesarias para la visión estereoscópica, en cuanto a la posición de todos los elementos registrados en la fotografía, y de igual forma la representación del nivel superficial de terreno natural. Y por último la restitución digital que nos permitirá compilar toda la información necesaria mediante la vectorización de la imagen y colectar puntos en 3D, generando un modelo digital de terreno, que nos permitirán presentar el proyecto por medio de una planimetría. Este estudio nos permitirá trabajar la etapa de anteproyecto para la elección del eje de trazo. El equipo utilizado es un Dron Mavic 3E así como un Receptor Trimble R4.

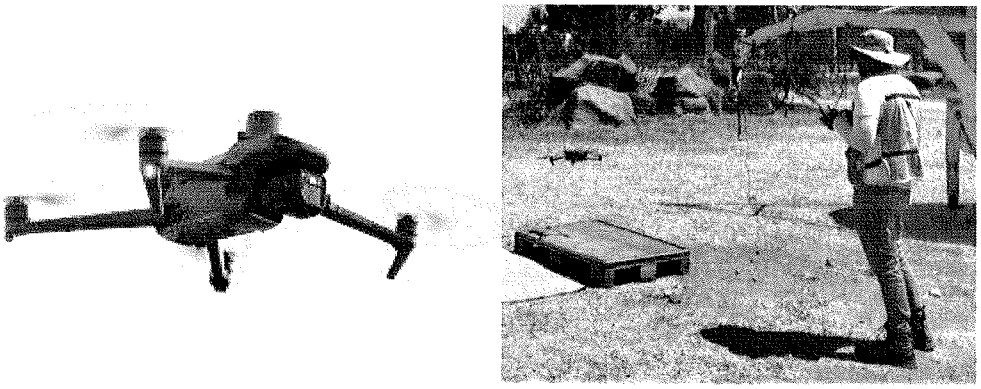


Figura 4.2 Dron Mavic 3E

Figura 4.3 Equipo Receptor Trimble R4

Con la información se obtiene una imagen (ortofoto) obtenida a partir de fotogramas con todos los detalles naturales o artificiales del terreno en su correcta posición en el plano y permite medidas de distancias y superficies con métricas reales. Esto se consigue mediante procesos que corrigen las fotos originales de los desplazamientos debidos a la inclinación de la cámara en el momento de la toma y del desplazamiento debido al relieve del terreno fotografiado.

Finalmente se lleva a cabo la integración de modelo digital de elevación obtenido en el proceso de restitución y mediante la rectificación de pixeles por cada fotografía se obtiene una imagen adherida al terreno natural, por lo que una vez terminado este proceso se procede a el congelamiento de la imagen y así obtener una imagen que permita observar su contenido en

dimensiones reales. Los resultados se integraron las láminas correspondientes a toda la longitud de trazo. En la lámina 4.2 se puede apreciar un ejemplo de las mismas.

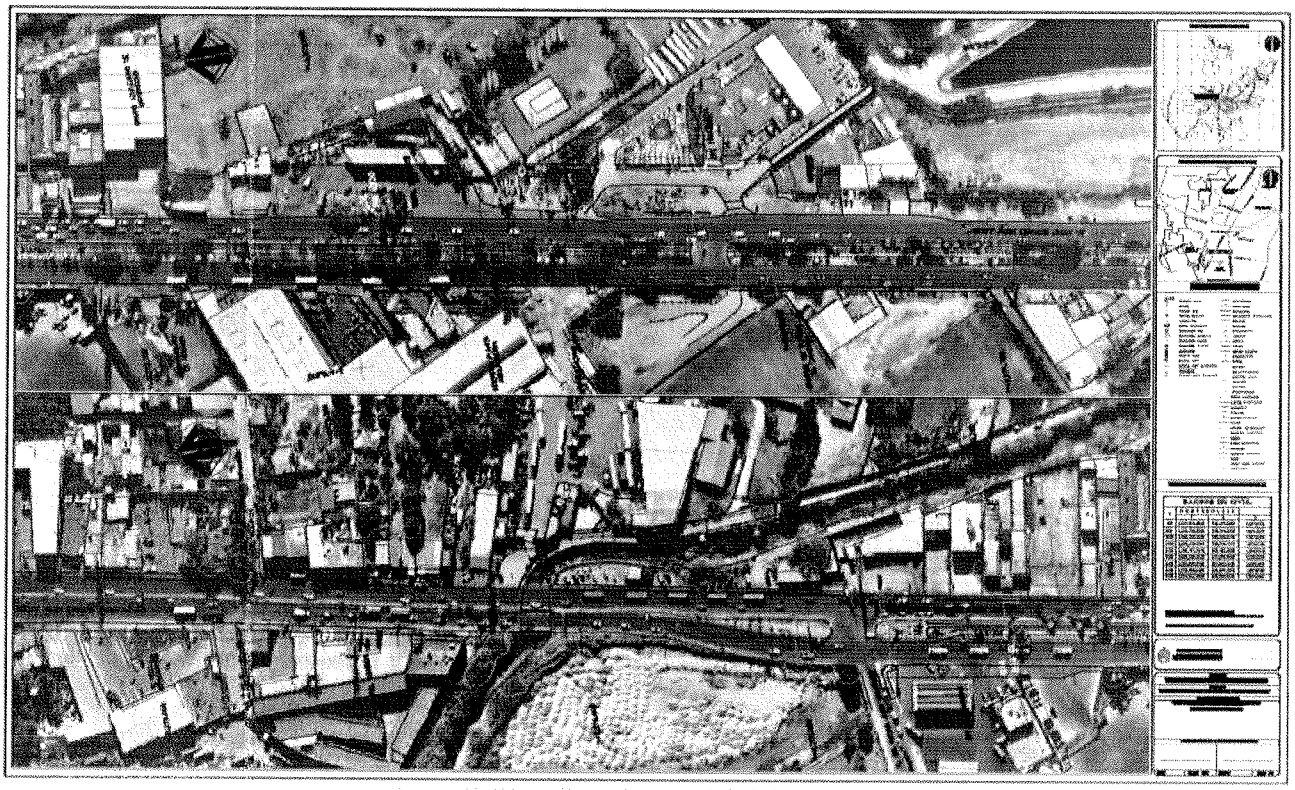


Lámina 4.2 Planimetría, Altimetría y Ortofoto

Colocación de Puntos GPS. Utilizando la red geodésica nacional del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) se eligieron puntos estratégicos para la ubicación de puntos GPS aproximadamente a cada 2 km. En los puntos se instalaron placas con sus datos de identificación. En la figura 4.4 se muestra el primer punto denominado GPS-1 ubicado dentro de la Estación de Bombeo del actual Acueducto Chapala Guadalajara. En los lugares donde no se contaba con elementos para la fijación de las placas, se construyeron monumentos de concreto para la instalación de las mismas.

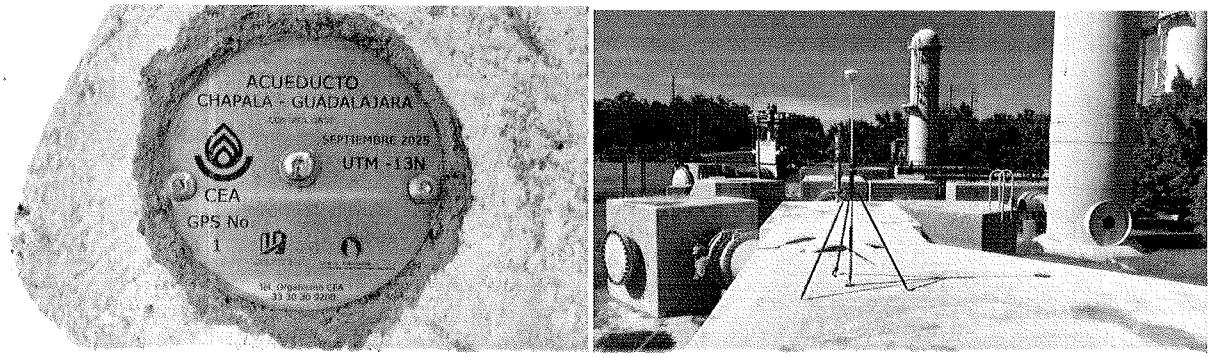


Figura 4.4 Placa de Identificación en Puntos GPS.

La ubicación de los puntos se plasmó en un plano con la información técnica de cada uno de ellos. En la lámina 4.3 se puede visualizar el resultado obtenido.

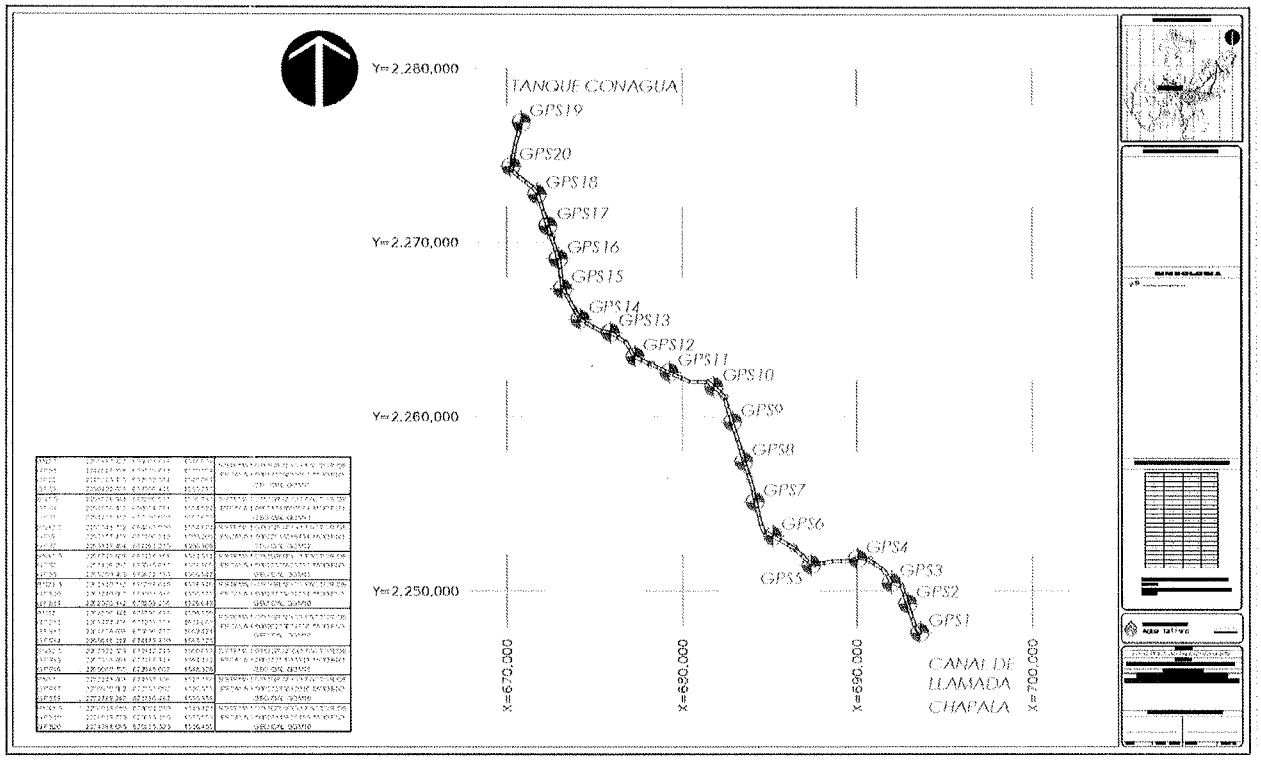


Lámina 4.3 Ubicación y Datos de Puntos GPS

Bancos de nivel. De la misma red geodésica nacional del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), se colocaron adicionalmente a lo largo del eje de trazo bancos de nivel a cada 500 mts. En la figura 5.5 se muestra uno de

los Bancos de Nivel del tramo de estudio.

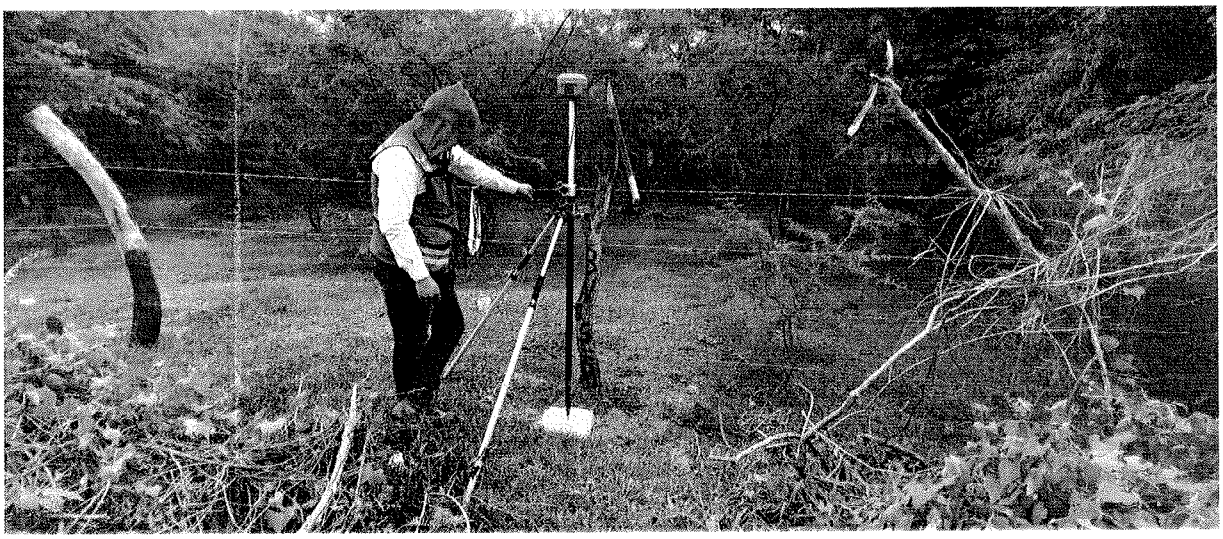


Figura 4.5 Fotografía de Banco de Nivel KM 5.5

En la tabla 4.6 se muestran valores tanto de Puntos Gps y Bancos de Nivel con su respectivo factor de escala y el Modelo Geoidal utilizado para el cálculo de los mismos.

Tabla 4.6 Bancos de nivel y Puntos GPS

BN2.5	2250187.427	692601.848	1546.834	SISTEMA TOPOGRAFICO FACTOR DE ESCALA 1.00018239493002 MODELO GEOIDAL GGM10
GPS1	2247628.838	693579.841	1529.304	
GPS2	2249273.155	692892.584	1540.081	
GPS3	2250492.638	691966.416	1595.237	
BN7.5	2251678.341	688286.017	1596.347	SISTEMA TOPOGRAFICO FACTOR DE ESCALA 1.00021048505984 MODELO GEOIDAL GGM11
GPS4	2251856.462	690034.781	1584.524	
GPS5	2251498.182	687380.009	1607.875	
BN12.5	2253941.772	684489.970	1584.871	SISTEMA TOPOGRAFICO FACTOR DE ESCALA 1.00022616519451 MODELO GEOIDAL GGM12
GPS6	2253157.473	685196.312	1599.209	
GPS7	2255113.404	684161.215	1596.306	
BN17.5	2258719.608	683158.168	1541.534	SISTEMA TOPOGRAFICO FACTOR DE ESCALA 1.00022539373787 MODELO GEOIDAL GGM13
GPS8	2257426.297	683519.617	1538.869	
GPS9	2259709.403	682872.730	1560.547	
BN22.5	2262110.717	680298.040	1538.346	SISTEMA TOPOGRAFICO FACTOR DE ESCALA 1.00023773492234 MODELO GEOIDAL GGM10
GPS10	2261740.007	681801.918	1550.575	
GPS11	2262570.112	679253.256	1526.643	
BN27	2264296.141	676790.838	1596.599	SISTEMA TOPOGRAFICO FACTOR DE ESCALA 1.00026235674856 MODELO GEOIDAL GGM10
GPS12	2263474.478	677298.331	1612.669	
GPS13	2264858.698	675896.737	1602.421	
GPS14	2265616.212	674173.870	1583.775	
BN32.5	2267922.523	673117.745	1560.653	SISTEMA TOPOGRAFICO FACTOR DE ESCALA 1.00027257035318 MODELO GEOIDAL GGM10
GPS15	2267353.891	673188.841	1561.442	
GPS16	2269069.705	672949.008	1548.376	
BN37	2272241.668	671953.106	1527.788	SISTEMA TOPOGRAFICO FACTOR DE ESCALA 1.00027235512016 MODELO GEOIDAL GGM10
GPS17	2270970.962	672353.997	1526.553	
GPS18	2272788.247	671730.482	1530.358	
BN41.5	2276013.010	670601.289	1549.421	SISTEMA TOPOGRAFICO FACTOR DE ESCALA 1.00028146820489 MODELO GEOIDAL GGM10
GPS19	2276913.779	670833.109	1585.953	
GPS20	2274388.035	670235.525	1536.495	

Fijación de vértices o puntos. La fijación de vértices en el terreno consiste en localizar puntos estratégicos, para determinar los linderos y calles intermedias en la poligonal. Los puntos localizados se determinaron por medio marcas y señales de fácil ubicación. Estos puntos deben ser colocados de tal manera que se puedan ver al menos, un vértice de adelante y un vértice de atrás como mínimo.

Levantamiento planimétrico de la poligonal principal. El objetivo de este levantamiento es el de proporcionarun sistema de coordenadas X-Y convenientemente distribuido en la zona de estudio para apoyar la ubicación precisa de los contornos de cada una de las manzanas, así como los detalles planimétricos que se consideren de interés como pueden ser, árboles, postes, brechas, parcelas entre otros. Los puntos se establecen bajo un sistema de coordenadas basadas en la orientación del Norte magnético.

Procedimiento de uso de la estación. Se coloca el instrumento sobre el primer vértice. Al encender el equipo, la plomada laser se encenderá automáticamente, con lo que procederá a nivelarse el equipo hasta que los niveles de burbuja que se encuentran situados en la estación total así lo determinen. Concluida la nivelación se procede a establecer las coordenadas de arranque a partir de los puntos GPS previamente calculados, teniendo en cuenta que se deberán de tener 2 vértices con coordenadas establecidas. Después solo queda obtener la distancia que existe entre nuestro primer vértice y el vértice siguiente, con el fin establecer la línea base.

Establecida esta línea, automáticamente la estación mostrará qué punto es el que mediremos, para lo cual habrá que asignarle la nomenclatura correspondiente, paso seguido, apuntaremos hacia prisma que estará colocado sobre el punto a medir (que puede ser un vértice o una radiación); la estación calculara las coordenadas y las mostrará en la pantalla, solo queda registrarla en la libreta electrónica, tantos puntos sean necesarios. Estos pasos se repetirán tantas veces sean necesarias hasta terminar de tomar todos y cada uno delos vértices establecidos.

Planos topográficos. De acuerdo con la extensión del trabajo realizado, y con el objetivo de que el plano sea realmente útil y con el mayor detalle posible, se preferirán escalas grandes o la que más se ajuste a nuestras necesidades.

Se conectará la libreta electrónica a una computadora en la cual se tenga instalado el software que permita la descarga de los datos proporcionado por el fabricante de la estación. Se descargará el archivo de trabajo del levantamiento topográfico. Este archivo será exportado mediante a un archivo con terminación .DWG que corresponde al programa Autocad®.

En este archivo se detallará y se contará con la descripción de cada uno de los vértices, su nomenclatura y coordenadas calculadas. Puesto que este instrumento calcula y compensa todas las poligonales realizadas, no hay la necesidad de calcular ningún polígono. Para mayor nivel de detalle e información respecto a los levantamientos topográficos, ver el Anexo de Topografía. Los planos estarán integrados por una planta donde se integrará la planimetría. Definido el eje de trazo del acueducto, se integrarán los datos correspondientes a los puntos de inflexión y posteriormente se graficará el perfil del terreno natural en base a los cadenamientos determinados previamente. En la lámina 4.4 se puede visualizar el resultado de las láminas topográficas realizadas a lo largo de los 42 kilómetros del Acueducto.

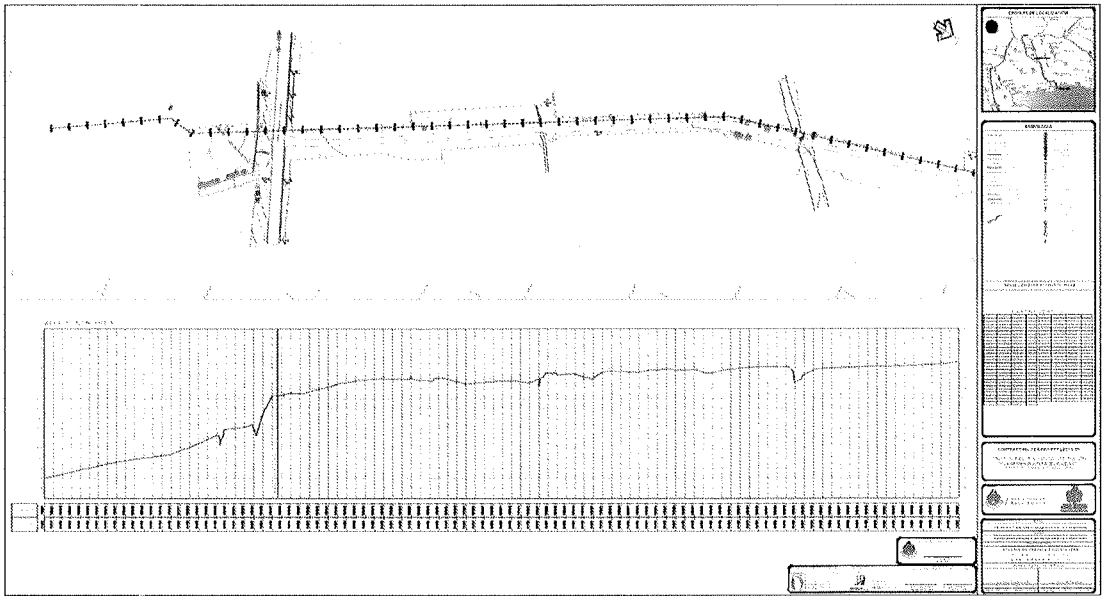


Lámina 4.4 Planos Topográficos

En la figura 4.6 se presenta una fotografía del proceso de los trabajos topográficos donde se representa la toma de datos en un cruce federal.

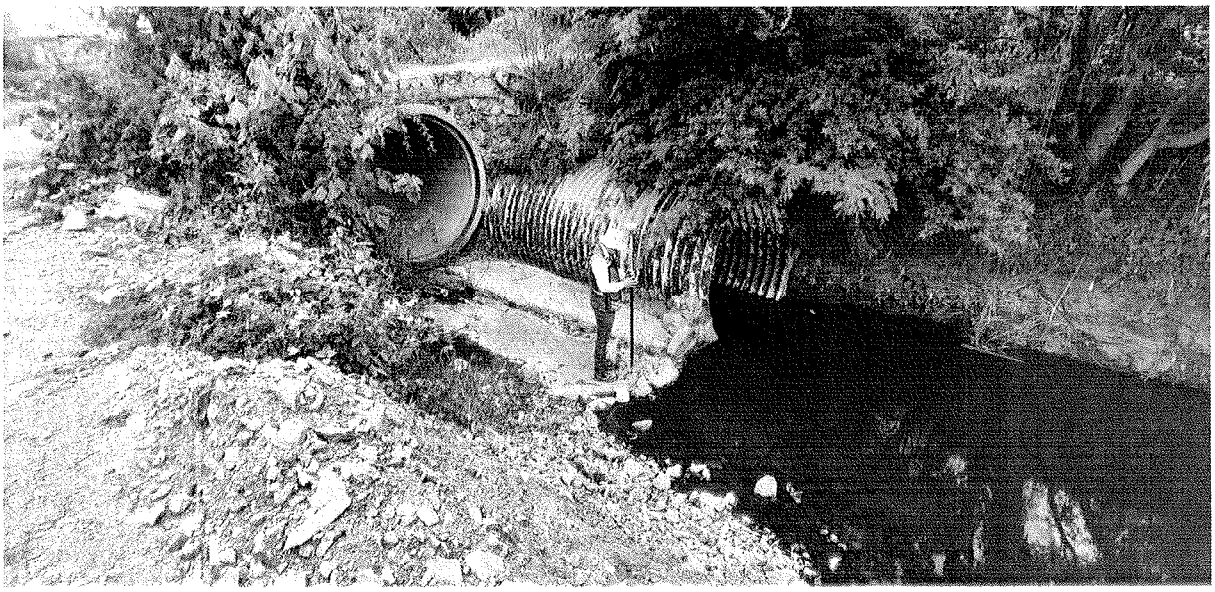


Figura 4.6 Fotografía del levantamiento topográfico, cruce federal

4.3. Estudios de Calidad del agua

Con la finalidad de determinar las condiciones del agua del Lago de Chapala, fuente principal de abastecimiento al AMG, se realizaron 8 muestreos en 3 puntos: Canal de Llamada del Lago de Chapala, Tanque de Cambio de Régimen del actual Acueducto Chapala y Tanque de Entrega Cerro del 4. Las muestras se realizaron los días 13 y 26 de agosto y el 18 de septiembre de 2025.

El objetivo de los muestreos realizados es para determinar la tendencia de generar incrustaciones o corrosión por la calidad del agua que se conducirá por el Acueducto. Las determinaciones analíticas se realizaron conforme a la Norma Oficial NOM-127-SSA1-1994, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. En la lámina 4.5 se muestra geográficamente la ubicación de los puntos en los que se realizaron los muestreos. Estos puntos fueron el Canal de Llamada del Lago de Chapala, un segundo punto en el Tanque de Cambio de Régimen del actual acueducto y finalmente en el Tanque de Entrega localizado en el Cerro del Cuatro

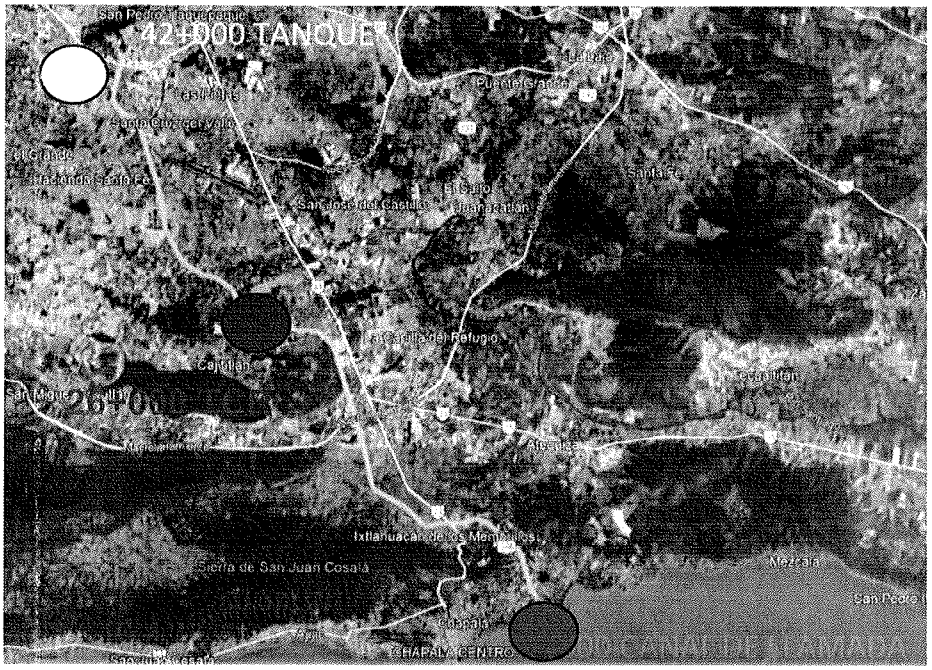


Lámina 4.5 Ubicación de los muestreos de calidad del agua

En la Figura 4.7 se muestra la fotografía de la muestra en el canal de llamada.

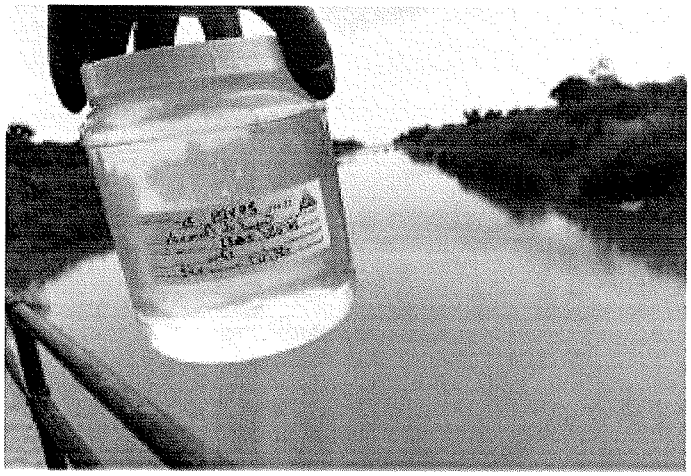


Figura 4.7 Prueba de calidad de agua en Canal de Llamada

Las muestras fueron realizadas por Laboratorio certificado por EMA No. AG-059-010/10 y aprobación CONAGUA CNA-GCA-2970. Los parámetros solicitados fueron Alcalinidad Total, Calcio Total, Cloruros, Dureza Total, Magnesio Total, Sólidos Disueltos Totales y Sólidos Suspendidos Totales, así como la temperatura y PH determinados en campo. En la tabla 4.7 se muestran los resultados obtenidos para los muestreos en el Canal de Llamada.

Tabla 4.7 Parámetros de calidad del agua de las muestras tomadas en el Canal de Llamada

CANAL DE LLAMADA		MUESTRAS			TOTAL DE MUESTRAS (3):			
Parámetro	**Unidad**	**Clave 29153/25**	**Clave 29458/25**	**Clave 300013/25**	**Máx.**	**Mín.**	**Promedio**	**PERCENTIL 80**
Fecha/hora recepción	dd/mm/aaaa hh:mm	13/08/2025 15:00 h.	26/08/2025 15:00 h.	18/09/2025 16:30 h.				
Características Físicas								
Color	U Pt-Co	AMARILLO	AMARILLO	AMARILLO	--	--	--	--
Temperatura	°C	24.0	24.0	25.0	25.00	24.00	24.33	24.60
Olor	---	INODORA	INODORA	INODORA	--	--	--	--
Turbiedad	NTU	LIG, TURBIA	LIG, TURBIA	LIG, TURBIA	--	--	--	--
pH Unidades	>7 ácido / <7 alcalino / =7 neutro	7.3	8.7	7.5	8.7	7.3	7.83	8.22
Características Químicas								
Alcalinidad Total (K)	mg/L CaCo3	330.18	330.22	311.53	330.22	311.53	323.98	330.20
Calcio Total (E)	mg/L Ca	42.03	45.91	27.95	45.91	27.95	38.63	44.36
Cloruros (G)	mg/L Cl	73.69	64.60	71.94	73.69	64.60	70.08	72.99
Dureza Total (G)	mg/L CaCo3	191.17	191.53	197.40	197.40	191.17	193.37	195.05
Magnesio Total (E)	mg/L Mg	25.65	24.27	22.77	25.65	22.77	24.23	25.10
Sólidos Disueltos Totales (I)	mg/L	645.00	661.00	641.00	661.00	641.00	649.00	654.60
Sólidos Suspendidos Totales (I)	mg/L	40.00	34.00	28.00	40.00	28.00	34.00	37.60

En la tabla 4.8 se muestran los resultados obtenidos para los muestreos en el Tanque de Cambio de régimen donde solamente se realizaron 2 muestreos. Finalmente, en la Tabla 4.9 se consignan los valores obtenidos en el Tanque de Entrega.

Tabla 4.8 Parámetros de calidad del agua de las muestras tomadas en el Tanque de Cambio de Régimen

TANQUE DE CAMBIO DE REGIMEN		MUESTRAS		TOTAL DE MUESTRAS (2)			
Parámetro	**Unidad**	**Clave 29154/25**	**Clave 300014/25**	**Máx.**	**Mín.**	**Promedio**	**PERCENTIL 80**
Fecha/hora recepción	dd/mm/aaaa hh:mm	13/08/2025 15:00 h.	18/09/2025 16:30 h.				
Características Físicas							
Color	U Pt-Co	AMARILLO	AMARILLO	--	--	--	--
Temperatura	°C	28.0	26.0	28.00	26.00	27.00	27.60
Olor	---	INODORA	INODORA	--	--	--	--
Turbiedad	NTU	LIG, TURBIA	LIG, TURBIA	--	--	--	--
pH Unidades	>7 ácido / <7 alcalino / =7 neutro	7.4	7.3	7.4	7.3	7.35	7.38
Características Químicas							
Alcalinidad Total (K)	mg/L CaCo3	325.18	312.56	325.18	312.56	318.87	322.66
Calcio Total (E)	mg/L Ca	42.49	39.51	42.49	39.51	41.00	41.89
Cloruros (G)	mg/L Cl	76.21	70.61	76.21	70.61	73.41	75.09
Dureza Total (G)	mg/L CaCo3	198.74	201.31	201.31	198.74	200.03	200.80
Magnesio Total (E)	mg/L Mg	25.55	23.43	25.55	23.43	24.49	25.13
Sólidos Disueltos Totales (I)	mg/L	705.00	639.31	705.00	639.31	672.16	691.86
Sólidos Suspendidos Totales (I)	mg/L	30.00	27.69	30.00	27.69	28.85	29.54

Tabla 4.9 Parámetros de calidad del agua de las muestras tomadas en el Tanque de Entrega

TANQUE DE ENTREGA		MUESTRAS			TOTAL DE MUESTRAS (3):			
Parámetro	**Unidad**	**Clave 29155/25**	**Clave 29460/25**	**Clave 30015/25**	**Máx.**	**Mín.**	**Promedio**	**PERCENTIL 80**
Fecha/hora recepción	dd/mm/aaaa hh:mm	13/08/2025 15:00 h.	26/08/2025 15:00 h.	18/09/2025 16:30 h.				
Características Físicas								
Color	U Pt-Co	AMARILLO	AMARILLO	AMARILLO	--	--	--	--
Temperatura	°C	28.0	25.0	24.0	28.00	24.00	25.67	26.80
Olor	---	INODORA	INODORA	INODORA	--	--	--	--
Turbiedad	NTU	LIG, TURBIA	LIG, TURBIA	LIG, TURBIA	--	--	--	--
pH Unidades	>7 ácido / <7 alcalino / =7 neutro	7.5	8.8	7.6	8.80	7.50	7.97	8.32
Características Químicas								
Alcalinidad Total (K)	mg/L CaCo3	332.48	331.26	309.45	332.48	309.45	324.40	331.99
Calcio Total (E)	mg/L Ca	41.74	44.63	39.40	44.63	39.40	41.92	43.47
Cloruros (G)	mg/L Cl	72.68	69.15	72.76	72.76	69.15	71.53	72.73
Dureza Total (G)	mg/L CaCo3	189.28	201.31	199.35	201.31	189.28	196.65	200.53
Magnesio Total (E)	mg/L Mg	25.68	23.78	23.37	25.68	23.37	24.28	24.92
Sólidos Disueltos Totales (I)	mg/L	678.50	696.00	656.00	696.00	656.00	676.83	689.00
Sólidos Suspendidos Totales (I)	mg/L	23.50	31.00	30.00	31.00	23.50	28.17	30.60

Índice de Langelier

El Índice de Langelier permite conocer la calidad del agua proporcionando información sobre el carácter incrustante o corrosivo del agua y está fundamentado en equilibrios del anhídrido carbónico, bicarbonato-carbonatos, el pH, la temperatura, la concentración de calcio y la salinidad total en el agua. Es un parámetro fundamental para conocer la corrosión o incrustación en las redes de distribución del agua e instalaciones interiores industriales y domésticas.

Los valores nos indican lo siguiente:

- Si el índice es 0: el agua está perfectamente equilibrada. No existe formación de incrustaciones ni eliminación de estas.
- Si el índice es negativo: indica que el agua es corrosiva. Agua no saturada con respecto a carbonato cálcico (CaCO3). El agua no saturada posee la tendencia de eliminar láminas de carbonato cálcico (CaCO3) presentes que protegen las tuberías y equipos.
- Si el índice es positivo: indica que el agua es incrustante. Agua supersaturada con respecto a carbonato cálcico (CaCO3). Posible formación de incrustaciones.

Fórmula para calcular el índice Langelier: $$IL = pH - pH_s$$

Donde

IL Índice de Langelier

pH del agua

pHs del agua cuando está saturada de Carbonato de Calcio

Para determinar el grado de corrosión o incrustación se utiliza el siguiente criterio:

CUANDO -4<IL<-1	**MUY CORROSIVA**
CUANDO -1<IL<-0,3	**LEVEMENTE CORROSIVA**
CUANDO -0,3<IL<+0,3	**NEUTRA**
CUANDO +0,3<IL<+1,5	**LEVEMENTE INCRUSTANTE**
CUANDO IL>+1,5	**ALTAMENTE INCRUSTANTE**

Según los valores obtenidos podremos tomar las siguientes medidas correctivas:

Agua Incrustante: A Partir de +0,5 a +1,5 — Medida correctiva: reducir pH o Alcalinidad

Agua Corrosiva: A partir de -0,5 a -1,5 — Medida correctiva: aumentar pH o Alcalinidad

Valores óptimos de agua de consumo

pH: entre 7,2 y 7,6

Alcalinidad (AF): entre 80 y 125 ppm

Dureza (TF): entre 200 y 400 ppm`

De acuerdo con los resultados de las muestras y aplicando las fórmulas correspondientes se obtuvieron los valores del índice de Langelier los cuales se muestran en las Tablas 4.10, 4.11 y 4.12.

Tabla 4.10 Índice de Langelier Canal de Llamada

	CANAL DE LLAMADA	CANAL DE LLAMADA	CANAL DE LLAMADA
	29153/25	29458/25	30013/25
pH DEL AGUA	7.30	8.70	7.50
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT) mg/l	645.00	661.00	641.00
TEMPERATURA, °C	24.00	24.00	25.00
TEMPERATURA (T), °K	297.50	297.50	298.50
DUREZA DE CALCIO COMO $CaCO_3$ (C), mg/l	191.17	191.53	197.40
ALCALINIDAD TOTAL COMO $CaCO_3$ (A), mg/l	330.18	330.22	311.53
INDICE DE LANGELIER	**0.12**	**1.52**	**0.33**
	NEUTRA	**ALTAMENTE INCRUSTANTE**	**LEVEMENTE INCRUSTANTE**

Tabla 4.11 Índice de Langelier Tanque de Cambio de Régimen

	TCR	TCR
	29154/25	300014/25
pH DEL AGUA	7.40	7.30
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT) mg/l	705.00	639.31
TEMPERATURA, °C	28.00	26.00
TEMPERATURA (T), °K	301.50	299.50
DUREZA DE CALCIO COMO $CaCO_3$ (C), mg/l	198.74	201.31
ALCALINIDAD TOTAL COMO $CaCO_3$ (A), mg/l	325.18	312.56
INDICE DE LANGELIER	**0.30**	**0.16**
	LEVEMENTE INCRUSTANTE	**NEUTRA**

Tabla 4.12 Índice de Langelier Tanque de Entrega

	TANQUE DE ENTREGA	TANQUE DE ENTREGA	TANQUE DE ENTREGA
	29155/25	29460/25	300015/25
pH DEL AGUA	7.50	8.80	7.60
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT) mg/l	678.50	696.00	656.00
TEMPERATURA, °C	24.00	24.00	25.00
TEMPERATURA (T), °K	297.50	297.50	298.50
DUREZA DE CALCIO COMO $CaCO_3$ (C), mg/l	189.28	201.31	199.35
ALCALINIDAD TOTAL COMO $CaCO_3$ (A), mg/l	332.48	331.26	309.45
INDICE DE LANGELIER	**0.32**	**1.64**	**0.43**
	LEVEMENTE INCRUSTANTE	**ALTAMENTE INCRUSTANTE**	**LEVEMENTE INCRUSTANTE**

En la tabla 4.13 se muestran los valores promedio en los 3 puntos de muestreo.

Tabla 4.13 Valores Promedio Índice de Langelier

CÁLCULO DEL INDICE DE LANGELIER	Valores Promedio		
	CANAL DE LLAMADA	TCR	TANQUE DE ENTREGA
pH DEL AGUA	7.83	7.35	7.97
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT) mg/l	649.00	672.16	676.83
TEMPERATURA, °C	24.33	27.00	25.67
TEMPERATURA (T), °K	297.83	300.50	299.17
DUREZA DE CALCIO COMO $CaCO_3$ (C), mg/l	193.37	200.03	196.65
ALCALINIDAD TOTAL COMO $CaCO_3$ (A), mg/l	323.98	318.87	324.40
INDICE DE LANGELIER	**0.66**	**0.23**	**0.83**
	LEVEMENTE INCRUSTANTE	**NEUTRA**	**LEVEMENTE INCRUSTANTE**

Los resultados obtenidos indican que los valores pueden ser variables a lo largo del año y que es de alta probabilidad de que la calidad de agua impacte en la vida útil del Acueducto como ha pasado en el actual Acueducto. Por lo anterior se considera importante contar con un mantenimiento de limpieza del Acueducto por lo menos cada 2 años. Esto podrá ser factible ya que se contaría con el Acueducto existente y entonces no se interrumpiría el abasto lo que garantiza la vida útil de ambos acueductos al contar con la redundancia.

4.4. Estudios de Geotecnia

Este estudio tiene como finalidad conocer las propiedades físicas y mecánicas de cada estrato que configuran el subsuelo, así como la ubicación del nivel de aguas freáticas (NAF) o agua superficialmente atrapada, boleos de roca o manto, rellenos y su tipo, estratos de alta o baja compacidad o consistencia, según sea el caso, si se encuentran a la profundidad de la exploración. Para en base a ello complementar información geotécnica ya existente en puntos estratégicos mediante la obtención de la estratigrafía del subsuelo y generar recomendaciones para el desplante de la tubería de la línea de conducción. Dentro de los estudios se hace referencia a la geología y a la sismicidad de la zona de estudio que a continuación se describen.

4.4.1 Geología

La línea de conducción está localizada dentro de la provincia Neovolcánica de México, en particular en la subprovincia fisiográfica número 53 de Chapala tal como se muestra en la Figura 4.8. Al sur, en los municipios de Chapala y Ixtlahuacán de los Membrillos se presentan principalmente suelos con un alto contenido de arcillas expansivas, mientras que en el municipio de Tlajomulco se tienen zonas lacustres conformadas principalmente por dos unidades litológicas: Suelos de composición limo-arcillo-arenoso y Piroclásticos finos tobáceos, (jales), constituidos por pseudoestratos arcillo-arenosos de origen volcánico. Finalmente, en el municipio de Tlaquepaque se tendrán suelos formados por material sedimentario aluvial durante el cuaternario, en este sitio se han depositado los materiales transportados desde las estructuras volcánicas que limitan al municipio con la cadena Volcánica del Sur de Guadalajara y al poniente con la Sierra de la Primavera.

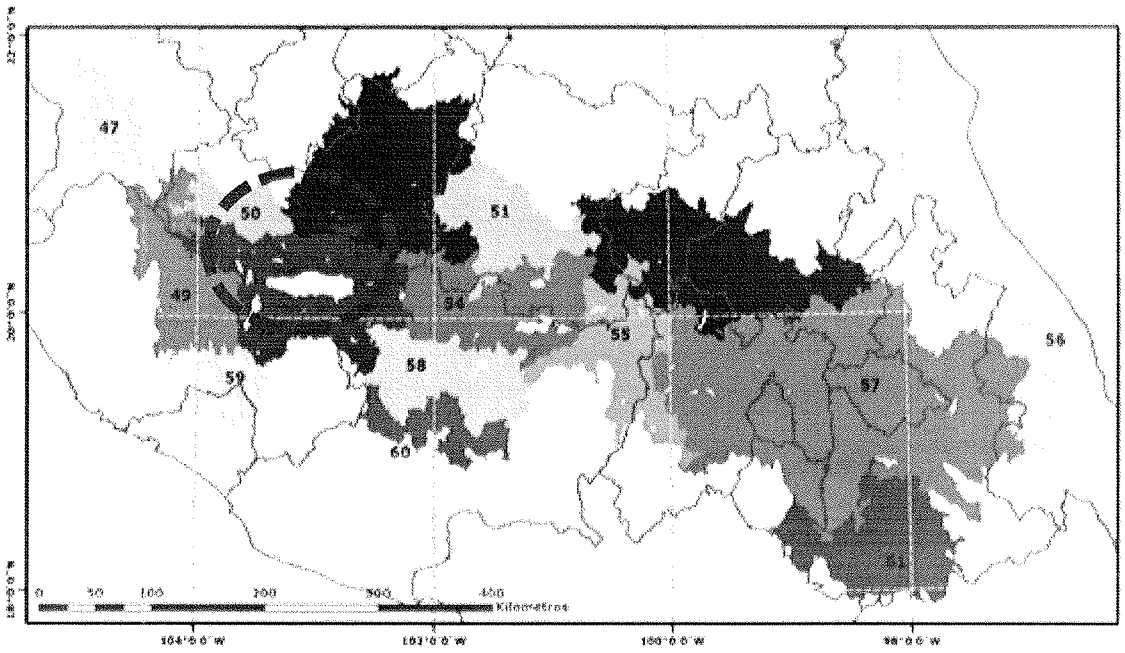


Figura 4.8 Subprovincias fisiográficas dentro de la provincia Neovolcánico de México

Con referencia a las rocas subyacentes que se presentan en la región, son de tipo ígneo, las cuales en su mayoría son secuencias de riolita y tobas ácidas, así como yacimientos basálticos. Estas secuencias ígneas se encuentran cubiertas por depósitos de suelos.

4.4.2 Sismicidad

De acuerdo con la carta sísmica de la República Mexicana (CFE), los municipios de Chapala, Ixtlahuacán de los Membrillos, Tlajomulco y Tlaquepaque, Jalisco, se encuentran en la zona C, caracterizándose por ser una zona intermedia de sismos poco frecuentes. Respecto al marco tectónico regional centro-occidental de la faja volcánica Transmexicana, la línea de conducción se ubica entre el graben de Zacoalco, y el graben y Rift de Chapala, como se muestra en la Figura 4.9

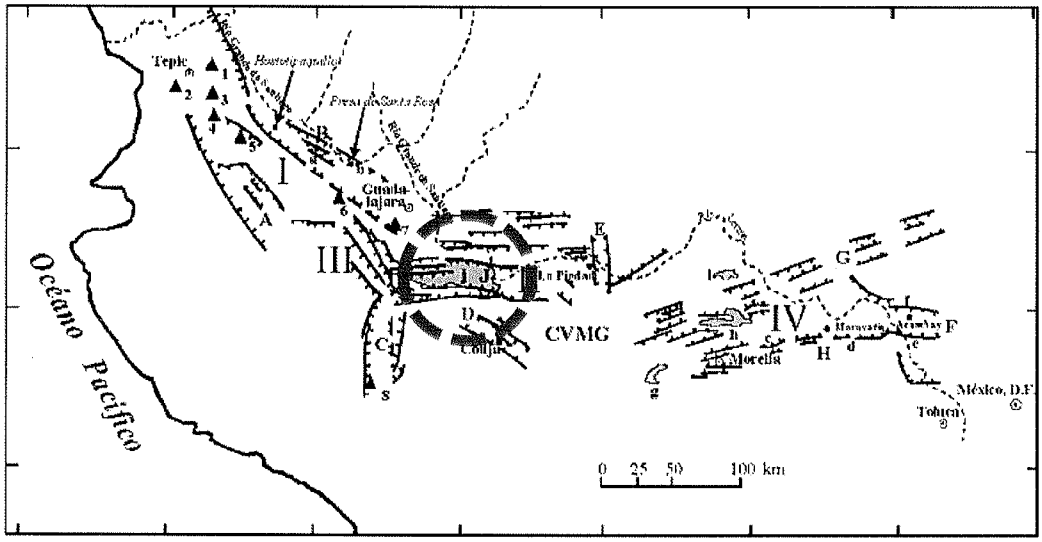


Figura 4.9 Marco tectónico regional centro-occidental de la faja volcánica Transmexicana

La sismicidad de la zona de estudio es de riesgo, ya que se localiza en la zona C de la regionalización sísmica de México propuesta por la CFE. El reglamento de obras públicas de Guadalajara y sus normas complementarias, menciona que se debe emplear el coeficiente sísmico básico c = 0.36 (grupo B), sin embargo, al ser esta infraestructura de alta importancia (grupo A), se deberá usar un c = 0.54 (a consideración del estructurista). En la Figura 4.10 se muestra la zonificación sísmica de la República Mexicana, CFE.

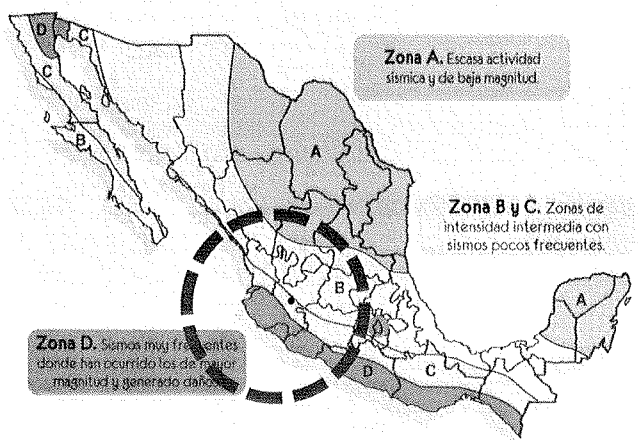


Figura 4.10 Mapa de Regionalización Sísmica República Mexicana CFE

4.4.3 Trabajos de Investigación de Campo

Los sondeos fueron ubicados cubriendo el trazo de la línea de conducción, se programaron 67 sondeos exploratorios directos, 40 mediante penetración estándar (SPT) a 8.0 m de profundidad y 27 mediante pozos a cielo abierto (PCA) a 5.00 m de profundidad. Realizándose estos últimos con perforación con máquina rotatoria mediante broca helicoidal por seguridad en colindancias a la línea de conducción actual y propiedades vecinas. Los sondeos se ubicaron estratégicamente a lo largo de la línea de conducción.

La referencia del sondeo es el nivel actual del terreno ya sea terracería o nivel del pavimento según el caso. La profundidad de los sondeos SPT es variable con valores entre 5.50 a 8.45 metros, y se determinó hasta encontrar el manto de roca, boleos de roca o estratos competentes con valores mayores a 11 golpes en los sondeos de penetración estándar. En los pozos a cielo abierto se realizaron a 5.00 metros de profundidad, suficiente para el alcance del estudio y tipo de proyecto.

Para las pruebas SPT basadas a las normas ASTM D 1586 y D 6066, con muestreo alterado por medio del muestreador de cuchara abierta (tubo partido) Ø= 2" y 60 cm de longitud y para las muestras inalteradas, con tubo de pared delgada (tipo Shelby), mismos que se hincan en el terreno mediante la energía que proporciona un martinete de 63.5 kg de peso (sistema de percusión), el cual se deja caer libremente de una altura constante de 76 cm y al contar el número de golpes (N) necesarios para que penetre 30 cm, se conoce la compacidad o consistencia del subsuelo explorado, además de correlaciones para determinar el ángulo de fricción interno del material. El avance de los sondeos en suelo se realiza con broca helicoidal sólida (auger) de Ø= 6" y en material cementado o roca intemperizada con broca helicoidal con puntas de tungsteno, en manto de roca con barril de pared doble de diamante tipo NW. La máquina de perforación rotatoria empleada para los trabajos de exploración fue la modelo BK 51-HD de la marca Brainard Kilman, montada en camión Kodiak de 10 toneladas.

Se hicieron además las observaciones necesarias a fin de detectar la presencia de materiales de relleno, encontrándose en varios de los sondeos (>50%), relleno limpio (vialidades) a profundidad variable de 0.60 m a 2.60 m.

Respecto al nivel de aguas freáticas (NAF) o agua atrapada (o colgada) se localizó en 8 sondeos a profundidad variable, 2.50 a 6.30 m, principalmente en zonas con depresión topográfica, entre elevaciones de colinas (zonas de valles) o bien en zonas lacustres donde se acumula el agua. No se encontraron oquedades, fisuras o cavernas que pongan en riesgo la estructura a construir.

Se obtuvieron muestras alteradas e inalteradas directamente con el equipo SPT y tubo de pared delgado, respectivamente, determinándose su humedad en campo y una primera clasificación visual y al tacto. Ya en laboratorio se efectuaron los ensayos correspondientes.

En la lámina 4.6 se muestran algunas de las ubicaciones de los sondeos SPT a lo largo de la línea de conducción y también puede observarse en la Figura 4.11 una fotografía del proceso de campo del sondeo S-7C.

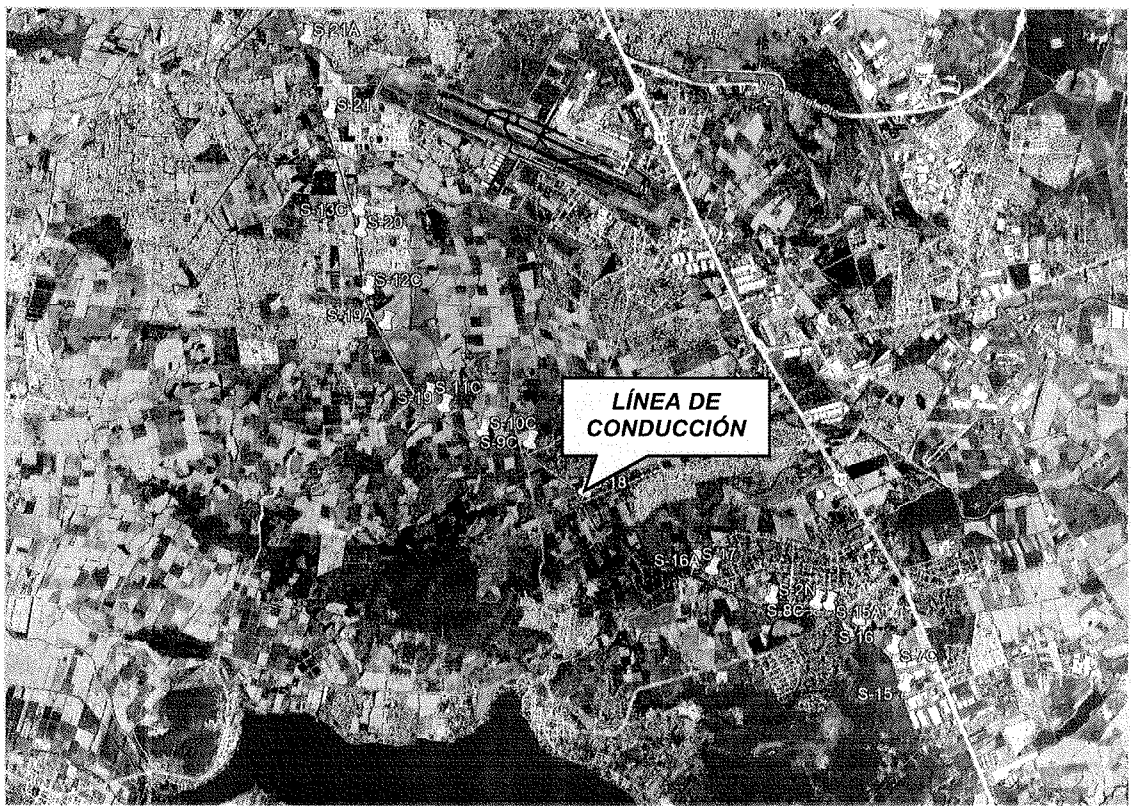


Lámina 4.6 Ubicación de SPT a lo largo del eje de trazo del Acueducto

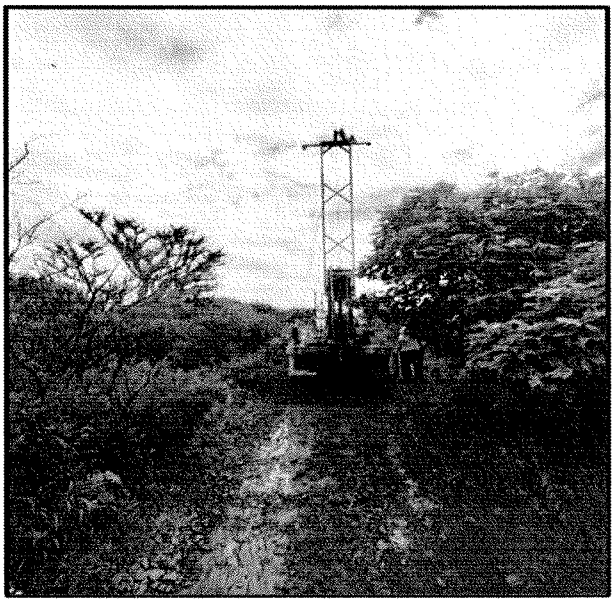


Figura 4.11 Fotografía del Sondeo 7C

En la tabla 4.14 se indica la ubicación de cada uno de los sondeos SPT realizados mediante sus coordenadas UTM (13Q, datum WGS-84, error ±3 m) e información sobre las profundidades de los mismos y una caracterización general de los estratos de cada uno de los mismos.

Tabla 4.14 Ubicación y Profundidades de Sondeos SPT

Sondeo No.	Cad.	UBICACIÓN		Prof. Estratos blandos/sueltos	Prof. Relleno	Prof. Agua	Prof. Roca / boleos	Prof. total sondeo
		ESTE (X)	NORTE (Y)					
S-1A	--	693,191	2'248,271	--	--	--	--	8.45 m
S-1	2+518	692,681	2'249,896	1.00 m a 2.00 m	--	--	--	8.45 m
S-1C	2+927	692,543	2'250,287	--	--	--	--	8.03 m
S-2	3+071	692,396	2'250,350	0.00 m a 0.45 m	--	--	5.20 m	8.00 m
S-1N	--	691,873	2'250,679	--	--	--	2.00 m	8.00 m
S-2C	4+282	691,596	2'251,138	0.00 m a 1.00 m	--	--	1.02 m	5.50 m
S-3C	5+463	690,613	2'251,820	--	--	--	--	8.45 m
S-4	5+788	690,331	2'251,896	--	0.90 m	4.20 m	--	8.45 m
S-4C	5+937	690,167	2'251,903	4.00 m a 5.00 m	0.60 m	4.40 m	--	8.45 m
S-5	6+509	689,338	2'251,755	4.00 m a 6.00 m	2.00 m	4.40 m	--	8.45 m
S-5C	7+395	688,714	2'251,703	2.00 m a 3.00 m	2.10 m	--	--	8.45 m
S-6	8+062	688,060	2'251,590	0.00 m a 0.45 m	--	--	6.20 m	6.20 m
S-7	8+434	687,693	2'251,531	0.00 m a 3.00 m	--	--	7.20 m	7.20 m
S-8	9+201	687,050	2'251,825	0.00 m a 0.45 m	0.60 m	--	--	8.45 m
S-9	10+027	686,453	2'252,395	0.00 m a 0.45 m	0.80 m	--	--	8.45 m
S-10	10+879	685,724	2'252,834	--	0.60 m	6.30 m	--	8.45 m
S-11	10+879	689,599	2'251,740	0.00 m a 0.45 m	--	--	--	8.20 m
S-12	11+330	685,330	2'253,053	0.00 m a 0.45 m	--	--	--	8.07 m*
S-6C	12+167	684,608	2'253,484	--	0.70 m	--	--	8.45 m
S-13	14+081	684,134	2'255,333	0.00 m a 0.45 m	--	3.00 m	8.05 m	8.05 m*
S-14	16+396	683,459	2'257,669	0.00 m a 8.45 m	0.90 m	4.00 m	--	8.45 m
S-15	19+709	682,545	2'260,591	--	--	--	5.60 m	8.00 m
S-7C	20+297	682,341	2'261,259	--	0.40 m	--	1.60 m	8.00 m
S-16	21+056	681,740	2'261,740	--	--	--	1.30 m	8.20 m
S-15A	21+680	681,214	2'262,012	0.00 m a 2.00 m	0.70 m	--	5.50 m	8.00 m
S-8C	22+499	680,991	2'262,036	--	--	--	--	8.45 m*
S-2N	--	680,215	2'262,115	--	1.20 m	--	4.70 m	8.00 m
S-16A	23+829	679,178	2'262,623	--	0.60 m	--	--	8.37 m
S-17	24+168	678,882	2'262,730	0.00 m a 4.00 m	--	--	--	8.45 m
S-18	26+478	676,959	2'263,733	--	--	--	1.10 m	8.43 m
S-9C	27+846	676,004	2'264,823	--	0.70 m	--	1.60 m	8.00 m
S-10C	28+684	675,168	2'264,999	1.00 m a 2.00 m	1.90 m	--	--	8.45 m
S-19	29+535	674,488	2'265,433	3.00 m a 4.00 m	0.80 m	2.50 m	4.45 m	8.45 m
S-11C	29+830	674,204	2'265,617	--	0.80 m	--	2.45 m	5.45 m
S-19A	31+300	673,457	2'266,865	--	0.70 m	--	--	8.00 m*
S-12C	31+992	673,150	2'267,479	0.00 m a 3.00 m	1.20 m	--	6.10 m	8.10 m
S-20	32+980	673,020	2'268,486	--	2.60 m	--	2.60 m	8.00 m
S-13C	33+414	672,991	2'268,847	0.00 m a 1.00 m	--	--	7.20 m	7.20 m
S-21	35+083	672,471	2'270,534	--	0.90 m	4.30 m	--	8.45 m
S-21A	--	672,059	2'271,838	0.00 m a 3.00 m	1.00 m	--	--	8.45 m

Sondeo con presencia importante de material intemperizado

De igual forma en la lámina 4.7 se indican las de algunos de los PCA realizados y en la Figura 4.12 se muestra la fotografía de la realización del PCA 8C

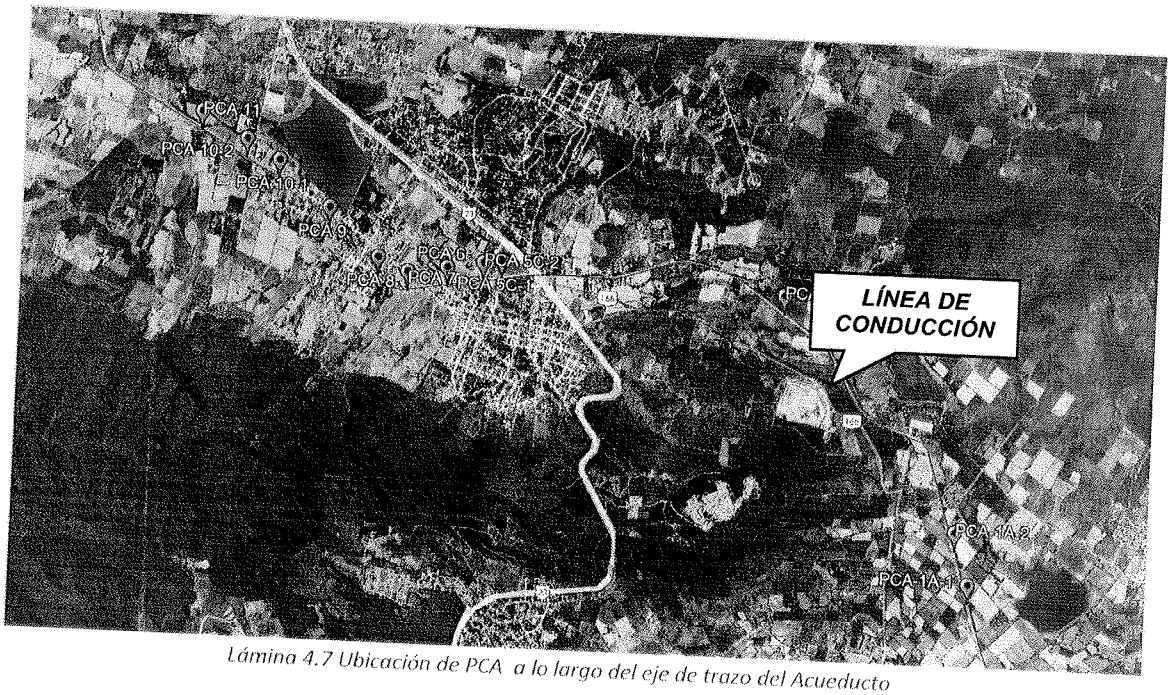


Lámina 4.7 Ubicación de PCA a lo largo del eje de trazo del Acueducto

Figura 4.12 Fotografía del PCA 8C

En la tabla 4.15 se indica la ubicación de cada uno de los PCA realizados mediante sus coordenadas UTM (13Q, datum WGS-84, error ±3 m) e información de las profundidades. Se puede observar la profundidad en donde se localizaron boleos.

Tabla 4.15 Ubicación y Profundidades de Sondeos PCA

Sondeo No.	UBICACIÓN		Prof. Estratos blandos/sueltos	Prof. Relleno limpio	Prof. Agua	Prof. Roca / boleos	Prof. total sondeo
	ESTE (X)	NORTE (Y)					
PCA-1A-1	693,039	2'248,760	--	0.90 m	--	--	5.00 m
PCA-1A-2	692,886	2'249,255	--	1.20 m	--	--	5.00 m
PCA2C-1	691,161	2'251,445	--	--	--	--	5.00 m
PCA-5C1	688,437	2'251,655	--	--	--	--	5.00 m
PCA-5C2	688,260	2'251,628	--	--	--	--	5.00 m
PCA-6	687,916	2'251,568	--	0.20 m	--	--	5.00 m
PCA-7	687,539	2'251,506	--	--	--	--	5.00 m
PCA-8	687,255	2'251,634	--	--	--	4.60 m	5.00 m
PCA-9	686,774	2'252,087	--	--	--	--	5.00 m
PCA-10-1	686,277	2'252,517	--	0.40 m	--	--	5.00 m
PCA-10-2	685,958	2'252,705	--	--	--	--	5.00 m
PCA-11	685,518	2'252,946	--	--	--	--	5.00 m
PCA-14-1	683,296	2'258,205	--	--	--	--	5.00 m
PCA-14-2	683,049	2'259,029	--	0.40 m	--	2.10 m	5.00 m
PCA-14-3	682,757	2'259,950	--	--	--	0.00 m	5.00 m
PCA-15A	681,045	2'262,043	--	--	--	--	5.00 m
PCA-8C-1	680,812	2'262,015	--	--	--	--	5.00 m
PCA-8C-2	680,521	2'262,028	--	--	--	1.60 m	5.00 m
PCA-2N-1	679,900	2'262,254	--	--	--	--	5.00 m
PCA-2N-2	679,570	2'262,407	--	--	--	--	5.00 m
PCA-19	678,266	2'263,018	--	--	--	--	5.00 m *
PCA-20	677,333	2'263,437	--	--	--	0.70 m	5.00 m
PCA-21	676,590	2'264,402	--	--	--	--	5.00 m
PCA-22	674,040	2'265,877	--	--	--	0.95 m	5.00 m
PCA-16	673,738	2'266,344	--	0.60 m	--	2.00 m	5.00 m
PCA-17	673,070	2'267,985	--	0.70 m	--	--	5.00 m
PCA-18	672,705	2'269,799	--	--	--	--	5.00 m

Sondeo con presencia importante de material intemperizado

4.4.4 Estratigrafía

El material encontrado es variable entre sondeos, aunque en ciertas zonas se mantiene una tendencia clara entre estratos, con ligeras variaciones en espesores y por lo tanto profundidad. En la figura 4.13 se muestra una gráfica donde se puede observar la información obtenida en cada uno de los sondeos realizados.

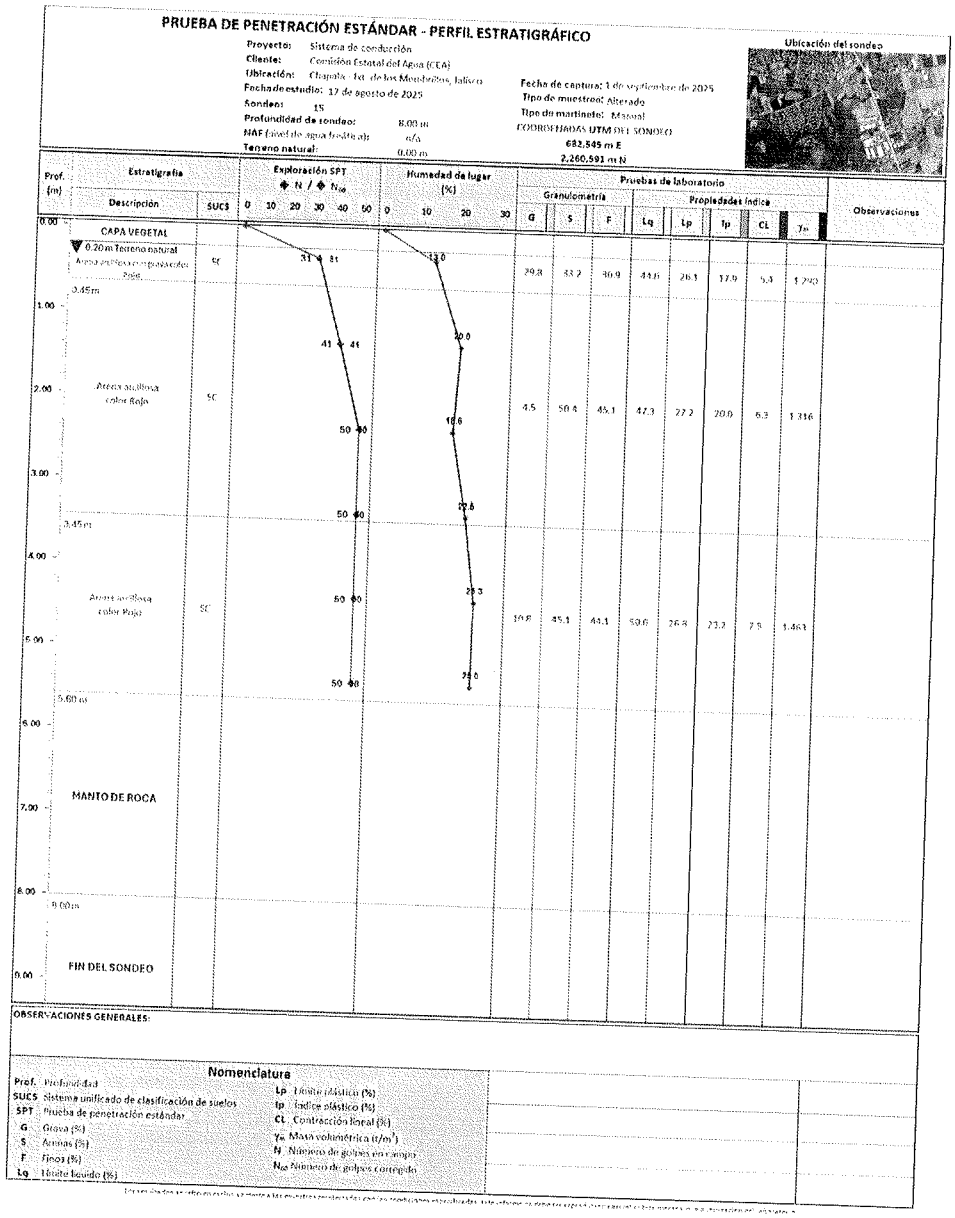


Figura 4.13 Estratigrafía del Sondeo S-15

Comisión Estatal del Agua Jalisco

FRAIS PROYECTOS Y EDIFICACION S.A. DE C.V.

PROYECTOS Y CONSTRUCCIONES DE INGENIERÍA HIDRÁULICA Y CIVIL S.A. DE C.V.

A partir de los datos obtenidos se realizaron los perfiles estratigráficos a lo largo de la línea de conducción los cuales fueron graficados. En la figura 4.14 se puede observar la información obtenida en un tramo del Acueducto.

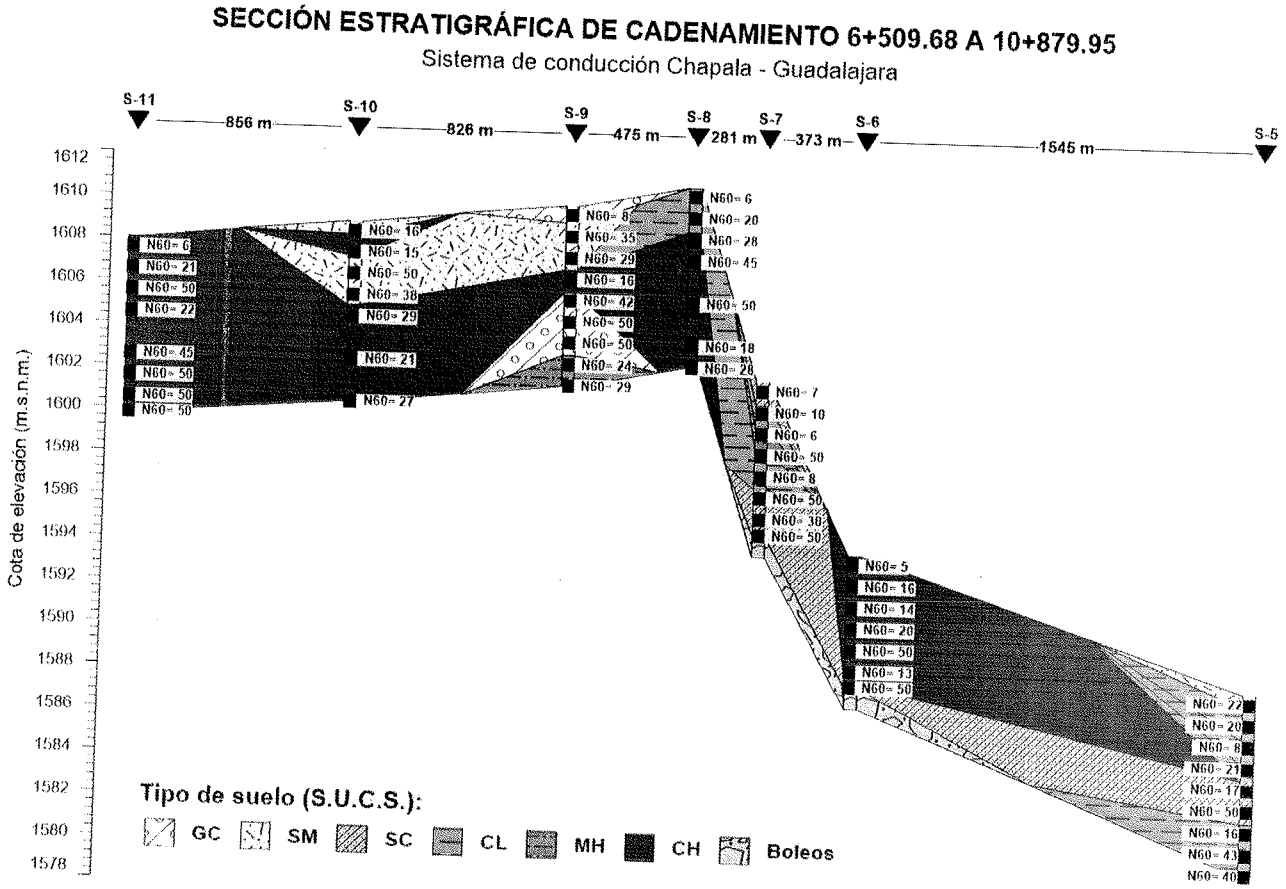


Figura 4.14 Sección Estratigráfica Eje de Trazo del Acueducto

Con el objeto de definir con suficiente aproximación el valor y variación de las propiedades del subsuelo que intervienen en la valuación de la capacidad de carga, se realizaron ensayos a las muestras alteradas. Estoy ensayos consistieron en granulometría y límites de consistencia para su clasificación SUCS, masa volumétrica húmeda y contenido de agua (porcentaje de humedad).

El material que se tiene en el suelo como terreno natural está compuesto por arcillas de baja a muy alta compresibilidad (CL y CH1), arenas arcillosas, limosas y mal graduadas (SC, SM y SP), limos inertes y elásticos (ML y MH), y grava arcillosa, limosa y mal graduadas (GC, GM y GP). Los materiales están localizados en estratos definidos con las siguientes propiedades.

A manera de resumir la información obtenida en la Tabla 4.16 se muestran los resultados de los ensayos obtenidos de los SPT indicándose el color, tamaño de partículas, condiciones de masa volumétrica y humedad en el lugar, límites de consistencia y coeficientes de permeabilidad. En la Tabla 4.17 se muestran los valores obtenidos en los PCA.

Tabla 4.16 Propiedades de Materiales de los SPT

COLOR DE LOS MATERIALES	Café, negro, beige, rojo, gris, beige, verde y amarillo, con tonos entre ellos.					
TAMAÑO DE SUS PARTÍCULAS	GRAVA %		ARENA %		FINOS %	
	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
	0.0	80.1	0.1	92.0	8.0	99.9
En general, el tamaño de las partículas de suelo de la exploración es 50% finos (limos y arcillas), en menor proporción (32%) conformado por arenas y finalmente, se tiene 18% de gruesos (gravas de material intemperizado), localizadas principalmente en zonas donde aflora la roca/boleos.						
MASA VOLUMÉTRICA HÚMEDA DEL LUGAR	MÍNIMO kg/m³		MÁXIMO kg/m³		PROMEDIO kg/m³	
	961		2,052		1,578	
HUMEDAD NATURAL	MÍNIMO %		MÁXIMO %		PROMEDIO %	
	2.04		102.8		25.7	
En general la humedad es mayor en sondeos donde se tiene presencia de agua, especialmente en estratos profundos (>5 m). Estos sondeos se localizan principalmente en zonas de depresión topográfica entre elevaciones colinares (valles) o zonas lacustres, donde se acumula el agua.						
LÍMITES DE CONSISTENCIA	LÍMITE LIQUIDO %		ÍNDICE PLÁSTICO %		CONTRACCION LINEAL %	
	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
	25.2	120.6	4.5	78.3	0.0	24.1
La compresibilidad del subsuelo varía de baja a muy alta, dependiendo de la naturaleza de los materiales que lo conforman. El 31% de los estratos evaluados son materiales de alta a muy alta compresibilidad. El 69% restante, principalmente arcillas, arenas y gravas (material intemperizado) es de baja y media compresibilidad.						
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD	MÍNIMO (cm/s)		MÁXIMO (cm/s)		PROMEDIO (cm/s)	
	1.57×10^{-4}		231.04×10^{-4}		5.4×10^{-4}	
Basándonos en los estudios de Allen Hazen, se tienen que la permeabilidad de los materiales del suelo es media en estratos de gravas, arenas mal graduadas y arenas con alto porcentaje de gruesos (>25%). Permeabilidad baja en estratos de arenas limosas y arcillosas (arenas sucias) y muy baja a nula permeabilidad en las arcillas y limos, por su contenido de finos y misma naturaleza (arcilla cohesiva e importante contenido de finos).						

COLOR DE LOS MATERIALES	Café, negro, beige, rojo, gris, beige y verde, con tonos entre ellos.					
TAMAÑO DE SUS PARTÍCULAS	GRAVA %		ARENA %		FINOS %	
	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
	0.0	61.1	0.7	73.3	13.2	99.3
En general, el tamaño de las partículas de suelo de las exploraciones PCA es 80% finos (limos y arcillas). En menor proporción (17%) conformado por arenas y finalmente, se tiene 3% de gruesos (gravas en material intemperizado), localizadas principalmente en zonas donde aflora la roca/boleos.						
MASA VOLUMÉTRICA HÚMEDA DEL LUGAR	MÍNIMO kg/m³		MÁXIMO kg/m³		PROMEDIO kg/m³	
	923		1,810		1,519	
LÍMITES DE CONSISTENCIA	LÍMITE LIQUIDO %		ÍNDICE PLÁSTICO %		CONTRACCION LINEAL %	
	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO

	19.2	79.5	2.3	42.8	0.0	16.6
La compresibilidad del subsuelo varía de baja a alta, dependiendo de la naturaleza de los materiales que lo conforman. El 50% de los estratos evaluados son materiales de alta compresibilidad. El 50% restante, principalmente arcillas, arenas y gravas (material intemperizado) es de baja y media compresibilidad.						

Tabla 4.17 Propiedades de Materiales de los PCA

4.4.5 Clasificación de los Materiales para Excavación

El suelo según la facilidad para excavar se clasifica dependiendo de sus características, como lo son el tamaño de sus partículas, densidad, resistencia y origen, entre otros factores, se dan 3 clasificaciones, como se indica enseguida.

- **Material Tipo I**: Suelo blando, conformado por arcilla o limo, o bien una combinación de ambos. Se puede extraer con herramientas manuales, como lo es con pico y pala.
- **Material Tipo II:** Conformado por arena, grava, arcilla consolidada o una combinación de los anteriores, formando un material semi-blando. Se puede extraer con maquinaria pesada (excavadora).
- **Material Tipo III:** Conformado por piedra, siendo este material de alta dureza. Su extracción requiere de métodos especializados como lo son, excavadoras equipadas con martillo hidráulico, explosivos y/o químicos expansivos.

De acuerdo con las propiedades de los materiales estudiados en laboratorio, exploraciones y pruebas en campo, se podrán encontrar zonas de los tres tipos de suelos, siendo un proyecto con **MATERIALES EXPLORADOS DE TIPO MIXTO**. Los porcentajes de los materiales ensayados y clasificados mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) se muestra en la Figura 4.15 donde se puede observar que el 44% son arcillas de las cuales el 27% son de alta compresibilidad. Las arenas suman un 32%, se presentan gravas en un 18% y limos en un 6%.

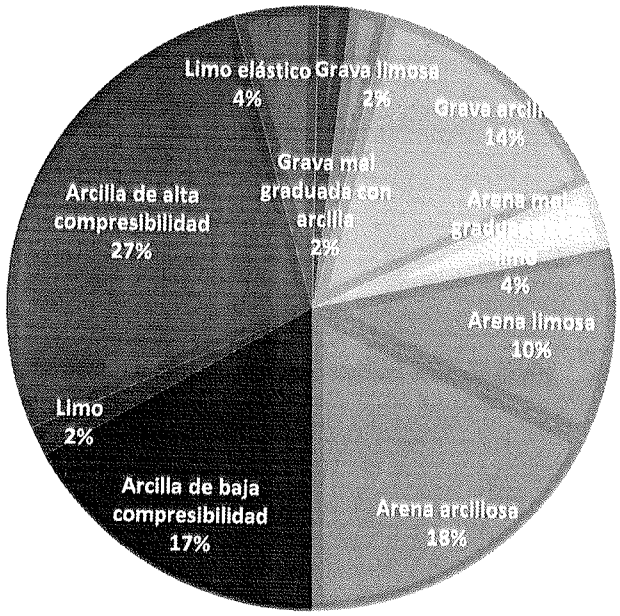


Figura 4.15 Porcentajes según Clasificación SUCS de Materiales

4.4.6 Ensayos de Laboratorio

Gravedad especifica de las partículas sólidas.

La determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos es una prueba básica de laboratorio que permite establecer la relación entre el peso de un volumen dado de sólidos del suelo y el peso del mismo volumen de agua a temperatura estándar. Esta propiedad es esencial para el análisis de diversas características del suelo, incluyendo su clasificación, el cálculo de la relación de vacíos, la determinación de la densidad seca máxima, así como la evaluación del comportamiento de consolidación y asentamientos. La prueba se realiza conforme a la norma ASTM D854, utilizando métodos de picnómetro con muestras secas finas o pulverizadas, en condiciones controladas de laboratorio (20°C). Su resultado permite definir el valor del peso específico relativo de las partículas sólidas (Gs).

En la Tabla 4.18 se presentan los resultados de las pruebas realizadas con base en las muestras inalteradas obtenidas y analizadas en laboratorio.

Tabla 4.18 Resultados de Gravedad especifica de las partículas sólidas.

Sondeo No.	Prof. (m)	G 20°C

		(Gravedad especifica de los sólidos)
S-11	4.30 m - 5.00 m	2.532
S-5	3.00 m - 3.70 m	2.552
S-14	2.00 m - 2.70 m	2.498
S-14	3.00 m - 3.70 m	2.563
S-1A	3.00 m - 3.70 m	2.643
S-4	3.00 m - 3.70 m	2.612
S-01C	3.00 m - 3.70 m	2.657
S-4	4.00 m - 4.70 m	2.569
S-10	7.00 m - 7.60 m	2.464
S-10C	3.00 m - 3.40 m	2.336
S-16A	3.00 m - 3.70 m	2.536
S-17	3.00 m - 3.70 m	2.354
S-12C	2.00 m - 2.50 m	2.388
S-21A	2.00 m - 2.70 m	2.365
PCA-6	4.00 m - 4.70 m	2.426
S-6C	4.90 m - 5.60 m	2.298
S-3C	4.00 m - 4.70 m	2.274
S-8	4.00 m - 4.70 m	2.514

Contenido de Cloruros y Sulfatos

La prueba de **Determinación de cloruros solubles en agua (UNE-EN 1744-1, Apartado 7)** es un ensayo de laboratorio que permite cuantificar la concentración de cloruros disueltos en el suelo, evaluando su potencial corrosivo frente a materiales como el concreto o el acero en cimentaciones. Por su parte, la **Determinación cuantitativa del contenido de sulfatos en un suelo (UNE 103-201 + Err)** se realiza para medir la presencia de sulfatos, los cuales pueden generar reacciones químicas perjudiciales. En la Tabla 4.19 se presentan los resultados de las pruebas realizadas con base en las muestras inalteradas obtenidas y analizadas en laboratorio. Los niveles de cloruros obtenidos sobre todo en el sondeo 8 presenta riesgo de corrosión a la tubería de acero por lo que se tomarán medidas preventivas mediante un sistema de protección catódica. Los sulfatos no presentan riesgo alguno.

Tabla 4.19. Resultados de contenido de cloruros y sulfatos.

Sondeo No.	Prof. (m)	Cl (Cloruros) (%)	SO3 (Sulfatos) (%)
S-8	4.00 m - 4.70 m	0.024	0.00
S-8	6.00 m - 6.70 m	0.018	0.00
S-10	5.00 m - 5.70 m	0.013	0.00
S-11	4.30 m - 5.00 m	0.010	0.00

Potencial de Hidrógeno PH del Suelo

La prueba de **Determinación del pH del suelo (UNE 103-300)** es un ensayo de laboratorio que mide la acidez o alcalinidad del terreno, lo que permite evaluar su potencial reactivo frente a materiales de construcción como el concreto y el acero. Este análisis es crucial para identificar posibles efectos corrosivos o reacciones químicas adversas que puedan comprometer la estabilidad y durabilidad de las estructuras geotécnicas. A continuación, en la Tabla 4.20 se presentan los resultados de las pruebas realizadas con base en las muestras obtenidas en sondeos y analizadas. Los valores obtenidos indican que el suelo se localiza entre ligeramente ácido y ligeramente alcalino lo que no representa gran riesgo de corrosión.

Tabla 4.20. Resultados de pH del suelo

Sondeo No.	Prof. (m)	pH
S-5	4.00 m	6.90
S-6	4.00 m	7.08
S-7	4.00 m	7.04
S-8	4.00 m	6.80
S-9	4.00 m	7.26
S-10	4.00 m	7.34
S-11	4.00 m	7.47
PCA-8	3.00 m	7.20

Ensayos Triaxiales

Se ejecutaron **Ensayos Triaxiales No consolidado- No drenado (Tipo UU)**, con el objetivo de determinar el ángulo de fricción y la cohesión de la arcilla en condiciones no drenadas (corto plazo), además de condiciones de humedad, para con ello determinar capacidad de carga del suelo. En la Tabla 4.21 se muestran los valores obtenidos los cuales nos servirán para las recomendaciones de construcción en los elementos estructurales del acueducto como atraques, desplante de estructuras y determinación de los taludes de la cepa de excavación.

Sondeo No.	Profundidad (m)	Humedad Inicial (%)	Ángulo de fricción (grados)	Cohesión del suelo (kPa)
S-11	4.30 m - 5.00 m	29.2	13.0	26.8
S-14	2.00 m - 2.70 m	57.9	12.6	39.9
S-14	3.00 m - 3.70 m	23.2	19.8	57.2
S-1A	3.00 m - 3.70 m	25.4	19.2	129.0
S-01C	3.00 m - 3.70 m	16.5	27.3	71.2

S-4	4.00 m - 4.70 m	17.8	31.6	69.3
S-10	7.00 m - 7.60 m	46.4	7.4	67.8
S-10C	3.00 m - 3.40 m	40.4	29.4	79.1
S-16A	3.00 m - 3.70 m	26.8	28.8	104.4
S-17	3.00 m - 3.70 m	39.5	19.9	86.7
S-21	2.00 m - 2.60 m	48.4	22.3	33.9

Tabla 4.21. Resultados de triaxiales (U.U.)

También se ejecutó **Ensayo Triaxial Consolidado- No Drenado (Tipo CU),** con el objetivo de determinar el ángulo de fricción y la cohesión de la arcilla en condiciones no drenadas y consolidada, además de condiciones de humedad, para con ello determinar capacidad de carga del suelo tanto para situaciones de esfuerzos efectivos y totales. En la Tabla 4.22 se muestran los valores obtenidos.

Tabla 4.22. Resultados de triaxiales (C.U.)

Sondeo No.	Profundidad (m)	Humedad Inicial (%)	Ángulo de fricción (grados)		Cohesión del suelo (kPa)	
			Total	Efectiva	Total	Efectiva
S-4	3.00 m - 3.70 m	31.6	6.4	7.3	62.9	64.4
S-12C	2.00 m - 2.50 m	24.7	18.4	25.6	47.8	45.6
S-21A	2.00 m - 2.70 m	43.4	26.0	30.5	121.3	125.6
PCA-6	4.00 m - 4.70 m	43.3	14.5	16.5	109.6	108.3
S-6C	4.90 m - 5.60 m	43.7	16.7	19.6	92.8	86.8
S-3C	4.00 m - 4.70 m	46.8	18.1	22.0	69.2	65.3
S-8	4.00 m - 4.70 m	19.3	27.1	30.9	57.9	58.9

Coeficiente Volumétrico de Abundamiento

El Coeficiente Volumétrico de Abundamiento es un parámetro que representa el incremento relativo en el volumen de un material excavado respecto a su volumen in situ, debido a la pérdida de compacidad durante la excavación. Se expresa como la relación entre el volumen del material suelto (después de excavar) y el volumen del material en su estado original en el sitio. En la Tabla 4.23 se muestran los valores obtenidos en los Sondeos de Penetración Estándar y nos permitirá contar con información para la evaluación de carga y acarreo de los materiales producto de la excavación para su retiro fuera de la obra.

Tabla 4.23. Resultado de Coeficiente Volumétrico de Abundamiento en sondeos SPT

SONDEOS SPT					
Sondeo No.	**Profundidad (m)**	**S.U.C.S.**	**Masa Volumétrica estado natural (kg/m³)**	**Masa Volumétrica estado suelto (kg/m³)**	**Coeficiente volumétrico de abundancia (CVA)**
S-1A	0.90 a 3.00	CL	1627	1262	1.29
S-1	0.80 a 2.90	CH	1781	1082	1.65
S-01C	0.70 a 4.00	CL	1779	1352	1.32
S-2	2.00 a 5.20	CH	1780	1217	1.46
S-3C	1.20 a 4.00	CH	1708	1080	1.58
S-4	0.90 a 3.10	SC	1592	1216	1.31
S-4C	2.00 a 3.00	CH	1792	1097	1.63
S-5	2.00 a 3.00	CH	1780	1165	1.53
S-5C	2.10 a 3.20	CL	1772	1271	1.39
S-6	1.00 a 6.00	CH	1781	1092	1.63
S-7	2.10 a 3.15	MH	1921	1301	1.48
S-8	2.10 a 7.00	CH	1778	1184	1.50
S-9	0.80 a 3.00	SM	1683	1374	1.22
S-10	1.60 a 3.90	SM	1524	1234	1.24
S-11	2.20 a 5.90	CH	1726	1105	1.56
S-12	1.45 a 2.60	CH	1700	1095	1.55
S-6C	1.80 a 2.50	CH	1529	1062	1.44
S-13	1.50 a 3.90	GM	1723	1274	1.35
S-14	0.90 a 5.80	CH	1893	1183	1.60
S-15	0.45 a 3.45	SC	1316	1079	1.22
S-15A	2.00 a 2.60	SC	1464	1206	1.21
S-8C	1.20 a 3.45	GC	1316	1116	1.18
S-2N	1.20 a 3.00	CL	1323	1007	1.31
S-16A	1.45 a 3.00	SM	1404	1154	1.22
S-17	0.45 a 2.45	CH	1703	1074	1.59
S-10C	1.90 a 3.00	ML	1207	1004	1.20
S-19	2.00 a 4.00	CL	1892	1322	1.43
S-12C	2.60 a 3.70	SM	1195	1002	1.19
S-13C	2.00 a 6.00	GM	961	836	1.15
S-21	2.00 a 4.00	SM	1292	1002	1.29
S-21A	3.00 a 4.00	ML	1378	1079	1.28

En la Tabla 4.24 se muestran los valores obtenidos en Pozos a cielo abierto. En este caso cabe mencionar que en los sondeos donde no se determinó el Coeficiente volumétrico de abundancia (CVA), se identificó la presencia superficial de roca, ya sea en forma de manto, boleos o bien material intemperizado. Debido a la naturaleza de estos materiales, no fue posible calcular el CVA, ya que su comportamiento volumétrico durante la excavación no se ajusta a los métodos convencionales para suelos.

Tabla 4.24. Resultado de Coeficiente Volumétrico de Abundamiento en sondeos PCA.

SONDEOS PCA					
Sondeo No.	**Profundidad** (m)	**S.U.C.S.**	**Masa Volumétrica estado natural** (kg/m³)	**Masa Volumétrica estado suelto** (kg/m³)	**Coeficiente volumétrico de abundancia** (CVA)
PCA-1A-1	1.50 a 2.80	CH	1649	1082	1.52
PCA-1A-2	1.80 a 3.90	MH	1654	1061	1.56
PCA-2C	3.90 a 5.00	CH	1716	1122	1.53
PCA-5C-1	1.80 a 5.00	CH	1810	1082	1.67
PCA-5C-2	0.20 a 5.00	CH	1810	1082	1.67
PCA-6	0.20 a 5.00	CL	1765	1219	1.45
PCA-7	0.20 a 2.20	GC	1570	1238	1.27
PCA-8	2.80 a 4.60	CL	1602	1149	1.39
PCA-9	1.80 a 5.00	CL	1598	1156	1.38
PCA-10-1	1.60 a 4.40	CL	1520	1120	1.36
PCA-10-2	0.20 a 1.90	CL-ML	1474	1144	1.29
PCA-11	3.60 a 5.00	CH	1734	1165	1.49
PCA-14-1	1.80 a 5.00	CH	1719	1107	1.55
PCA-14-2	0.40 a 2.10	CL	1509	1191	1.27
PCA-15A	2.00 a 5.00	SC	1574	1286	1.22
PCA-8C-1	1.80 a 3.90	SM	1378	1161	1.19
PCA-2N-1	1.50 a 4.40	ML	1408	1174	1.20
PCA-2N-2	2.40 a 5.00	CH	1594	1067	1.49
PCA-16	1.30 a 2.00	CL	1432	1139	1.26
PCA-17	1.90 a 3.20	SM	1111	872	1.27
PCA-18	2.40 a 5.00	MH	1369	980	1.40
PCA-19	0.00 a 2.40	GC	1571	1315	1.19
PCA-21	1.90 a 2.40	SM	1367	1165	1.17
PCA-22	2.40 a 5.04	SM	1604	1380	1.16

4.4.7 Recomendaciones y Procedimiento Constructivo Línea de Conducción

De las exploraciones y ensayos de laboratorio se concluye que el subsuelo a lo largo de la línea de conducción está compuesto por materiales mixtos y compresibles como arcillas y limos elásticos de alta a muy alta compresibilidad, materiales inertes, como arenas y gravas, y finalmente manto de roca o boleos de roca, detectados en número significativo de sondeos realizados (45%) y a profundidad variable, entre 1.02 m y 8.05 m. Asimismo, se detectó agua en el 20% de los sondeos, especialmente en zonas con depresiones topográfica entre elevaciones colinares (valles) o zonas lacustres donde se acumula el agua, encontrando este nivel a profundidad variable, 2.50 m y 6.30 m.

Respecto a las propiedades mecánicas del subsuelo, se establece que, con base en la excavación destinada a alojar la tubería a profundidad entre 3.80 m y 5.65 m, se atraviesan los estratos blandos o sueltos presentes en algunos sondeos. Por consiguiente, el problema principal no será de capacidad de carga del terreno, sino de deformaciones que, con cambios en el contenido de agua del subsuelo, se podrán tener variaciones volumétricas, esto es movimientos por expansión-contracción y por ende asentamientos. Particularmente, en la zona del sondeo S-14 (Kilómetro 16+396), se identifica un subsuelo altamente desfavorable, caracterizado por la presencia de estratos blandos y compresibles hasta profundidad de 8 metros, además de presencia de agua, lo que hace una zona de riesgo, por lo que requiere mejoramiento especializado y profundo en esta zona.

En la figura 4.16 se muestra una sección típica para el manejo de los taludes y dimensiones para la instalación de la tubería propuesta para el Acueducto Sustituto. Para alojar la estructura se determina un ancho de 3.30 metros y por lo menos 3 metros de altura sobre una plantilla mínima de 0.30 mts. Del nivel del terreno natural al nivel del acostillado, se deberá considerar un talud de 45 grados que tendrá profundidades variables entre los 0.50 mts y hasta 2.65 mts de altura determinado tanto por condiciones de suelo como de los niveles de desplante del proyecto.

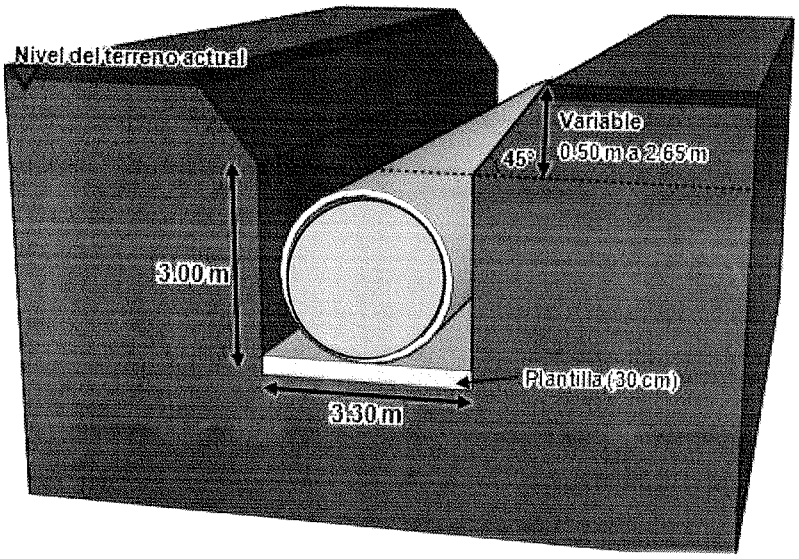


Figura 4.16 Sección Tipo para alojar la tubería

Para el desplante de la tubería, debido a que se tienen diferentes condiciones a lo largo de los cuarenta y dos kilómetros se definieron los procedimientos a seguir según los materiales de desplante que podrían ubicarse. Se detectaron 4 posibles escenarios.

- **Tipo A: Desplante sobre materiales inertes (arenas o limos).**

i. **La profundidad mínima** para llevar a cabo el **desplante** del acueducto, será a **3.80 m**, respecto al nivel de terreno actual (o brocal de sondeos). Esta profundidad podrá aumentar marginalmente (30 cm) en ciertas zonas por presencia de estratos sueltos, por lo que se deberá estar atento durante el proceso de excavación, asegurando desplante sobre suelo competente (firme, no suelto). Una vez llegada la excavación al nivel de desplante, **colocar plantilla de 30 cm de espesor** con material de banco inerte (grava o bien arena limosa = tepetate, a checar con proyectista) o bien material producto de la excavación (arenas inertes). Compactar al 95% de su masa volumétrica seca máxima (MVSM) y humedad óptima.

- **Tipo B: Desplante sobre boleos o manto de roca.**

i. **La profundidad mínima** para llevar a cabo el **desplante** del acueducto, será a **3.80 m**, respecto al nivel de terreno actual (o brocal de sondeos), esta profundidad podrá aumentar en ciertas zonas, a no más de 5.65 m, según indicaciones en croquis), hasta asegurarse el llegar a la roca (dominio de boleos o bien manto).

Una vez llegada la excavación a la roca, **retirar el material arcilloso, boleos sueltos y colocar lechada de calhidra** sobre toda la superficie de desplante, para aglutinar boleos/manto de roca y estabilizar cualquier material compresible residual.

Finalmente **colocar plantilla de 30 cm de espesor** con material de banco y compactar al 95% de su masa volumétrica seca máxima (MVSM) y humedad óptima.

- **Tipo C: Desplante sobre materiales compresibles y/o con presencia de agua.**

i. **La profundidad mínima** para llevar a cabo el **desplante** del acueducto, será a **3.50 m**, respecto al nivel de terreno actual (o brocal de sondeos), esta profundidad podrá aumentar en ciertas zonas por presencia de estratos blandos (a no más de 5.95 m, según indicaciones en croquis), aunque será necesario realizar mejoramiento del subsuelo por presencia de materiales compresibles, blandos y/o presencia de agua. Seguir las indicaciones de enseguida:

a) Excavar 70 cm adicionales al desplante (ver profundidad en tabla por zona/sondeos), debiendo asegurar el quedar debajo de estratos blandos (suelo competente).
b) Conformar capa estabilizadora/rompedora de 40 cm de espesor, empleando material grueso, que podrá ser cascajo de piedra de buena calidad y limpio o bien grava de basalto de calidad, con tamaños graduados de 5" a ½", sin finos ni arena (máximo 10%), debiendo acomodar el material sin dejar huecos, evitando fracturar o triturar los gruesos.
c) Colocar geotextil para evitar la contaminación de la capa estabilizadora/rompedora de gruesos con finos de la capa tipo base o plantilla.
d) Colocar capa de base cementada (plantilla) de 30 cm de espesor, mediante material de banco inerte (arena limosa = tepetate), mezclado con cemento gris a razón de 50 kg/m3, capa que servirá para desplante de tubo y como sello por presencia de agua.

- **Tipo D: Desplante sobre materiales compresibles, blandos hasta profundidad importante y con presencia de agua.**

i. **La profundidad mínima** para llevar a cabo el **desplante** del acueducto, será a **3.50 m**, respecto al nivel de terreno actual (o brocal de sondeos), aunque será necesario realizar mejoramiento del subsuelo por presencia de materiales compresibles y blandos hasta profundidad significativa (>8 m), así como a la existencia de agua, condiciones que tornan inviable una excavación considerable por su profundidad y riesgos asociados.

Se propone instalar inclusiones rígidas a lo largo y ancho de la excavación (desplante de tubería del acueducto), a checar con especialista en este tipo de trabajos (mejoramiento de suelos). El mejoramiento del suelo mediante inclusiones rígidas se logra al instalar columnas de material de alta rigidez dentro del terreno natural, sin que estas estén directamente ligadas a la cimentación o estructura (acueducto). Las inclusiones funcionan como elementos que redistribuyen las descargas transmitidas desde la estructura (tubo) hacia estratos más profundos y competentes, mejorando la capacidad portante del sistema y en especial controlando asentamientos. A continuación, se describen las especificaciones:

e) **Proceso de instalación:** Posterior a la excavación de cepa hasta el nivel de desplante del acueducto y adicionalmente 0.80 m para la conformación de capa de transferencia de carga (0.50 m) y de transición o plantilla (0.30 m), llegando a profundidad de 4.30 m (respecto a nivel actual de sondeo), se realizará perforación para inclusiones rígidas con diámetro (Ø) de 0.30 m, longitud de 4.70 m (llegando a 9.00 m respecto a nivel actual de terreno, suelo competente) y separadas a cada 0.90 m (tres veces el diámetro).

f) **Material para las inclusiones:** La resistencia del material utilizado para las inclusiones rígidas dependerá de los requisitos del proyecto y las cargas aplicadas. Para garantizar un buen desempeño, se recomienda resistencia mínima a la compresión simple (f'c) de 200 kg/cm² (20 MPa), sin refuerzo de acero.

g) **Capa de transferencia de carga**: El espesor de esta capa será de 50 cm. Los agregados gruesos que la conformarán la capa deberán tener un tamaño entre 50 mm y 75 mm, estar bien graduados y ser colocados (compactado) de manera que se eviten huecos o grava suelta, minimizando así las deformaciones bajo la carga.

h) **Geotextil**: Posterior a la conformación de la capa de transferencia de carga, se deberá colocar una membrana geotextil para evitar la contaminación con material fino procedente de la capa superior (de transición).

i) **Capa de transición**: Se deberá conformar capa de transición con espesor de 30 cm, utilizando material del lugar o arena inerte, mezclado con cemento gris en proporción de 50 kg/m³. Esta capa deberá compactarse al 100% de la masa volumétrica seca máxima (MVSM) y humedad óptima, capa que servirá para desplante del acueducto.

Este sistema de mejoramiento (inclusiones rígidas) permite que el suelo entre las inclusiones también participe en la transferencia de carga, creando un efecto combinado que optimiza el comportamiento del conjunto. De esta forma, se logra una solución eficiente y económica para terrenos con suelos blandos. Se deberá revisar con empresa especialista en este tipo de trabajos. El procedimiento se puede visualizar en la Figura 4.17

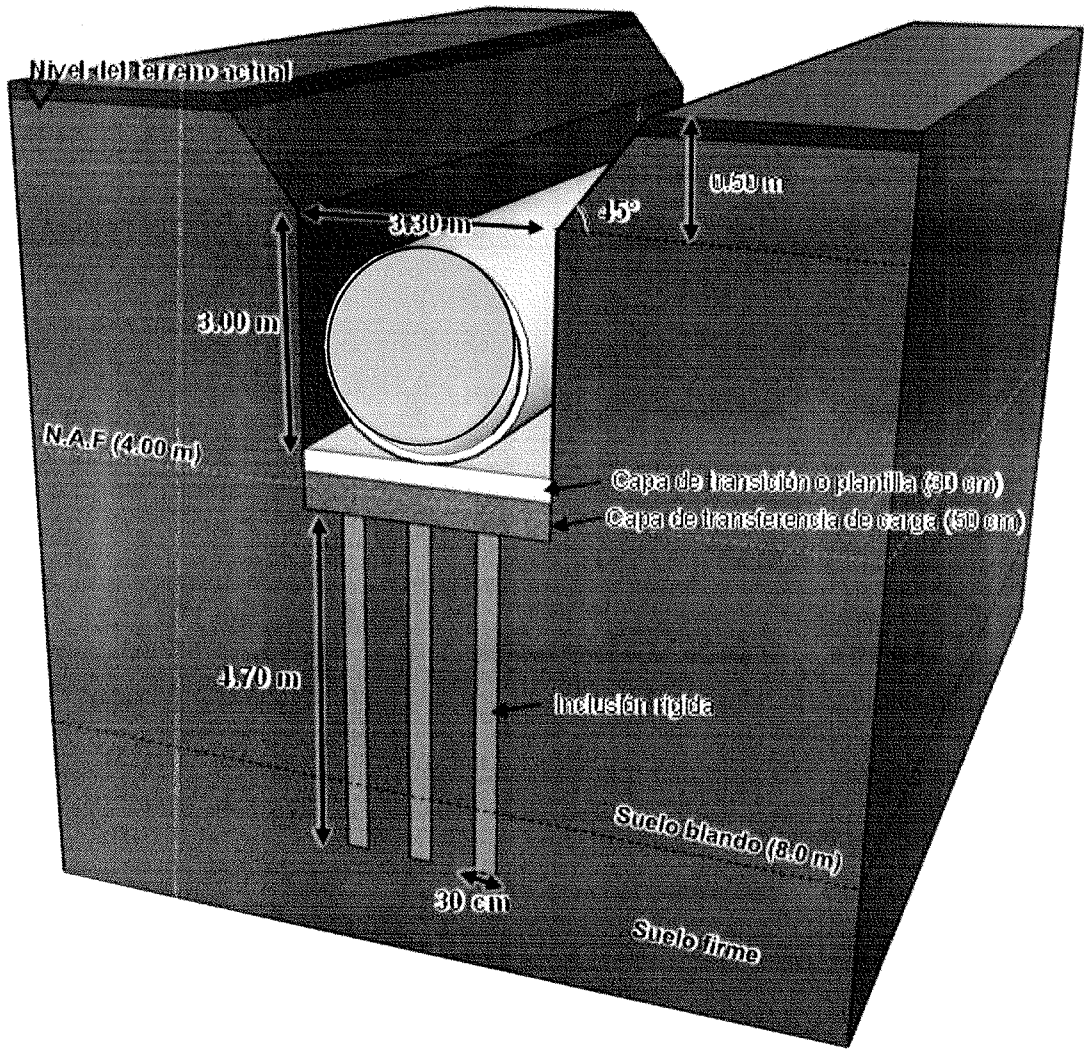


Figura 4.17 Mejoramiento de Suelo mediante inclusiones rígidas

En la Tabla 4.25 se muestra el kilometraje con los datos respectivos de los sondeos y se refiere el tipo de mejoramiento que deberá usarse con la profundidad de excavación recomendada.

Tabla 4.25 Ubicación por Tipo de Mejoramiento a lo largo del Acueducto.

Sondeo No.	Cad.	Tipo de mejoramiento / desplante	Excavación variable	Excavación desplante *	Excavación por mejoramiento	Prof. total Excavación
S-1A	--	C (compresible)	0.50 m	3.50 m	0.70 m	4.20 m
S-1	2+518	C (compresible)	0.50 m	3.50 m	0.70 m	4.20 m
S-1C	2+927	C (compresible)	0.50 m	3.50 m	0.70 m	4.20 m
S-2	3+071	B (boleos)	1.90 m	5.20 m	0.00 m	5.20 m
S-1N	--	B (boleos)	0.50 m	3.80 m	0.00 m	3.80 m
S-2C	4+282	B (boleos)	0.50 m	3.80 m	0.00 m	3.80 m
S-3C	5+463	A (inerte)	0.80 m	4.10 m	0.00 m	4.10 m
S-4	5+788	C (agua y compresible)	0.50 m	3.50 m	0.70 m	4.20 m
S-4C	5+937	C (agua, blando y compresible)	1.10 m	4.10 m	0.70 m	4.80 m
S-5	6+509	C (agua, blando y compresible)	2.10 m	5.10 m	0.70 m	5.80 m
S-5C	7+395	A (inerte)	0.50 m	3.80 m	0.00 m	3.80 m
S-6	8+062	C (compresible)	0.50 m	3.50 m	0.70 m	4.20 m
S-7	8+434	A (inerte)	0.50 m	3.80 m	0.00 m	3.80 m
S-8	9+201	C (compresible)	0.50 m	3.50 m	0.70 m	4.20 m
S-9	10+027	C (compresible)	0.50 m	3.50 m	0.70 m	4.20 m
S-10	10+879	C (agua y compresible)	0.50 m	3.50 m	0.70 m	4.20 m
S-11	10+879	C (compresible)	0.50 m	3.50 m	0.70 m	4.20 m
S-12	11+330	C (compresible)	0.50 m	3.50 m	0.70 m	4.20 m
S-6C	12+167	C (compresible)	0.50 m	3.50 m	0.70 m	4.20 m
S-13	14+081	C (agua)	0.50 m	3.50 m	0.70 m	4.20 m
S-14	16+396	D (agua, blando y compresible)	0.50 m	3.50 m	0.80 m	4.30 m**
S-15	19+709	A (inerte)	0.50 m	3.80 m	0.00 m	3.80 m
S-7C	20+297	B (boleos)	0.50 m	3.80 m	0.00 m	3.80 m
S-16	21+056	B (boleos)	0.50 m	3.80 m	0.00 m	3.80 m
S-15A	21+680	A (inerte)	0.50 m	3.80 m	0.00 m	3.80 m
S-8C	22+499	A (inerte)	0.50 m	3.80 m	0.00 m	3.80 m
S-2N	--	B (boleos)	1.40 m	4.70 m	0.00 m	4.70 m
S-16A	23+829	C (compresible)	0.50 m	3.50 m	0.70 m	4.20 m
S-17	24+168	C (compresible)	0.50 m	3.50 m	0.70 m	4.20 m
S-18	26+478	B (boleos)	0.50 m	3.80 m	0.00 m	3.80 m
S-9C	27+846	B (boleos)	0.50 m	3.80 m	0.00 m	3.80 m
S-10C	28+684	C (compresible)	0.50 m	3.50 m	0.70 m	4.20 m
S-19	29+535	B (boleos)	1.15 m	4.45 m	0.00 m	4.45 m
S-11C	29+830	B (boleos)	0.50 m	3.80 m	0.00 m	3.80 m
S-19A	31+300	B (boleos)	0.50 m	3.80 m	0.00 m	3.80 m
S-12C	31+992	A (inerte)	0.50 m	3.80 m	0.00 m	3.80 m
S-20	32+980	B (boleos)	0.50 m	3.80 m	0.00 m	3.80 m
S-13C	33+414	A (inerte)	0.50 m	3.80 m	0.00 m	3.80 m
S-21	35+083	C (compresible y agua)	0.50 m	3.50 m	0.70 m	4.20 m
S-21A	--	C (compresible)	0.50 m	3.50 m	0.70 m	4.20 m

* Excavación de desplante incluye excavación variable (superficial) + Excavación para alojar tubería.
** Falta considerar excavación de inclusiones rígidas (zona critica, S-14)

Las recomendaciones para el proceso constructivo del Acueducto se presentan a continuación.

***i.* Las excavaciones** podrán realizarse mediante taludes verticales, sin apuntalamiento, siempre y cuando no rebasen los 2.00 m de profundidad. Procurar que las excavaciones no estén abiertas más de 5 días para evitar cambios en su humedad o contenido de agua del material de las paredes de la excavación y en consecuencia desprendimientos de los taludes. El ángulo del talud para la excavación será variable, recomendando 1:1 (45°), sin embargo, si se está excavando en zonas con roca desde la superficie (boleos/manto) se podrá realizar excavación vertical (90°).

***ii.* El relleno** para instalaciones, cimentación (en zona de atraques) o sobre el tubo, debe hacerse con material de banco inerte (grava o arena limosa = tepetate), o bien material producto de excavación en zonas con arenas inertes, aunque deberá comprobarse que este material cumple las características para ser empleado como relleno. Compactar en capas de 10 a 15 cm de espesor, previamente humedecido a fin de alcanzar el 90% de su masa volumétrica seca máxima (MVSM) y 95% cuando vaya a recibir cargas. El equipo para compactar deberá ser mecánico, tipo rodillo vibratorio de buena capacidad.

***iii.* Las instalaciones** cuidar que sean realizadas correctamente, observando la unión entre los tubos (hermética) y el que queden asentadas sobre capa de material de banco inerte compactado de al menos 30 cm de espesor (ya mencionado en las recomendaciones), además de acostillar alrededor del tubo. Probar que no haya fugas (antes de rellenar o tapar) para evitar erosión con los consecuentes problemas de asentamientos. Nunca desplantar directamente sobre la roca, debiendo colocar una plantilla, como se ha indicado.

***iv.* Generales** cuidar el perímetro de la línea de conducción para evitar filtración de agua al subsuelo, recomendando dar desnivel al terreno, para captar y desalojar el agua proveniente de escurrimientos superficiales, evitando con ello cambios en el contenido de agua del subsuelo.

***v.* Normas y referencias** utilizadas en esta exploración geotécnica, las cuales han sido fundamentales para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos. Estas normas abarcan aspectos relacionados con procedimientos de muestro, pruebas en campo y pruebas de laboratorio.

- Ensayo de Penetración Estándar (SPT): ASTM D 1586 y D 6066.
- Prueba Pozo a Cielo Abierto (PCA): NMX-C-430.
- Determinación del contenido de agua mediante horno: NMX-C-475.
- Determinación de límites de consistencia de suelos: NMX-C-493.
- Determinación de la composición granular de los materiales térreos: NMX-C-496.

4.4.8 Bancos de Préstamo

Este estudio tiene como objetivo recopilar información relevante sobre las propiedades físicas (calidades) de los bancos de materiales ubicados en las proximidades de la futura línea de conducción "Acueducto Chapala - Guadalajara", con miras a evaluar su viabilidad para su empleo en la construcción de la obra. Esta caracterización permitirá optimizar la selección de materiales locales, reduciendo costos logísticos y asegurando el cumplimiento de las especificaciones técnicas requeridas para la estabilidad y durabilidad de la infraestructura.

Se localizaron cinco distintos bancos en operación, realizando el muestreo alterado de los materiales ya explotados para su uso y venta en cada banco. Estas muestras se destinaron a la realización de ensayos de laboratorio para la clasificación del suelo y determinación de sus propiedades índice generales (granulometría, límites de Atterberg y masa volumétrica seca, masa volumétrica seca compacta y desgaste los Ángeles).

Los bancos de materiales muestreados se localizan principalmente en la zona sur del proyecto de la línea de conducción, específicamente entre los cadenamientos 0+000 y 17+000 y todos ellos produciendo materiales de trituración (gravas y arenas).

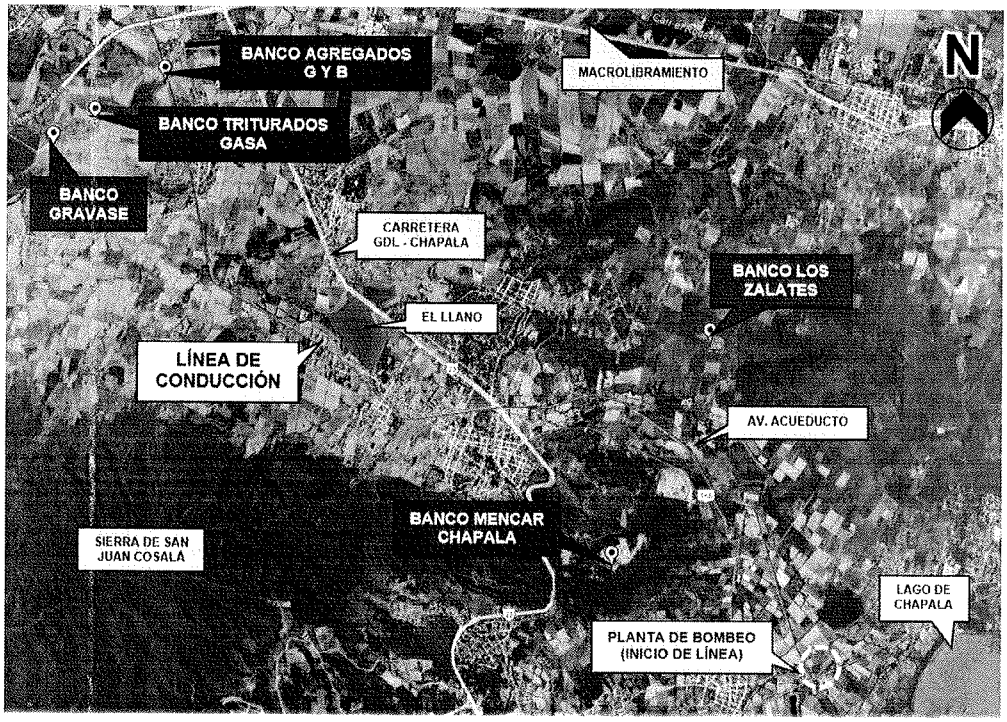
En la Tabla 4.26 se muestran los datos se las capacidades de producción, información de contacto y las coordenadas UTM de su ubicación.

BANCO DE MATERIAL	COORD ESTE (X)	COORD NORTE (Y)	CONTACTO	TELÉFONO	PRODUCCIÓN	INFORMACIÓN ADICIONAL
MENCAR CHAPALA	690,471	2'249,375	Alejandro Cortés	33 2144 3746	- Producción de 800 m³ por turno. - Sin cálculo de reserva explotable.	Potencial de gran volumen explotable.
LOS ZALATES	691,890	2'252,660	Ing. Juan J. Amezcua	33 3198 6770	- Producción de 300 m³ por turno. - Sin cálculo de volumetría del banco.	--
GRAVASE	682,172	2'255,453	--	33 3201 3676	- Producción de 700 m³ por turno. - Reserva explotable confidencial.	Cuenta con banco de tiro
TRITURADOS GASA	682,795	2'255,804	--	33 5127 0464	- Materiales triturados, especialmente filtro de grava de 3" a 8" - Producción diaria: 600 m³ - Reserva explotable: 1.5 millones de m³	Tiene permisos vigentes
AGREGADOS G Y B	683,815	2'256,421	--	33 3201 5486	- Grava de ¾" - Grava de 3/8" (Filtro) - Producción de 500 m³ por turno.	--

La ubicación de los bancos y su distancia respectiva al trazo proyectado de la línea de conducción es información clave para evaluar la viabilidad logística y económica de su uso. El Banco Mencar se ubica a 3.84 kilómetros de distancia sobre camino de terracería al Km 3+480 del Acueducto en Ixtlahuacán de los Membrillos. El Banco Los Zalates se ubica a 1.95 kilómetros de distancia sobre camino de terracería al Km 5+373 del Acueducto en Santa Cruz de la Soledad.

Desde el Banco Gravase se puede acceder en dos puntos distintos al Acueducto, ambos por caminos de terracerías. El primero acceso se ubica a 2.73 kilómetros de distancia al Km 13+851 del Acueducto y el segundo a 3.69 kilómetros de distancia al Km 16+656. Este banco se ubica en el poblado de San Juan Evangelista. El Banco triturados Gasa se accede sobre el mismo camino de terracería, pero con menos distancia al mismo punto anterior, de aproximadamente 2.75 kilómetros. Este banco se localiza en Ixtlahuacán de los Membrillos.

El banco más cercano al acueducto es el banco de agregados GYB que se localiza en la avenida Acueducto Norte 250 en Ixtlahuacán de los Membrillos en el Km 14+975 del Acueducto. La ubicación geográfica de los bancos se puede apreciar en la Lámina 4.8 y las distancias al Acueducto en la Tabla 4.27



BANCO DE MATERIAL	DISTANCIA A LINEA DE CONDUCCIÓN	CADENAMIENTO APROXIMADO A LÍNEA
MENCAR CHAPALA	3.84 km	3+480
LOS ZALATES	1.95 km	5+373
GRAVASE	2.73 km (al sur)	13+851
	3.69 km (al norte)	16+656
TRITURADOS GASA	2.75 km	16+656
AGREGADOS G Y B	0.00 km	14+975

Con el objeto de definir con suficiente aproximación el valor y variación de las propiedades físicas de los materiales, se muestrearon 10 materiales procedentes de los cinco bancos visitados, permitiendo una evaluación representativa de las opciones disponibles para su potencial uso en la construcción de la línea de conducción. Las muestras fueron tomadas del material ya explotado según la norma de muestreo representativo, realizándose en laboratorio los ensayos que consistieron en granulometría (tamaños de partículas y límites de consistencia para determinar su clasificación SUCS (sistema unificado de clasificación de suelos), masa volumétrica seca suelta y masa volumétrica seca compacta.

Los resultados obtenidos de los ensayos en los bancos se muestran en la Tabla 4.28.

BANCO	DESCRIPCIÓN	SUCS	% FINOS	% ARENA	% GRUESOS	L.L. (%)	I.P. (%)	C.L. (%)	MVSS (kg/m³)	MVSC (kg/m³)
TRITURADOS GASA	Grava de 1 ½" a ¾"	GW	0.2	0.0	99.8	--	--	--	1,262	1,398
	Grava de ¾" a 3/8"	GP	0.9	3.6	95.5	--	--	--	1,274	1,362
	Grava de ¾" a 3/16"	GP	0.5	0.2	99.4	--	--	--	1,297	1,376
	Arena de 3/16" a 0" (arena de trituración)	SM	12.4	87.6	0.0	--	--	--	1,420	1,590
AGREGADOS G Y B	Grava de 1 ½"	GP	0.0	0.1	99.9	--	--	--	1,347	1,502
	Arena de trituración	SM	14.7	85.3	0.0	--	--	--	1,474	1,655
ZALATES	Grava de 2 ½"	GC	15.9	7.2	76.9	41.48	16.78	3.80	1,380	1,492
	Roca basáltica de 2" a 6"	--	--	--	--	--	--	--	--	--
GRAVASE	Grava de ¾"	GP	0.0	0.0	100.0	--	--	--	1,350	1,518
MENCAR CHAPALA	Grava de 1" a finos	GW-GM	7.8	43.9	48.3	24.42	--	0.00	1,484	1,622

L.L. = Límite líquido I.P. = Índice plástico
C.L. = Contracción lineal -- = No presenta
MVSS = Masa volumétrica seca suelta MVSC = Masa volumétrica seca compacta

Adicionalmente a los materiales pétreos gruesos (gravas), por tamaños seleccionados, se determina el índice de desgaste "Los Ángeles" mediante el ensayo homónimo (NMX-C-196), que evalúa la resistencia al desgaste y al impacto de los agregados.

La prueba consiste en someter una muestra de grava, cribada por ciertas mallas (tamaños), a 500 revoluciones en un tambor rotatorio con esferas de acero, midiendo posteriormente el porcentaje de material fino generado (pérdida por desgaste).

El desgaste se calcula dividiendo la diferencia entre los pesos iniciales y finales, y el peso inicial, resultado expresado en porcentaje, como se muestra en la siguiente formula:

$$\%\ Desgaste = \frac{Diferencia}{Peso\ Inicial} x\ 100$$

En la Tabla 4.29 se muestran los resultados de las 7 muestras de gravas analizadas indicando el banco de origen.

BANCO	DESCRIPCIÓN	SUCS	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	DIFERENCIA DE PESO > MALLA No. 12 (g)	DESGASTE (%)
TRITURADOS GASA	Grava de 1 ½" a ¾"	GW	10,000	7,390	2,610	26.10
	Grava de ¾" a 3/8"	GP	5,000	4,035	965	19.30
	Grava de ¾" a 3/16"	GP	5,000	3,795	1,205	24.10
AGREGADOS G Y B	Grava de 1 ½"	GP	10,000	8,005	1,995	19.95
ZALATES	Grava de 2 ½"	GC	5,000	3,330	1,670	33.40
GRAVASE	Grava de ¾"	GP	5,000	4,155	845	16.90
MENCAR CHAPALA	Grava de 1" a finos	GW-GM	5,000	3,935	1,065	21.30

De los ensayos de laboratorio se concluye que el 100% de las muestras analizadas de materiales de bancos **cumplen los requisitos para su empleo en obra**. Su uso específico dependerá de la granulometría (proporción de gruesos y arenas), determinando si se destinan a rellenos, plantilla, acostillado o como filtro de gruesos en las zonas requeridas.

En base a los resultados del ensayo de desgaste los Ángeles realizado en siete muestras de grava provenientes de los cinco bancos de materiales analizados, se obtuvieron porcentajes de **pérdida por desgaste comprendidos entre 16.90% y 33.40%.** Este rango indica una alta resistencia al desgaste y al impacto, ya que valores inferiores al 35% suelen clasificar los agregados como excelentes para su uso en capas de base, subbase o concreto estructural en obras viales y geotécnicas, garantizando durabilidad y minimizando la generación de finos bajo cargas repetidas, por lo tanto, **cumplen para su uso en la obra.**

5. Memoria descriptiva y de cálculo

5.1. Diseño conceptual

Para efectuar el diseño conceptual del acueducto, una vez determinado el eje de trazo y con la información topográfica se procedió a analizarlo. El perfil se muestra en la Lámina 5.1 y el punto de inicio será la Estación de Bombeo del Acueducto Chapala existente. En la Figura 5.1 se muestra una vista aérea de estación de bombeo actual y se muestra a manera esquemática el área disponible para la nueva infraestructura.

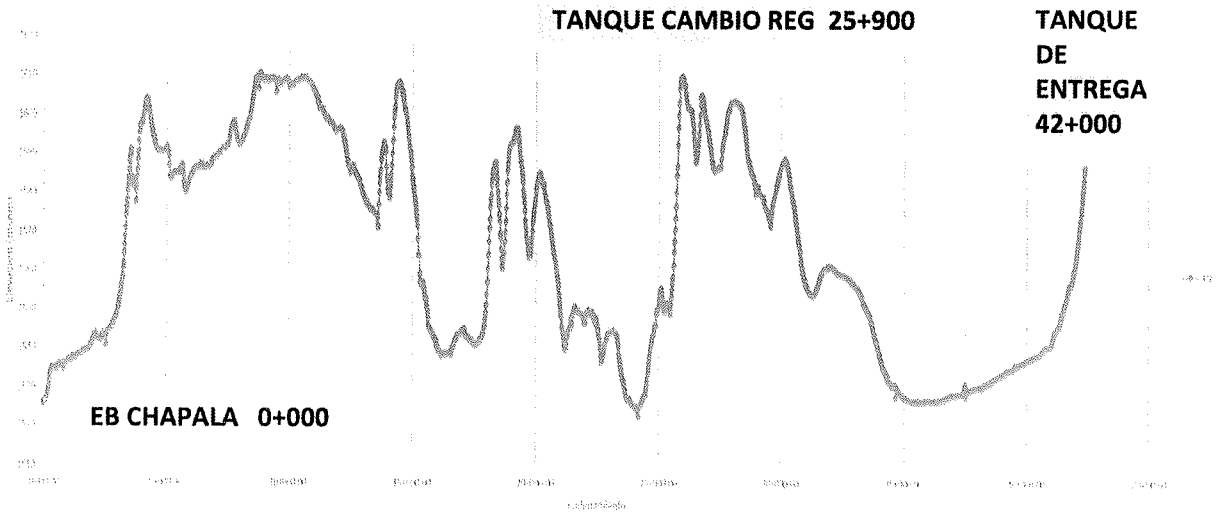


Lámina 5.1 Perfil topográfico del trazo del acueducto

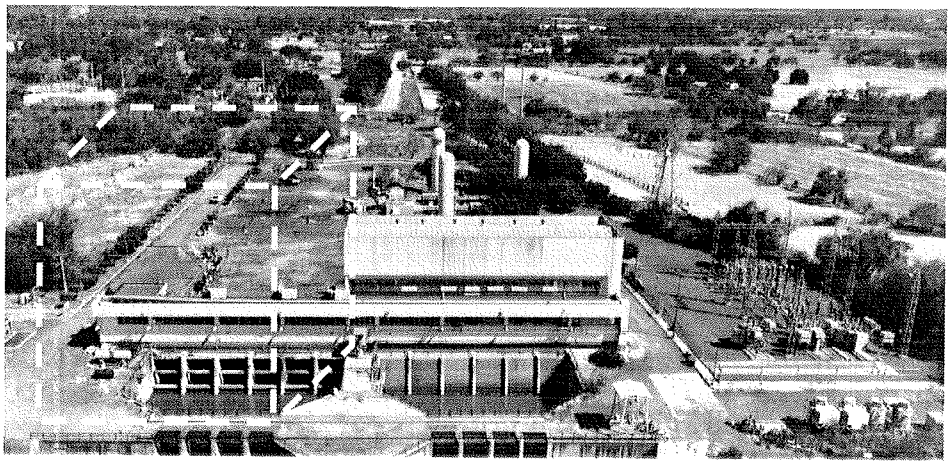


Figura 5.1 Vista Aérea de la estación de bombeo Chapala

Por otro lado, es importante definir previamente los niveles de operación del Lago de Chapala. Para ello, se evaluaron los datos de los niveles máximos y mínimos registrados en el período de 1990 a 2024. En la Figura 5.2 se presentan graficados estos valores.

Los resultados muestran que en dicho período solamente en 3 ocasiones se presentan niveles mayores a la cota 96 la cual referida al banco de nivel de INEGI es la cota 1522 msnm. En lo que respecta a los niveles mínimos registrados, sólo en 2 ocasiones se registraron niveles en la cota 91 equivalente a la cota 1517 msnm. De esto se propone, que el rango de operación del bombeo se fije como nivel de aguas máximas ordinarias (NAMO) la cota 1522 msnm y como nivel de aguas mínimas la cota 1516 msnm.

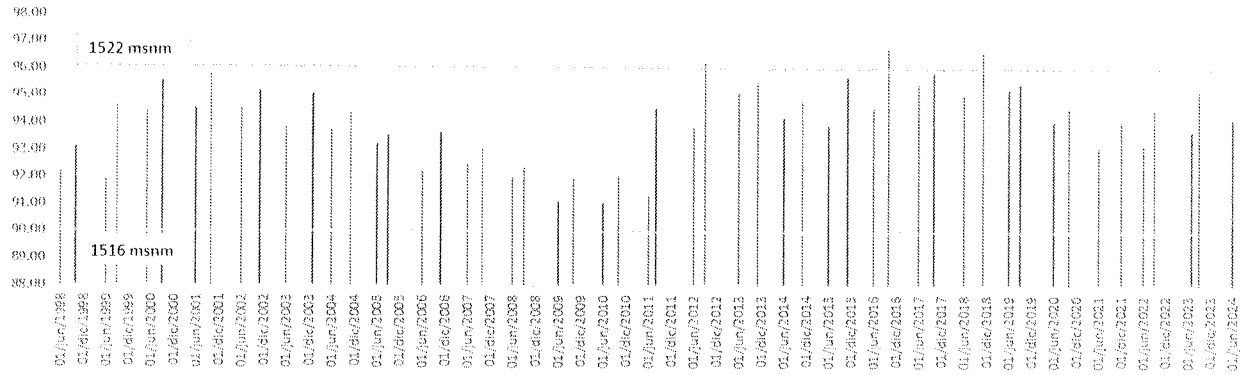


Figura 5.2 Gráfica de Niveles máximos y mínimos del Lago de Chapala Período 1990-2024 Fuente: Cea Jalisco

EL acueducto funcionará por bombeo hasta el km 25+900 donde se colocará un tanque de cambio de régimen, ya que es uno de los puntos con mayor elevación más cercano al punto de entrega y a partir del cual se cuenta con pendiente descendente. En la Figura 5.3 se muestra una vista aérea del actual Tanque de Cambio de Régimen. De manera conceptual el nuevo Tanque podría ubicarse en la zona marcada en color amarillo.

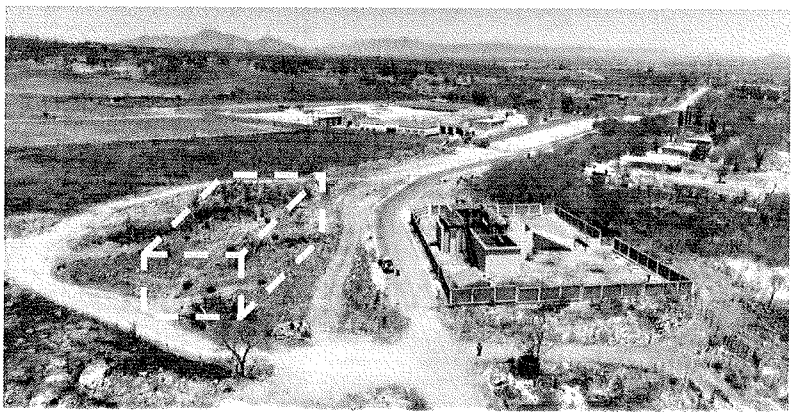


Figura 5.3 Vista Aérea del Tanque de Cambio de Régimen Existente

A partir del del tanque de cambio de régimen comenzará una línea a gravedad hasta el sitio de descarga, tendrá una longitud de 16.46 km y el desnivel topográfico permite contar con una carga de hasta 25.14 metros.

El sitio de descarga del acueducto será el Tanque de Entrega Cerro del Cuatro, se propone revisar si es factible ampliar la capacidad de almacenamiento previa revisión geotécnica y estructural. La propuesta preliminar se puede visualizar en la Figura 5.3 que muestra una vista aérea del Tanque de Entrega existente y la zona marcada en amarillo como la posible ampliación.

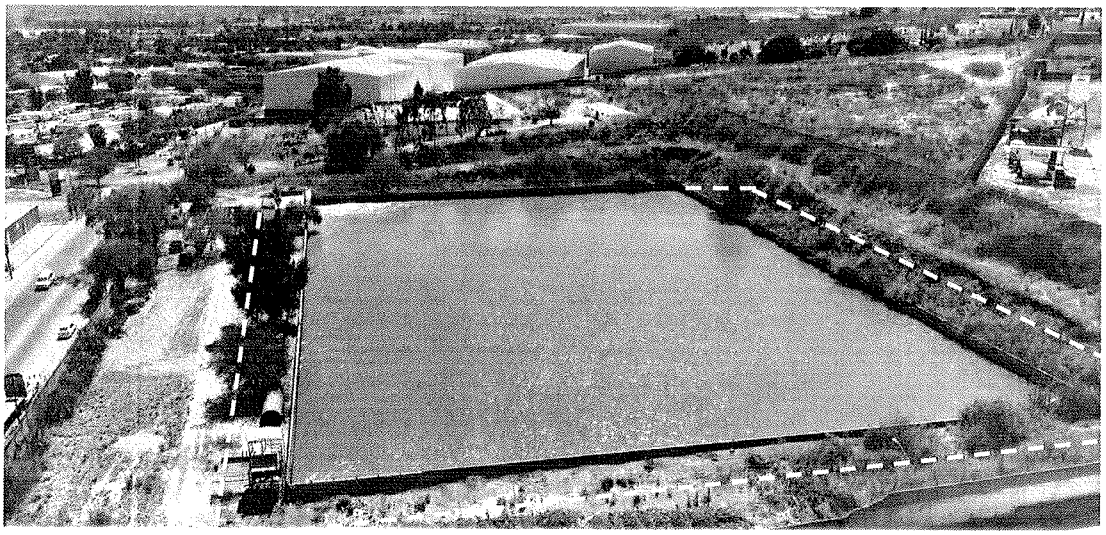


Figura 5.4 Vista Aérea del Tanque de Entrega y

5.2. Diseño del Acueducto

5.2.1. Descripción de las condiciones topográficas

Se realizó un levantamiento topográfico, cuyo reporte se anexa al informe principal del proyecto ejecutivo, dicho levantamiento permitió obtener con detalle la configuración topográfica de la zona y definir un trazo preciso de la línea.

El tramo de acueducto que funcionara como línea de impulsión, tiene una longitud de 25.92 km con un desnivel total de 96.50 metros. Se distinguen varias zonas con configuraciones topográficas particulares: La configuración topográfica en el tramo se describe a continuación:

- Entre el cadenamiento 0+000 al cadenamiento 0+230 existe un desnivel de 5 metros (So=0.0217).
- Entre el cadenamiento 0+230 y el 0+250 se presenta una zona con pendiente pronunciada de aproximadamente un 15%.
- Entre el cadenamiento 0+250 y el 3+000, la pendiente es más suave, con un desnivel de 16.50 metros (So=0.006).
- Entre el cadenamiento 3+000 y el 3+530, la pendiente se pronuncia y cuenta con un desnivel de 41.42 metros (So=0.078).

- Entre el cadenamiento 3+530 y el 3+880, se presenta un columpio para continuar con pendiente ascendente hasta el 4+200 con un desnivel de 9 metros (So=0.028).
- Entre el cadenamiento 4+200 al 8+810, donde se presenta la elevación más alta del perfil (cota 1610.83), se vuelve a presentar un columpio con pendientes irregulares en el tramo.
- Entre el cadenamiento 8+810 y el 10+690, se presenta una zona relativamente plana con desniveles irregulares cuyos valores no exceden el metro.
- Entre el cadenamiento 10+690 y el 13+620 se presenta un descenso pronunciado de 38.34 metros (So=0.013).
- Entre el cadenamiento 13+630 y el 13+860 cambia a pendiente positiva con una diferencia de elevación de 21.78 metros (So=0.095).
- Entre el cadenamiento 13+860 y el 14+460 se presenta nuevamente un columpio, siendo este punto también de los puntos con elevaciones mayores en el tramo (1508.14).
- Entre el cadenamiento 14+460 y el 18+310 se presenta nuevamente otro columpio, pero en este caso mucho más prolongado. La cota menor de este columpio es la 1537.95 en el 16+250.
- Entre el cadenamiento 18+310 y el 20+130 se presentan dos columpios. El nivel más bajo del primer columpio se presenta en el cadenamiento 18+630 y cota 1559.79, y en el segundo, en el cadenamiento 19+730 y cota 1563.69.
- Entre el cadenamiento 20+130 y el 25+470 se presentan lomeríos suaves generando 3 columpios. Los dos primeros cortos y no tan pronunciados. El tercero se presenta entre el cadenamiento 23+260 y el 25+470.
- Entre el cadenamiento 25+470 y el 25+870 la pendiente es ascendente y abrupta con un desnivel de 59.13 metros (So=0.01478).
- Finalmente, del cadenamiento 25+870 al 25+907 la pendiente se suaviza, lo que sucede al llegar al Tanque de Cambio de Régimen con un desnivel de 0.83 metros (So=0.022).

En la lámina 5.2 se muestra el perfil topográfico del acueducto en el tramo de impulsión.

Lámina 5.2 Perfil topográfico de la línea de impulsión

El tramo de acueducto con funcionamiento a gravedad tiene una longitud de 16.46 km con un desnivel total de 25.14 metros. La configuración topográfica se describe a continuación:

- Entre el cadenamiento 25+920 al cadenamiento 26+500 existe un desnivel de 21.6 metros (So=0.037).
- Entre el cadenamiento 26+500 y el 26+700 se presenta una zona con pendiente ascendente pronunciada de aproximadamente 8% de pendiente.
- Entre el cadenamiento 26+700 y el 27+500, la pendiente es más suave y descendente, con un desnivel de 18.40 metros (So=0.023).
- Entre el cadenamiento 27+500 y el 28+080, la pendiente es ascendente recuperando prácticamente la misma elevación con una pendiente del 3%.
- Entre el cadenamiento 28+080 y el 29+050, se presentan pendientes más suaves (So=0.02).
- Entre el cadenamiento 29+050 al 29+560 se presenta un columpio con un descenso de aprox. 10 metros y pendiente del 25%
- Entre el cadenamiento 29+560 y el 30+140 se presenta la pendiente ascendente del columpio con una pendiente del 3% nuevamente.
- En una longitud de 1000 metros y pendiente del 3.7% se vuelve a descender y se presenta nuevamente otro columpio.
- En el cadenamiento 31+140 inicia un ascenso hasta el 32+000 con pendiente del 1%.
- En el cadenamiento 32+000 se presenta la misma pendiente del 1% pero en descenso hasta el cadenamiento 33+000.
- A partir del cadenamiento 33+000 y hasta el 34+660 la pendiente de descenso es mayor y se presentan elevaciones cercanas a la 1520.
- Entre el cadenamiento 34+660 al 37+500 se presentan zonas relativamente planas con un ligero descenso.
- A partir del 37+500 en una longitud de 3500 metros se presentan ascensos con pendientes mínimas.
- En el cadenamiento 41+800 la pendiente aumenta al 2% en una longitud de aproximadamente 1000 metros para entonces aumentar la misma hasta cerca del 5.2% y alcanzar niveles cercanos a la 1540 en los últimos 600 metros del trazo.

De igual manera a partir de la información topográfica obtenida se determinó la configuración topográfica del tramo de la línea por gravedad. En la lámina 5.3 se muestra el perfil topográfico.

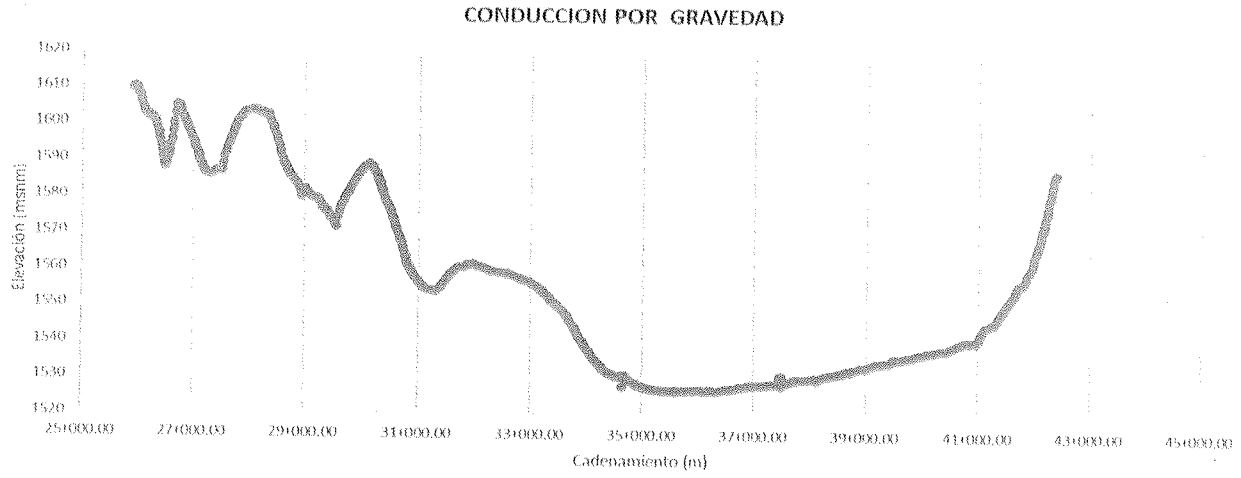


Lámina 5.3 Perfil topográfico de la línea de gravedad

5.2.2 Diámetro económico Línea de Impulsión

Tomando en consideración las condiciones topográficas que imperan entre los puntos con mayor elevación del tramo y el nivel del sitio destinado para la estación de bombeo los cuales se pueden observar en la Lámina 5.4 marcados en color rojo se propone lo siguiente:

- Se realizará el análisis del diámetro económico para diferentes materiales posibles para la tubería.
- Para el control del fenómeno transitorio se emplearán cámaras de aire y un tanque de oscilación en algún o algunos de los puntos más altos.
- Se colocará un tanque de cambio de régimen que funcionará de manera oscilante durante el transitorio.

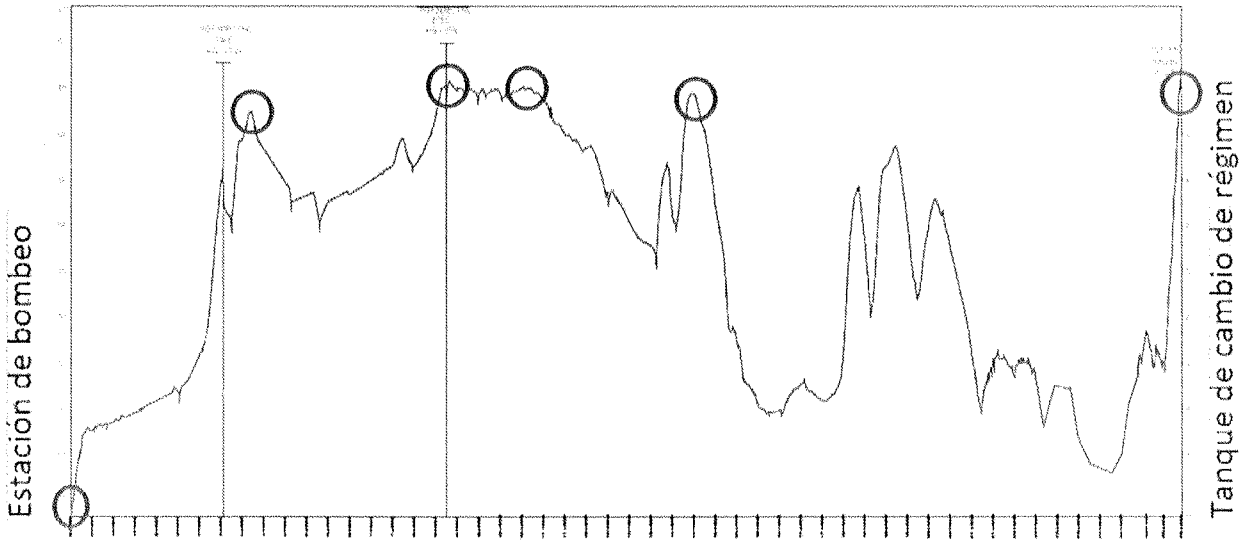


Lámina 5.4 Diseño conceptual de la línea de impulsión

Se analizaron diferentes diámetros y materiales para encontrar el diámetro más económico. Inicialmente se partió de las fórmulas de diámetro tentativo, derivadas de la fórmula de Dupuit las cuales se observan en la Tabla 5.1

Tabla 5.1 Aplicación de fórmulas para el diámetro tentativo

Dupuit/Bresser	$D = K Q^{1/2}$	K=1.20
Bonnin	$D = Q^{1/2}$	
Krier	$D = 0.89 Q^{0.486}$	

Para la determinación del diámetro económico de la conducción, se realizaron cálculos hidráulicos considerando dos condiciones de gasto: el correspondiente al caudal concesionado de 7.5 m³/s y un gasto máximo de 10.0 m³/s asociado a un esquema de operación optimizado.

En la Tabla 5.2 se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de las diferentes fórmulas utilizadas para el dimensionamiento hidráulico, incluyendo para cada caso el gasto analizado, el diámetro resultante en unidades métricas e inglesas, así como el área hidráulica y la velocidad de flujo correspondiente.

Estos resultados permiten evaluar el comportamiento hidráulico del sistema bajo ambos valores de gasto, sirviendo como base para la selección del diámetro más adecuado en función de criterios de eficiencia hidráulica y operativa, asegurando en todo momento condiciones de flujo compatibles con un régimen estable y seguro para la conducción.

Tabla 5.2 Cálculo de Diámetro Económico

Fórmula Utilizada	Gasto	Diámetro	Diámetro	Área	Velocidad
	m^3/seg	m	pig	m2	m/s
Dupuit/Bresser	10	3.79	149	11.31	0.88
Bonnin	10	3.16	124	7.85	1.27
Krier	10	2.73	107	5.83	1.71
Dupuit/Bresser	7.5	3.29	129	8.48	0.88
Bonnin	7.5	2.74	108	5.89	1.27
Krier	7.5	2.37	93	4.41	1.70

Partiendo de ello, se definió realizar el análisis de diámetro económico con los diámetros comerciales disponibles para Acero ASTM A-53 en 110"- 106"- 100"; para Concreto Presforzado en 108"- 99", en Hierro Dúctil para 104" y para Poliester Reforzado de Fibra de Vidrio en 106"- 104"- 100". En la tabla 5.3 se muestran las características particulares de cada de las opciones disponibles.

Tabla 5.3 Características Particulares de las tuberías analizadas
Notas: En tuberías de acero se consideró un espesor de 5/8". En tuberías de PRFV se consideró PN20 y S2500.

Material	Diám nom	Diám nom	Diám Int	Ancho Cepa	Presión Max Disp	Peso/ mt	Long Tramo	Peso/ Tramo	Tiempo Entrega *
	m	plg	m	m	kg/cm2	kg	m	Ton	dias
Acero	2.80	110.00	2.78	3.40	28.00	1088	12.20	13.27	20.00
Acero	2.65	106.00	2.58	3.25	29.80	1028	12.20	12.54	20.00
Acero	2.50	100.00	2.48	3.10	31.00	988	12.20	12.05	20.00
PRFV	2.70	108.00	2.71	3.80	20.00	650	12.00	7.80	15.00
PRFV	2.60	104.00	2.61	3.70	20.00	604	12.00	7.25	15.00
PRFV	2.50	100.00	2.51	3.60	20.00	558	12.00	6.70	15.00
Concreto Presf	2.75	108.00	2.75	4.22	20.00	5065	5.00	25.33	PREVIO PROG
Concreto Presf	2.48	99.00	2.50	3.88	20.00	4400	5.00	22.00	PREVIO PROG
HD	2.60	104.00	2.62	3.20	30.00	1655	6.00	9.93	PREVIO PROG

Para la selección del tipo de tubería se realizó un análisis técnico económico en donde se tomaron en consideración los siguientes parámetros, los cuales fueron tabulados. Ver Tabla 5.4

- Resistencia y rigidez de la tubería.
- Durabilidad de la tubería.
- Rapidez de instalación
- Dificultad de mantenimiento.

Tabla 5.4 Características de las tuberías analizadas

Concepto	Acero	PRFV	HD	Concreto presforzado
Rugosidad absoluta para el diseño hidráulico (mm)	0.100	0.029	0.120	0.250
Velocidad máxima-mínima permisible (m/s)	5.00-0.30	3.00-0.30	5.00-0.30	3.50-0.30
Desviación angular permisible	NA	1°	2°	40'
Límite elástico (MPa)	190,000	10,000	170,000	17,636
Ancho de cepa (m)	0.60 + Dn	1.10 + Dn	0.60 + Dn	1.25 De + 0.30
Colchón mínimo requerido sobre lomo de tubo (m)	No requerido	1.00	No requerido	1.20

Concepto	Acero	PRFV	HD	Concreto presforzado
Durabilidad	+75 años	+ de 50 años	+ 100 años (hay casos de + 150 años)	+ 75 años
Sistema de unión	Soldadura Extremos bridados Juntas mecánicas para extremos lisos o ranurados	Utilizan una junta de caucho elastomérico REKA para el sellado	Acoplamiento espiga campaña con anillo de hule Extremos bridados Junta mecánica Junta Gibault	Acoplamiento espiga campaña con anillo de hule Uniones bridadas
Piezas especiales	Alta disponibilidad, se pueden fabricar de tramos de tubería unidos con soldadura	Se fabrican piezas en mismo material y/o pueden utilizarse piezas de acero.	Alta disponibilidad Se fabrican de hierro fundido con extremos lisos, campana, campana para junta mecánica, y bridados	Piezas de alma de acero recubierta de concreto, con extremos espiga campana, extremos lisos o bridadas

De forma cualitativa en la tabla 5.5. se presentan las fortalezas y debilidades de cada material..

Tabla 5.5 Ventajas y desventajas de los diferentes materiales

Concepto	Acero	PRFV	Hierro Dúctil	Concreto presforzado
Ventajas	• Resiste presiones internas elevadas • Mayor ligereza y bajo costo en comparación con tuberías de hierro fundido o de concreto • Fácil adaptación a cualquier tipo de montaje	• Larga vida útil • No necesita medios de protección contra la corrosión • Bajos costes de mantenimiento • Propiedades hidráulicas que se mantienen constantes con el tiempo • Menor coste de transporte • Buena respuesta ante los transitorios • Menor peso para instalación • Menor adherencia en las paredes del tubo	• Larga vida útil. • Posee alta resistencia a impactos y a cargas normales y extraordinarias, así como a la presión interna • Alta resistencia a la corrosión. • Es prácticamente libre de mantenimiento • El hierro dúctil puede ser soldado en forma	• Alta resistencia mecánica a presiones internas y cargas externas • Bajo mantenimiento
Desventajas	• Es susceptible a la corrosión por lo que debe	• Baja resistencia a impactos y a cargas		• Es susceptible a la corrosión por lo que debe

	protegerse tanto el interior como el exterior. • No soporta cargas externas ni vacíos parciales, pues es susceptible al aplastamiento • Requiere mantenimiento periódico	normales y extraordinarias • Sensible a los asentamientos diferenciales • No se recomiendan las piezas que se utilizan en derivaciones, ya que éstas deben ser concéntricas. Por otro lado, los atraques en las deflexiones se deben envolver totalmente a las piezas.	• Mayor costo que otros tipos de tubería ya que la tubería debe importarse, lo cual implica que el tiempo de entrega esté sujeto a ingresos por aduanas y puede salirse de control por cualquier conflicto	protegerse en interior y exterior. • Conexiones especiales que requieren tiempo de fabricación excesiva • Mayor complejidad en la instalación (menor rendimiento) • Alto costo de transporte • Respuesta desfavorable ante los transitorios • En aguas incrustantes pierde rápidamente área hidráulica • Difícil de reparar en caso de sufrir daños • Mayor costo en obra civil • Sensible a los asentamientos diferenciales

Cálculo de los Costos de Inversión

A partir de la información anterior se calcularon los costos requeridos para la obra civil, costo del suministro e instalación de las tuberías en cada uno de los casos y utilizando los siguientes criterios:

- Para la obra civil se consideró una sección tipo con un talud de 30 grados con un 60% de material Tipo C y 40% de material Tipo A-B.
- Tubería de Acero: se consideró un espesor de cinco octavos de pulgada en las zonas altas y de tres cuartos de pulgada en la parte baja del perfil. La longitud considerada fue de 50% para el primer caso y 50% para el segundo caso.
- Tubería de poliéster reforzado, se consideró misma proporción en cuanto a longitud, pero para presiones de trabajo de 16 kilogramos por centímetro cuadrado en zonas altas y de 20 kilogramos por centímetro cuadrado en las zonas bajas.
- Tubería de concreto presforzado se consideró una presión nominal de 20 kilogramos por centímetro cuadrado que es la única disponible en toda la longitud.
- Tubería de hierro dúctil, la presión de trabajo disponible es de 25 kilogramos por centímetro cuadrado por lo cual se consideró toda la longitud en la misma clase.

En la tabla 5.6 se muestra el resumen para cada uno de los tipos de tubería seleccionados para el análisis desglosando los costos de la obra civil requerida y lo correspondiente a los costos por suministro e instalación de tuberías y las piezas especiales requeridas.

Tabla 5.6 Análisis de Costos de Inversión

Diámetro nom (plg)	Diámetro interno (mm)	Material	Velocidad (m/s)	CDT requerida	Costo de sum e inst tubería y pzas esp (MDP)	Costo de obra civil (MDP)	Costo de la obra (MDP)
110	2,778.13	Acero	1.30	105.07	$ 2,425.65	$ 711.61	$ 3,137.26
106	2,692.40	Acero	1.41	106.74	$ 2,343.37	$ 671.08	$ 3,014.45
100	2,508.24	Acero	1.52	111.64	$ 2,221.28	$ 611.71	$ 2,832.99
108	2,706.06	Prfv	1.30	105.41	$ 2,246.23	$ 690.34	$ 2,936.57
104	2,605.94	Prfv	1.41	107.48	$ 1,978.21	$ 681.32	$ 2,659.53
100	2,505.82	Prfv	1.52	110.08	$ 1,804.42	$ 643.51	$ 2,447.93
108	2,750.00	Concreto	1.26	106.18	$ 3,018.22	$ 791.52	$ 3,809.74
99	2,500.00	Concreto	1.53	112.94	$ 2,288.50	$ 690.50	$ 2,979.00
104	2,620.20	HD	1.70	108.69	$ 2,995.12	$ 606.88	$ 3,602.00

Cálculo de los Costos de Operación

Con base en los escenarios hidráulicos definidos para el dimensionamiento del sistema, se procedió a estimar los costos de energía eléctrica asociados a la operación de la línea de conducción.

En una primera condición, se consideró un régimen de operación continua de 24 horas con un gasto de 7.5 m³/s, correspondiente al caudal promedio concesionado. Bajo este esquema, se garantiza la conducción del volumen anual autorizado.

De manera complementaria, se evaluó un segundo escenario de operación optimizada, consistente en un régimen de bombeo de 18 horas diarias con un gasto máximo de 10.0 m³/s, el cual permite conducir el mismo volumen anual concesionado, desplazando la operación fuera de los horarios de mayor costo energético.

Los costos fueron estimados con base en el consumo de energía eléctrica por kilowatt-hora (kWh), utilizando la tarifa vigente al mes de agosto de 2025.

En la Tabla 5.7 se presentan los resultados correspondientes al escenario de operación continua (24 horas), en el cual se obtiene un costo unitario de energía de 1.72 pesos por kWh. Por su parte, en la Tabla 5.8 se muestran los resultados para el escenario de operación optimizada (18 horas), donde el costo unitario se reduce a 1.56 pesos por kWh.

La comparación entre ambos escenarios evidencia que la estrategia de operación intermitente permite una reducción en el costo unitario de la energía, derivado de la disminución del consumo en horarios de tarifa punta, manteniendo sin variación el volumen anual conducido y cumpliendo con las restricciones establecidas en el título de concesión.

Tabla 5.7 Costo Consumo Energía para Bombeo de 24 Horas

COSTO POR CONSUMO EN KW/HR ANUAL USO CONTINUO 24 HORAS (tarifa ago 25)								
DEMANDA POR DIAS	**TARIFA CFE**	**HORARIOS POR TIPO DEMANDA**	**HORAS EFECT**	**DIAS/SEM**	**DIAS CALENDARIO**	**DIAS PARA TARIFA**	**HORAS POR ANO**	**COSTO Kw/Hr**
LUNEA A VIERNES								
demanda base	$ 1.1829	0-6 hrs	6.00	5	261	254	1,524.00	$ 1,802.74
demanda intermedia	$ 1.9600	6-19 hrs y 22-24 hrs	15.00	5	261	254	3,810.00	$ 7,467.60
demanda punta	$ 2.3203	19-22 hrs	3.00	5	261	254	762.00	$ 1,768.07
SABADOS								
demanda base	$ 1.1829	0-7 hrs	7.00	1	52	52	364.00	$ 430.58
demanda intermedia	$ 1.9600	7-24 hrs	17.00	1	52	52	884.00	$ 1,732.64
DOMINGOS - FESTIVOS								
demanda base	$ 1.1829	0-19 hrs y 23-24 hrs	20.00	1	52	59	1,180.00	$ 1,395.82
demanda intermedia	$ 1.9600	19-23 hrs	4.00	1	52	59	236.00	$ 462.56
SUMAS					**365**	**365**	**8,760.00**	**$ 1.72**

Tabla 5.8 Costo Consumo Energía para Bombeo de 24 Horas

COSTO POR CONSUMO EN KW/HR ANUAL PARA 18 HORAS FUERA DE HORARIO PUNTA (tarifa ago 25)								
DEMANDA POR DIAS	**TARIFA CFE**	**HORARIOS POR TIPO DEMANDA**	**HORAS EFECT**	**DIAS/SEM**	**DIAS CALENDARIO**	**DIAS PARA TARIFA**	**HORAS TOTALES**	**COSTO GEN Kw/Hr**
LUNEA A VIERNES								
demanda base	$ 1.1440	0-6 hrs	6.00	5	261	254	1,524.00	$ 1,743.46
demanda intermedia	$ 1.8911	6-19 hrs y 22-24 hrs	12.00	5	261	254	3,048.00	$ 5,764.07
demanda punta	$ 2.2370	19-22 hrs	-	5	261	254	-	$ -
SABADOS								
demanda base	$ 1.1440	0-7 hrs	7.00	1	52	52	364.00	$ 416.42
demanda intermedia	$ 1.8911	7-24 hrs	11.00	1	52	52	572.00	$ 1,081.71
DOMINGOS - FESTIVOS								
demanda base	$ 1.1440	0-19 hrs y 23-24 hrs	18.00	1	52	59	1,062.00	$ 1,214.93
demanda intermedia	$ 1.8911	19-23 hrs	-	1	52	59	-	$ -
SUMAS					**365**	**365**	**6,570.00**	**$ 1.56**

Para el cálculo final de operación se consideraron además del costo fijo anual, el costo mensual por kilowatt consumido y los costos por capacidad en base a las tarifas de agosto de 2025. El criterio para considerar la eficiencia del equipo de bombeo fue de 84%.

A continuación, se muestran los costos de operación finales para todas las tuberías y con los dos escenarios. En la tabla 5.9 se muestra para 24 horas de bombeo y en la Tabla 5.10 para 18 horas de bombeo. Los valores se muestran en millones de pesos (MDP)

Tabla 5.9 Análisis de Costos de Operación para 24 horas de bombeo

Diámetro nom (plg)	Diámetro interno (mm)	Material	Velocidad (m/s)	CDT requerida	HP requeridos	Demanda max kw	kwh anuales	Costo por kwh	Costo anual Consumo Energía	Costo Fijo Anual CFE	Costo Total anual de energía eléctrica (MDP)
110	2,778.13	Acero	1.30	112.34	13,168.59	9,823.77	86,021,617	$ 1.72	$ 147,957,181.57	$ 13,405.80	$ 147.97
106	2,692.40	Acero	1.41	115.41	13,529.06	10,092.68	88,376,324	$ 1.72	$ 152,007,277.46	$ 13,405.80	$ 152.02
100	2,508.24	Acero	1.52	124.38	14,580.55	10,877.09	95,245,019	$ 1.72	$ 163,821,431.96	$ 13,405.80	$ 163.83
108	2,706.06	Prfv	1.30	114.73	13,449.31	10,033.19	87,855,370	$ 1.72	$ 151,111,235.70	$ 13,405.80	$ 151.12
104	2,605.94	Prfv	1.41	118.98	13,947.73	10,405.01	91,111,234	$ 1.72	$ 156,711,321.87	$ 13,405.80	$ 156.72
100	2,505.82	Prfv	1.52	124.39	14,581.80	10,878.02	95,253,149	$ 1.72	$ 163,835,416.85	$ 13,405.80	$ 163.85
108	2,750.00	Concreto	1.26	113.51	13,306.32	9,926.52	86,921,328	$ 1.72	$ 149,504,684.55	$ 13,405.80	$ 149.52
99	2,500.00	Concreto	1.53	125.30	14,688.08	10,957.31	95,947,397	$ 1.72	$ 165,029,522.56	$ 13,405.80	$ 165.04
104	2,620.20	HD	1.85	118.84	13,931.51	10,392.91	91,005,247	$ 1.72	$ 156,529,024.45	$ 13,405.80	$ 156.54

Tabla 5.10 Análisis de Costos de Operación para 18 horas de bombeo

Diámetro nom (plg)	Diámetro interno (mm)	Material	Velocidad (m/s)	CDT requerida	HP requeridos	Demanda max kw	kwh anuales	Costo por kwh	Costo anual Consumo Energía	Costo Fijo Anual CFE	Costo Total anual de energía eléctrica (MDP)
110	2,778.13	Acero	1.65	126.43	19,761.35	14,741.97	96,815,782	$ 1.56	$ 151,032,619.46	$ 13,405.80	$ 151.05
106	2,692.40	Acero	1.76	133.20	20,818.77	15,530.80	101,996,341	$ 1.56	$ 159,114,291.79	$ 13,405.80	$ 159.13
100	2,508.24	Acero	2.02	146.95	22,968.45	17,134.46	112,528,134	$ 1.56	$ 175,543,889.00	$ 13,405.80	$ 175.56
108	2,706.06	Prfv	1.74	129.81	20,288.81	15,135.45	99,399,946	$ 1.56	$ 155,063,915.53	$ 13,405.80	$ 155.08
104	2,605.94	Prfv	1.87	137.36	21,469.45	16,016.21	105,184,167	$ 1.56	$ 164,087,300.09	$ 13,405.80	$ 164.10
100	2,505.82	Prfv	2.03	146.97	22,971.45	17,136.70	112,542,843	$ 1.56	$ 175,566,834.35	$ 13,405.80	$ 175.58
108	2,750.00	Concreto	1.68	127.64	19,950.32	14,882.94	97,741,587	$ 1.56	$ 152,476,875.95	$ 13,405.80	$ 152.49
99	2,500.00	Concreto	2.04	148.58	23,223.44	17,324.68	113,777,396	$ 1.56	$ 177,492,737.48	$ 13,405.80	$ 177.51
104	2,620.20	HD	1.85	137.12	21,431.14	15,987.63	104,996,480	$ 1.56	$ 163,794,509.44	$ 13,405.80	$ 163.81

Finalmente se calculó la amortización del costo de Inversión a un período de 20 años y se agregó el costo de operación anual en ambos escenarios, obteniendo los costos para la elección del diámetro económico. Los valores se muestran en las Tablas 5.11 y 5.12 para 24 horas de bombeo y 18 horas de bombeo respectivamente. Las unidades utilizadas para el costo son millones de pesos. (MDP).

Tabla 5.11 Análisis de Costos Anuales para 24 horas de bombeo

Diámetro nom (plg)	Diámetro interno (mm)	Material	Costo de la obra (MDP)	HP requeridos	Costo Total anual de energía eléctrica (MDP)	Amortiz. anual a 20 años + Consumo de energía eléctrica (MDP)
110	2,778.13	Acero	$ 3,137.26	13,168.59	$ 147.97	$ 304.83
106	2,692.40	Acero	$ 3,014.45	13,529.06	$ 152.02	$ 302.74
100	2,508.24	Acero	$ 2,832.99	14,580.55	$ 163.83	$ 305.48
108	2,706.06	Prfv	$ 2,936.57	13,449.31	$ 151.12	$ 297.95
104	2,605.94	Prfv	$ 2,659.53	13,947.73	$ 156.72	$ 289.70
100	2,505.82	Prfv	$ 2,447.93	14,581.80	$ 163.85	$ 286.25
108	2,750.00	Concreto	$ 3,809.74	13,306.32	$ 149.52	$ 340.01
99	2,500.00	Concreto	$ 2,979.00	14,688.08	$ 165.04	$ 313.99
104	2,620.20	HD	$ 3,602.00	13,931.51	$ 156.54	$ 336.64

Tabla 5.12 Análisis de Costos Anuales para 18 horas de bombeo

Diámetro nom (plg)	Diámetro interno (mm)	Material	Costo de la obra (MDP)	HP requeridos	Costo Total anual de energía eléctrica (MDP)	Amortización anual a 20 años + Consumo de energía eléctrica (MDP)
110	2,778.13	Acero	$ 3,137.26	19,761.35	$ 151.05	$ 307.91
106	2,692.40	Acero	$ 3,014.45	20,818.77	$ 159.13	$ 309.85
100	2,508.24	Acero	$ 2,832.99	22,968.45	$ 175.56	$ 317.21
108	2,706.06	Prfv	$ 2,936.57	20,288.81	$ 155.08	$ 301.91
104	2,605.94	Prfv	$ 2,659.53	21,469.45	$ 164.10	$ 297.08
100	2,505.82	Prfv	$ 2,447.93	22,971.45	$ 175.58	$ 297.98
108	2,750.00	Concreto	$ 3,809.74	19,950.32	$ 152.49	$ 342.98
99	2,500.00	Concreto	$ 2,979.00	23,223.44	$ 177.51	$ 326.46
104	2,620.20	HD	$ 3,602.00	21,431.14	$ 163.81	$ 343.91

De los datos obtenidos, la tubería que resultó más económica es la tubería de PRFV en un diámetro nominal de 100 pulgadas para un horario de bombeo de 24 horas con un costo anual de 286.25 millones de pesos por año. Al ser una tubería plástica, presenta además costos de mantenimiento bajos y es la de menor posibilidad con afectaciones por incrustación. Sin embargo, presenta baja resistencia a impactos por cargas normales, extraordinarias o accidentales. Esta característica la hace de alto riesgo ya que cualquier excavación cercana a la tubería pudiera ocasionar ruptura en el tubo. En base a la información preliminar de geotecnia, por lo menos el 50% del trazo puede presentar zonas con materiales Tipo C que pueden empeorar las condiciones de fragilidad de la tubería.

La segunda alternativa, con un costo anual de 302.74 millones de pesos resultó ser la tubería de acero con diámetro nominal de 106 pulgadas y con la condición de 24 horas de bombeo. Esto representaría un diferencial de 16.49 millones de pesos anuales.

En conjunto con personal tanto de la SGIA, CEA y SIAPA, se concluyó que la opción de la tubería de acero de 106 pulgadas de diámetro es la mejor opción debido a que los costos anuales en comparación con los de la tubería de poliéster reforzada con fibra de vidrio son marginalmente menores y la tubería de acero representa una mayor seguridad para el acueducto, siendo mucho más importante a largo plazo esta característica al disminuir las posibilidades de falla que dejarían sin servicio al 60% de la población del Área Metropolitana.

5.2.3 Diámetro económico Línea de Gravedad

En base a las conclusiones anteriores y habiendo determinado que el material elegido será la tubería de acero en el primer tramo, se procedió a determinar el diámetro económico en el tramo que funcionará a gravedad. Para ello se realizó el cálculo de las pérdidas por fricción para 3 diámetros que serán 100, 106 y 110 pulgadas. En este caso, el diámetro más económico

será el que se encuentre dentro del rango de la carga disponible definida por el desnivel topográfico. En este caso se dispone de 25.14 metros considerando los niveles de superficie libre del agua entre el Tanque de Cambio de Régimen de la línea de impulsión y el del Tanque de Entrega en el Cerro del 4.

El cálculo se realizará para los dos gastos de diseño de la misma manera que en el caso de la línea de impulsión, ya que se determinó que el bombeo de 18 horas es el más económico y, por lo tanto, el tramo de gravedad deberá conducir el mismo gasto hasta el punto de entrega. Otra alternativa posible sería considerar un volumen de regulación en el Tanque de cambio de régimen nuevo para la diferencia del gasto de conducción lo cual no es posible porque no se cuenta con el espacio disponible.

De Los resultados obtenidos se puede concluir que la tubería de 100 pulgadas de acero no podría conducir el gasto requerido de 10 metros cúbicos por segundo ya que la energía disponible sería negativa. La tubería de 106 pulgadas de diámetro tiene el menor remanente de energía y por lo tanto es el diámetro más económico. Por otro lado, las velocidades permisibles en la tubería se encuentran dentro de los rangos establecidos.

Los resultados se muestran en la Tabla 5.13 donde se pueden ver los datos para cada una de los diferentes diámetros.

Tabla 5.13 Cálculo de Diámetro Económico Tramo Gravedad

Diámetro Interior		Área.	Gasto	Velocidad	Longitud	Numero de	Coeficiente	Perdida de	Otras Perdidas	Carga Total	Energía
mm	pulgada	(m^2)	(m^3/s.)	(m/s)	(m.)	Reynolds	de Fricción	Fricción (m)	5% (m.)	Final (m.)	Disponible
TABLA PARA EL CALCULO DE CARGA DINAMICA LINEA DE CONDUCCION 3 ALTERNATIVAS EN ACERO											
2,508.24	100.00	4.941	10.000	2.024	16,497.00	5,076,215.065	0.0200	27.46	1.43	28.89	-4.74
2,660.64	106.00	5.560	10.000	1.799	16,497.00	4,785,452.250	0.0200	20.45	1.06	21.51	2.64
2,762.24	110.00	5.993	10.000	1.669	16,497.00	4,609,434.978	0.0200	16.95	0.88	17.83	6.32
2,508.24	100.00	4.941	7.500	1.518	16,497.00	3,807,161.298	0.0200	15.45	0.80	16.25	7.90
2,660.64	106.00	5.560	7.500	1.349	16,497.00	3,589,089.187	0.0200	11.50	0.60	12.10	12.05
2,762.24	110.00	5.993	7.500	1.252	16,497.00	3,457,076.233	0.0200	9.54	0.50	10.03	14.12

Otro punto a favor de la elección del diámetro de 106 pulgadas es la de tener un diámetro igual tanto en bombeo como en gravedad.

5.2.4. Alternativas para la Selección de Equipo de Bombeo

Con el fin de establecer los criterios técnicos, hidráulicos, geométricos, constructivos y normativos que regirán el desarrollo integral del diseño mecánico de la planta de bombeo, garantizando que todos los equipos, estructuras, tuberías, accesorios y sistemas hidráulicos se seleccionen y dimensionen conforme a los caudales de diseño, condiciones del sitio, características del fluido y filosofía de operación requerida se realizaron los análisis de las alternativas de los posibles tipos de equipos de bombeo a emplear en el proyecto para asegurar que opere con eficiencia, seguridad y confiabilidad, cumpliendo los estándares nacionales e internacionales aplicables.

Para la selección del equipo se consideró un caudal de diseño nominal de 10 metros cúbicos por segundo y deberá tomarse en cuenta la infraestructura existente actual en la Estación de Bombeo de Chapala la cual cuenta con un máximo de seis espacios disponibles para ubicación de los equipos cuyas dimensiones son de 2.5 metros de ancho, 4.00 metros de largo y 13.50 metros de profundidad. Deberá contar con flexibilidad operativa para escalonamiento del caudal en caso de ser necesario. Estas definiciones están dadas por la Comisión Estatal del Agua de Jalisco como el organismo operador SIAPA.

Se elaboró una curva del sistema en base a los niveles de operación del Lago de Chapala que previamente se definieron como nivel de aguas máximas ordinarias (NAMO) la cota 1522 msnm y como nivel de aguas mínimas la cota 1516 msnm y de acuerdo con el cálculo de pérdidas del acueducto en base al diámetro económico definido.

En dicha curva se consignan las cargas dinámicas totales con intervalos a cada medio metro cúbico por segundo. La curva descrita se puede apreciar en la Figura 5.5 y los datos numéricos se muestran en la Tabla 5.14.

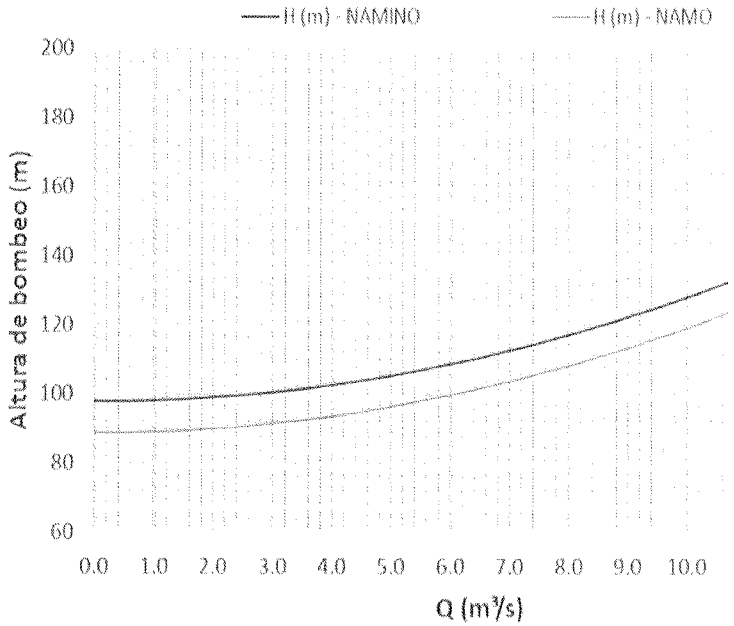


Figura 5.5 Curva del Sistema para la Selección del Equipo de Bombeo

Tabla 5.14 Datos de Cargas dinámicas totales para Selección de Equipo de Bombeo

Q (m3/s)	H (m) - NAMINO	H (m) - NAMO
0.0	98.0	89.0
0.5	98.1	89.1
1.0	98.3	89.3
1.5	98.7	89.7
2.0	99.2	90.2
2.5	99.9	90.9
3.0	100.7	91.7
3.5	101.7	92.7
4.0	102.9	93.9
4.5	104.2	95.2
5.0	105.6	96.6
5.5	107.2	98.2
6.0	108.9	99.9
6.5	110.8	101.8
7.0	112.9	103.9
7.5	115.1	106.1
8.0	117.5	108.5
8.5	120.0	111.0
9.0	122.6	113.6
9.5	125.4	116.4
10.0	128.4	119.4

En la figura 5.6 se puede observar la planta y la sección longitudinal de la infraestructura actual en la Estación de Bombeo la cual deberá considerarse en la selección.

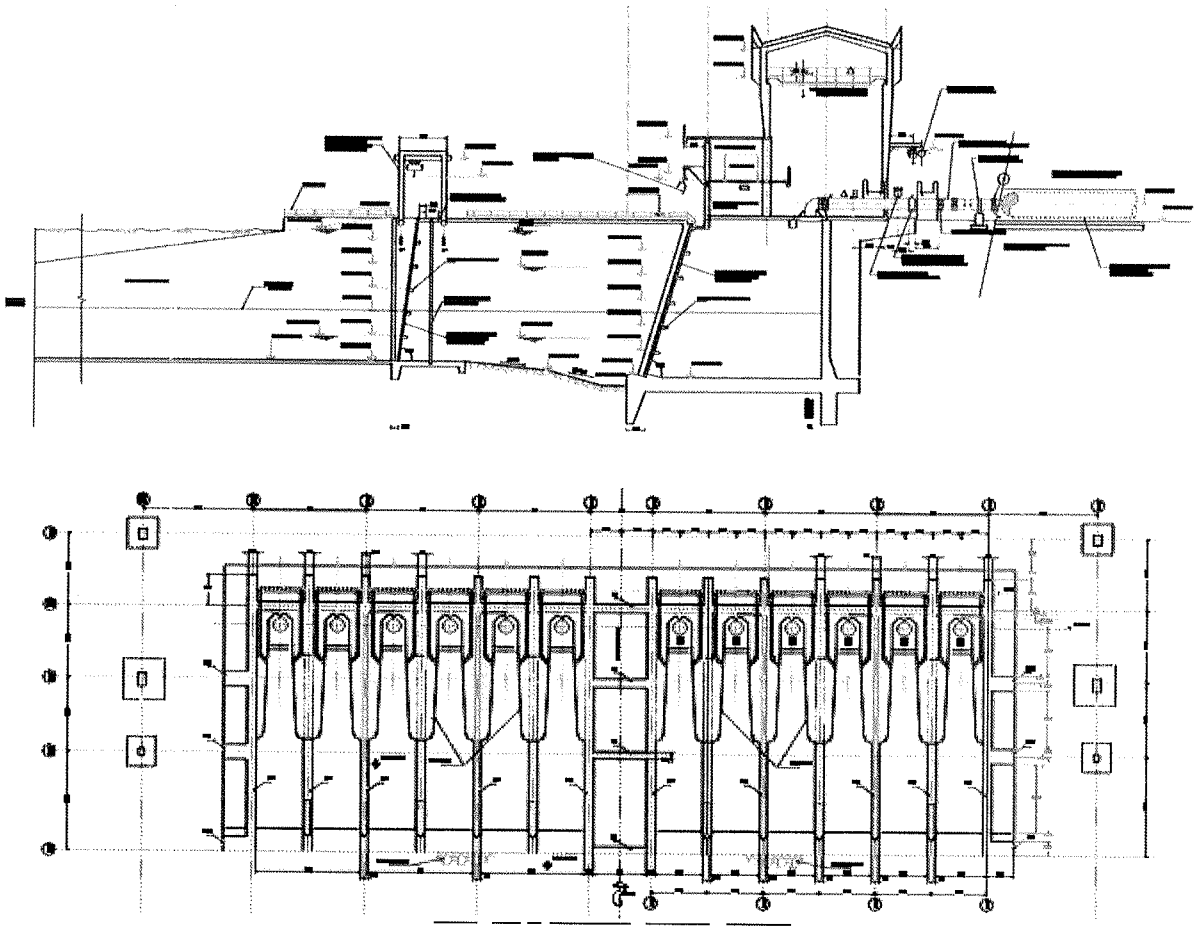


Figura 5.6 Planta y Sección Longitudinal de la Estación de Bombeo Chapala

Para la selección de los equipos de bombeo se debe considerar que la instalación requerida es de operación continua y que garantizarse una vida útil mayor a veinte años. Dentro las alternativas posibles de tipos de bombas para el Acueducto Chapala se visualizan dos tipos de equipos que son los verticales y los sumergibles. Se presentan las características generales de ambos.

Características de Bombas Verticales

Las bombas verticales son equipos diseñados específicamente para grandes caudales y alturas de elevación, típicas en tomas de agua de mar, agua de enfriamiento y captación industrial. En este tipo de bombas el motor se encuentra en la superficie y transmite potencia a través de un eje vertical hacia el impulsor ubicado dentro del cárcamo.

Las características principales de estos equipos son contar con eficiencias entre 80% y 88%, menor consumo de potencia, acceso sencillo al motor y partes mecánicas para mantenimiento sin embargo como cuenta con muchas partes mecánicas requiere mayor tiempo para el mismo, menor requerimiento de obra civil, los materiales de fabricación disponibles en el mercado son hierro fundido, acero inoxidable, bronce, dúplex.

Características de Bombas Sumergibles

Las bombas sumergibles centrífugas verticales son equipos compactos con motor integrado diseñado para trabajar completamente sumergido. Son equipos modulares con rodetes semi axiales y motor sumergible acoplado directamente. Están diseñadas para operar en condiciones exigentes y ofrecen alta eficiencia en grandes caudales y alturas de elevación.

Las características principales de estos equipos es que requieren de poca obra civil. menor consumo de energía eléctrica que las verticales, poco mantenimiento al contar con menos elementos mecánicos, los materiales de fabricación disponibles en el mercado son hierro fundido, acero inoxidable (304,316,904L), dúplex y super dúplex.

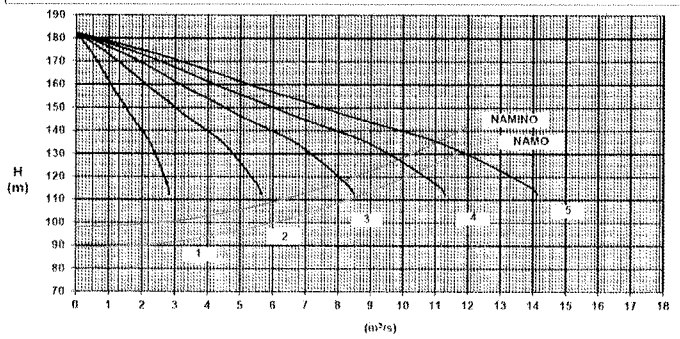
Alternativas de Equipos

En base a lo anterior y de acuerdo con marcas comerciales disponibles y que presentaron su oferta se presentan los modelos y las curvas características de cuatro modelos de los cuales tres son bombas verticales y uno es sumergible.

- **KSB Modelo SEZ 800-1010/2**
  Tipo Turbina Vertical, Motor en Superficie, eje vertical, impulsores multietapa

Modelo / Pump Model	Etapas /Stages	Rotación / Speed	Dia. Impulsor / Impeller Dia.	
SEZ 800-1010	2	715 rpm		KSB
Proyecto / Project		Oferta No. / Project No.	Item / Tag	
Caudal / LPS	2000	Carga (m)	132	
Eficiencia %	,83	BHP (HP)	4342.1	

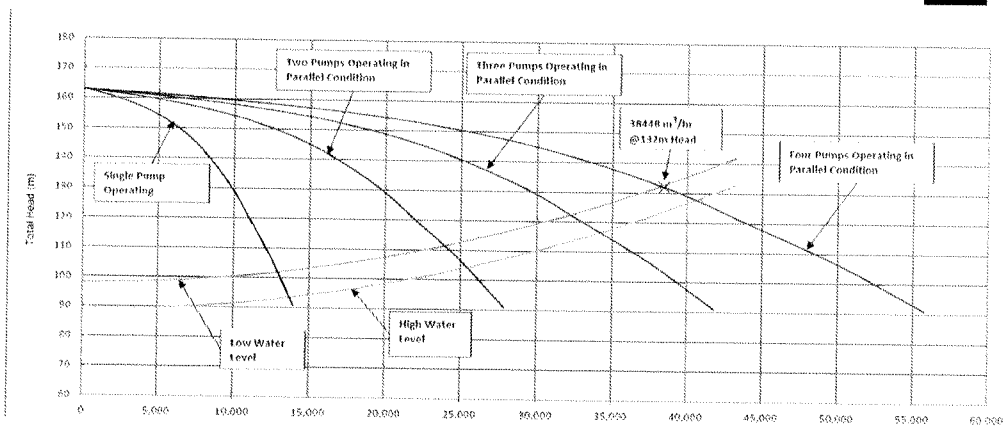
CURVA CARACTERÍSTICA DE BOMBA / *PUMP PERFORMANCE CURVE*



- **KBL Modelo BHR-125-N**
  Tipo Turbina Vertical, Motor en Superficie, eje vertical, impulsores multietapa

Curva Característica de Equipo de Bombeo

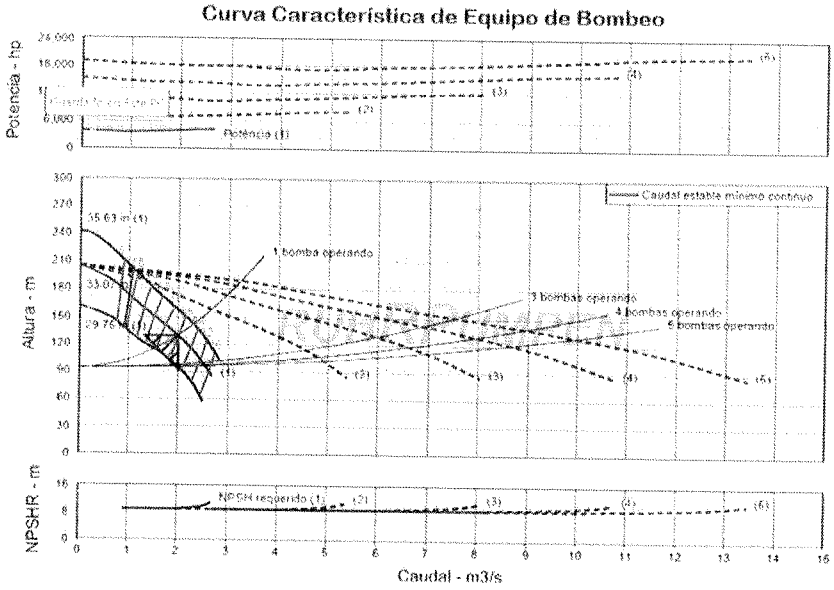
KBL



- **RURHPUMPEN Modelo 48KXL-3**
  Tipo Turbina Vertical, Motor en Superficie, eje vertical, impulsores multietapa

Curva Característica de Equipo de Bombeo

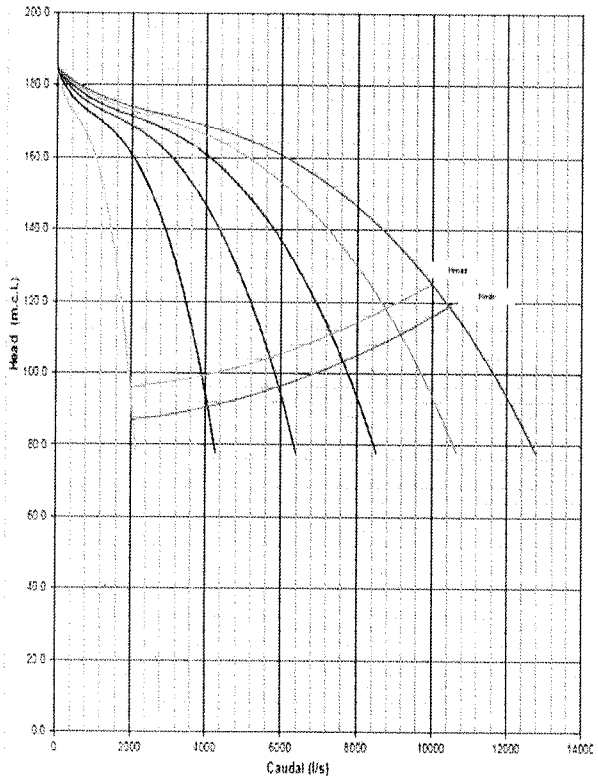
RURHPUMPEN



- **INDAR Modelo UGP-4810**
  Centrifuga Vertical Sumergible, Motor e Impulsor dentro del líquido

Curva Característica de Equipo de Bombeo

Indar



Lago a nivel mínimo NAMINO

N° Bombas	Hm (m)	Qtotal (l/s)	Qu (l/s)	Rend (%)	Peje (kW)	NPSHr (m)	% BEP
1	99.1	2185	2185	80.2	2645	14.5	122
2	102.3	4315	2158	81.2	2666	14.3	121
3	107.2	6345	2115	82.5	2690	13.9	118
4	113.5	8220	2055	84.2	2717	13.4	115
5	120.4	9925	1985	85.9	2729	13	111
6	127.7	11425	1904	87.3	2732	12.7	106

Lago a nivel máximo NAMO

N° Bombas	Hm (m)	Qtotal (l/s)	Qu (l/s)	Rend (%)	Peje (kW)	NPSHr (m)	% BEP
1	90.2	2240	2240	78.3	2531	14.7	125
2	93.7	4450	2225	78.8	2556	14.6	124
3	98.8	6565	2188	80.2	2645	14.5	122
4	105.6	8520	2130	82.1	2668	14	119
5	113.2	10290	2058	84.2	2714	13.4	115
6	121.1	11870	1978	86	2733	13	111

Se presenta una evaluación cuantitativa de los 4 equipos a partir de las siguientes características con valores de 0 a 4 siendo 0 el más desfavorable y 4 el de mejor valor de evaluación. Por ejemplo en el caso de las respuestas inmediatas en caso de falla, se califico con cero la que no tiene respuesta inmediata y con cuatro a la que cuenta con dicha respuesta.

1) **Condiciones operativas:** Verificación y aseguramiento de las condiciones de operación solicitadas como gasto, carga dinámica total, gasto por equipo, curva del sistema, eficiencia del equipo de forma individual, acompañamiento en el arranque inicial y supervisión de las instalaciones, niveles de ruido.

   En base a las curvas presentadas las bombas verticales no cumplen con los gastos de 2 metros cúbicos por segundo en el rango de las cargas dinámicas solicitadas. En este rubro la bomba sumergible es la única que cumple.

2) **Casos de Equipos Instalados Similares:** El fabricante debe especificar los lugares en México o en el extranjero donde se indiquen equipos instalados de la marca que sean similares a los cotizados y que se indiquen las características como potencia, gasto y carga a vencer para tener referencia si se han tenido problemas de operación.

La marca KBL no cuenta con referencias de equipos instalados en México y no presenta evidencia de algún otro punto similar. La marca Ruhrpumpen cuenta con instalaciones en Monterrey de los cuales las referencias investigadas no son confiables. La marca KSB es la que está instalada en Chapala actualmente y ha presentado algunos problemas en el cumplimiento de los datos de operación. La marca Indar cuenta con instalaciones en el Acueducto El Salto- La Red y no ha presentado problemas a la fecha.

3) **Tiempos de mantenimientos requeridos anuales y descripción de maniobras requeridas y si se cuenta con respuesta inmediata en caso de falla.** Se considerarán los tiempos requeridos en base a los manuales de operación de los equipos y deberá especificarse en la oferta técnica ubicación de talleres autorizados y tiempos de respuesta.

La marca KSB e Indar declaran contar con respuesta inmediata en caso de falla con talleres de servicio en el lugar de la estación de bombeo. Por otro lado, las bombas verticales requieren en promedio de 15 a 24 horas de mantenimiento anual con tiempos de desmontajes de 3 a 5 días para realizarlo, en el caso de sumergibles se requieren de 13 a 19 horas de mantenimiento cada cuatro años y con un tiempo de desmontaje de 8 horas.

4) **Planos de Instalación en la Infraestructura Actual:** El fabricante deberá entregar propuesta de instalación y los requerimientos para la instalación del equipo en las instalaciones de la Estación de Bombeo actual.

En el caso de las bombas verticales no se requieren modificaciones a la infraestructura actual, pero se requiere construir casa de máquina techada para las instalaciones. En el caso de la bomba sumergible si se requiere realizar obras de adecuación en el cárcamo, pero no se requiere casa de máquina.

5) Costos de Inversión: Se deben incluir los materiales y el equipo necesarios para la correcta operación como son los elementos de control de motores eléctricos como sensores de temperatura, humedad, vibración, fugas, y cualquier elemento de seguridad para garantizar una vida útil más prolongada.

En el caso de las bombas verticales se requieren variador de velocidad para que las bombas puedan entrar a las condiciones operativas requeridas y válvula de paso anular para la operación, esto puede impactar en el costo de operación por presentar pérdidas en la eficiencia del conjunto bomba motor. En el caso de la bomba sumergible ya se considera el costo total de la inversión. La marca KBL no incluye los costos del personal para la puesta en marcha y capacitación. El costo de inversión presentado por Ruhrpumpen en comparación al resto de las marcas parece ser insolvente.

6) Aseguramiento de Calidad: Características de los materiales de fabricación, pruebas realizadas en fábrica y si son presenciadas, garantías. Definir los materiales de las partes más importantes del equipo, pruebas realizadas a las mismas, esto con el fin de determinar la calidad de fabricación.

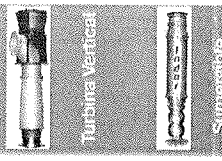
En este primer análisis solamente se considerará los tipos de pruebas realizadas a los equipos. En este rubro solamente Ruhrpumpen e Indar ofrecen pruebas del equipo en la fábrica y pueden ser presenciadas e incluidas en el costo.

7) Tiempo de Entrega: en semanas

El de mejor tiempo de entrega lo presenta la marca KSB con 36 semanas. La marca Indar queda en segundo lugar con 48 semanas y Ruhrpumpen con 51 semanas. KBL no indica esta información.

Los resultados de la evaluación realizada de manera cuantitativa en base a los elementos descritos se presentan en la Tabla 5.15 donde los mejores equipos evaluados resultaron ser la marca KSB y la marca Indar.

Tabla 5.15 Resumen de Evaluación Cuantitativa de Equipos de Bombeo

 Turbina Vertical / Sumergible	RUHRPUMPEN Tipo de Bomba Turbina Vertical	KSB Tipo de Bomba Turbina Vertical	Kirloskar KBL Tipo de Bomba Turbina Vertical	Indar Tipo de Bomba Sumergible
Configuración para 10 m3/ seg Caudal por equipo	4 Bombas + 1 Reserva 2.0 m3/ seg	4 Bombas + 1 Reserva 2.0 m3/ seg.	4 Bombas + 1 Reserva 2.0 m3/ seg	4 Bombas + 1 Reserva 2.0 m3/ seg
Condiciones Operativas	3	2	2	4
Casos de Equipos instalados sin problemas operativos	2	3	0	4
Tiempo de Respuesta Inmediata	0	4	0	4
Requerimiento de Mantenimiento	2	2	2	4
Requerimientos de Instalación	2	2	2	2
Costos de Inversión	4	3	1	2
Aseguramiento de Calidad	4	1	1	4
Tiempo de Entrega (Semanas)	2	4	0	3
Suma Puntos	19	21	8	23

De estos dos tipos de bombas se realizó una segunda evaluación a partir de una matriz técnica comparativa y posteriormente un cálculo de costos para definir cuál es la mejor alternativa para la Estación de Bombeo Chapala. En la Tabla 5.16 se muestra los valores.

Tabla 5.16 Matriz Técnica Comparativa Equipos de Bombeo

MATRIZ TÉCNICA COMPARATIVA			
Criterio técnico	Bombas Sumergibles INDAR	Bombas Verticales KSB	Comentarios
Número de equipos	4+1	4+1	Las bombas KSB requieren operar los 5 equipos para después meterlos en curva mediante VDF
Carga dinámica total	119 metros	132 metros	Las bombas KSB están sobredimensionadas.
Caudal por bomba	2,000 litros por segundo	2,000 litros por segundo	
Velocidad de giro (rpm)	882 revoluciones por minuto	715 revoluciones por minuto	715 RPM, (a menor velocidad menor NPSH r)
Eficiencia hidráulica en el punto de operación	85.6%	83%	83% (En la bomba KSB se deben de considerar las pérdidas mecánicas por transmisión en flechas y chumaceras y pérdidas hidráulicas en chumaceras y

			flecha o cubre flecha, lo cual reduce la eficiencia)
Elementos que afectan la eficiencia global del sistema de bombeo	Conjunto bomba/motor	Motor, Bomba, VDF, pérdidas mecánicas e hidráulicas, sistemas de lubricación.	Los sistemas auxiliares que requiere la bomba vertical afectan directamente su eficiencia
Cálculo de la eficiencia global del sistema de bombeo	$\eta mb = \eta h * \eta e = \eta h * \eta m * \eta v$ ηmb= rendimiento conjunto motobomba ηh= Rendimiento hidráulico ηm= Rendimiento motor ηv= Rendimiento variador de frecuencia		La bomba sumergible tiene mejor eficiencia La bomba vertical todavía hace falta restarle a la eficiencia las perdidas mecánicas e hidráulicas y los consumos por los sistemas de lubricación.
	$\eta mb = 0,859 * 0,915 = 0,785985.$	$\eta mb = 0,83 * 0,956 * 0,96 = 0,76174$	
Potencia requerida	3,660 HP	4,342 HP	La bomba sumergible requiere menor potencia consumida para operación.
NPSH r en el punto de operación	13.1 metros	-	Bomba vertical requiere menor carga neta por ser más lenta
Sumergencia	15.8 metros	-	Bomba sumergible requiere mayor sumergencia para evitar cavitación.
Diámetro de descarga	32"	-	Bomba sumergible menor requerimiento de diámetro
Fluido a manejar	Agua cruda.	Agua cruda.	Igual
Tipo de impulsor.	Cerrado	-	
Tipo de difusor.	Tazón	Campana/tazón	
Tiempo de arranque	Instantáneo	Indefinido	Las bombas sumergibles NO requieren de VDF, ni estrangulamiento por válvula, ni sistemas de lubricación externa. En cambio, la vertical requiere la coordinación de todos esos elementos para su arranque.
Accesorios para montaje.	Placa base, codo de descarga y tubería de descarga.	Tubería de columna, placa base, cabezal de descarga, flecha, separadores y centradores.	La bomba Indar se instala igual que una bomba de pozo

Tiempo de montaje y desmontaje	8 horas	40 horas	Las maniobras de bombas verticales son muy tardadas por el número de componentes mecánicos, además del riesgo de falla alto por errores en la alineación.
Actividades de mantenimiento.	Monitoreo de parámetros eléctricos e hidráulicos	Mantenimiento bomba, motor, VDF, A/C y sistemas de lubricación.	En el caso de bombas verticales si el VDF requiere mantenimiento la bomba queda también fuera de servicio
Exposición a corrosión	Motor, bomba y cables sumergidos	Bomba, columna, y anillos de ajuste.	La bomba vertical es susceptible a más desgaste por tener más partes móviles
Disponibilidad operativa	Operación más fácil, estable y continua. En caso de falla el desmontaje del equipo es muy rápido y la sustitución de refacciones es muy fácil.	Operación compleja por todos los sistemas auxiliares, en caso de falla, la bomba tardaría varias semanas en estar de vuelta en servicio	
Vida útil esperada	+ 20 años	+20 años	
Riesgos de falla	Sellos mecánicos del motor	Cojinetes, flechas, alineación, todos los componentes del VDF, sistemas auxiliares de lubricación. Sistemas de refrigeración de los VDF	Las bombas verticales corren mucho riesgo de falla al depender de múltiples sistemas auxiliares.
Flexibilidad de operación.	Se puede operar desde una sola bomba o hasta las 5 en paralelo sin necesidad de elementos auxiliares.	Solo pueden operar con las 5 bombas a la vez y conectadas cada una a un VDF	La flexibilidad en las verticales depende del VDF.
Costo a largo plazo	Bajos costos de operación y mantenimiento.	Mayor consumo de energía y mayor costo de mantenimiento.	El costo de operación es más elevado debido a los mantenimientos de todos los sistemas auxiliares y a que la eficiencia es menor.

Adicionalmente a los datos mostrados en la matriz técnica comparativa se hará el análisis de ciclo de vida considera los siguientes aspectos:

Gasto de Capital es decir el costo de los equipos que se utilizarán a largo plazo incluyendo la construcción de edificios o instalaciones.

Sumergibles: mayor obra civil en el cárcamo pero no requiere casa de máquinas, menor costo equipo eléctrico.

Verticales: no se requiere costo en adecuación de cárcamo pero requiere casa de máquina techada, mayor costo equipo eléctrico.

Gastos operativos es decir los costos de energía eléctrica y mantenimiento de equipos.

Sumergibles: menor consumo energético anual y costos por mantenimiento nulos.

Verticales: mantenimientos constantes, necesidad de sistemas auxiliares, consumo eléctrico mayor.

Confiabilidad:

Sumergibles: operación estable, eficiente y controlada.

Verticales: alto riesgo de falla por depender de la operación con VDF (cero redundancia).

Horizonte a 20 años:

Se considera en ambos casos la misma vida útil. Los datos técnicos con los que se realiza el cálculo se muestran en la Tabla 5.17.

Tabla 5.17 Datos técnicos de los Equipos de Bombeo

TIPO	MARCA	MODELO	CDT	CAUDAL	EFICIENCIA	VELOCIDAD	POTENCIA	POTENCIA	ENERGIA
BOMBA				LPS	BOMBA-MOTOR		REQUERIDA	INSTALADA	ENERGIA
UNIDADES			M		%	RPM	HP	HP	KW
SUMERGIBLE	INDAR	UGP-4810	120	2000	0.7859	882	3660	3855	2729.26
VERTICAL	KSB	SEZ 800-1010/2	132	2000	0.7617	720	4342	5000	3237.83

En la Tabla 5.18 se muestran los costos de inversión y de operación los cuales se calcularon de manera anualizada.

Tabla 5.18 Costos de Inversión y Operación Equipos de Bombeo

MODELO	COSTO	%	COSTO	COSTO	COSTO	COSTO	C OSTO	COSTO	COSTO
BOMBA	BOMBA-MOTOR	MANT	MANTENIMIENTO	O. CIVIL	O. CIVIL	KWR	BOMBEO	ANUAL	INVERSION
UNIDADES	TOTALES		ANUAL	CARCAMO	C. MAQ		ANUAL		ANUAL
UGP-4810	$ 706,544,400.00	3%	$ 21,196,332.00	$ 8,750,000.00	$ -	$ 1.56	$ 89,656,256.70	0.12	$ 85,835,328.00
SEZ 800-1010/2	$ 676,106,000.00	10%	$ 67,610,600.00	$ -	$ 19,870,000.00	$ 1.56	$ 106,362,695.79	0.12	$ 83,517,120.00

Con base en las condiciones del proyecto, el tipo de fluido, la importancia de la continuidad operativa y el horizonte de operación esperado, la alternativa de **bombas sumergibles** representa la solución más eficiente, confiable y económica a largo del horizonte del proyecto.

5.2.5. Criterios de Diseño.

Para obtener un adecuado diseño hidráulico tanto de la línea de bombeo como la de gravedad, se siguió la metodología establecida en los libros 10 y 11 del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS, 2015).

Es necesario que, al momento de trazar la línea piezométrica resultante en el perfil del terreno, ésta no cruce el terreno natural a lo largo de la conducción, que aritméticamente corresponde a presiones negativas en ciertos puntos de la conducción. Presiones negativas en el flujo de agua son posibles hasta cierto límite, igual a la presión absoluta de vapor saturado del agua, por lo que si el valor obtenido es inferior a esa presión la interpretación física es que el gasto que pasará por la línea será menor al requerido.

Para el diseño de la línea a gravedad se buscó una combinación de diámetros que permita utilizar el desnivel topográfico para efectuar la conducción, logrando de esta manera un diseño hidráulico correcto. Es decir, encontrar el diámetro de tubo necesario que permita transportar el gasto de diseño sobre una topografía que proporcione un desnivel favorable hacia el punto de descarga. En este tipo de conducción se tiene un desnivel disponible dado entre las cargas hidráulicas existentes en el inicio (en la fuente) y el final (la descarga) de la conducción.

De esta manera el diseño de la línea de conducción se dividió en los siguientes apartados:

- Diseño en régimen permanente
- Revisión del fenómeno transitorio
- Verificación de la envolvente de resistencia de tubería propuesta
- Ajuste, en caso de ser necesario, de la clase de tubería para que la envolvente de resistencia cubra las presiones a las que estará sometida la tubería.

Otro punto para considerar durante la definición de los diámetros en la línea de conducción es que el rango de velocidades a las que estará sometida la tubería se encuentre dentro del rango permisible de acuerdo con el tipo de tubería. En el libro de Datos Básicos de MAPAS se indican las velocidades admisibles para diferentes materiales de tubería, que son la velocidad mínima para evitar la precipitación de partículas que arrastre el agua y la velocidad máxima que no ocasiona erosión en las paredes de las tuberías, siendo la velocidad mínima igual a 0.30 m/s para todos los materiales y la velocidad máxima de 3 a 5 m/s según el tipo de material.

Velocidades permisibles

Las velocidades permisibles del líquido en un conducto están gobernadas por las características del material del conducto y la magnitud de los fenómenos transitorios. Existen límites tanto inferiores como superiores. La velocidad mínima de escurrimiento se fija, para evitar la precipitación de partículas de arrastre en el agua.

La velocidad máxima será aquella con la cual no deberá ocasionarse erosión en las paredes de las tuberías. En la tabla 5.19 se presentan valores de estas velocidades para diferentes materiales de tubería. Las velocidades permisibles en la tubería seleccionada se encuentran entre 0.30 m/s (como velocidad mínima) y 5.00 m/s como velocidad máxima.

Tabla 5.19 Velocidades permisibles (MAPAS, 2015)

Material de la tubería	Velocidad (m/s)	
	Máxima	Mínima
Concreto simple hasta 45 cm de diámetro	3.00	0.30
Concreto reforzado de 60 cm de diámetro o mayores	3.50	0.30
Concreto presforzado	3.50	0.30
Acero con revestimiento	5.00	0.30
Acero sin revestimiento	5.00	0.30
Acero galvanizado	5.00	0.30
Asbesto cemento	5.00	0.30
Fierro fundido	5.00	0.30
Hierro dúctil	5.00	0.30
Polietileno de alta densidad	5.00	0.30
PVC (policloruro de vinilo)	5.00	0.30

Nota: Las velocidades altas incrementan la magnitud de los fenómenos transitorios. La velocidad máxima en la tabla ha sido establecida considerando que se han resuelto los problemas asociados a fenómenos transitorios. En el libro "Fenómenos transitorios en líneas de conducción" se explican más detalladamente los estudios correspondientes.

Presiones máximas admisibles

La presión máxima admisible en la tubería está relacionada con la clase de la tubería seleccionada, en el caso del acueducto se seleccionó la clase de la tubería en función de los resultados del cálculo hidráulico y de la disponibilidad comercial según el tipo de material seleccionado para la tubería.

Trazo de la tubería

Se realizo el trazo de la tubería considerando las deflexiones máximas permisibles por el tipo de tubería y una profundidad promedio de zanja de 4.50 metros, con el propósito de proteger la tubería a lo largo del trazo propuesto y reducir la probabilidad de extracciones clandestinas. En el tramo de gravedad la profundidad propuesta es cercana a los 6 metros debido los cruces con infraestructura existente.

5.2.6. Propiedades de la tubería

Presión resistente

La presión resistente de la tubería de acero al carbón ASTM A-53 se calcula de acuerdo con el espesor de la tubería aplicando la fórmula de Barlow: Acero ASTM A-53

$$P(Mpa) = \frac{2Se}{D}$$

Donde:
$P(Mpa)$ Presión resistente en Mpa
S Límite elástico en Mpa
e Espesor de pared en mm
D Diámetro externo en mm

Los espesores disponibles para la tubería de acero al carbón ASTM A-53 de 106 pulgadas de diámetro son de tres cuartos de pulgada y de cinco octavos de pulgada.

Los valores de las propiedades mecánicas en esta tubería se muestran en la Tabla 5.20 donde se identifica que la tubería de 106 pulgadas y espesor de 5/8 de pulgada la presión interna es de 14.64 kilogramos por centímetro cuadrado. En el caso de espesores de tres cuartos de pulgada la presión interna admisible será de 17.57 kilogramos por centímetro cuadrado.

Tabla 5.20 Propiedades mecánicas de la tubería de acero propuesta

PRESION INTERNA ADMISIBLE TUBERIA ACERO CON COSTURA HELICOLIDAL				
S	2482.76	kg	36000	lb/plg2
t	1.5875	cm	**5/8**	plg
D	269.24	cm	106	plg
FS	2		2	
P	**14.64**	**kg/cm2**	**212.26**	**lb/plg2**
S	2482.75862	kg	36000	lb/plg2
t	1.905	cm	**3/4**	plg
D	269.24	cm	106	plg
FS	2		2	
P	**17.57**	**kg/cm2**	**254.72**	**lb/plg2**

5.2.7. Diseño en flujo permanente

Ecuaciones de conservación

Para aplicar las ecuaciones de conservación a una línea de conducción, se deben realizar, inicialmente, algunas consideraciones para su uso:

- El fluido es incompresible
- El flujo es permanente
- El volumen de control es rígido y fijo
- El volumen de control tiene una sola entrada y salida normales al flujo

El volumen de control tiene la forma mostrada en la figura 5.7

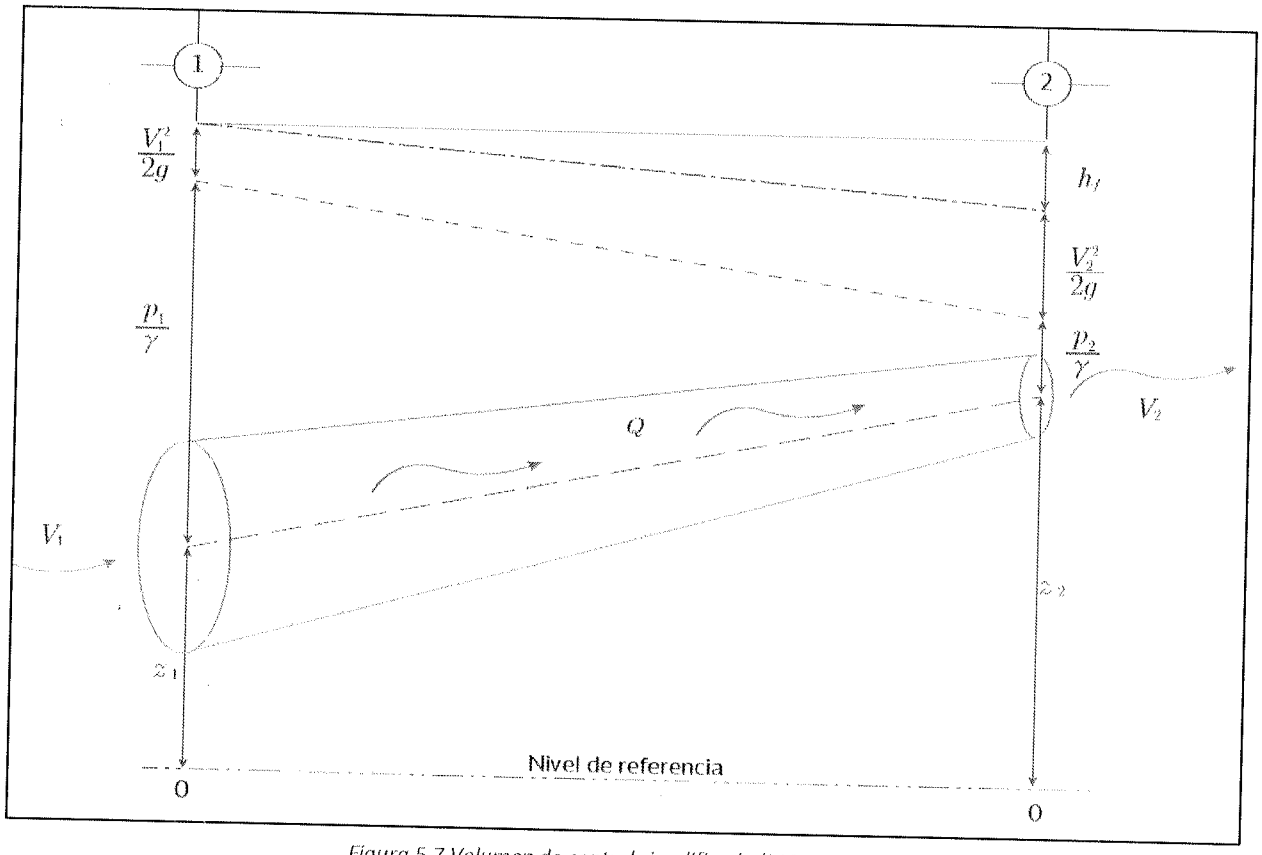


Figura 5.7 Volumen de control simplificado (MAPAS, 2015)

La ecuación de conservación de masa (continuidad) es:

$$V_1 A_1 = V_2 A_2$$

donde:
V_1 = Velocidad en la sección 1 (m/s)
A_1 = Área transversal de la sección 1 (m^2)
V_2 = Velocidad en la sección 2 (m/s)
A_2 = Área transversal de la sección 2 (m^2)

Ecuación de conservación de energía:

$$E_1 = E_2 + H_t$$

$$(z_1 + \frac{\mathcal{P}_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}) - (z_2 + \frac{\mathcal{P}_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}) = H_t$$

Donde:

z_1, z_2 = Elevación de la conducción en las secciones 1 y 2 (m)

$\mathcal{P}_1, \mathcal{P}_2$ = Presión interna en las secciones 1 y 2 (N/m^2)

H_t = Pérdidas de energía (m)

La dimensión física de estos elementos no es energía sino longitud. Lo anterior se debe a que durante la deducción de esta ecuación se ha expresado la energía por unidad de peso.

H_t representa la pérdida de energía por unidad de peso entre las secciones 1 y 2 y está constituida por las pérdidas por fricción h_f (pérdidas primarias o mayores) y las pérdidas locales h_L (pérdidas por accesorios, secundarias o menores).

$$H_t = h_f + h_L$$

Donde:

h_f = Pérdidas por fricción (pérdidas mayores).

h_L = Pérdidas locales (pérdidas menores).

Las pérdidas por fricción se deben al rozamiento de las partículas fluidas entre sí y entre éstas y el contorno sólido que las contiene, mientras que las pérdidas locales obedecen básicamente accesorios y cambios de dirección.

Pérdidas por fricción

La pérdida de carga en una tubería es la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce.

En la ecuación conocida como ecuación de Darcy-Weisbach, se requiere conocer un factor f', llamado factor de fricción, el cual es una variable adimensional y depende tanto del número de Reynolds (Re, el cual a su vez es un factor adimensional que relaciona las fuerzas dinámicas del fluido), y la rugosidad relativa de la tubería (∈/D), la cual es un indicador de las imperfecciones del material de la misma tubería.

La expresión de la fórmula de **Darcy-Weisbach** es la siguiente:

$$h_f = f\frac{L}{D}\frac{v^2}{2g}$$

Donde:

hf = pérdida de energía por fricción, en m

f = coeficiente de fricción (adimensional)

L = longitud de la tubería, en m

D = diámetro interno de la tubería, en m

V = velocidad media de flujo, en m/s

Re = Número de Reynolds (adimensional)

g = Aceleración de la gravedad (9.82 m/seg²)

ε = Rugosidad absoluta (mm)

Flujo laminar (Hagen–Poiseuille). Régimen laminar (Re < 2,300), donde Re es el número de Reynolds, el factor de fricción se calcula como:

$$f_{laminar} = \frac{64}{Re}$$

Flujo de transición (2.000 < Re < 4.000) Se aplica una interpolación cúbica al diagrama de Moody (Dunlop, 1991)

Flujo Turbulento (Colebrook-White). Vale para tubos lisos o rugosos en zona de transición o turbulenta y Re > 4,000

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2log\left(\frac{\varepsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right)$$

Para este caso particular que se utilizará tubería de Acero ASTM A-53 se tomará un valor para la rugosidad absoluta de 0.10 mm Este valor corresponde a los datos de la Tabla 5.21 donde se indican las rugosidades para varios materiales. Cabe mencionar que este valor es para tubería nueva. Es importante mencionar que para este caso en particular se cuenta con información de mediciones del comportamiento del acueducto actual y que en base a dichos datos proporcionados por el DR. Rafael Carmona sugiere el uso de factores de fricción de 0.015 para condición de tubería nueva y de 0.020 para condiciones de tubería usada.

Tabla 5.21 Rugosidades absolutas en algunos materiales (Sotelo, 2002)

Material	ε(mm)
Tubos lisos	
Vidrio, cobre, latón, madera (bien cepillada), acero nuevo soldado y con una mano interior de pintura; tubos de acero de precisión sin costura, serpentines industriales, plástico, hule	0.0015
Tubos industriales de latón	0.025
Tubos de madera	0.2 a 1
Fierro forjado	0.05
Fierro fundido nuevo	0.25
Fierro fundido, con protección interior de asfalto	0.12
Fierro fundido oxidado	1 a 1.5
Fierro fundido, con incrustaciones	1.5 a 3
Fierro fundido, centrifugado	0.05
Fierro fundido nuevo, con bridas o juntas de macho y campana	0.15 a 0.3
Fierro fundido usado, con bridas o juntas de macho y campana	2 a 3.5
Fierro fundido para agua potable con bastantes incrustaciones y diámetro de 50 a 125 mm.	1 a 4
Fierro galvanizado	0.15
Acero rolado, nuevo	0.04 a 0.1
Acero laminado, nuevo	0.05
Acero laminado con protección interior de asfalto	0.05
Tubos de acero de calidad normal	
Nuevo	0.05 a 0.1
Limpiado después de mucho uso	0.15 a 0.20
Moderadamente oxidado, con pocas incrustaciones	0.4
Con muchas incrustaciones	3
Con remaches transversales, en buen estado	0.1
Con costura longitudinal y una línea transversal de remaches en cada junta, o bien laqueado interiormente	0.3 a 0.4
Acero soldado, con líneas transversales de remaches, sencilla o doble; o tubos remachados con doble hilera longitudinal de remaches e hilera transversal sencilla, sin incrustaciones	0.6 a 0.7
Acero soldado, con una hilera transversal sencilla de pernos en cada junta, laqueado interior, sin oxidaciones, con circulación de agua turbia	1
Acero soldado, con doble hilera transversal de pernos, agua turbia, tuberías remachadas con doble costura longitudinal de remaches y transversal sencilla, interior asfaltado o laqueado	1.2 a 1.3
Acero soldado, con costura doble de remaches transversales, muy oxidado.	
Acero remachado, de cuatro a seis filas longitudinales de remaches, con mucho tiempo de servicio	2
Tubos remachados, con filas longitudinales y transversales	
a) Espesor de lámina < 5 mm 0.65	0.65
b) Espesor de lámina de 5 a 12 mm 1.95	1.95
c) Espesor de lámina > 12 mm, o entre 6 y 12 mm, si las hileras de pernos tienen cubrejuntas	
d) Espesor de lámina > 12 mm con cubrejuntas 5.5	3
Tubos remachados, con cuatro filas transversales y seis longitudinales con cubrejuntas interiores	4
No metálicos	
Asbesto-cemento nuevo	0.025
Asbesto-cemento, con protección interior de asfalto	0.0015

Pérdidas locales

Las pérdidas locales dependen de dos parámetros: la velocidad con la que circula el fluido y el elemento puntual en cuestión que cause la pérdida (por su coeficiente K), así para el cálculo de las pérdidas locales la expresión que se utiliza es la siguiente:

$$h_L = k\frac{V^2}{2g}$$

Donde:

h_L Pérdida local (m)

K Coeficiente de perdidas locales

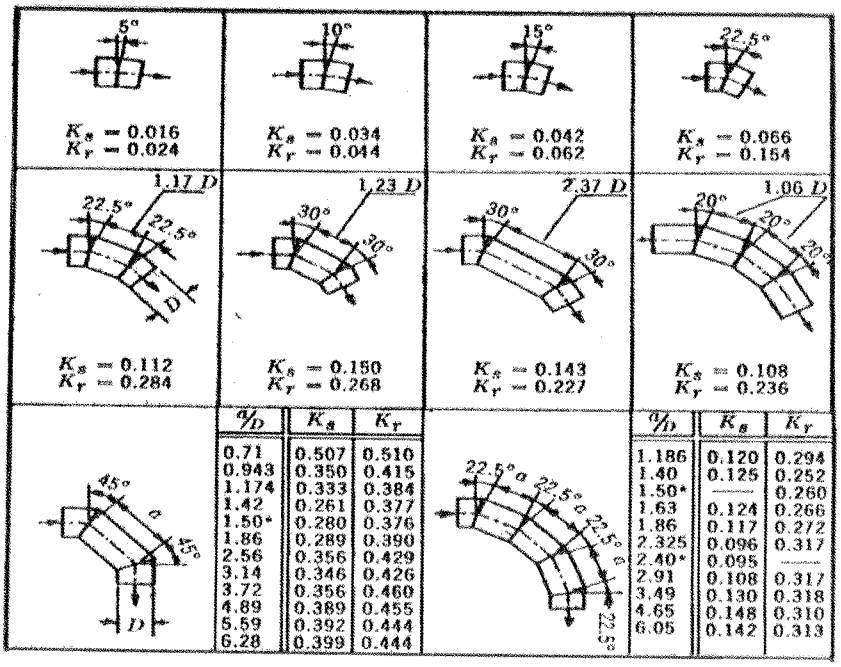
V Velocidad del flujo en la tubería (m/s)

g Intensidad del campo gravitatorio de la Tierra (m/s)

Los valores de los coeficientes K para cada tipo de accesorio se muestran en la Tabla 5.22 así como en las Figura 5.8 se deteerminan los valores para los cambios de dirección.

Tabla 5.22 Valores del coeficiente k por tipo de accesorio (Sotelo)

Elemento	Coeficiente k
Válvulas	
Válvula de globo, completamente abierta	10.00
Válvula en ángulo, completamente abierta	5.00
Válvula check completamente abierta	2.50
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.20
Válvula de compuerta, con ¼ de apertura	1 a 1.15
Válvula de compuerta, con ½ de apertura	5.60
Válvula de compuerta, con ¾ de apertura	24.00
Accesorios	
Codo de radio corto ($r/d = \pm 1$)	0.90
Codo de radio mediano	0.75 a 0.80
Codo de gran radio ($r/d = \pm 1.5$)	0.60
Codo de 45°	0.4 a 0.42
Retorno (curva en U)	2.20
Tee en sentido recto	0.30
Tee a través de la salida lateral	1.80
Unión	0.30
Ye de 45°, en sentido recto	0.30
Ye de 45°, salida lateral	0.80
Entrada recta a tope	0.50
Entrada con boca acampanada	0.10
Entrada con tubo reentrante	0.90
Salida	1.00
Depósito a tubería (pérdida a la entrada)	
Conexión a ras de la pared	0.50
Tubería entrante	1.00
Conexión abocinada	0.05
De tubería a depósito (pérdida a la salida)	1.00
Contracción brusca (ver Tabla 3.3)	k_c
Codos y tees	
Codo de 45°	0.35 – 0.45
Codo de 90°	0.50 – 0.75
Tees	1.50 – 2.00



a/D	K_s	K_r
0.71	0.507	0.510
0.943	0.350	0.415
1.174	0.333	0.384
1.42	0.261	0.377
1.50*	0.280	0.376
1.86	0.289	0.390
2.56	0.356	0.429
3.14	0.346	0.426
3.72	0.356	0.460
4.89	0.389	0.455
5.59	0.392	0.444
6.28	0.399	0.444

a/D	K_s	K_r
1.186	0.120	0.294
1.40	0.125	0.252
1.50*	——	0.260
1.63	0.124	0.266
1.86	0.117	0.272
2.325	0.096	0.317
2.40*	0.095	——
2.91	0.108	0.317
3.49	0.130	0.318
4.65	0.148	0.310
6.05	0.142	0.313

Figura 5.8 Coeficientes de pérdida local por cambios de dirección

Para cada tipo de crucero se asignó el valor del coeficiente *k* correspondiente según las piezas especiales de cada crucero. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.23

Tabla 5.23 Coeficientes de pérdidas locales en Línea de Impulsión y de Gravedad

Piezas especiales	Ks (Sotelo)	V (m/s)	hL (m) (SOTELO)
VAEA	0.028	1.767	0.004
DESFOGUE	0.028	1.767	0.004
VAEA + SECCIONAMIENTO	0.228	1.767	0.036

De igual manera se calcularon los valores para cada una de las deflexiones horizontales de los trazos del acueducto. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.24 para el tramo de conducción por bombeo y en la Tabla 5.25 para el tramo de conducción por gravedad.

Tabla 5.24 Coeficientes de pérdidas locales en deflexiones Línea de Impulsión

Cadenamiento	Deflexión	Ks (Sotelo)	V (m/s)	hL (m) (SOTELO)
0+747.31	14°	0.0404	1.767	0.006
2+877.02	26°	0.0959	1.767	0.015
2+978.71	31°	0.1370	1.767	0.022
3+355.43	14°	0.0404	1.767	0.006
3+495.07	13°	0.0388	1.767	0.006
3+629.44	17°	0.0484	1.767	0.008
4+173.63	6°	0.0196	1.767	0.003
4+281.66	18°	0.0516	1.767	0.008
5+318.14	4°	0.0124	1.767	0.002
5+460.76	17°	0.0484	1.767	0.008
5+867.89	17°	0.0484	1.767	0.008
5+938.66	13°	0.0388	1.767	0.006
6+580.90	7°	0.0232	1.767	0.004
6+693.11	9°	0.0304	1.767	0.005
7+393.97	10°	0.0340	1.767	0.005
8+613.59	10°	0.0340	1.767	0.005
8+717.56	30°	0.1300	1.767	0.021
8+796.56	13°	0.0388	1.767	0.006
10+048.02	6°	0.0196	1.767	0.003
10+127.40	8°	0.0268	1.767	0.004
12+123.19	16°	0.0452	1.767	0.007
12+234.37	21°	0.0612	1.767	0.010
12+301.54	11°	0.0356	1.767	0.006
14+707.32	4°	0.0124	1.767	0.002
20+195.95	7°	0.0232	1.767	0.004
20+293.97	24°	0.0788	1.767	0.013
21+339.38	21°	0.0612	1.767	0.010
21+433.88	18°	0.0516	1.767	0.008
21+779.98	23°	0.0702	1.767	0.011
21+852.97	26°	0.0958	1.767	0.015
21+935.04	23°	0.0702	1.767	0.011
21+997.93	25°	0.0873	1.767	0.014
22+509.77	23°	0.0702	1.767	0.011
			Σ=	0.274

Tabla 5.25 Coeficientes de pérdidas locales en deflexiones Línea de Gravedad

Cadenamiento	Deflexion	Ks	V (m/s)	hL (m) (SOTELO)
25+981.36	37°51´19"	0.1855	1.799	0.031
26+809.84	11°22´46"	0.0362	1.799	0.006
26+853.72	13°50´14"	0.0401	1.799	0.007
27+863.82	22°58´04"	0.0700	1.799	0.012
28+681.24	19°47´45"	0.0580	1.799	0.010
29+824.27	11°24´29"	0.0340	1.799	0.006
29+884.72	13°50´34"	0.0400	1.799	0.007
30+580.00	4°40´26"	0.0160	1.799	0.003
31+967.10	21°11´27"	0.0677	1.799	0.011
33+359.59	1°52´35"	0.0060	1.799	0.001
33+389.24	2°59´14"	0.0096	1.799	0.002
33+425.74	1°36´51"	0.0051	1.799	0.001
33+461.28	3°59´42"	0.0128	1.799	0.002
33+571.38	1°06´35"	0.0035	1.799	0.001
34+807.37	0°17´14"	0.0009	1.799	0.000
35+136.25	0°14´44"	0.0008	1.799	0.000
35+580.10	0°1´53"	0.0001	1.799	0.000
37+346.81	0°45´27"	0.0024	1.799	0.000
37+436.45	1°25´38"	0.0054	1.799	0.001
37+553.12	1°41´43"	0.0420	1.799	0.007
37+701.67	7°44´56"	0.0259	1.799	0.004
37+731.37	9°41´32"	0.0329	1.799	0.005
37+781.48	12°34´42"	0.0381	1.799	0.006
38+264.87	08°50´08"	0.0298	1.799	0.005
38+427.44	0°45´50"	0.0024	1.799	0.000
38+585.76	0°46´58"	0.0025	1.799	0.000
38+762.74	0°51´5"	0.0027	1.799	0.000
39+115.84	1°55´33"	0.0061	1.799	0.001
39+139.42	6°17´28"	0.0206	1.799	0.003
39+195.25	7°37´38"	0.0254	1.799	0.004
39+245.99	5°12´31"	0.0167	1.799	0.003
39+285.61	9°36´36"	0.0326	1.799	0.005
39+436.18	2°57´16"	0.0094	1.799	0.002
39+475.46	3°42´10"	0.0118	1.799	0.002
39+603.20	9°37´33"	0.0326	1.799	0.005
39+634.60	8°14´12"	0.0276	1.799	0.005
39+674.26	11°30´00"	0.0364	1.799	0.006
39+711.89	8°51´32"	0.0299	1.799	0.005
39+750.26	9°50´32"	0.0334	1.799	0.006
40+791.31	3°53´42"	0.0124	1.799	0.002
39+866.36	3°38´57"	0.0117	1.799	0.002
40+317.20	0°34´56"	0.0007	1.799	0.000
40+695.43	7°12´40"	0.0239	1.799	0.004
40+770.99	5°43´26"	0.0186	1.799	0.003
40+993.17	1°40´29"	0.0053	1.799	0.001
41+112.37	1°1´58"	0.0033	1.799	0.001
41+143.58	5°37´13"	0.0182	1.799	0.003
41+280.46	0°55´16"	0.0029	1.799	0.000
41+438.84	7°1´17"	0.0233	1.799	0.004
41+502.92	6°18´29"	0.0207	1.799	0.003
41+673.57	6°18´14"	0.0207	1.799	0.003
41+775.06	8°02´51"	0.0270	1.799	0.004
41+994.12	8°38´3"	0.0291	1.799	0.005
42+154.58	7°12´55"	0.0240	1.799	0.004
42+178.94	5°29´18"	0.0178	1.799	0.003
42+273.90	4°28´43"	0.0143	1.799	0.002
			Σ=	0.22

Software utilizado

Para efectuar la modelación de la línea de impulsión del acueducto en flujo permanente se utilizó el software WaterCad V8i de la empresa Bentley. WaterCad es un software comercial de análisis, modelación y gestión de redes y líneas a presión, propiedad de la Empresa de Software Bentley Systems, Incorporated.

WaterCAD permite la simulación hidráulica de un modelo computacional representado en este caso por elementos tipo: Línea (tramos de tuberías), Punto (Nodos de Consumo, Tanques, Reservorios, Hidrantes) e Híbridos (Bombas, Válvulas de Control, Regulación, etc.)

WaterCAD fue originalmente desarrollado por la Empresa Haestad Methods, Inc. con base en Watertown, CT (USA). Esta empresa fue adquirida por Bentley Systems a mediados del año 2004, adquisición a partir de la cual el producto comenzó a denominarse comercialmente como Bentley WaterCAD

El programa cuenta no solo con una solución robusta para la modelación hidráulica, sino también con herramientas avanzadas y módulos de calibración hidráulica, optimización de bombeos y diseño optimizado usando algoritmos genéticos. Entre las características más importantes del software se encuentran:

• Cuenta con las herramientas del administrador de escenarios, las cuales brindan gran flexibilidad mediante el uso de diferentes combinaciones de alternativas. Tanto los grupos de alternativas como de escenarios pueden ser administrados de manera jerárquica bajo una estructura parental (padre e hijo).

• Presenta herramientas de análisis extendido como: análisis de segmentación y estado crítico, análisis de incendio, análisis de vaciado unidireccional, análisis de costos de energía e integración a Bentley HAMMER para el análisis de transitorios hidráulicos.

Adicionalmente al uso de Watercad se utilizó el software Trans del Instituto de Ingeniería. Los resultados de ambos modelos fueron coincidentes.

Proceso de modelación

La primera parte del proceso de modelación corresponde a la importación de la geometría del trazo, para efectuar este proceso se importaron las coordenadas geométricas del trazo propuesto tanto para el tramo de impulsión como para el de gravedad. Esto con el fin de modelar ambas líneas y revisar el comportamiento hidráulico simultáneamente.

Una vez cargada la geometría de la línea de conducción se colocan las características de las tuberías y los coeficientes de pérdida local. Finalmente, con los datos cargados, se efectúa la corrida del modelo verificando que los resultados cumplan con los parámetros de diseño indicados; de no cumplirse, se modifica el diseño.

Los valores correspondientes a las coordenadas del eje de trazo del Acueducto se pueden visualizar en las Tablas 5.26 y 5.27 correspondientes al tramo de conducción por bombeo y conducción por gravedad respectivamente.

Tabla 5.26 Coordenadas del trazo de la línea de conducción Tramo Impulsión

PVI	CAD.	X	Y	Z
0	0	693,580.3942	2,247,566.2113	1,525.73
41	747.31	693,205.7478	2,248,207.0403	1,535.89
149	2877.02	692,568.8867	2,250,239.2947	1,547.51
155	2978.71	692,499.3278	2,250,313.4688	1,549.26
175	3355.43	692,137.2482	2,250,417.4685	1,576.31
183	3495.07	692,016.5168	2,250,487.6448	1,589.75
191	3629.44	691,918.5216	2,250,579.5820	1,582.08
220	4173.63	691,644.4917	2,251,049.7335	1,603.97
228	4281.66	691,580.4731	2,251,136.7540	1,600.67
280	5318.14	690,734.5408	2,251,735.6735	1,585.20
289	5460.76	690,612.5411	2,251,809.5425	1,584.77
312	5867.89	690,217.0798	2,251,906.3117	1,582.04
316	5938.66	690,146.4397	2,251,902.0359	1,583.33
350	6580.9	689,530.6208	2,251,719.7223	1,586.49
356	6693.11	689,419.8423	2,251,701.8437	1,586.67
392	7393.97	688,718.9942	2,251,705.5679	1,591.87
455	8613.59	687,516.0589	2,251,504.5427	1,609.29
461	8717.56	687,412.0914	2,251,505.6897	1,609.76
466	8796.56	687,344.1337	2,251,545.9757	1,610.48
530	10048.02	686,438.4094	2,252,409.5747	1,607.32
535	10127.4	686,375.6748	2,252,458.2092	1,607.72
638	12123.19	684,642.9260	2,253,448.5556	1,596.32
644	12234.37	684,564.7304	2,253,527.5892	1,593.80
649	12301.54	684,537.3299	2,253,588.9142	1,591.71
771	14707.32	683,998.4760	2,255,933.5692	1,600.87
1050	20195.95	682,365.4563	2,261,173.6316	1,584.08
1056	20293.97	682,325.1825	2,261,263.0006	1,581.70
1109	21339.38	681,539.2163	2,261,952.3000	1,544.90
1115	21433.88	681,450.7572	2,261,985.5460	1,546.96
1134	21779.98	681,105.0031	2,262,001.0047	1,549.14
1139	21852.97	681,039.1341	2,262,032.4636	1,548.72
1144	21935.04	680,957.0733	2,262,031.5954	1,547.81
1148	21997.93	680,899.3246	2,262,006.6950	1,546.88
1175	22509.77	680,387.6748	2,262,020.8505	1,544.83
1349	25920	677,286.7687	2,263,440.0175	1,609.38

Tabla 5.27 Coordenadas del trazo de la línea de conducción Tramo Gravedad

PVI	CAD	X	Y	Z
0	25+920.00	677286.7687	2263440.0175	1,609.38
4	25+981.36	677230.5537	2263464.6159	1,609.28
48	26+809.84	676829.8816	2264189.7302	1,602.06
51	26+853.72	676801.1384	2264222.8829	1,600.20
104	27+863.82	675976.1250	2264805.6750	1,601.43
147	28+681.24	675177.3778	2264979.3872	1,587.45
205	29+824.27	674209.8167	2265587.9393	1,582.25
209	29+884.72	674166.2511	2265629.8436	1,583.97
245	30+580.00	673795.0230	2266217.7301	1,573.07
318	31+967.10	673152.2518	2267446.9054	1,561.28
390	33+359.59	673002.2214	2268831.2842	1,551.69
393	33+389.58	672998.1173	2268860.9881	1,551.15
396	33+425.74	672991.3080	2268896.5031	1,550.76
399	33+461.28	672983.6349	2268931.2059	1,550.27
405	33+571.38	672952.4334	2269036.7919	1,548.72
468	34+807.37	672579.2693	2270215.1066	1,529.02
485	35+136.70	672478.2284	2270528.5484	1,527.06
509	35+580.10	672343.9956	2270951.1475	1,526.71
599	37+346.81	671807.1269	2272634.3008	1,528.41
604	37+436.45	671778.6935	2272719.3170	1,528.76
611	37+553.12	671738.9445	2272829.0058	1,529.22
620	37+701.67	671684.2255	2272967.1058	1,529.49
622	37+731.37	671669.6594	2272992.9949	1,529.68
626	37+781.48	671638.0879	2273031.9048	1,529.72
651	38+264.87	671258.9946	2273331.8244	1,530.64
660	38+427.44	671130.0386	2273430.8247	1,531.21
669	38+585.76	671005.7587	2273528.8960	1,531.77
679	38+762.74	670868.3357	2273640.4193	1,532.59
697	39+115.84	670590.8824	2273858.8257	1,533.77
700	39+139.42	670571.8786	2273872.7768	1,534.04
704	39+195.25	670523.5210	2273900.6873	1,534.24
708	39+245.99	670483.3309	2273931.6597	1,534.22
711	39+285.61	670454.2763	2273958.5913	1,534.48
719	39+436.18	670362.4885	2274077.9452	1,534.77
722	39+475.46	670340.1784	2274110.2768	1,535.09
738	39+711.89	670226.2113	2274312.3910	1,535.92
741	39+750.26	670226.1522	2274350.7646	1,536.00
744	39+791.31	670233.1056	2274391.2143	1,536.17
749	39+866.36	670250.8154	2274464.1467	1,536.34
772	40+317.20	670329.1004	2274908.1434	1,537.97
792	40+695.43	670398.5569	2275279.9362	1,539.87
797	40+770.99	670421.6467	2275351.8838	1,540.30
809	40+993.17	670468.1020	2275569.1531	1,540.93
816	41+112.37	670489.6078	2275686.3937	1,544.05
819	41+143.58	670495.7921	2275716.9895	1,544.58
827	41+280.46	670535.9197	2275847.8536	1,545.48
835	41+438.84	670579.9098	2276000.0000	1,549.06
840	41+502.92	670590.0501	2276063.2737	1,550.54
849	41+673.57	670635.4033	2276227.7845	1,554.64
855	41+775.06	670672.9578	2276322.0759	1,556.10
867	41+994.12	670724.7246	2276534.9341	1,562.88
876	42+154.58	670738.8065	2276694.7734	1,571.53
878	42+178.94	670743.9753	2276718.5795	1,573.02
884	42+273.90	670772.9067	2276809.0245	1,580.13
891	42+380.00	670801.6843	2276907.1881	1,586.87

El análisis de flujo permanente se realizó considerando tubería nueva y tubería usada, bajo la curva de operación del equipo de bombeo seleccionado y se demuestra que, para todas las condiciones, las bombas operan dentro la curva carga-gasto proporcionada por el fabricante. Esto evita la necesidad de colocar una válvula de control de gasto y presión en la descarga de la planta de bombeo. En la Figura 5. 9 y la Tabla 5.28 se muestran los puntos de operación carga-gasto para condición de tubería nueva para los dos niveles de operación determinados por los niveles máximo ordinario y mínimo del Lago de Chapala.

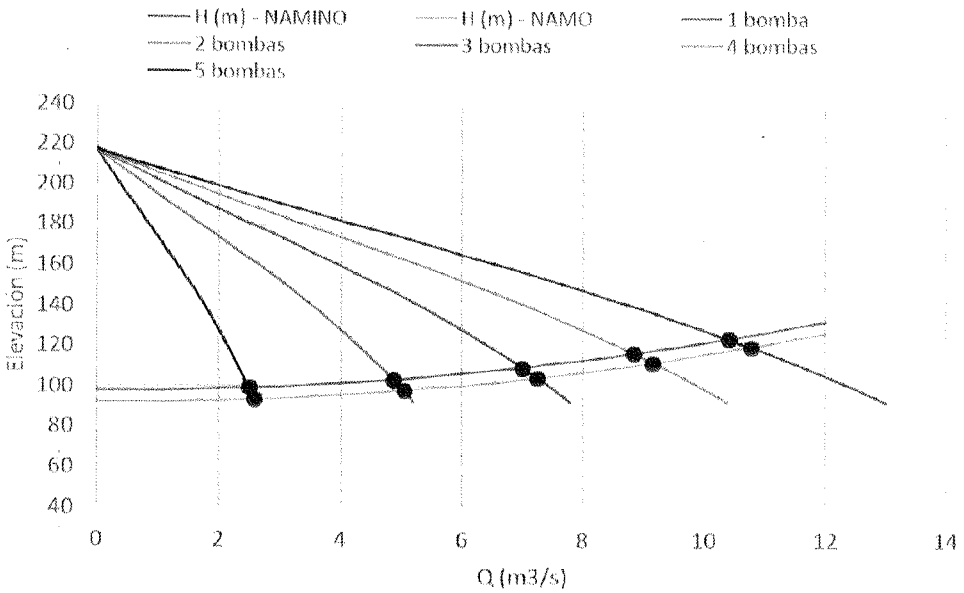


Figura 5.9 Puntos de operación carga-gasto para condición de tubería nueva

Tabla 5.28 Datos de Puntos de Operación con condición de Tubería Nueva

Gasto por bomba	Carga de bombeo	Eficiencia	Potencia por bomba	Bombas en operación	Gasto de operación	Consumo por m3
(m^3/s)	(m)		(kW)		(m^3/s)	(kW-hr/m^3)
NAMINO = 1516 m; Tubería nueva f = 0.015						
2.498	99.50	0.806	3,025.9	1	2.498	0.336
2.433	103.70	0.820	3,016.2	2	4.865	0.344
2.333	109.80	0.839	2,997.0	3	7.000	0.357
2.213	116.86	0.855	2,968.0	4	8.851	0.373
2.083	124.11	0.865	2,931.8	5	10.413	0.391
NAMO = 1522 m; Tubería nueva f = 0.015						
2.588	93.61	0.783	3,034.0	1	2.588	0.326
2.520	98.12	0.801	3,028.4	2	5.040	0.334
2.417	104.66	0.824	3,013.5	3	7.251	0.346
2.292	112.24	0.845	2,987.7	4	9.169	0.362
2.157	120.01	0.860	2,953.0	5	10.785	0.380

Para el caso de la condición de tubería usada la Figura 5.10 muestra el comportamiento gráficamente y en la Tabla 5.29 se muestran los valores

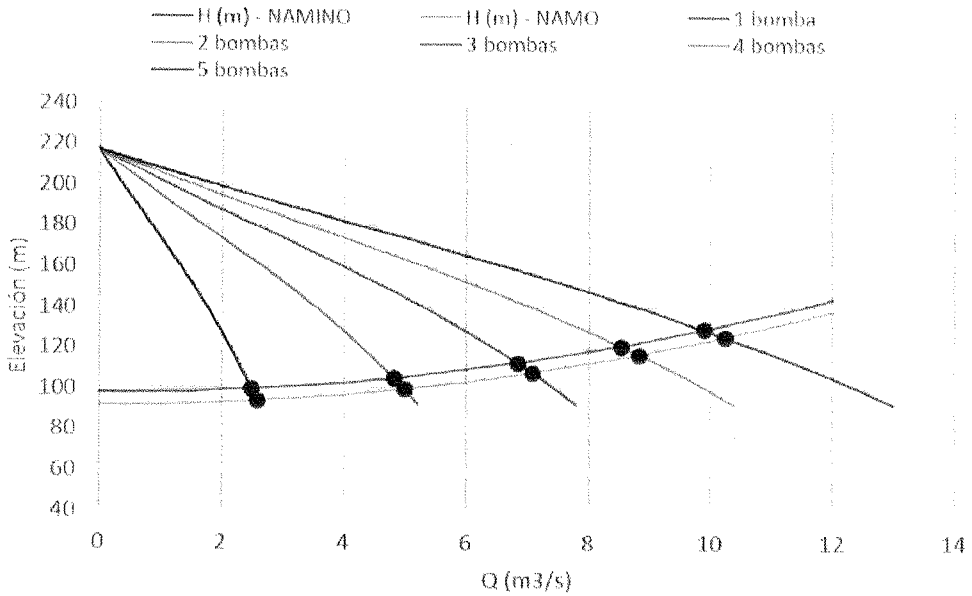


Figura 5.10 Puntos de operación carga-gasto para condición de tubería usada

Tabla 5.29 Datos de Puntos de Operación con condición de Tubería Usada

Gasto por bomba	Carga de bombeo	Eficiencia	Potencia por bomba	Bombas en operación	Gasto de operación	Consumo por m3
(m^3/s)	(m)		(kW)		(m^3/s)	(kW-hr/m^3)
NAMINO = 1516 m; Tubería usada f = 0.020						
2.491	100.00	0.808	3,024.9	1	2.491	0.337
2.405	105.44	0.826	3,011.3	2	4.809	0.348
2.279	113.04	0.847	2,984.6	3	6.836	0.364
2.132	121.40	0.862	2,946.1	4	8.528	0.384
1.980	129.54	0.867	2,901.1	5	9.902	0.407
NAMO = 1522 m; Tubería usada f = 0.020						
2.580	94.14	0.785	3,033.5	1	2.580	0.327
2.491	99.98	0.808	3,024.9	2	4.982	0.337
2.361	108.14	0.834	3,002.8	3	7.082	0.353
2.208	117.11	0.855	2,966.9	4	8.834	0.373
2.051	125.82	0.866	2,922.4	5	10.254	0.396

Una vez efectuado el cálculo en régimen permanente utilizando el programa WaterCad, se exportó la configuración geométrica al software Hammer V8i, donde se completaron los datos de celeridad de onda.

Los cálculos que se realizaron consideraron lo establecido en los lineamientos técnicos de la Comisión Nacional del Agua, en su libro Conducciones, del Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. En general, en lo que se refiere a la sobrepresión, los cálculos están basados en la teoría de la celeridad, que consiste en la velocidad de propagación de la onda de presión a través del agua, la cual depende entre otras cosas de la elasticidad del material de fabricación de las paredes de la tubería; para determinar el valor del incremento de la presión se usa la fórmula conocida como de Joukowski, donde además de la celeridad se usan el valor del diferencial de velocidad y la aceleración de la gravedad como valor constante.

La ecuación de la celeridad es:

$$a = \frac{a_0}{\sqrt{1 + \frac{E_a}{E_m}\frac{D}{e}}} \ldots . (1)$$

donde:

a = Celeridad de la onda de presiones;

a_0 = velocidad del sonido en el agua, 1,440 m/s

E_a = Módulo de elasticidad del agua; 22,313 kg/cm^2

E_m = Módulo de elasticidad del material del tubo; 2,110,812 Kg/cm^2

D = Diámetro interior del tubo; 2.654 m

e = Espesor de las paredes del tubo. 0.01905 m

Sustituyendo los valores en la fórmula anterior, se obtiene la celeridad a en m/s

$$a = \frac{1{,}440}{\sqrt{1 + \frac{22{,}313}{2{,}110{,}812}\frac{2.654}{0.01905}}} = 915.72$$

El software HAMMER tiene un factor de corrección que depende de las características del soporte de la tubería y del coeficiente de Poisson. Por lo que dentro del software el valor de celeridad para la conducción es de 967.91 m/s

A través de su base de datos y de sus herramientas de manejo de escenarios, el HAMMER es capaz de evaluar la infraestructura del sistema de conducción resolviendo ecuaciones hidráulicas como la de Hazen-Williams y/o Darcy-Weisbach, entre otras. El HAMMER también puede simular las conducciones bajo condiciones estables de flujo permanente o de operación normal.

El proyecto es la base de trabajo dentro del HAMMER. Un proyecto contiene todos los datos para un modelo de sistema de conducción, lo cual incluye escenarios de operación, mapa de tuberías, atributos de los componentes de la red, parámetros de modelaje, soluciones y resultados del modelo; y elementos adicionales como gráficas, curvas de nivel, reportes y archivos de entrada/salida. Para la modelación de esta conducción, se incluyó en la revisión esencialmente la información obtenida con anterioridad como parte del diseño de la línea de conducción.

Los siguientes tipos de componentes principales se integran, como revisión hidráulica, al modelo en el Hammer:

- Tubería: Representan las conexiones entre los elementos del modelo. En estos componentes se puede rastrear el flujo que transita.
- Nodos: Representan puntos donde se interceptan las conexiones (tuberías) y donde se evalúan las presiones de la línea de conducción en este caso de impulsión.
- Tanques: Representan la ubicación de las estructuras de almacenamiento de agua.

- Válvulas: Representan las conexiones unidireccionales que controlan el flujo o presión en los elementos de conducción; dicho parámetro es definido por el usuario. En la Tabla 5.30 se muestra un ejemplo de algunos elementos integrados en el modelo.

Tabla 5.30 Valores Iniciales para Modelo Hidráulico

Etiqueta	Nodo Inicial	Carga (Inicial en Nodo Inicial,	Nodo Final	Carga (Inicial en Nodo Final,
P-9	PMP-3	1,648.50	J-5	1,645.40
P-12	PMP-4	1,648.50	J-7	1,645.40
P-15	PMP-5	1,648.50	J-9	1,645.40
P-2	PMP-1	1,648.40	J-1	1,645.30
P-6	PMP-2	1,648.40	J-3	1,645.40
P-7	J-3	1,645.40	J-4	1,645.00
P-10	J-5	1,645.40	J-6	1,645.00
P-13	J-7	1,645.40	J-8	1,645.00
P-16	J-9	1,645.40	J-10	1,645.00

El HAMMER basa su modelación en la teoría elástica, aplicando el llamado método de caracteres que es el más ampliamente usado y probado para resolver ecuaciones diferenciales parciales transformándolas en dos pares de ecuaciones por medio de las cuales se determinan presiones y velocidades en cada nodo cargado a la simulación y en distintos momentos del tiempo de la corrida, para finalmente arrojar como resultado valores máximos y mínimos en tales nodos.

Otros datos que se requieren para la simulación del fenómeno transitorio en el programa de cómputo son referentes a las características de los equipos de bombeo, tales como su curva de operación (carga-caudal), su potencia y su momento de inercia. Estos datos generalmente se obtienen del propio fabricante del equipo de bombeo que se tenga seleccionado, aunque del que con mayor dificultad se dispone es el momento de inercia; sin embargo, es posible calcularlo mediante algunas ecuaciones con las que se cuenta, tales como la de Linton o la del Bureau of Reclamation, en las que interviene la potencia del equipo y su velocidad de rotación.

Para realizar la simulación del fenómeno transitorio con cualquier programa de cómputo, se deben integrar no sólo las características relacionadas con la línea de conducción por impulsión, sino también el sistema de bombeo del cual ésta arranca. Por tanto, en este caso se consideran los equipos de bombeo y su respectivo múltiple de descarga que se definen en el proyecto de la Planta de Bombeo.

5.2.8. Modelación del fenómeno transitorio

Método de las características

El estudio de transitorios hidráulicos se considera generalmente haber comenzado con las obras de Joukowsky (1898) y Allievi (1902). El desarrollo histórico de este tema hace que para una buena lectura (Wood F., 1970). Un número de pioneros hizo contribuciones innovadoras en el campo, incluyendo R. Angus y John Parmakian (1963), que popularizó y refinó el método de cálculo gráfico.

Benjamin Wylie y Victor Streeter (1993) combinan el método de características con el modelado por ordenador. El campo de los transitorios de fluido todavía está evolucionando rápidamente en todo el mundo (Brunone et al, 2000;. Koelle y Luvizotto, 1996; Filion y Karney, 2002; Hamam y McCorquodale, 1982; Savic y Walters, 1995; Walski y laúdes, 1994; Wu y Simpson, 2000).

Varios métodos han sido desarrollados para resolver flujo transitorio en las tuberías. Estos van desde ecuaciones aproximadas a soluciones numéricas de las ecuaciones no lineales de Navier-Stokes.

Una vez establecido el diseño en flujo permanente se realizó la revisión del fenómeno transitorio, el cual será ocasionado por un paro súbito del equipo de bombeo.

Para efectuar este diseño se consideraron válvula con actuadores que permitirán efectuar un cierre lento del sistema, con un tiempo total de cierre de 600 segundos; siguiendo el patrón mostrado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la r eferencia.**.

$$C^{+}\begin{cases}\dfrac{g}{a}\dfrac{dH}{dt}+\dfrac{dV}{dt}+\dfrac{fV|V|}{2D}=0\\ \dfrac{dx}{dt}=+a\end{cases}$$

$$C^{-}\begin{cases}-\dfrac{g}{a}\dfrac{dH}{dt}+\dfrac{dV}{dt}+\dfrac{fV|V|}{2D}=0\\ \dfrac{dx}{dt}=-a\end{cases}$$

Donde:

C^+ Línea característica hacia la derecha
C^- Línea característica hacia la izquierda
g Gravedad terrestre
dt Incremento de tiempo
dV Incremento de velocidad
dx Incremento de distancia
dH Incremento de elevación
V Velocidad del flujo
D Diámetro
a Celeridad de onda

Estas ecuaciones no se pueden resolver analíticamente, pero pueden ser expresados gráficamente en espacio-tiempo como líneas características (o curvas), llamadas características, que representan señales que se propagan hacia la derecha (C +) y a la izquierda (C-) simultáneamente y de cada ubicación en el sistema, como se muestra en la figura siguiente.

En cada punto de solución interior, las señales llegan de los dos puntos adyacentes de forma simultánea. Una combinación lineal de H y V es invariante a lo largo de cada característica si se descuidan las pérdidas por fricción; Por lo tanto, H y V se pueden obtener exactamente en los puntos de solución. Con pérdidas de carga concentrados en los puntos de la solución y la

suposición de que la fricción es pequeña, un procedimiento iterativo se utiliza en conjunción con MOC para avanzar en la solución en el tiempo.

Esencialmente consiste en resolver estas ecuaciones, para cada paso punto y tiempo de solución, para una amplia variedad de condiciones de contorno y topologías de sistema. Ver Figura 5.11

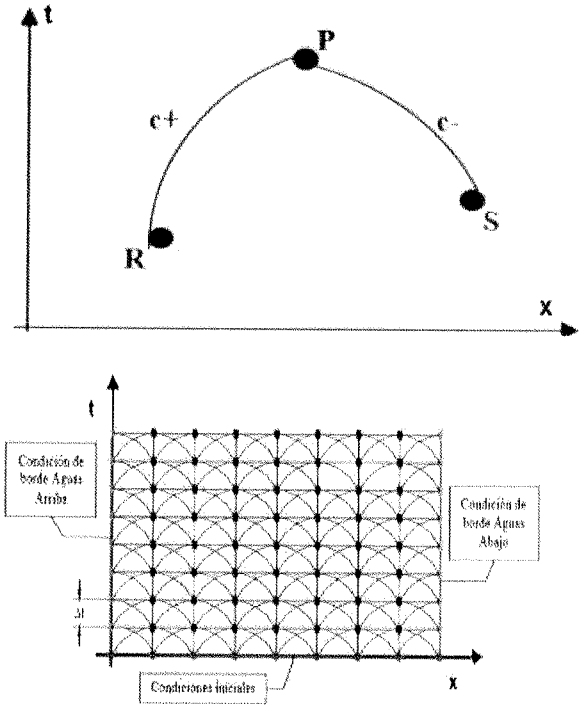


Figura 5.11 Diagrama espacio – tiempo para explicar curvas características (Pérez, 2005)

- Condiciones de borde o frontera

Son fundamentales para el desarrollo del método de las características.

Las condiciones de contorno también deben ser expresadas como ecuaciones algebraicas y/o diferenciales en función de sus propiedades físicas. Esto debe hacerse para cada elemento hidráulico en el modelo y resolverse junto con las ecuaciones características.

Existen condiciones de frontera de variada complejidad y también es necesario establecer sus ecuaciones características; a continuación, se enuncian las condiciones de frontera más usuales:

- Depósito ubicado en extremo aguas arriba o aguas abajo con nivel constante. Las curvas características de esta condición de borde dependen en gran proporción de su nivel de superficie libre, no obstante, cuando las pérdidas por ingreso o salida son importantes las ecuaciones características se ven afectadas por los coeficientes de pérdida singular.

- Válvula ubicada en extremo aguas abajo. La ecuación característica depende del coeficiente de descarga de la válvula, área de apertura y de la carga piezométrica.

- Orificio en extremo aguas abajo. La ecuación característica es similar a la de una válvula, sin embargo, el área transversal permanece constante.

- Variación de diámetros y propiedades elásticas de los conductos. Para definir las ecuaciones características se toma en consideración las pérdidas de carga locales en el cambio de diámetro y el cambio de geometría transversal.

- Bombas rotodinámica en extremo aguas arriba. La definición de las curvas características para las bombas depende de la curva caudal – carga piezométrica a una determinada velocidad de giro.

- Criterio de Courant

Los resultados que se obtienen con el método de las características son muy sensibles y variantes conforme a los diferenciales de tiempo (Δt) y espacio (Δx) que se utilicen; por tanto, se deben definir estos diferenciales de una manera tal que la resolución del sistema de ecuaciones sea estable y convergente.

Dada la naturaleza matemática de las ecuaciones diferenciales de flujo transitorio (no lineales), los métodos para determinar la convergencia y estabilidad son muy complejos; por tanto, se recurre a linealizar estas ecuaciones y en función del esquema de diferencias finitas en el campo (x – t) se ha logrado definir que los modelos cumplen las condiciones de estabilidad y convergencia bajo la siguiente expresión:

$$\frac{\Delta_t}{\Delta_x} \leq \frac{1}{a}$$

Donde:

Δ_t Incremento de tiempo
Δ_x Incremento de longitud
a Celeridad de la onda

Esta condición es el denominado *Criterio de Courant.*

La selección del diferencial o intervalo de tiempo se vuelve complejo cuando existen dos o más conductos con diferentes propiedades elásticas y/o geométricas. Si el intervalo de tiempo es tal que la longitud del tramo para cualquier conducto en el sistema no es igual al producto de la celeridad por Δt, entonces Δx debe ser mayor que a*Δt para satisfacer los criterios de estabilidad.

De acuerdo al criterio de (CHAUDHRY, 1979), cuando el rango de variación de las longitudes de los conductos en análisis es pequeño, tan solo es necesario realizar un simple ajuste de velocidades de onda (a) entre los conductos para alcanzar resultados suficientemente precisos; por lo que se debe satisfacer la siguiente ecuación:

$$\Delta_t = \frac{L_i}{a_i * n_i}$$

Donde:

i Subindice que identifica al numero de conducto que conforma el sistema (1-N).
L_i Longitud del conducto i
a_i Celeridad en el conducto i
n_i Número de tramos en que se divide el conducto i

Este balanceo y ajuste de la celeridad de onda en los conductos es una técnica de gran aplicabilidad para tanteos sucesivos hasta alcanzar los valores adecuados de Δx y Δt que arrojen un menor error.

- Efecto de las ventosas

Para cualquier tipo nodal en comunicación con la atmósfera (por ejemplo, descarga a la atmósfera, la válvula de aire), el aire puede ser inyectado en la tubería cuando el (manométrica) presión local cae a cero o por debajo. En el caso específico de una válvula de aire, el aire inyectado es expulsado de la tubería bajo presión a través de un orificio restrictivo con el fin de amortiguar el impacto subsiguiente de las reincorporándose columnas de líquido adyacentes. Por lo tanto, en la siguiente discusión, aunque se hará referencia a una válvula de aire, se debe observar que el aire inyectado permanecerá a presión atmosférica para todos los otros tipos nodales capaces de permitir la entrada de aire. En consecuencia, en la versión actual de HAMMER,

la entrada de aire o escapar en una pequeña grieta o agujero en la tubería, la válvula y / o en las articulaciones sólo puede ser representado por una válvula de aire.

Hay dos modelos para las válvulas de aire: elástico (concentrado) y la columna rígida. El primero es un tratamiento más estándar en el que cada bolsa de aire se localiza en su punto de formación, mientras que el último es un innovador representación columna rígida de las ramas adyacentes con el seguimiento de la interfaz aire-líquido.

▪ Coeficiente de fricción en el fenómeno transitorio

En comparación con un estado estacionario, la fricción de fluido aumenta durante eventos transitorios hidráulicos porque los cambios rápidos en la presión transitoria y a aumentar el flujo de cizallamiento turbulento. Bentley HAMMER V8i puede realizar un seguimiento de los efectos de las aceleraciones de fluidos para estimar la atenuación de energía transitoria más de cerca de lo que sería posible con casi estacionario o en estado estacionario fricción.

Se sabe que la velocidad de pasada y / o aceleración temporal juegan un papel significativo en la determinación de la fricción transitorio (Brunone et al, 1991;. Bughazem y Anderson, 2000; Vardy y Hwang, 1991). Motivados por datos experimentales y publicados fórmulas en los últimos años para estimar el factor de fricción transitorio (Brunone et al, 2000;. Vardy y Brown, 1995;. Vitkovsky et al, 2000), se han propuesto un modelo de fricción inestable definido por una amplificación de el factor de fricción casi estacionario por el siguiente factor:

$$1 + Min(\alpha|\frac{\partial V}{\partial t}|/g, \beta)$$

donde V es la velocidad, t es tiempo, g es la aceleración gravitacional. La derivada parcial de la velocidad con respecto al tiempo es la aceleracióntemporal en cualquier punto y se evalúa en el paso de tiempo anterior en esta área. Un método alternativo de fricción transitoria también se ha proporcionado (Bergant,Simpson y Vitkovsky, 2001). La selección de "inestable - Vitkovsky" como método de fricción transitoria empleará la siguiente formulación:

$$f = f_q + \frac{kD}{V|V|}(\frac{\partial V}{\partial t} + asign(V)\left|\frac{\partial V}{\partial x}\right|)$$

Donde F es el factor de fricción de Darcy-Weisbach, fq es el componente cuasi-estacionario del factor de fricción (basado en la actualización de número de Reynolds para cada nuevo cálculo), D es el diámetro del tubo, V es la velocidad del flujo, t es el tiempo, a es onda velocidad, señal (V) es igual a 1 cuando la velocidad es mayor que cero y -1 cuando la velocidad es inferior a cero, x es la distancia, y k es el coeficiente de fricción de Brunone.

▪ Cavitación

Durante un análisis de transitorios, si la presión manométrica, P, de los descensos de fluido a su límite de presión de vapor, P_0, a continuación, vapor comenzará a formar y el volumen de vapor se expandirá en todos los puntos de cálculo mientras persiste P_0. De hecho, como la presión se aproxima a P_0, el aire será liberado de la solución y la velocidad de la onda disminuirá; este comportamiento puede ser simulado utilizando el factor de reducción de la velocidad de onda.

Para simplificar, vamos a centrarnos en un punto interior de un tubo. Con la inclusión de fricción, hay tres incógnitas en cada paso de tiempo para cada punto interior en el flujo de una sola fase: dos cabezas y una descarga. De hecho, con el fin de realizar el seguimiento del volumen (s) de vapor, Xi, i = 1, 2, que puede formar, se requieren variables adicionales para registrar tales volúmenes. Existen dos hipótesis fundamentales invocados en el tratamiento de bolsas de vapor:

· Bolsas de vapor ocupan el área de sección transversal completa

· Bolsas de vapor se localizan en el punto de formación

Aunque estas hipótesis no son del todo válida - por razones físicas y lógicas - resulta que es difícil, si no imposible proceder sin ellos y que nos permite predecir el comportamiento del sistema notablemente bien (Provoost, 1976). En virtud de estos supuestos, no hay flujo a través de un bolsillo y la interfaz entre el vapor y restos líquidos fijos en el espacio.

Software utilizado

Bentley HAMMER es un simulador numérico avanzado de fenómenos transitorios hidráulicos (golpes de ariete) en los sistemas de agua, aguas residuales, industriales y de minería.

El motor de cálculo de Bentley HAMMER para el análisis dinámico de transitorios hidráulicos está basado en el Método de las Características (MOC). Los principales investigadores del fenómeno del transitorio están de acuerdo en que el Método de las Características, es el más adecuado para resolver rigurosamente las ecuaciones de continuidad y momentum del fenómeno tanto en sistemas simples como complejos.

Este software permite simular el impacto de una amplia variedad de equipos destinados a proteger el sistema frente a los efectos del Golpe de Ariete. El usuario puede seleccionar más de 20 dispositivos y ejecutar un número ilimitado de escenarios de operación, para desarrollar y definir la estrategia más adecuada encaminada a la mitigación de la sobrepresión.

Por otra parte, presenta herramientas de análisis y visualización de datos que permiten capturar el rápido movimiento del fenómeno del transitorio, determinar su impacto en el sistema, y seleccionar el equipo más adecuado para la protección del mismo.

El motor de cálculo de Bentley HAMMER V8i se basa en la tecnología creada originalmente por Hidráulica Ambiental Grupo (GENIVAR), dirigido por el Dr. Alan Fok, P. Eng., Un especialista en hidráulica designada, y asistido por el Dr. Sheldon Zemell. Bentley Systems y GENIVAR han forjado una colaboración a largo plazo para apoyar y mejorar Bentley HAMMER V8i. El software está diseñado para representar la última tecnología en el análisis y diseño de los golpes de ariete. Algunos de los textos de esta sección es una adaptación del capítulo 13 de Modelado Haestad Pulse avanzada Agua Distribución y Gestión (AWDM), escrito por el Dr. Edmundo Koelle, el Dr. Thomas Walski, PE, y el personal Haestad, o se extrae a partir de Alan Fok publicaciones anteriores técnicas y tesis doctorales.

Adicionalmente se realizó otro modelo en el software TRANSDOCENCIA desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM y disponible en el portal del mismo Instituto. La información relativa a este modelo se presenta en un Anexo.

Proceso de modelación

Criterios de Modelación de la Línea Mediante el Software Hammer

Antes de ingresar los datos necesarios para las corridas del análisis hidráulico a flujo transitorio se realizó el análisis a flujo establecido para determinar el caudal que se estaría conduciendo con los datos de las bombas, longitudes y diámetros de la línea.

Al efectuar las corridas del programa de cómputo de análisis transitorio, se consideró en todos los casos un paro repentino del equipo de bombeo donde existe una válvula de no retorno.

El procedimiento de diseño es el siguiente:

1. Paro accidental del equipo de bombeo sin dispositivo de alivio, considerando el bombeo total.
2. Si en el paso número 1 se presentan presiones inadecuadas, se buscará el dispositivo de alivio más adecuado para resolver el problema, proponiendo diferentes dimensiones de dispositivos y corriendo el programa cada vez para simular el transitorio originado por un paro accidental del equipo de bombeo.
3. Revisión del sistema de conducción a flujo transitorio contemplando el dispositivo de alivio encontrado en el paso 2 para otros escenarios posibles de operación.

Los datos considerados para desarrollar el análisis se presentan en la siguiente tabla. 5.31

Tabla 5.31 Datos de entrada para el Análisis de Transitorio en Línea de Agua Potable (Hammer)

No.	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD	COMENTARIOS
1	Material y norma de tubería	Acero	No aplica	ASTM A-53 Grado B
2	Presión nominal de tubería	17.57	Kg/cm^2	
3	Diámetro de tubería	2692.4	mm	Diámetro exterior
4	Espesor medio de tubería	19.05	mm	
5	Longitud de conducción	25,920 16.460	m	Línea Impulsión Línea Gravedad
6	Desnivel estático de Bombeo	98.00	m	Desde nivel menor de operación en EB hasta el de entrega en TCR
7	Altura de columna de bombeo	26.00	m	
8	Carga normal de operación	138.00	m.c.a.	
9	Carga máxima en el sistema	212.98	m.c.a.	Sobrepresión máxima estimada
10	Caudal máximo de bombeo	10,000	l.p.s.	
11	Número de bombas	5	Equipos	Se cuenta con un equipo adicional como respaldo
12	Configuración de grupo de bombeo	No aplica	No aplica	
13	Escalonamiento de bombeo	No aplica	No aplica	
14	Potencia de bombeo	3,676	HP	Por equipo
15	Velocidad del rotor de bomba	882	R.P.M.	
16	Fluido	Agua Cruda	No aplica	

5.2.8.1 Corrida 1: **Simulación del flujo transitorio con Hammer sin dispositivos de alivio**

De la simulación hidráulica se obtiene que en la mayor parte de la conducción una envolvente de presiones máximas sobrepasa a la presión de trabajo a flujo permanente, y que además rebasa la presión resistente de la tubería. Se obtiene una envolvente de presiones mínimas con valores menores en algunos puntos que los niveles de terreno natural, esto es, se generan presiones negativas.

Por lo anterior, podemos observar que las presiones máximas son ligeramente mayores a la presión máxima de trabajo de la tubería, sin embargo es indispensable considerar la presencia de dispositivos y/o accesorios en la línea de conducción que permitan el control de las depresiones y sobrepresiones mostradas en la figura, verificando que su operación no genere sobrepresiones mayores a las que se producen sin su presencia, además de que las válvulas y accesorios que se utilizarán en la línea de conducción soportan 25.4 kg/cm², por lo que se procede a analizar las variantes de solución según el accesorio de control que mejor se adecúe. En la figura 5.12 se puede observar gráficamente los resultados obtenidos del modelo.

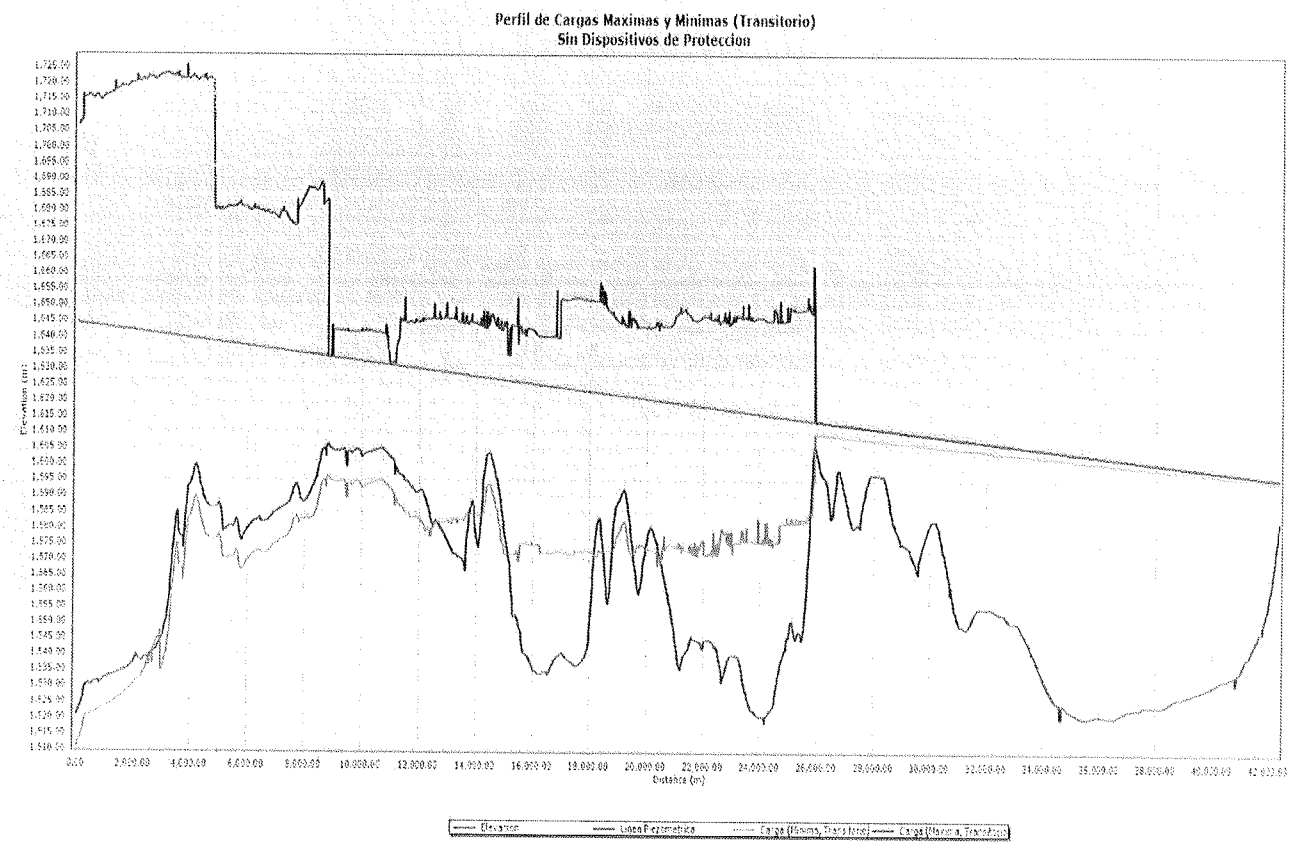


Figura 5.12 Gráfica de cargas Extremas en Línea de Agua Cruda Sin Dispositivos de Control con Hammer

Los datos de las envolventes del cálculo del fenómeno transitorio de la Corrida 1 se muestran en la tabla 5.32.

Tabla 5.32 Resultados de la carga hidráulica de trabajo, corrida 1 según Hammer

Agua Cruda. Paro accidental SIN dispositivos de protección ni VAEA's.								
Nodo	Elevación (m)	Cota Hidráulica (m)	Presión (kg/cm²)	Cota Máxima (m)	Presión Máxima (kg/cm²)	Cota Mínima (m)	Presión Mínima (kg/cm²)	Presión que soporta tub. (kg/cm²)
n1	1,520.80	1,644.53	12.37	1,719.11	19.83	1,520.01	-0.08	
n3	1,521.56	1,644.48	12.29	1,716.12	19.66	1,520.12	-0.14	
n5	1,522.33	1,644.44	12.20	1,705.22	18.29	1,518.86	-0.38	
n7	1,523.09	1,644.39	12.12	1,706.77	18.37	1,520.33	-0.28	
n8	1,523.34	1,644.37	12.10	1,707.43	18.41	1,520.36	-0.30	
n9	1,523.47	1,644.37	12.08	1,706.89	18.34	1,520.37	-0.31	
n11	1,523.90	1,644.34	12.04	1,703.58	17.97	1,520.43	-0.35	
n13	1,525.44	1,644.29	11.88	1,700.35	17.49	1,520.52	-0.49	
n15	1,526.36	1,644.25	11.78	1,700.46	17.41	1,520.62	-0.57	
n17	1,528.85	1,644.20	11.53	1,697.35	16.85	1,520.72	-0.81	
n19	1,530.19	1,644.15	11.39	1,697.28	16.71	1,520.82	-0.94	
n21	1,530.59	1,644.11	11.35	1,694.85	16.43	1,520.93	-0.97	
n23	1,530.81	1,644.06	11.32	1,695.87	16.48	1,521.04	-0.95	
n25	1,530.68	1,644.01	11.33	1,696.56	16.59	1,521.16	-0.95	
n27	1,530.54	1,643.96	11.34	1,700.41	16.99	1,521.25	-0.93	
n29	1,530.40	1,643.92	11.35	1,707.07	17.67	1,521.41	-0.90	17.57 condición normal
n31	1,530.90	1,643.87	11.29	1,716.02	18.51	1,521.64	-0.94	
n33	1,531.04	1,643.82	11.27	1,699.81	16.88	1,521.68	-0.94	
n35	1,531.38	1,643.78	11.23	1,715.38	18.70	1,521.83	-0.96	
n37	1,531.74	1,643.73	11.19	1,711.94	18.02	1,521.95	-0.98	
n39	1,531.68	1,643.68	11.19	1,711.69	18.00	1,522.14	-0.95	
n40	1,531.65	1,643.66	11.19	1,721.12	18.95	1,522.21	-0.94	
n41	1,531.67	1,643.65	11.19	1,721.28	18.96	1,522.24	-0.94	
n42	1,531.74	1,643.63	11.18	1,710.53	17.88	1,522.39	-0.95	
n44	1,531.40	1,643.59	11.21	1,730.74	19.93	1,522.43	-0.90	
n46	1,531.19	1,643.54	11.23	1,717.19	18.60	1,522.57	-0.86	
n48	1,531.54	1,643.49	11.19	1,696.09	16.45	1,522.72	-0.88	
n50	1,531.68	1,643.44	11.15	1,699.62	16.77	1,522.87	-0.90	
n52	1,532.22	1,643.40	11.11	1,714.45	18.23	1,523.04	-0.92	
n54	1,532.57	1,643.35	11.07	1,695.95	16.34	1,523.21	-0.94	
n56	1,532.91	1,643.30	11.03	1,695.45	16.35	1,523.38	-0.95	
n58	1,532.58	1,643.26	11.06	1,699.04	16.65	1,523.57	-0.90	

5.2.8.2 Corrida número dos. Paro accidental del equipo de bombeo con cámara de aire en el equipo de bombeo y tanque de Oscilación en Km 8+800

Las cámaras de aire son dispositivos sumamente versátiles y ampliamente utilizados para el control de los transitorios hidráulicos en sistemas de conductos a presión y particularmente en aquellos que involucran estaciones y equipos de bombeo.

Al producirse el paro accidental de las bombas, debido al corte del suministro de energía eléctrica, la cámara de aire actúa de manera prácticamente inmediata sobre la onda de depresión generada, suministrando temporalmente el caudal que ya no es aportado por las bombas, aprovechando para ello la energía acumulada en el aire comprimido ubicado en su interior.

Uno de los parámetros más importantes a determinar en el diseño de la cámara es el volumen inicial de aire que debe contener. A partir de este volumen inicial es posible determinar el volumen máximo que ocupará el aire y, utilizando un factor de seguridad, establecer el volumen total que deberá tener el recipiente (cámara).

De esta manera, se llevó a cabo la simulación correspondiente al funcionamiento de una cámara con un volumen inicial de aire de 101 m^3. Se muestran los resultados obtenidos, asumiendo una conexión franca entre la cámara de aire y la línea de conducción.

Para representar este dispositivo en el software HAMMER es necesario indicar además del volumen inicial de aire, el volumen Inicial de agua, así como las elevaciones de la base de la cámara y del agua en el interior de la cámara, así como el diámetro de la tubería de conexión cámara-conducción entre otros, en la *Tabla 5.33* se muestra el complemento de la información solicitada para el modelamiento de la cámara de aire.

Tabla 5.33 Datos de entrada para la cámara de aire en el software Hammer

Propiedades físicas	Valor
Volumen inicial de aire en la cámara (m^3)	101.00
Volumen inicial de agua en la cámara (m^3)	72.20
Altura de agua inicial (m)	2.45
Elevación de la base de la cámara (msnm)	1528.00
Volumen total de la cámara (m^3)	173.20
Longitud de la tubería de conexión cámara-conducción (m)	20
Diámetro de la tubería de conexión cámara-conducción (m)	2.65

El Tanque de Oscilación, al bajar la presión en la línea, el nivel del agua en el tanque desciende rápidamente, dejando que agua entre a la tubería desde el tanque. Este ingreso de agua compensa la pérdida de presión, evitando que la presión caiga por debajo de la atmosférica. El movimiento del nivel en el tanque crea una oscilación (sube y baja) conforme las ondas de presión rebotan y se estabilizan.

El tanque tiene un diámetro interno de 20.00 m, un tubo de conexión con un diámetro de 106 pulgadas, cota del fondo de 1605.00 m y cota del nivel del agua de 1634.14 m.

De la simulación hidráulica en esta corrida con los elementos para contrarrestar el efecto del fenómeno transitorio se obtiene en los primeros 8.0 Km de conducción una envolvente de presiones máximas que se reduce en relación con la corrida 1, casi igualándose a la presión de trabajo.

Mientras que obtiene una envolvente de presiones mínimas con valores que son mayores a las elevaciones de los tubos en el terreno natural, quedando así resuelta la eliminación de las presiones negativas. Ver Figura 5.13

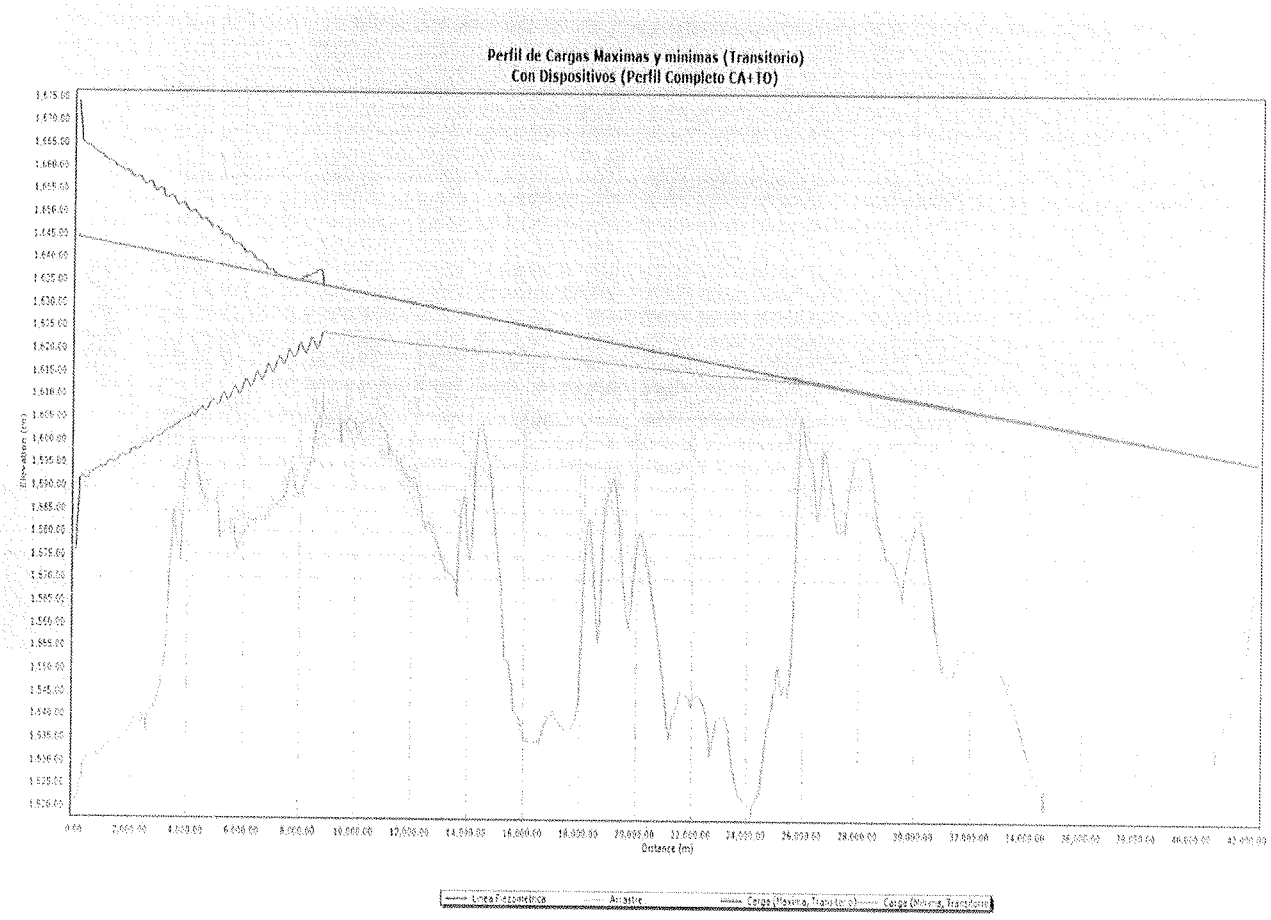


Figura 5.13 Gráfica de cargas Extremas en Línea de Agua Cruda Corrida dos con Hammer

Las envolventes del cálculo del fenómeno transitorio de la corrida 2 se muestran en la tabla 5.34

Tabla 5.34 Resultados de la carga hidráulica de trabajo, corrida dos según Hammer

Agua Cruda, Paro accidental CON dispositivos de protección, Cámara de Aire y Tanque Oscilación								
Nodo	Elevación (m)	Cota Hidráulica (m)	Presión (kg/cm²)	Cota Máxima (m)	Presión Máxima (kg/cm²)	Cota Mínima (m)	Presión Mínima (kg/cm²)	Presión que soporta tub. (kg/cm²)
n1	1,520.80	1,644.53	12.37	1,666.35	14.56	1,579.71	5.89	
n3	1,521.56	1,644.49	12.29	1,659.60	13.80	1,582.62	6.11	
n5	1,522.33	1,644.44	12.20	1,653.18	13.09	1,585.67	6.33	
n7	1,523.09	1,644.39	12.12	1,646.69	12.36	1,590.25	6.72	
n8	1,523.34	1,644.37	12.10	1,644.58	12.12	1,591.80	6.85	
n9	1,523.47	1,644.37	12.08	1,644.57	12.11	1,591.38	6.79	
n11	1,523.90	1,644.34	12.04	1,644.54	12.06	1,590.33	6.64	
n13	1,525.44	1,644.29	11.88	1,644.50	11.91	1,589.57	6.41	
n15	1,526.36	1,644.25	11.78	1,644.45	11.81	1,589.44	6.31	
n17	1,528.85	1,644.20	11.53	1,644.40	11.56	1,589.75	6.09	
n19	1,530.19	1,644.15	11.39	1,644.36	11.42	1,590.16	6.00	
n21	1,530.59	1,644.11	11.35	1,644.31	11.37	1,590.92	6.03	
n23	1,530.81	1,644.06	11.32	1,644.26	11.35	1,591.37	6.06	
n25	1,530.68	1,644.01	11.33	1,644.22	11.35	1,591.95	6.13	
n27	1,530.54	1,643.97	11.34	1,644.17	11.36	1,592.59	6.20	
n29	1,530.40	1,643.92	11.35	1,644.12	11.37	1,592.91	6.25	17.57 condición normal
n31	1,530.90	1,643.87	11.29	1,644.08	11.32	1,592.76	6.19	
n33	1,531.04	1,643.82	11.27	1,644.03	11.30	1,592.06	6.10	
n35	1,531.38	1,643.78	11.23	1,643.98	11.26	1,591.45	6.01	
n37	1,531.74	1,643.73	11.19	1,643.94	11.22	1,591.34	5.96	
n39	1,531.68	1,643.68	11.19	1,643.89	11.22	1,591.79	6.01	
n40	1,531.65	1,643.66	11.19	1,643.86	11.22	1,592.06	6.04	
n41	1,531.67	1,643.65	11.19	1,643.85	11.22	1,592.20	6.05	
n42	1,531.74	1,643.63	11.18	1,643.84	11.21	1,592.43	6.07	
n44	1,531.40	1,643.59	11.21	1,643.79	11.24	1,593.13	6.17	
n46	1,531.19	1,643.54	11.23	1,643.74	11.26	1,594.31	6.31	
n48	1,531.54	1,643.49	11.19	1,643.70	11.22	1,594.62	6.31	
n50	1,531.88	1,643.45	11.15	1,643.65	11.18	1,594.32	6.24	
n52	1,532.22	1,643.40	11.11	1,643.60	11.14	1,594.03	6.18	
n54	1,532.57	1,643.35	11.07	1,643.56	11.10	1,593.77	6.12	
n56	1,532.91	1,643.30	11.03	1,643.51	11.06	1,593.68	6.08	
n58	1,532.58	1,643.26	11.06	1,643.46	11.09	1,593.87	6.13	

5.2.8.3 Corrida número tres. Cierre lento y escalonado de válvulas de control en Km 29+900

El cierre escalonado de las válvulas de control en una conducción a gravedad se utiliza para reducir el riesgo de sobrepresiones y subpresiones durante la maniobra. Al cerrar una válvula de forma gradual y en etapas, se limita la rapidez con la que cambia la velocidad del flujo. Esto disminuye la magnitud del golpe de ariete, ya que la sobrepresión generada es directamente proporcional a la variación súbita de velocidad.

De igual manera, el cierre progresivo evita que se formen depresiones excesivas que puedan llevar el sistema a presiones por debajo de la atmosférica, reduciendo el riesgo de cavitación o ingreso de aire. En conjunto, el cierre escalonado proporciona una transición hidráulica más estable, protege la infraestructura y garantiza un funcionamiento seguro de la línea a gravedad.

La programación del cierre de las válvulas se muestra en la Figura 5.14

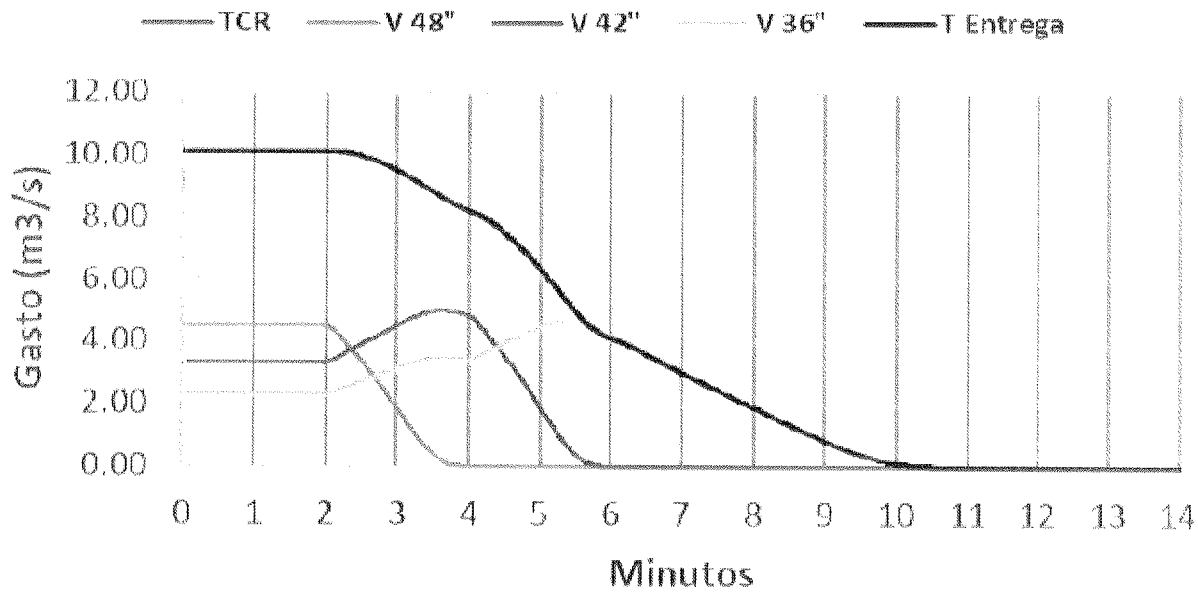


Figura 5.14 Cierre Escalonado por Válvulas de Control para Transitorios Tramo Gravedad

De la simulación hidráulica en esta corrida con el cierre escalonado y con el tiempo suficiente de cierre, el efecto del fenómeno transitorio se obtiene a lo largo de la línea de gravedad una envolvente de presiones máximas que sobrepasa la presión de trabajo, sin sobrepasar la resistencia de la tubería y de las piezas especiales. Además, que se obtiene una envolvente de presiones mínimas con valores que son mayores a las elevaciones de los tubos en el terreno natural, quedando así resuelta la eliminación de las presiones negativas. Lo anterior se puede visualizar en la Figura 5.15

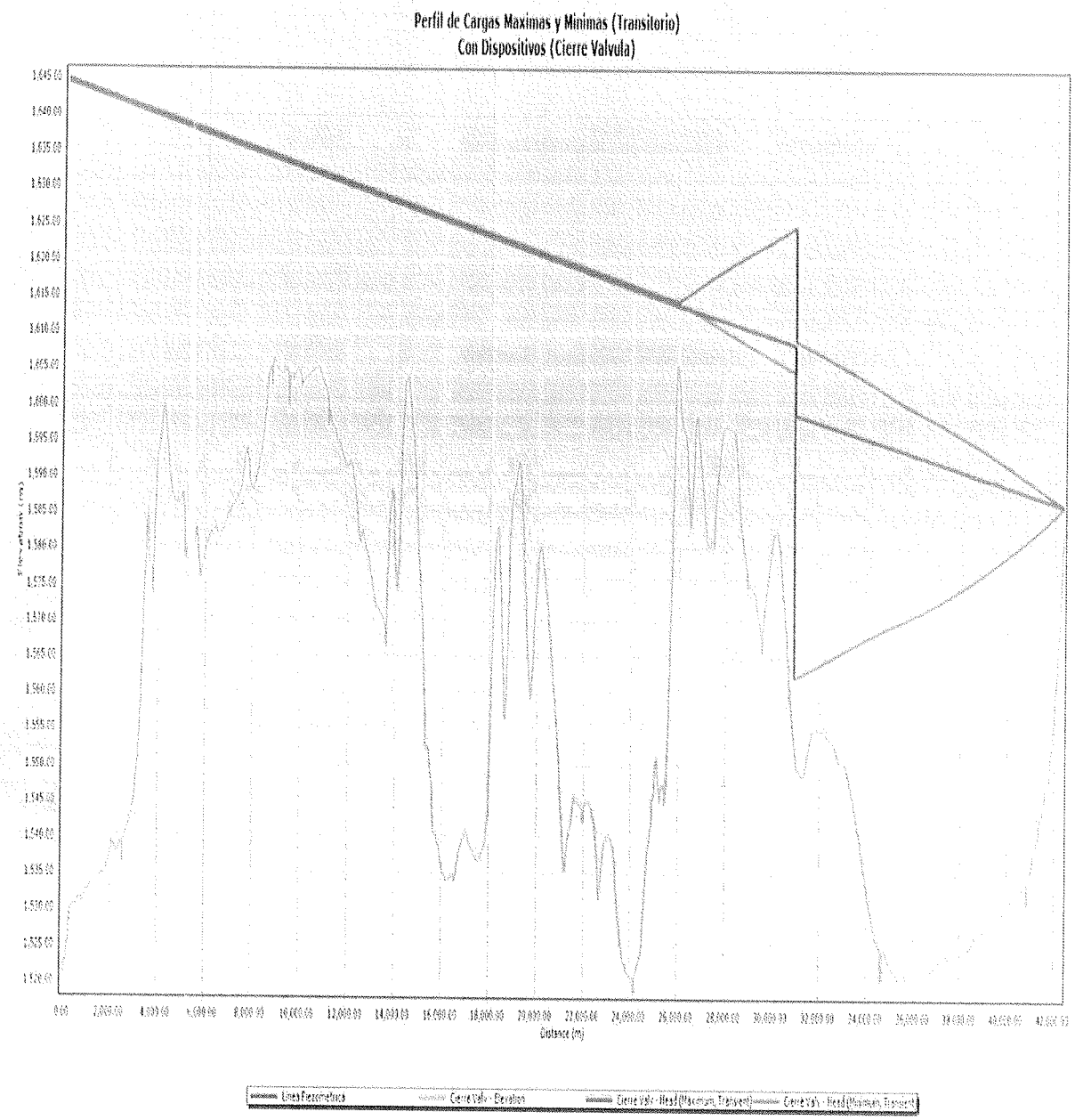


Figura 5.15 Gráfica de cargas Extremas Corrida 3 en Línea a Gravedad con Cierre de Válvula Escalonado

Las envolventes del cálculo del fenómeno transitorio de la corrida 3 se muestran en la tabla 5.35

Tabla 5.35 Resultados de la carga hidráulica de trabajo, corrida tres según Hammer

Agua Cruda, Cierre Programado y Escalonado de Válvulas de Control en Línea de Gravedad								
Nodo	Elevación (m)	Cota Hidráulica (m)	Presión (kg/cm²)	Cota Máxima (m)	Presión Máxima (kg/cm²)	Cota Mínima (m)	Presión Mínima (kg/cm²)	Presión que soporta tub. (kg/cm²)
n1361	1,604.66	1,613.98	0.93	1,614.68	1.00	1,613.97	0.93	
n1364	1,604.26	1,613.93	0.97	1,614.87	1.06	1,613.93	0.97	
n1366	1,602.50	1,613.89	1.14	1,615.06	1.26	1,613.88	1.14	
n1368	1,600.68	1,613.85	1.32	1,615.27	1.46	1,613.74	1.31	
n1370	1,598.85	1,613.80	1.49	1,615.47	1.66	1,613.53	1.47	
n1372	1,597.55	1,613.76	1.62	1,615.67	1.81	1,613.33	1.58	
n1374	1,597.07	1,613.72	1.66	1,615.88	1.88	1,613.13	1.61	
n1376	1,596.69	1,613.67	1.70	1,616.08	1.94	1,612.93	1.62	
n1378	1,596.31	1,613.63	1.73	1,616.28	2.00	1,612.72	1.64	
n1380	1,595.67	1,613.59	1.79	1,616.48	2.08	1,612.52	1.69	
n1382	1,593.99	1,613.54	1.95	1,616.68	2.27	1,612.32	1.83	
n1384	1,592.30	1,613.50	2.12	1,616.88	2.46	1,612.12	1.98	
n1386	1,588.69	1,613.46	2.48	1,617.09	2.84	1,611.92	2.32	
n1388	1,585.06	1,613.41	2.83	1,617.29	3.22	1,611.71	2.67	
n1390	1,583.26	1,613.37	3.01	1,617.49	3.42	1,611.51	2.83	
n1392	1,584.52	1,613.33	2.88	1,617.69	3.32	1,611.31	2.68	17.57 condición normal
n1394	1,586.85	1,613.28	2.64	1,617.89	3.10	1,611.11	2.43	
n1396	1,590.36	1,613.24	2.29	1,618.10	2.77	1,610.91	2.05	
n1398	1,594.02	1,613.20	1.92	1,618.30	2.43	1,610.71	1.67	
n1400	1,597.69	1,613.15	1.55	1,618.51	2.08	1,610.50	1.28	
n1401	1,598.60	1,613.14	1.45	1,618.57	2.00	1,610.43	1.18	
n1402	1,598.63	1,613.13	1.45	1,618.65	2.00	1,610.37	1.17	
n1404	1,598.71	1,613.09	1.44	1,618.83	2.01	1,610.17	1.15	
n1406	1,597.56	1,613.04	1.55	1,619.03	2.15	1,609.97	1.24	
n1407	1,597.17	1,613.03	1.59	1,619.10	2.19	1,609.90	1.27	
n1408	1,596.77	1,613.02	1.62	1,619.17	2.24	1,609.83	1.31	
n1409	1,595.99	1,613.00	1.70	1,619.27	2.33	1,609.73	1.37	
n1410	1,595.45	1,612.99	1.75	1,619.34	2.39	1,609.67	1.42	
n1411	1,595.20	1,612.98	1.78	1,619.37	2.42	1,609.63	1.44	
n1413	1,593.63	1,612.94	1.93	1,619.58	2.59	1,609.43	1.58	
n1415	1,592.07	1,612.89	2.08	1,619.78	2.77	1,609.23	1.72	
n1417	1,590.50	1,612.85	2.23	1,619.99	2.95	1,609.03	1.85	

5.2.8.4 Corrida número cuatro. Paro accidental del equipo de bombeo con cámara de aire en el equipo de bombeo y Tanque de Oscilación en Km 8+800 y Cierre lento y escalonado de válvulas de control en Km 29+900

Se modeló un escenario de paro accidental del equipo de bombeo, considerando la presencia de un tanque hidroneumático (cámara de aire) instalado aguas arriba, en la estación de bombeo, con el fin de amortiguar las sobrepresiones iniciales generadas por la desaceleración repentina del flujo. Adicionalmente, se incluyó un Tanque de Oscilación localizado en el km 8+800 para controlar las variaciones de nivel piezométrico y mitigar posibles subpresiones a lo largo de la línea durante la oscilación hidráulica posterior al paro. Finalmente, se simuló un cierre lento y escalonado de las válvulas de control ubicadas en el km 29+900, con el objetivo de reducir el gradiente de cambio de velocidad del caudal y limitar la magnitud del golpe de ariete, favoreciendo una disipación gradual de las ondas de presión. Este escenario permite evaluar el comportamiento transitorio del sistema considerando protecciones hidráulicas combinadas y maniobras controladas sobre la línea.

De la simulación hidráulica de esta corrida, el efecto del fenómeno transitorio se obtiene a lo largo de la línea de gravedad una envolvente de presiones máximas que sobrepasa la presión de trabajo, sin sobrepasar la resistencia de la tubería y de las piezas especiales y en la impulsión se obtiene en los primeros 8.0 Km de conducción una envolvente de presiones máximas que se reduce en relación con la corrida 1, casi igualándose a la presión de trabajo.

En la línea de gravedad una envolvente de presiones mínimas con valores mayores a las elevaciones de los tubos en el terreno natural, quedando así resuelta la eliminación de las presiones negativas, en la impulsión se obtiene una envolvente de presiones mínimas con valores que son mayores a las elevaciones de los tubos en el terreno natural, quedando así resuelta la eliminación de las presiones negativas. Los valores mostrados individualmente en las corridas 2 y 3 en este caso se presentan a lo largo de toda la línea de conducción. Esto nos permite visualizar el comportamiento general del Acueducto desde la Estación de Bombeo hasta el punto de entrega en el Tanque Cerro del Cuatro lo cual se muestra en la Figura 5.16

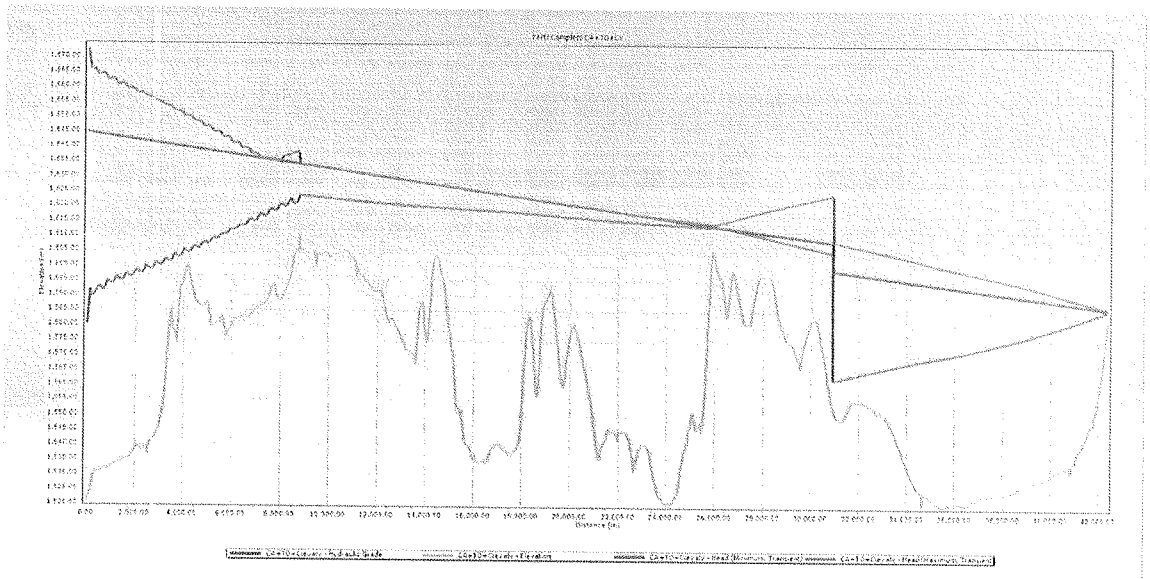


Figura 5.16 Gráfica de cargas Extremas en Línea de Conducción
Con Paro de Equipo Accidental y Dispositivos de Protección además con Cierre de Válvula Escalonado

Las envolventes del cálculo del fenómeno transitorio se muestran en la tabla 5.36

Tabla 5.36 Resultados de la carga hidráulica de trabajo, corrida cuatro según Hammer

Agua Cruda, Cierre Programado y Escalonado de Válvulas de Control en Línea de Gravedad								
Nodo	**Elevación (m)**	**Cota Hidráulica (m)**	**Presión (kg/cm²)**	**Cota Máxima (m)**	**Presión Máxima (kg/cm²)**	**Cota Mínima (m)**	**Presión Mínima (kg/cm²)**	**Presión que soporta tub. (kg/cm²)**
n1	2353.28	2524.46	17.118	2648.58	29.53	2368.88	1.56	
n2	2355.47	2524.39	16.892	2648.62	29.315	2369.27	1.38	
n3	2356.28	2524.37	16.809	2647.28	29.1	2368.28	1.2	
n4	2358.31	2524.32	16.601	2647.31	28.9	2368.96	1.065	
n5	2358.17	2524.17	16.60	2645.17	28.7	2367.47	0.93	
n6	2358.09	2524.09	16.60	2643.49	28.54	2365.89	0.78	
n7	2358.00	2523.99	16.599	2642.7	28.47	2365.6	0.76	
n8	2357.91	2523.89	16.598	2640.61	28.27	2366.21	0.83	
n9	2357.89	2523.87	16.598	2638.49	28.06	2365.99	0.81	
n10	2357.87	2523.85	16.598	2637.47	27.96	2366.87	0.9	
n11	2357.97	2523.84	16.586	2637.57	27.96	2367.87	0.99	
n12	2358.08	2523.82	16.575	2636.98	27.89	2368.18	1.01	
n13	2358.37	2523.79	16.541	2636.67	27.83	2368.87	1.05	
n14	2359.58	2523.63	16.405	2636.28	27.67	2369.78	1.02	
n15	2359.61	2523.59	16.398	2634.91	27.53	2369.41	0.98	
n16	2359.68	2523.51	16.383	2631.68	27.2	2369.48	0.98	
n17	2360.81	2523.38	16.257	2631.61	27.08	2370.71	0.99	
n18	2361.13	2523.34	16.221	2631.23	27.01	2372.03	1.09	
n19	2365.13	2523.23	15.81	2633.13	26.8	2375.83	1.07	
n20	2369.38	2523.11	15.373	2634.48	26.51	2379.88	1.05	
n21	2372.15	2523.01	15.086	2631.65	25.95	2379.25	0.71	
n22	2374.01	2522.94	14.893	2629.81	25.58	2378.51	0.45	17.57 condición normal
n23	2374.54	2522.92	14.838	2624.74	25.02	2377.74	0.32	
n24	2374.54	2522.85	14.831	2623.94	24.94	2377.54	0.3	
n25	2380.9	2522.75	14.185	2630.5	24.96	2384.4	0.35	
n26	2391.56	2522.61	13.105	2640.46	24.89	2394.86	0.33	
n27	2391.34	2522.55	13.121	2631.24	23.99	2388.94	-0.24	
n28	2391.26	2522.52	13.127	2628.76	23.75	2387.36	-0.39	
n29	2393.71	2522.39	12.867	2622.11	22.84	2383.71	-1	
n30	2394.37	2522.35	12.798	2623.57	22.92	2384.97	-0.94	
n31	2395.85	2522.27	12.641	2624.45	22.86	2386.45	-0.94	
n32	2396.91	2522.21	12.53	2626.11	22.92	2388.31	-0.86	

5.2.8.5 Corrida número cinco. Paro accidental del equipo de bombeo con cámara de aire en el equipo de bombeo y Tanque de Oscilación en Km 8+800, cierre lento y escalonado de válvulas de control en Km 29+900 y cierre de válvula en Tanque de Entrega

A la simulación de la corrida 4 se le agregó el cierre lento de la Válvula de Cierre que se colocará en la llegada al Tanque de Entrega ubicado al final de la línea de conducción.

El procedimiento para la obtención del tiempo de maniobra de cierre para una válvula y evitar una sobrepresión que puede ocasionar daños tanto en la tubería como en las piezas especiales se determina con la fórmula de Michaud:

$$t_M = \frac{2 * L * v}{\Delta H * g}$$

donde:

- L = Longitud de la conducción 11,500 m;
- v = velocidad del agua, 1.67 m/s;
- g = gravedad, 9.81 m/s^2
- ΔH = Sobrepresión por cierre de válvula.

Para una primera iteración necesitamos determinar el tiempo crítico con la siguiente formula:

$$t_c = \frac{2 * L}{a} = 25.12\ s$$

El tiempo de maniobra deberá ser mayor a este tiempo crítico. Por lo que si la presión máxima permisible de la tubería (PMA) es de 17.57 Kg/cm^2

$$P_{MAX} = (Hg + \Delta H) < PMA$$

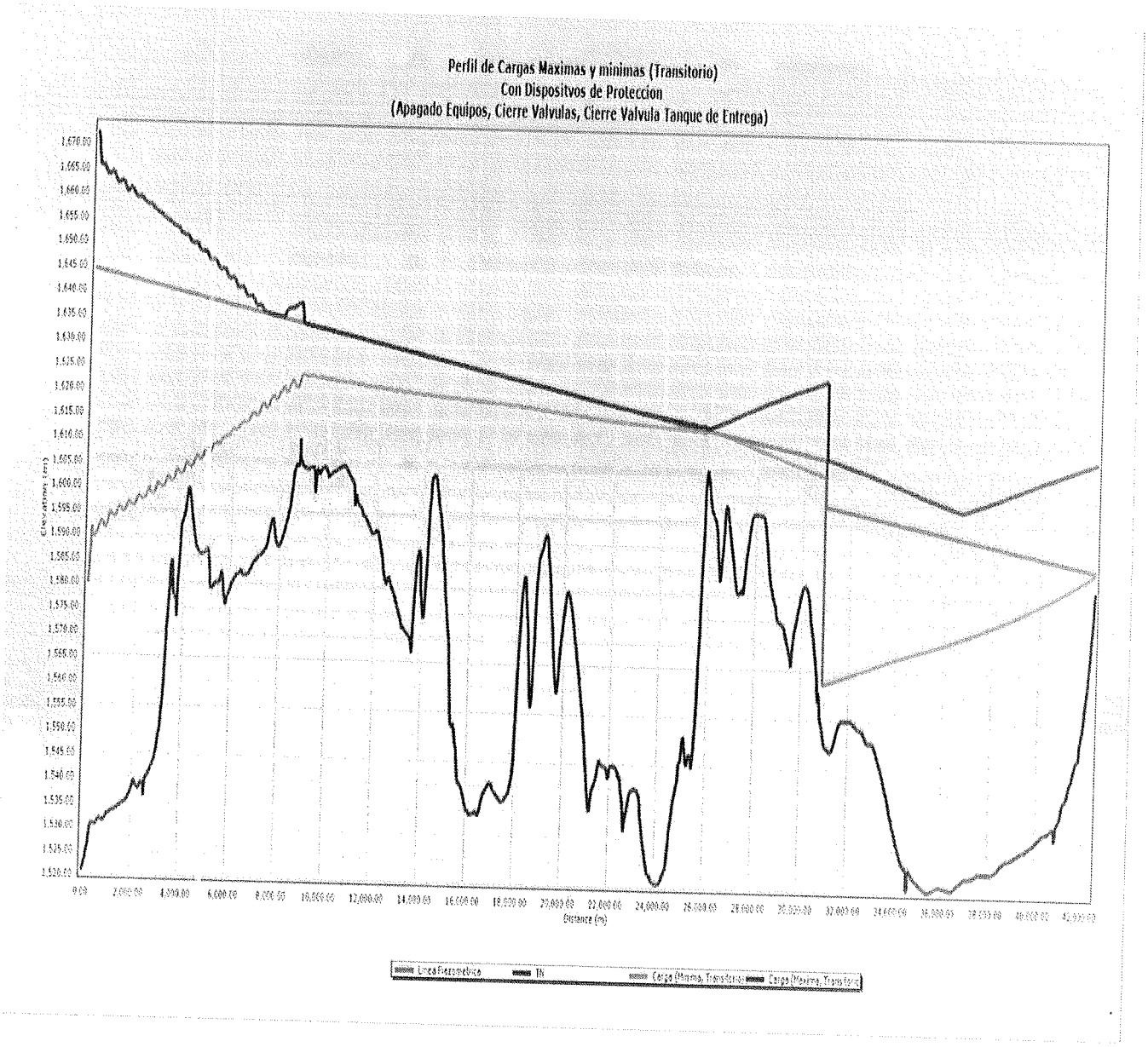
Teniendo como Hg (estatica) de 31 mca, podremos tener una sobrepresión de 144.70 mca (14.47 Kg/cm^2), con lo que obtenemos un T_M de 27 s, al ser un tiempo cercano al tiempo critico se buscó un mayor tiempo para reducir la presión máxima a 1/3 de la sobrepresión soportada por la tubería.

$$t_M = \frac{2 * 11{,}500 * 1.67}{50.55 * 9.81} = 200\ s$$

Por lo que el tiempo de cierre sugerido para la válvula en el tanque de entrega es de mínimo 200 seg (00:03:20 min)

De esta simulación hidráulica se obtuvo que se lograra la reducción de la sobrepresión como se muestra en el perfil de la Figura 5.17, además de no influir negativamente en las sobrepresiones de los puntos anteriores los cuales se logra se mantengan dentro de los mismos rangos mostrados en las simulaciones individuales número 2 y número 3 y en conjunto en la corrida 4.

Figura 5.17 Gráfica de cargas Extremas en Línea de Conducción Con Paro de Equipo Accidental y Dispositivos de Protección además con Cierre de Válvula Escalonado en KM 29+900 y Válvula en Tanque de Entrega



Las envolventes del cálculo del fenómeno transitorio se muestran tabuladas en la tabla 5.37.

Tabla 5.37 Resultados de la carga hidráulica de trabajo, corrida cinco según Hammer (Ejemplo)

Agua Cruda, Cierre Programado y Escalonado de Válvulas de Control en Línea de Gravedad								
Nodo	Elevación (m)	Cota Hidráulica (m)	Presión (kg/cm²)	Cota Máxima (m)	Presión Máxima (kg/cm²)	Cota Mínima (m)	Presión Mínima (kg/cm²)	Presión que soporta tub. (kg/cm²)
n2199	1,542.52	1,587.61	4.51	1,607.04	6.45	1,583.20	4.07	
n2201	1,543.35	1,587.57	4.42	1,607.10	6.38	1,583.31	4.00	
n2203	1,543.52	1,587.55	4.40	1,607.14	6.36	1,583.37	3.98	
n2206	1,544.30	1,587.50	4.32	1,607.22	6.29	1,583.50	3.92	
n2208	1,545.07	1,587.46	4.24	1,607.29	6.22	1,583.62	3.85	
n2210	1,545.89	1,587.42	4.15	1,607.36	6.15	1,583.73	3.78	
n2212	1,546.72	1,587.38	4.06	1,607.42	6.07	1,583.85	3.71	
n2214	1,547.54	1,587.33	3.98	1,607.49	6.00	1,583.97	3.64	
n2215	1,547.82	1,587.32	3.95	1,607.52	5.97	1,584.00	3.62	
n2217	1,547.82	1,587.29	3.94	1,607.56	5.97	1,584.08	3.63	
n2219	1,547.82	1,587.25	3.94	1,607.63	5.98	1,584.20	3.64	
n2221	1,547.82	1,587.21	3.94	1,607.69	5.99	1,584.30	3.65	
n2225	1,551.11	1,587.16	3.60	1,607.77	5.67	1,584.43	3.33	
n2227	1,552.40	1,587.12	3.47	1,607.84	5.54	1,584.55	3.22	
n2229	1,553.59	1,587.07	3.35	1,607.90	5.43	1,584.67	3.11	
n2231	1,554.78	1,587.03	3.22	1,607.97	5.32	1,584.79	3.00	
n2233	1,556.70	1,586.98	3.03	1,608.03	5.13	1,584.92	2.82	17.57 condición normal
n2234	1,557.48	1,586.97	2.95	1,608.06	5.06	1,584.95	2.75	
n2236	1,558.65	1,586.94	2.83	1,608.10	4.95	1,585.04	2.64	
n2238	1,560.50	1,586.90	2.64	1,608.17	4.77	1,585.16	2.47	
n2240	1,562.90	1,586.85	2.39	1,608.24	4.53	1,585.28	2.24	
n2242	1,565.34	1,586.81	2.15	1,608.31	4.30	1,585.40	2.01	
n2243	1,566.23	1,586.80	2.06	1,608.33	4.21	1,585.44	1.92	
n2245	1,567.72	1,586.77	1.90	1,608.37	4.07	1,585.52	1.78	
n2247	1,569.29	1,586.75	1.74	1,608.41	3.91	1,585.58	1.63	
n2249	1,572.29	1,586.70	1.44	1,608.48	3.62	1,585.71	1.34	
n2251	1,574.83	1,586.67	1.18	1,608.54	3.37	1,585.81	1.10	
n2253	1,576.79	1,586.64	0.98	1,608.58	3.18	1,585.89	0.91	
n2255	1,579.80	1,586.59	0.68	1,608.64	2.88	1,586.02	0.62	
n2257	1,581.70	1,586.57	0.49	1,608.68	2.70	1,586.10	0.44	
n2258	1,582.67	1,586.55	0.39	1,608.71	2.60	1,586.14	0.35	
n2199	1,542.52	1,587.61	4.51	1,607.04	6.45	1,583.20	4.07	

5.2.8.6 Conclusiones de las simulaciones del fenómeno transitorio

De acuerdo con los resultados que se obtienen de las corridas de simulación del fenómeno transitorio, la Cámara de aire y el Tanque de Oscilación resultan dispositivos adecuados para disipar los efectos de este evento.

Se debe tener en cuenta que estas simulaciones fueron realizadas incluyendo las válvulas de admisión y expulsión de aire que resultaron necesarias para solventar los requerimientos de admisión y expulsión de aire, las cuales son elementos que pueden contribuir también a la protección ante eventos transitorios básicamente por su capacidad de admitir aire que ayuda a prevenir depresiones al interior de la tubería. Por tanto, se contará con esta seguridad adicional en la línea de conducción.

Se recomienda cumplir estrictamente con los tiempos de cierre especificados para las válvulas, evitando maniobras más rápidas de lo indicado. Un cierre fuera del intervalo establecido puede generar sobrepresiones significativas en el acueducto, incrementando el riesgo de golpes de ariete, daños estructurales y fallas en los equipos asociados. Para garantizar la integridad del sistema, todas las operaciones de cierre deberán realizarse conforme al tiempo autorizado en el protocolo operativo.

Con el objetivo de asegurar estabilidad numérica y fidelidad en la propagación de ondas de presión en la modelación transitoria, se adoptó como criterio básico la condición de Courant–Friedrichs–Lewy (CFL), que relaciona el paso de tiempo con la velocidad de propagación de la onda y la longitud característica de la malla hidráulica. Este criterio establece que el frente de onda no debe recorrer más de un tramo por paso de tiempo, evitando pérdidas de precisión y oscilaciones numéricas no físicas en las variables hidráulicas.

Para satisfacer este criterio, la red se normalizó estableciendo una longitud mínima de tramo de 5 m, lo que permite un control adecuado sobre la discretización espacial del modelo. Considerando una celeridad representativa del fluido en la tubería de a = 965 m/s, se obtiene un paso de tiempo máximo compatible con un número de Courant igual a 1:

$$\Delta t_{max} = \frac{5}{968} \approx 0.00518\ s$$

Por lo anterior, y para mantener el número de Courant menor a la unidad con margen de seguridad, se seleccionó un paso de tiempo Δt=0.005\Delta t = 0.005Δt=0.005 s. Esta configuración garantiza una adecuada resolución temporal del fenómeno transitorio y estabilidad del esquema numérico a lo largo de toda la conducción.

La selección del paso de tiempo es consistente con los escenarios planteados: paro repentino de bombas por falla eléctrica y tiempos de cierre de válvulas superiores a 100 s. En ambos casos, la dinámica dominante está asociada a periodos relativamente largos respecto al paso de cálculo adoptado, permitiendo capturar de forma precisa la evolución de las presiones, velocidades y oscilaciones transitorias sin pérdida de información relevante ni riesgo de inestabilidad numérica

5.2.9. Ubicación de válvulas de admisión y expulsión de aire

En el acueducto se instalarán válvulas de admisión y expulsión de aire a todo lo largo de la línea de conducción en los puntos altos de la misma, después de las subidas y antes de las bajadas bruscas.

Mediante estas piezas especiales se protegerá el acueducto de posibles estrangulamientos de la sección por acumulamiento de aire en el interior del tubo que puede llegar a interrumpir, parcial o totalmente, el flujo.

Además, las válvulas de expulsión de aire evitaran la posible compresión de este lo que puede llegar multiplicarlo y generar la expulsión súbita de la presión de la bolsa de aire acumulada en la tubería a tal grado que supere la presión resistente de la tubería.

El diámetro de la válvula de expulsión de aire se seleccionó en función del diámetro de la tubería y el gasto que conducirá el tubo del acueducto, aplicando las siguientes reglas empíricas como se muestra en la Tabla 5.38. Para este caso en particular se definió de 10 pulgadas de diámetro.

Tabla 5.38 Diámetros de las válvulas de admisión y expulsión de aire en función del diámetro de la tubería

Diámetro de la tubería (pulgadas)	Diámetro de la válvula (pulgadas)
½ a 4	½
6 a 10	1
12 a 18	2
20 a 24	3
26 a 30	6 a 8
32-56	8 a 12

En acueductos de gran longitud y fuertes desniveles topográficos, como es el caso del acueducto Chapala Guadalajara, la presencia de aire atrapado en grandes bolsas puede romper la columna liquida e introduce una discontinuidad en el flujo.

Entre las causas por las que podemos encontrar aire en el interior de un acueducto podemos mencionar las siguientes: presencia de vórtices superficiales en el cárcamo de bombeo, operación de válvulas de admisión de aire, rupturas de la tubería en regiones de presión negativa y liberación del aire disuelto en el agua y además es inevitable que alguna cantidad de aire quede atrapada en la conducción en el curso de su llenado cuando tenemos un perfil irregular.

La presencia de aire en el interior de una tubería ocasiona enormes picos de presión y además de otros problemas como son la reducción de la capacidad de transporte, regímenes de operación no estables, disminución de las tuberías, entre otros.

Con base en las consideraciones anteriores resulta forzoso dotar el acueducto Chapala Guadalajara de medios para conseguir la evacuación del aire. Las válvulas de las ventosas expulsión de aire son utilizadas tanto para eliminar el aire en forma permanente, como para la salida en los puntos altos de las conducciones de grandes cantidades de aire en las operaciones de llenado de las tuberías o, en fin, para introducir aire atmosférico cuando se generan depresiones en la tubería.

En la Tabla 5.39 se muestra la ubicación de las válvulas de admisión y expulsión de aire de la línea de conducción en el tramo por bombeo y por gravedad del acueducto.

Tabla 5.39 Ubicación de las válvulas de admisión y expulsión de aire

CAD	PRESION NOMINAL
0+178.06	PN16
2+091.30	PN16
4+207	PN10
5+605	PN10
7+735	PN10
10+690	PN10
12+110	PN10
13+860	PN10
14+490	PN10
15+400	PN10
17+060	PN16
18+350	PN10
19+220	PN10
20+125.56	PN10
21+590	PN10
23+150	PN10
25+095	PN10
26+710	PN10
28+080	PN10
29+030	PN10
30+140	PN10
31+040	PN10
31+980	PN10
32+880	PN10
33+660	PN10
34+680	PN10
35+520	PN10
36+530	PN10
37+520	PN10
38+370	PN10
39+135.25	PN10
39+920	PN10
40+800	PN10
41+790	PN10

El arreglo tipo de las válvulas de aire se muestran en la figura

5.2.10 Atraques

En los trazos de las líneas de conducción y tuberías sometidas a presión, se presentan cambios de dirección y pendiente (cambios de dirección horizontal y vertical) que generan fuerzas axiales que se producen por la operación de la tubería (cargas hidrostáticas, peso de la tubería, efectos de temperatura, efectos dinámicos del agua, entre otros). Por definición, un atraque es un lugar o zona designada para el anclaje o amarre de una tubería, de manera que se nulifiquen las fuerzas generadas por un cambio de dirección en la tubería de conducción. Estos atraques se pueden construir con concreto simple, concreto ciclópeo, concreto armado o de mampostería de piedra.

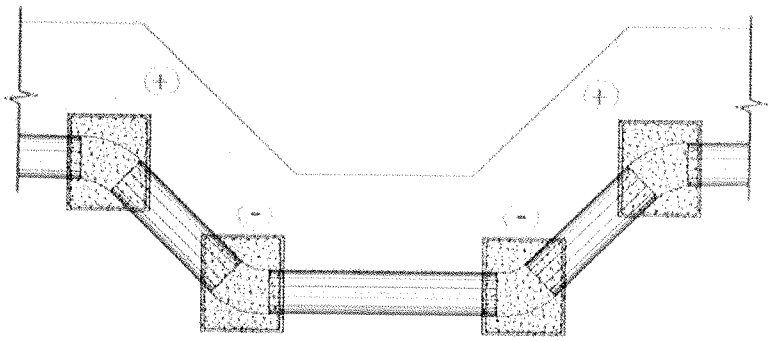


Figura 5.18 Deflexiones verticales positivas y negativas en el trazo de la tubería.

Debido a las deflexiones horizontales y verticales que se presentan en el trazo del proyecto, es una tarea indispensable el determinar el empuje que el flujo del agua genera en ese punto de inflexión. En base a esto, realizaron varios modelos matemáticos con elemento finito con la intención de obtener el nivel de esfuerzos que se generan en los atraques y las reacciones que los mismos transmitirán al subsuelo en el que se coloquen.

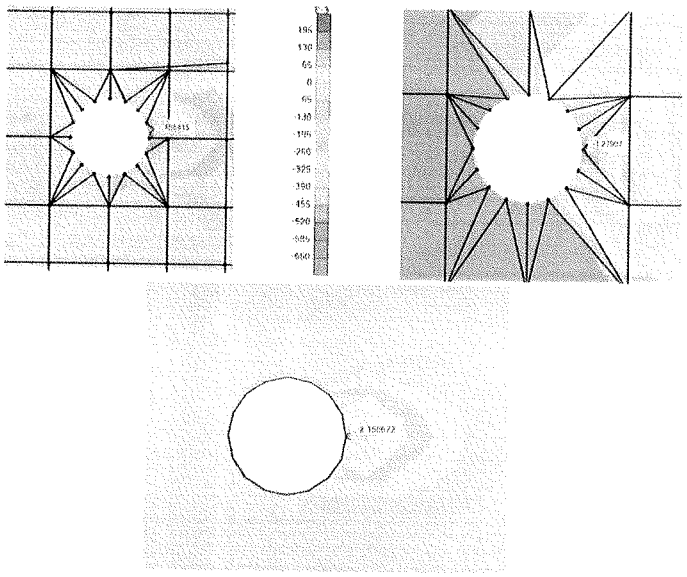


Figura 5.19 Modelación mediante elemento finito de los atraques

A continuación, se despliega el listado de los atraques generados:

Atraques para Deflexiones Horizontales:

- Atraque Tipo 1 : con empujes entre 225 y 190 ton
- Atraque Tipo 2 : con empujes entre 113 y 190 ton
- Atraque Tipo 3 : con empujes entre 96 y 113 ton
- Atraque Tipo 4 : con empujes entre 78 y 96 ton
- Atraque Tipo 5 : con empujes entre 56 y 78 ton
- Atraque Tipo 6 : con empujes entre 56 y 70 ton
- Atraque Tipo 7 : con empujes entre 44 y 56 ton
- Atraque Tipo 8 : con empujes entre 38 y 44 ton
- Atraque Tipo 9 : con empujes entre 31 y 38 ton
- Atraque Tipo 10 : con empujes entre 17 y 31 ton
- Atraque Tipo 11 : con empujes entre 10 y 17 ton
- Atraque Tipo 12 : con empujes entre 7 y 10 ton
- Atraque Tipo 13 : con empujes entre 1 y 7 ton

Tabla 5.40. Dimensiones requeridas según el tipo de atraque horizontal requerido.

TIPO DE ATRAQUE	DIM. REQUERIDAS					
	A	B	C	D	E	H
1	3.50	5.00	5.50	0.50	0.50	5.40
2	2.70	3.70	5.00	0.50	0.50	4.20
3	2.70	3.50	4.20	0.50	0.50	4.20
4	2.70	3.25	4.00	0.50	0.50	4.00
5	2.70	3.00	3.60	0.50	0.50	4.00
6	2.70	3.00	3.20	0.40	0.40	3.80
7	2.70	3.00	3.15	0.40	0.40	3.50
8	2.70	3.00	2.80	0.30	0.30	3.30
9	2.70	3.00	2.75	0.30	0.30	3.00
10	2.70	3.00	2.60	0.30	0.30	2.90
11	2.40	2.85	2.00	0.30	0.30	2.70
12	2.30	2.50	1.75	0.30	0.30	2.70
13	2.00	2.25	1.50	0.30	0.30	2.70

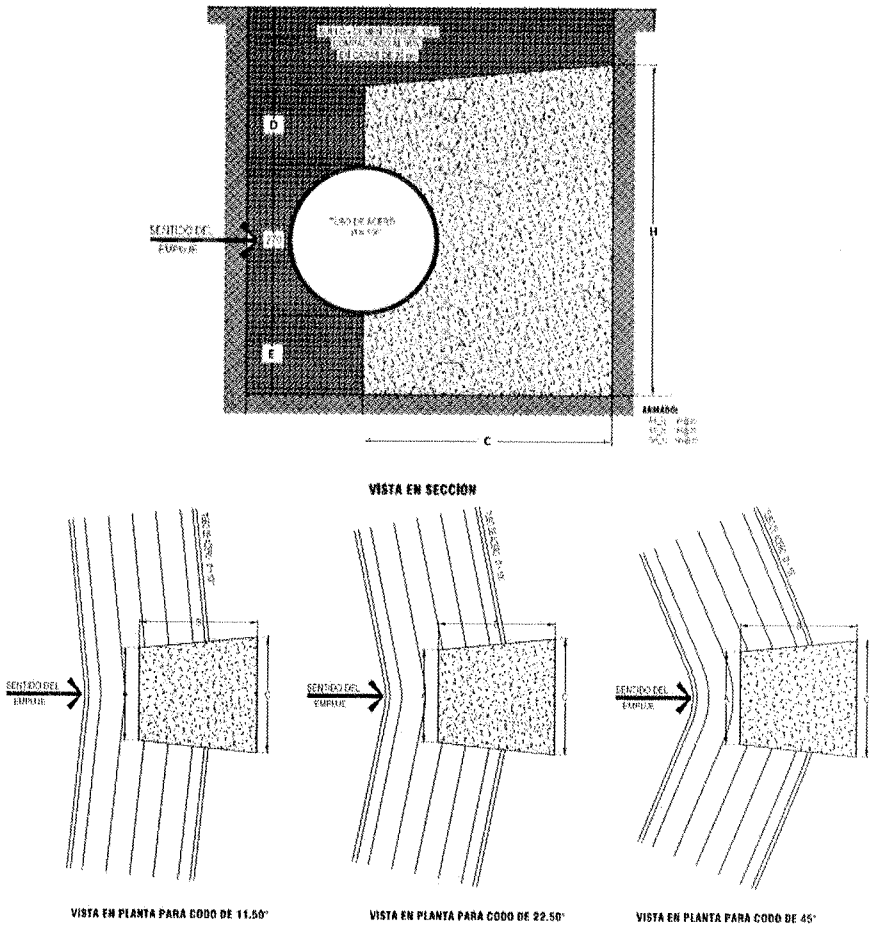


Figura 5.20. Detalle de los atraques horizontales.

Atraques para Deflexiones Verticales Positivas:

- Atraque Tipo +VA : con empujes entre 1 y 60 ton
- Atraque Tipo +VB : con empujes entre 61 y 140 ton
- Atraque Tipo +VC : con empujes entre 141 y 240 ton
- Atraque Tipo +VD : con empujes entre 241 y 380 ton

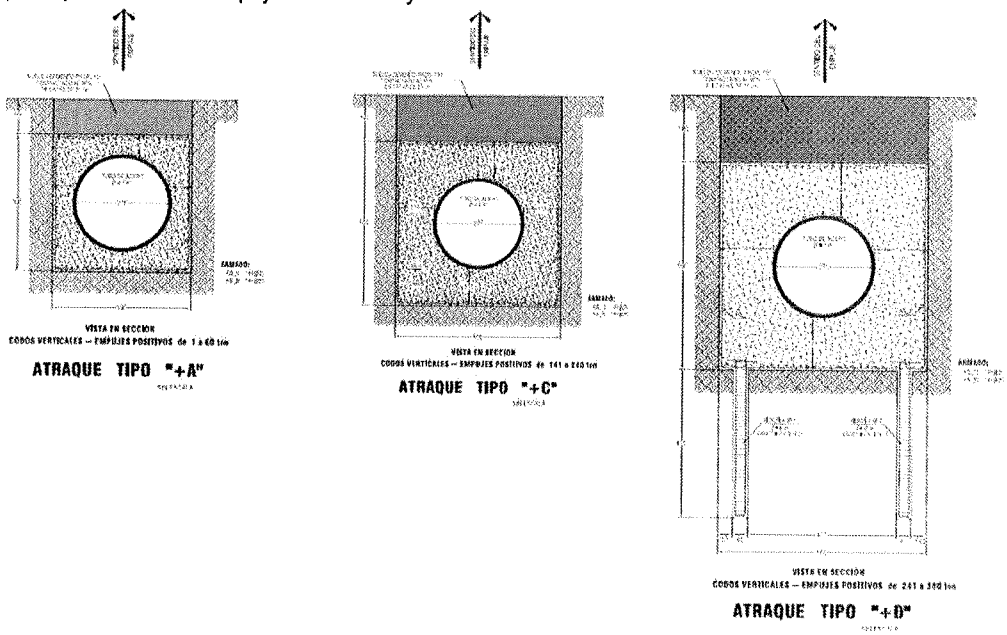


Figura 5.21 Detalle de algunos tipos de atraques para deflexiones verticales positivas.

Atraques para Deflexiones Verticales Negativas:

- Atraque Tipo -VA : con empujes entre 1 y 95 ton
- Atraque Tipo -VB : con empujes entre 96 y 150 ton
- Atraque Tipo -VC : con empujes entre 151 y 230 ton
- Atraque Tipo -VD : con empujes entre 231 y 300 ton
- Atraque Tipo -VE : con empujes entre 301 y 380 ton

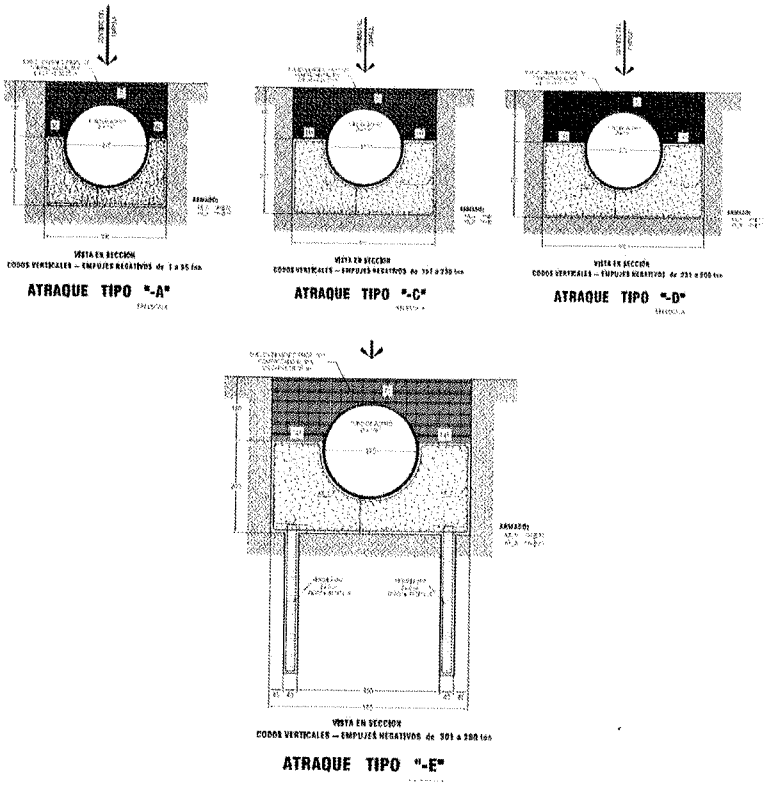


Figura 5.22 Detalle de algunos tipos de atraques para deflexiones verticales negativas.

5.2.11 Cruces de Carreteras

Un cruce se entiende, de manera general, como la solución técnica que permite la continuidad física y operativa de una línea de conducción cuando esta intercepta con infraestructuras existentes de alta relevancia, como carreteras, vialidades primarias o estructuras urbanas, garantizando en todo momento la seguridad estructural, la funcionalidad del sistema y la operación ininterrumpida de los elementos que se cruzan. En el trazo del Acueducto Chapala-Guadalajara se presentan cruces con vialidades y carreteras estatales y federales.

Una vez que se presentan estos cruces, resulta una tarea indispensable el diseñar el procedimiento constructivo más adecuado para librar el cruzamiento, así mismo, que obtener los permisos requeridos por la dependencia donde fuera necesario realizar siguientes proyectos. En este proyecto, se resuelven los cruces mediante cepa a cielo abierto o por hincado de la tubería. De esta forma, la generación de un cruce requiere la aplicación de criterios técnicos, normativos y operativos que aseguren su viabilidad desde las etapas de planeación, diseño, construcción y operación. Entre estos criterios se encuentran la selección adecuada del método constructivo, la definición del trazo y su alineamiento y la compatibilidad con el entorno físico y urbano. Estos criterios buscan minimizar afectaciones a la infraestructura existente, reducir riesgos durante la construcción y asegurar un desempeño confiable durante toda la vida útil del proyecto.

El diseño de un cruce involucra la evaluación de diversas variables técnicas fundamentales, entre las que destacan las condiciones topográficas y geométricas del sitio, las características geotécnicas del suelo, la profundidad y geometría de instalación, el tipo y magnitud de las cargas externas e internas, la selección del material y espesor de la tubería, y las condiciones de operación hidráulica. A estas variables se suman factores ambientales, como la posible presencia de agua freática y la agresividad del suelo, así como variables externas asociadas al tránsito vehicular, la sismicidad regional y la interacción con otras infraestructuras existentes.

La correcta integración y análisis de estas variables permite evaluar el comportamiento estructural de la tubería enterrada, considerando aspectos como deflexión, pandeo, esfuerzos combinados y durabilidad frente a fenómenos mecánicos, hidráulicos y ambientales. Este enfoque integral es indispensable para garantizar que el cruce mantenga condiciones adecuadas de seguridad, estabilidad y servicio a lo largo del periodo de diseño y vida útil del proyecto.

La importancia del diseño de cruces radica en que estos puntos representan zonas críticas dentro de los sistemas de conducción, donde una falla puede generar impactos técnicos, económicos, sociales y operativos significativos. Un cruce correctamente analizado y diseñado no solo asegura la continuidad del suministro de agua, sino que también protege infraestructuras estratégicas, reduce riesgos de fallas prematuras, optimiza costos de operación y mantenimiento, y contribuye a la confiabilidad global del sistema hidráulico.

En este contexto, el análisis del cruce se convierte en una herramienta clave para la toma de decisiones técnicas informadas, permitiendo seleccionar soluciones constructivas seguras, eficientes y sustentables, alineadas con los objetivos de largo plazo del proyecto de abastecimiento de agua y con las necesidades actuales y futuras de la población atendida.

Tabla 5.41 Cantidad de cruces que se presentan a lo largo del trazo del proyecto

	Impulsión	Gravedad
Carretera estatal	4	1
Carretera federal	1	0
FERROMEX	0	1
TOTAL	5	2
GRAN TOTAL	7	

Para el diseño del cruce, el procedimiento consideró:

- Localización del cruce e identificación de la infraestructura cercana
- Selección de la tubería
  - Análisis económico
  - Resistencia mecánica
  - Resistencia a la corrosión interna y externa
  - Facilidad de instalación
  - Vida útil
- Desarrollo del proyecto
  - Instalación de la tubería mediante hincado o excavación de cepa a cielo abierto
  - Cálculo de la cargas sobre la tubería enterrada
  - Acciones generadas por cargas externas muertas y vivas en la tubería
  - Determinación del espesor requerido de la tubería
  - Revisión por deflexión vertical
  - Análisis por pandeo de la tubería
  - Revisión de esfuerzos por sismos

A manera de ejemplificación, se presenta el cruce del Macrolibramiento de Guadalajara en la siguiente lámina.

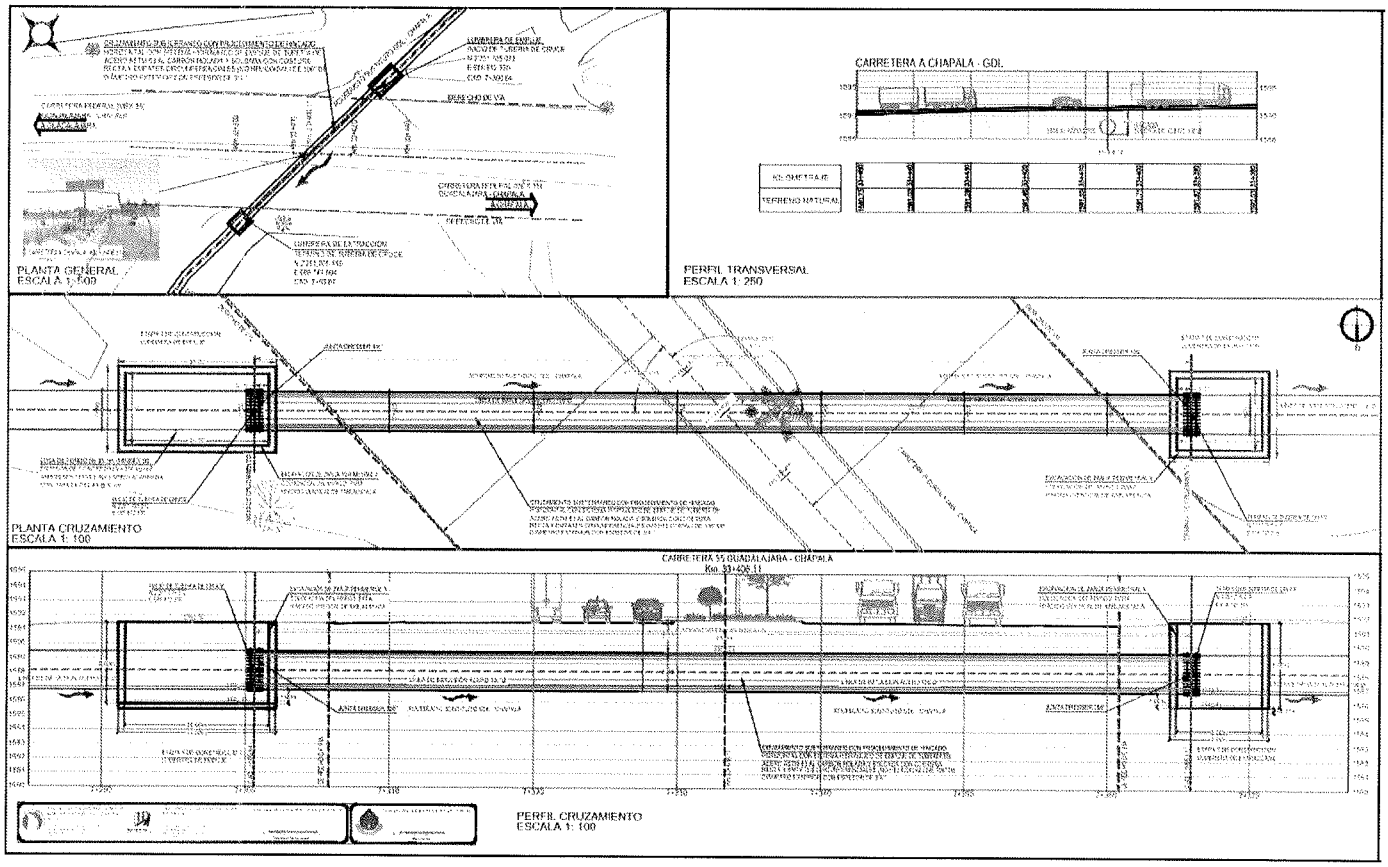


Lámina 5.5 Cruce hincado en la carretera Chapala-Guadalajara (cad. 7+330)

5.2.12 Cruces de Cauces Federales

En el trazo del Acueducto Chapala-Guadalajara con arroyos pluviales federales se tienen 25 cruces y 7 cruces con canales de riego federales a cargo de la Comisión Nacional del Agua. Con el objeto de obtener los permisos por esta dependencia fue necesario realizar los siguientes proyectos.

5.2.12.1 Estudio hidrológico de los arroyos pluviales

Este se realizó para varios periodos de retorno en concordancia con la siguiente normatividad.

Lineamientos para la elaboración de planos de zona federal

Manual de declaratoria, delimitación, demarcación y supresión

Instructivo de hidrología para determinar la avenida máxima ordinaria asociada a la delimitación de la zona federal

La cuenca de aportación pluvial se delimito en base a las cartas topográficas del INEGI, mediante modelos digitales de elevación a escala 1:10,000, el procesamiento de se realizó mediante QGIS, estos planos se generaron con curvas de nivel a cada 10m, donde se indicaron los escurrimientos y de donde se obtuvieron las características del cauce principal como longitud, desnivel y pendiente.

Para el cálculo de la pendiente se utilizó el método de Taylor – Schwarz, este método consiste en calcular la pendiente media del cauce tomando en consideración las variaciones de pendiente que se presenten a lo largo del cauce.

Para obtener el tiempo de concentración se utilizaron las siguientes formulas, se adoptó aquella que tuviera el mínimo tiempo de concentración, siempre y cuando esta fórmula tuviera validez para el tipo de cuenca por aplicar.

Fórmula de Kirpich.

Condicionantes de aplicación: Cuencas con área de 0.004 a 0.45km2, pendiente de 3% a 12%, y cuencas del tipo rural.

Fórmula de Rowe.

Condicionantes de aplicación: Cuencas con área de 0.25 a 25km2, pendiente de 0.2% a 5%, y cuencas del tipo montaña.

Fórmula de Resources Division FAO.

Condicionantes de aplicación: Cuencas con área de 50 a 200km2.

Fórmula BASSO.

Condicionantes de aplicación: Cuencas con área de 20 a 30km2, pendiente de 0.005 y cuencas del tipo rural y urbano

Fórmula California Culvert practice.

Condicionantes de aplicación: Cuencas con área de hasta 5km2, y cuencas del tipo montaña

Fórmula de Carter.

Condicionantes de aplicación: Cuencas con área de hasta 20.72km2, pendientes menores a 0.5% y cuencas del tipo urbanas.

Fórmula de Federal Aviation Administration.

Condicionantes de aplicación: Cuencas con área de hasta 25km2 y cuencas del tipo urbanas.

Para obtener el número del Coeficiente de Escurrimiento N, se utilizaron las cartas edafológicas escala 1:250 000 Serie III, edición 2024 y para Uso de Suelo. Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso de suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI.

Conjunto Nacional, edición 2017, se añadieron Zonas Urbanas adicionales con imágenes satelitales de 2025 obtenidas de Google Earth.

En las cartas edafológicas encontraremos los tipos de suelo con sus respectivas características físicas y químicas; con las que podremos establecer el grupo de suelo al que pertenecen. Los grupos de suelo se clasifican en A, B, C o D, siendo el grupo A los suelos con mayor permeabilidad y menor cantidad de arcilla, y el grupo D aquellos suelos de menor permeabilidad y con alto contenido de arcilla.

El proceso para la asignación del grupo de suelo es el siguiente:

1.- Dentro de la cuenca se delimitan los polígonos de cada tipo de suelo.

2.- Cada polígono puede presentar hasta 3 tipos de suelo, con lo cual podríamos decir que cada polígono podría tener hasta 3 grupos de suelo, siendo el grupo uno (G1) el suelo dominante, el grupo dos (G2) el suelo secundario, y el grupo 3 (G3) el suelo terciario. A su vez cada tipo de suelo es acompañado de una o dos unidades calificadoras, conocidos como calificador primario "CP" y calificador secundario "CS".

Dentro de la información incluida por polígono se encuentra la textura representativa de los suelos, la cual es necesaria para asignar un grupo de suelo. La textura presenta una clasificación de tres tipos gruesa (1), media (2), y fina (3) y para cada textura se establecen rangos de contenido de arcilla y arena.

Gruesa (1): Suelos arenosos con más de 70% de arena, con menor capacidad de retención de agua y nutrientes para las plantas.

Media (2): Comúnmente llamados francos, equilibrados en el contenido de arena, arcilla y limo.

Fina (3): Suelos arcillosos con más de 35% de arcilla, que tienen mal drenaje, escasa porosidad, son por lo general duros al secarse, se inundan fácilmente y son menos favorables al laboreo.

Por lo tanto, por polígono podemos tener:

Una textura

Hasta 3 tipos de suelo

Hasta 2 tipos de calificadores ligados a cada tipo de suelo

Conocido lo anterior, se ordenada la información de cada polígono dentro de la cuenca y se asigna el grupo de suelo correspondiente a cada tipo de suelo más su calificadora primaria y su textura.

3.- Para la asignación de tipo de suelo, se emplea una tabla denominada "Tabla de Decisión". El procedimiento para utilizar la tabla de decisión es el siguiente:

I.- Ubicas el tipo de suelo

II.- A continuación, identificas la unidad calificadora primaria que acompaña al tipo de suelo anteriormente localizado.

III.- Por último, asignas el grupo de suelo con base a la textura de suelo correspondiente al tipo de suelo y se respectiva unidad calificadora.

Una vez que se cuenta con la cuenca delimitada, es necesario localizar las estaciones climatológicas que se consideran tendrán influencia sobre el comportamiento hidrológico de la cuenca, las estaciones se localizan empleando la aplicación de Google Earth de la Comisión Nacional del Agua "Red de Estaciones Climatológicas", las primeras estaciones seleccionadas serán todas aquellas que se localicen dentro de la cuenca y más próximas al parteaguas de esta.

Sin embargo, no todas las estaciones climatológicas son de utilidad, debido a que es necesario que cuenten con cantidad y calidad en la información registrada; según lo establece la Normativa de la Comisión Nacional del Agua para que una estación sea seleccionable deberá contar cuando menos con 20 años de información pluviométrica.

El método de los polígonos de Thiessen se utiliza cuando es necesario determinar la influencia de las estaciones climatológicas sobre las diferentes cuencas, la cual varía según su cercanía a la cuenca y su geometría, en comparación con otras estaciones climatológicas.

El método se aplica cuando se sabe que las medidas de precipitación de los diferentes pluviómetros sufren variaciones. El procedimiento de cálculo es el siguiente:

1.- Se unen los pluviómetros adyacentes con líneas rectas (las figuras formadas por las líneas formaran triángulos).

2.- Se trazan mediatrices a las líneas que unen los pluviómetros. (Las mediatrices del se encontrarán en un punto dentro triangulo).

3.- Se prolongan las mediatrices hasta los límites de las cuencas.

4.- Se calculan las áreas formadas dentro de las cuencas formadas por las mediatrices para cada pluviómetro.

Prueba de datos dudosos.

El método del *Water Resources Council* recomienda la realización de ajustes de datos dudosos. Los datos dudosos (*Outliers*) son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para la información, especialmente en muestras pequeñas.

El método de datos dudosos detecta los valores que se consideran están fuera del rango de los registros históricos como de sus estadísticos. Para el análisis de datos dudosos se realizaron las siguientes consideraciones:

1.- Cuando el análisis arroje un dato dudoso alto o bajo en un año completo en sus registros, se revisa y contrasta este comportamiento con el de las estaciones vecinas.

2.- Cuando el análisis arroje un dato dudoso bajo del tipo "0" en un año completo, debemos de tener en cuenta que, es muy común que cuando no se cuenta con un dato, este sea considerado como "cero" en vez de "nulo" en las bases de datos de las estaciones. Debido a lo anterior cuando en las estaciones vecinas no se refleje un comportamiento similar a la estación de estudio, se descarta todo el año, ya que esto implica que el registro de todo el año es cero y existe una alta incertidumbre de cuando verdaderamente es cero y cuando no.

3.- Cuando se tienen años con registros incompletos, generalmente resultan datos dudosos bajos. Es necesario tener en cuenta si los datos faltantes se presentan en los meses de temporal de lluvia o en el del temporal de estiaje.

Cuando el dato dudoso bajo resulte en un año que tiene datos incompletos en el temporal de lluvias se deberá esperar a realizar el relleno de datos faltantes para revisar el comportamiento del dato posterior al relleno.

Cuando el dato dudoso bajo resulte en un año que tiene datos incompletos en el temporal de estiaje, se deberá revisar el comportamiento de las estaciones vecinas para validar que realmente sucedió este fenómeno.

4.- Cuando en un año con datos incompletos resulte alto, de igual manera se revisará su comportamiento en comparación con las estaciones vecinas.

En resumen, los datos dudosos que resulten serán descartados o validados mediante el contraste con las estaciones vecinas y con la información de ciclones históricos del Servicio Meteorológico Nacional.

Cada que un dato dudoso sea validado o descartado, se elimina del registro para evaluar nuevamente la base de datos, el procedimiento termina cuando ya no haya datos dudosos, es importante aclarar que los datos que hayan sido validados se deben mantener para las pruebas de homogeneidad e independencia, aquellos que sean eliminados, serán rellenados según el resultado de las pruebas de homogeneidad e independencia.

Homogeneidad e Independencia.

Lo siguiente es determinar el número de datos o bloque histórico al que se le realizaran las pruebas de Independencia y Homogeneidad, considerando que existe la posibilidad de tener datos faltantes. Para la selección del bloque histórico se siguen las siguientes consideraciones, recordando que el dato requerido es el máximo anual:

Si el año tiene registros incompletos, pero sí se tiene información del periodo de lluvias y ciclones, se usa el máximo de ese año.

Si el año tiene registros incompletos, y la información faltante corresponde al periodo de lluvias y ciclones, el máximo de ese año no se toma en cuenta.

Cuando en la serie de datos existen huecos, se selecciona el bloque más largo de años consecutivos sin huecos, siempre y cuando dentro de este bloque se localice el valor máximo de todos los años.

En algunos casos se pueden 'saltar' huecos, siempre y cuando:
- Después del hueco exista un bloque de datos suficientemente largo, por uno o dos años, no se aplica.

- El hueco no sea mayor a tres años seguidos.

Una vez que se define el bloque que se va a analizar, se pueden aplicar las pruebas de independencia y homogeneidad.

Prueba de Independencia.

Para poder realizar el análisis de frecuencias se requiere que la muestra x de la serie de datos esté compuesta por variables aleatorias, es decir, los elementos de la muestra deben ser independientes entre sí. Para probarlo se aplica la prueba de independencia de Anderson.

El propósito de aplicar la prueba de independencia es determinar que se está trabajando con series temporales independientes entre eventos, es decir, que lo ocurrido en un año no está en función de lo acontecido anteriormente.

Prueba de Homogeneidad.

La homogeneidad estadística indica la estacionalidad de la serie, es decir, que los estadísticos son constantes a lo largo de toda la muestra, de tal forma que se puede garantizar que son representativos respecto a la población, en otras palabras, que no hay tendencia de cambio en su comportamiento.

Las características estadísticas de las series hidrológicas, como la media, la desviación estándar y los coeficientes de correlación serial, se afectan cuando la serie presenta tendencia en la media o varianza, o cuando ocurren saltos negativos o positivos; tales anomalías son producidas por la pérdida de la homogeneidad o la inconsistencia.

La falta de homogeneidad es en general producida por actividades humanas, tales como la deforestación, apertura de nuevas áreas de cultivo, rectificación de cauces, construcción de embalses y reforestación.

Las pruebas estadísticas que miden la homogeneidad de una serie de datos parten de una hipótesis nula y usan una regla para aceptarla o rechazarla. (Fuente: Escalante y Reyes, 2002)

Las pruebas desarrolladas en el presente estudio son las contenidas en el programa AFA del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y son las siguientes:

Prueba estadística de Helmert

Prueba estadística T de Student

Prueba estadística de Cramer

La serie de datos se considerará homogénea, cuando en la mayoría de las pruebas se confirme la homogeneidad (ninguna prueba es superior a otra).

En el caso de que resulte que una serie de datos no es homogénea, significa que los registros presentan un cambio en su comportamiento, en otras palabras, la serie ya no se comporta como un solo conjunto de datos, sino como si fueran dos grupos distintos. Para identificar si el cambio en el comportamiento de los datos es creciente o decreciente se emplearán las pruebas de Spearman, Man-Kendall y Buishand, esta última además nos permite determinar el punto de quiebre en la serie de registros.

De acuerdo al resultado obtenido (creciente o decreciente), se procede de la siguiente manera:

- Si el resultado muestra un cambio creciente significativo, se puede seguir usando la información de la estación, pero considerando el período de retorno (Tr) inmediato siguiente.

- Si el resultado muestra un cambio creciente insignificante, se utiliza el Tr de diseño, ya que probablemente el cambio se deba a que la serie tiene un ciclo incompleto.

- Si el resultado indica un cambio decreciente, ya sea significativo o insignificante, se emplea el Tr de diseño, con lo cual estaríamos del lado de la seguridad

Deducción de datos faltantes.

Para completar datos faltantes de las estaciones climatológicas es necesario utilizar una técnica geoestadística. Para este caso se propuso el Método de interpolación del cuadrado a la distancia inversa (IDW2).

La técnica pertenece a la familia de métodos de distancia pesada. La influencia de la lluvia en una estación para el cálculo de esta en cualquier otro punto es inversamente proporcional a la distancia entre los dos puntos. El método da mayor peso a la estación más cercana y se reduce conforme la distancia es mayor. Para la deducción de datos faltantes se considerará un máximo de 5 estaciones, las cuales deberán localizarse dentro de un radio no mayor a 25km.

Funciones de distribución de Probabilidad.

La estimación de una lluvia a futuro está ligada a una probabilidad de ocurrencia; es por eso que se llevan a cabo mediciones periódicas de los procesos hidrológicos tales como la precipitación. Así con base en el registro histórico de las precipitaciones es posible estimar la magnitud de una lluvia de acuerdo a un tiempo determinado, estos registros presentan variaciones en el espacio y en el tiempo, cuyo comportamiento es en parte predecible y en parte aleatorio.

Una vez que se ha determinado la homogeneidad e independencia de los datos de la muestra, y que se ha realizado la deducción de datos faltantes, es necesario ajustar los datos a una función de distribución de probabilidad.

Una función de distribución de probabilidad representa la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria en un rango predefinido. Su importancia radica en que es posible la estimación, ya sea como interpolación o extrapolación, de los valores de dicha variable cuando se conoce la probabilidad asociada de ocurrencia o viceversa. Su aplicación en el análisis de registros hidrológicos facilita la reducción de una gran cantidad de datos a una sola función y a sus parámetros asociados, los cuales se derivan de las características estadísticas de la muestra.

Para realizar el ajuste o análisis de frecuencias se empleó el software denominado Análisis de Frecuencia (AFA), desarrollado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Dentro de este software se cuenta con 11 Funciones de Distribución de Probabilidad (FDP) que son las siguientes:

1.- Distribución Normal

2.- Distribución Lognormal de 2 Parámetros

3.- Distribución Lognormal de 3 Parámetros

4.- Distribución Exponencial de 1 Parámetro

5.- Distribución Exponencial de 2 Parámetros o doble exponencial

6.- Distribución Gamma de 2 Parámetros

7.- Distribución Gamma de 3 Parámetros

8.- Distribución Log Pearson Tipo III

9.- Distribución General de Valores Extremos (DGVE)

10.- Distribución Gumbel

11.- Distribución Gumbel Doble

Estimación de Parámetros.

El ajuste consiste básicamente en la estimación de los parámetros de la función de distribución de probabilidad correspondiente. Para la estimación de los parámetros de una función de distribución existen varios métodos, el AFA utiliza los siguientes 3 métodos:

*Método de momentos.

*Método de máxima verosimilitud.

*Método de error cuadrático mínimo.

Es importante señalar que la obtención de los parámetros se realiza mediante los métodos de momentos y de máxima verosimilitud, excepto para la función de distribución de probabilidad (FDP), Gumbel Doble, en la cual se utiliza el método del error cuadrático mínimo cuya ecuación resultante se resuelve mediante el algoritmo de Rosenbrock

Selección de la función de distribución de probabilidad.

El AFA calcula el Error Estándar de Ajuste (EEA) para evaluar la bondad del ajuste de cada una de las funciones de distribución de probabilidad a la serie de datos analizada.

La selección de una de las funciones de distribución se basa en el criterio del mejor ajuste, es decir, se elige aquella que representa los datos de la muestra con mayor precisión reduciendo por consiguiente los errores en las estimaciones.

Se valida como la mejor función la que resulte con un valor menor en el error estándar de ajuste.

Factor de corrección por intervalo fijo de observación.

Cuando se realizan lecturas de precipitación en un único y fijo intervalo de observación, para cualquier duración comprendida entre una hora y 24 horas, es necesario hacer una corrección a dichos valores a través de un factor de corrección por intervalo fijo de observación, dicho factor representa un incremento del 13 por ciento de los valores tomados en campo (World Meteorological Organization, 1973).

Este tipo de corrección se aplica a los registros de lluvia de las estaciones climatológicas debido a que los datos recabados se toman por lo general a las 8:00 horas de la mañana del día siguiente. Con tal corrección (multiplicar por 1.13) la lluvia representativa se convierte en la lluvia máxima de 24 horas de determinado periodo de retorno (Weiss y Wilson, 1958).

Curvas de intensidad – duración – periodo de retorno (I-D-Tr).

Después de determinar las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes periodos de retorno, se procede a la obtención de las curvas intensidad – duración – periodo de retorno.

Para la obtención de las intensidades de lluvia se utilizará la información pluviométrica disponible en nuestro país para una precipitación de 24 horas, aplicando el método de Chen modificado por Campos Aranda para el caso de México.

En la fórmula de Chen se toman en cuenta un cociente de lluvia-duración R, uno de lluvia-frecuencia F, el periodo de retorno y la duración de la tormenta.

El cociente R es la relación es la relación entre una lluvia de una hora y una de 24 horas ambas para un periodo de retorno de 2 años. En general los registros de lluvia de cortas duraciones (por ejemplo, de una hora) son bastante escasos. Sin embargo, los registros de lluvias máximas diarias tienen gran densidad y longitudes de registro aceptables, por lo cual la lluvia de una hora de duración podrá ser evaluada con relación al cociente a la de 24 horas con igual periodo de retorno.

El criterio más completo para la determinación de una hora y periodo de retorno 2 años, es el propuesto por el U.S. Weather Bureau y ampliado por B.M. Reich. El criterio se tiene en la siguiente figura tomada del libro de Procesos del ciclo Hidrológico D.F. Campos Aranda.

Con el valor de lluvia máxima diaria media anual ubicado en el eje "x", se proyecta una línea hasta la curva determinada para el número medio anual de días con tormenta, en el punto donde la línea proyectada intercepta con la curva se proyecta una nueva línea hasta el eje "y" para obtener el valor de la lluvia en una hora periodo de retorno 2 años. El valor de R es el cociente del valor de lluvia en una hora entre el valor de lluvia en 24 horas para un periodo de retorno de 2 años.

Se calculó el valor de R para todas las estaciones climatológicas identificadas en el proyecto del acueducto, se presentan solo las que tienen influencia en la cuenca del cruce.

Para determinar el valor de R de una cuenca en particular se utilizó el nivel de influencia de cada una de las estaciones en la cuenca de acuerdo a los polígonos de Thiessen obteniendo así una R pondera para la cuenca. Finalmente se obtuvieron las intensidades utilizando la fórmula de Chen aplicada para los diferentes periodos de retorno requeridos.

Factor de reducción por Área (FRA).

Las lluvias obtenidas a través de las curvas I-D-Tr son puntuales y por ello deben ser ajustadas, es decir reducidas, para adecuarlas al tamaño de cuenca en la cual se utilizará la tormenta de diseño, ya que todos los aguaceros son menos intensos entre más área abarcan. El factor de reducción por área (FRA) que se ha utilizado en México con resultados que se consideran aceptables está definido por la siguiente expresión:

$$FRA = 1.0 - 0.3549 * D^{-0.42723} * (1.0 - e^{-0.005794*A})$$

En el cual, D es la duración de la precipitación en horas y A es el área de cuenca en Km2.

Para el cálculo de los gastos de diseño se emplearon 3 métodos hidrológicos los cuales se mencionan a continuación.

Método del hidrograma unitario triangular.

El método del hidrograma unitario Triangular es uno de los métodos hidrológicos de más amplio rango de aplicabilidad ya que se puede utilizar en cuencas de hasta 2590 km2. El U.S. Soil Conservation Service (SCS) dependiente del U.S. Department of Agriculture, planteó en el año de 1957 la posibilidad de representar el hidrograma de respuesta de una cuenca por medio de una figura geométrica simple, el triángulo.

Método de I. Pai – Wu.

Se basa en el modelo lineal propuesto por Nash, que considera el símil de una cuenca con un sistema "n" vasos lineales igualas, del mismo coeficiente o constante de almacenaje K, colocados en serie.

Conocido el Qp, tp y n, es posible obtener la forma del hidrograma por la expresión:

$$Q = Q_p \left(\frac{T}{Tp}\right)^{n-1} \left[e^{-(n-1)}\right]^{\left(\frac{T}{Tp}-1\right)}$$

Donde Q es el gasto, en m3/s, para un tiempo T (horas), a partir del inicio del hidrograma.

Método del hidrograma sintético Donald M. Gray.

La técnica del Hidrograma Unitario Sintético propuesta por F.F. Snyder, consiste en resumen en la estimación de los parámetros del hidrograma unitario por medio de una serie de ecuaciones o fórmulas, las cuales fueron deducidas en base al análisis de un gran número de hidrogramas reales.

En base a la curva Tiempo-Area de la cuenca y considerando una velocidad uniforme de precipitación en exceso, el área A que contribuye al gasto en la salida, es proporcional a alguna función del tiempo de recorrido o duración de tormenta.

Partiendo de la ecuación:

El método desarrollado por Donald m. Gray tiene como límite superior de aplicación a un tamaño de cuencas de 243 km2.

Gastos de diseño.

Calculados los gastos de diseño asociados a los diferentes periodos de retorno a través de las diferentes metodologías (I-PAI-WU, D.M. Gray y H.U. Triangular), se procede a realizar la evaluación de los resultados para la selección del gasto de diseño.

El procedimiento establece que inicialmente se adopta el caudal más desfavorable (el de mayor magnitud), dado que este ofrece un mayor grado de seguridad en el diseño hidráulico. Sin embargo, este resultado debe revisarse comparándolo con los otros dos métodos. Posteriormente, es necesario contrastar dicho valor con los resultados obtenidos de los otros dos métodos, a fin de evaluar la coherencia entre ellos. En caso de que el valor más alto presente una discrepancia significativa respecto a los demás, se selecciona el segundo caudal más desfavorable (el inmediatamente inferior), de esta manera, se asegura que el caudal de diseño sea confiable, brinde un aceptable factor de seguridad y evite el sobredimensionamiento de las obras hidráulicas que se proyecten con estos valores.

5.2.12.2.- Análisis hidráulicos de los arroyos y canales de Riego

El análisis hidráulico de los arroyos se realizó para un periodo de periodo de retorno de 500 años con el objeto de obtener la velocidad y el tirante de agua en la sección de cruce del arroyo o canal con el acueducto y con ello obtener la socavación del fondo del cauce.

Para el caso de los canales de riego se calculó en todo el tramo de estudio considerando unos centímetros antes de que el canal desbordara, bajo este esquema se obtuvo el gasto que puede conducir este canal de Riego, los cuales además de conducir agua para regar terrenos de cultivo, también reciben agua pluvial dado que los terrenos colindantes a estos canales aportan agua pluvial a estos canales, inclusive existen canales de riego que reciben agua pluvial de drenes parcelarios.

Para realizar estos cálculos hidráulicos se utilizó el software HEC-RAS, el cual es un programa computacional desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del ejército de Estados Unidos, especializado en la simulación hidráulica de flujos uniformes unidimensionales, flujos variados unidimensionales y bidimensionales, modelación de manchas de inundación, al igual que transporte de sedimentos y monitoreo de calidad de agua.

Para hacer el análisis hidráulico se utilizó la información del levantamiento topográfico realizado, el cual consiste en un archivo tipo DWG que contiene curvas de nivel a cada 0.20 metros del cual se generó la geometría de las secciones que fueron introducidas al software para el cálculo.

Para calcular el coeficiente de rugosidad de Manning se utilizó el método de Cowan. Esta metodología se basa en dar una puntación con base a la descripción de cada variable, y aplicar la siguiente ecuación.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5$$

Donde:

n = coeficiente de rugosidad (Manning)

n0 = Características del canal

n1 = Grado de irregularidad

n2 = Variaciones de la sección transversal (forma y tamaño)

n3 = Obstrucciones al área hidráulico

n4 = Cantidad y tipo de vegetación

m5 = Grado de sinuosidad

5.2.12.3.- Delimitación de zona federal de los arroyos federales y delimitación de zona de protección de los canales de riego.

De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales, artículo 3, sección XLVII: "Las fajas de diez metros de anchura contiguas al cauce de las corrientes o al vaso de los depósitos de propiedad nacional, medidas horizontalmente a partir del nivel de aguas máximas ordinarias. La amplitud de la ribera o zona federal será de cinco metros en los cauces con una anchura no mayor de cinco metros. El nivel de aguas máximas ordinarias se calculará a partir de la creciente máxima ordinaria que será determinada por "la Comisión" o por el Organismo de Cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias, de acuerdo con lo dispuesto en los reglamentos de esta Ley. En los ríos, estas fajas se delimitarán a partir de cien metros río arriba, contados desde la desembocadura de éstos en el mar. En los cauces con anchura no mayor de cinco metros, el nivel de aguas máximas ordinarias se calculará a partir de la media de los gastos máximos anuales producidos durante diez años consecutivos. Estas fajas se delimitarán en los ríos a partir de cien metros río arriba, contados desde la desembocadura de éstos en el mar. En los orígenes de cualquier corriente, se considera como cauce propiamente definido, el escurrimiento que se concentre hacia una depresión topográfica y forme una cárcava o canal, como resultado de la acción del agua fluyendo sobre el terreno. La magnitud de la cárcava o cauce incipiente deberá ser de cuando menos de 2.0 metros de ancho por 0.75 metros de profundidad."

Adicionalmente al análisis hidráulico de 500 años, calculado para la socavación se realizó el cálculo para un periodo de retorno de 5 años, con el objeto de calcular el ancho del espejo del agua para la delimitación de zona federal, una vez plasmado en planta la zona federal se realizaron cuadros de construcción de la margen izquierda y de la margen derecha de cada uno de los cauces, los tirantes de agua se plasmaron en secciones topográficas cada 20m y puntos de inflexión de los cauces, asi como en un perfil en donde se indica el nivel del agua, el fondo del cauce y la margen izquierda y derecha del propio cauce.

Una vez realizado estos planos se ingresaron a la Comisión Nacional del Agua para que esta dependencia validara y firmara los planos de las zonas federales de los arroyos y de la zona de protección de los canales de riego.

5.2.12.4 .- Cálculo de la profundidad de socavación

Con el objeto de conocer la profundidad de socavación de los arroyos y canales de riego se realizó el análisis hidráulico para un periodo de retorno de 500 años, además se realizó una revisión para alguna condición más desfavorable en socavación, las cuales consistieron en verificar si para otros niveles del agua en los arroyos o canales existía una velocidad pudiera ocasionar una mayor socavación a la de 500 años, sobre todo esta condición se presentó cuando los arroyos desbordaban y el área hidráulica aumentaba y la velocidad disminuía, para el caso de los canales de riego se consideró unos centímetros antes de que desbordara el canal en todo el tramo de topografía levantado y que tenía influencia sobre la estructura de cruce.

Para el cálculo de socavación se consideró la estratigrafía del suelo en el sondeo más cercano al sitio de cruce, considerando para ello el peso específico y el diámetro medio de las partículas para cada una de las capas de suelo existente en la zona del cruce del acueducto con estos cuerpos de agua.

Para su cálculo se utilizó el método de Lischtvan - Lebediev, el cual está basado en determinar la condición de equilibrio entre la velocidad media de la corriente y la velocidad media del flujo que se requiere para erosionar un material de diámetro y densidad conocidos. Se aplica tanto si la distribución del material del subsuelo es homogénea, como si es heterogénea, es decir formando estratos de distintos materiales.

La condición de equilibrio está dada por:

$$U_e = U_r$$

Donde:

Ue = Velocidad media que debe tener la corriente para erosionar al material del fondo (inicio del arrastre), en m/s.

Ur = Velocidad media real de la corriente, en m/s.

Para poder aplicar el método se requieren los datos siguientes, que son relativamente fáciles de obtener:

El gasto máximo de diseño, Qd. Elevación del agua en el río (en la sección en estudio) para el gasto anterior. La sección trasversal de la sección en estudio obtenida durante el estiaje anterior. Si el suelo es granular, se necesita la granulometría del material del fondo, de donde se calcula el diámetro medio, Dm. Si el suelo es cohesivo, se deberá obtener el peso volumétrico γs de la muestra seca.

Cálculo de Ur La hipótesis fundamental consiste en suponer que el gasto unitario que pasa por cualquier franja de la sección permanece constante mientras dura el proceso en erosión.

Se obtiene así que para cualquier profundidad que se haya alcanzado, Ur.

$$U_r = \frac{\propto d_o^{5/3}}{d_s}$$

Donde:

Do = Profundidad inicial que existe en una determinada vertical de la sección entre el nivel del agua al pasar la avenida y el nivel del fondo obtenido durante el estiaje, en m.

ds = Profundidad después de producirse la socavación del fondo. Se mide desde el nivel del agua al pasar la avenida hasta el nivel del fono erosionado, en m.

α = Coeficiente que se deduce a partir de los datos, mediante la expresión

$$\alpha = \frac{Q_d}{d_m^{5/3} B_e \mu}$$

Be = Ancho efectivo en la sección, descontados todos los obstáculos, en m para encontrar Be, se traza una línea perpendicular a las líneas de corriente. Sobre esa línea se proyectan todos los obstáculos y Be es la suma de todos los espacios libres. Así se toma en cuenta además al esviajamiento de la corriente.

Dm = Tirante medio de la sección; el cual se obtiene dividiendo el área hidráulica entre el ancho efectivo, en m.

μ = Coeficiente que toma en cuenta el efecto de contracción producido por las pilas en el caso de existir un puente.

Tabla 5.42 Coeficientes de Contracción

Coeficiente de Contracción													
Velocidad	Longitud libre entre pilas (claro) en m												
(m/s)	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
< 1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.0	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2.0	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3.0	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
>4.0	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

Cálculo de Ue.

La velocidad mínima necesaria para arrastrar los materiales depende de la naturaleza de los mismos.

Para suelos no cohesivos:

$$U_e = 0.68\, D_m^{0.28}\, \beta d_s^x$$

Para suelos cohesivos:

$$U_e = 0.60 \gamma_s^{1.18} \beta d_s^x$$

Donde:

β = Coeficiente que toma en cuenta el periodo de retorno con que se presenta el gasto de diseño.

Tabla 5.43 Coeficientes Beta

CALCULO DE BETA (β)	
Periodo de retorno	Coeficiente Beta
1	0.77
2	0.82
5	0.86
10	0.90
20	0.94
50	0.97
100	1.00
500	1.05
1000	1.07

X = Exponente variable que tiene diferente valor en cada una de las fórmulas. En la fórmula para suelos no cohesivos, su valor depende de Dm en mm, y para suelos cohesivos depende del peso volumétrico, γs, en ton/m3. Dados a continuación:

Tabla 5.44 Factor X para suelos cohesivos

Tabla del factor X para Suelos Cohesivos							
γs	X	γs	X	γs	X	γs	X
ton/m3		ton/m3		ton/m3		ton/m3	
0.80	0.52	0.98	0.45	1.24	0.38	1.64	0.31
0.83	0.51	1.00	0.44	1.28	0.37	1.71	0.30
0.86	0.50	1.04	0.43	1.34	0.36	1.80	0.29
0.88	0.49	1.08	0.42	1.40	0.35	1.89	0.28
0.90	0.48	1.12	0.41	1.46	0.34	2.00	0.27
0.93	0.47	1.16	0.40	1.52	0.33		
0.96	0.46	1.20	0.39	1.58	0.32		

Tabla 5.45 Factor X para suelos no cohesivos

Tabla del factor X para Suelos No Cohesivos							
Dm	X	Dm	X	Dm	X	Dm	X
mm		mm		mm		mm	
0.05	0.43	6.0	0.36	60	0.29	450	0.22
0.15	0.42	8.0	0.35	90	0.28	570	0.21
0.5	0.41	10.0	0.34	140	0.27	750	0.20
1.0	0.40	15.0	0.33	190	0.26	1000	0.19
1.5	0.39	20.0	0.32	250	0.25		
2.5	0.38	25.0	0.31	310	0.24		
4.0	0.37	40.0	0.30	370	0.23		

Cálculo de la socavación, ds, para suelos homogéneos. Conocido el tipo de suelo que existe en el sitio y suponiendo que la rugosidad es constante toda la sección, la profundidad hasta la que llegará la socavación se obtiene al igualar los valores de Ue y Ur

Para suelos granulares:

$$d_s = \left(\frac{\alpha d_0^{5/3}}{0.60 D_m^{0.28} \beta} \right) \frac{1}{(1+x)}$$

Para suelos cohesivos:

$$d_s = \left(\frac{\alpha d_0^{5/3}}{0.60 \gamma_s^{1.18} \beta} \right) \frac{1}{(1+x)}$$

Cálculo de la socavación, ds, para suelos heterogéneos. Cuando la distribución de los materiales en el subsuelo es heterogénea, es posible encontrar la profundidad de la erosión en cada vertical.

Si se cuenta con la distribución estratigráfica de los materiales bajo una vertical, se escoge el manto superior y, de acuerdo con la naturaleza del material, se aplica una de las dos fórmulas del inciso 1. Si la profundidad ds obtenida, queda abajo del límite inferior del manto, se escoge el segundo estrato y se repite el tanteo anterior con la fórmula correspondiente al tipo del suelo de ese segundo estrato. En el primer tanteo en que la profundidad ds calculada esté dentro del estrato en estudio, se habrá obtenido la ds buscada.

Si el valor de Ds es menor al límite superior, el estrato no sufre socavación.

Si el valor de Ds es mayor al límite superior y menor al límite inferior, el estrato sufre socavación, a tanta profundidad como marque el valor arrojado por el mismo Ds del estrato.

Si el valor de Ds es mayor tanto al límite superior, como al límite inferior, el estrato completo sufre socavación y por tanto se procede a hacer el análisis para el siguiente estrato.

Al tener los valores de socavación para cada punto de la sección se grafican los puntos obteniendo como resultado la sección del terreno socavado:

5.12.2.5.- Proyecto de estructura de cruce

Una vez obtenida la socavación se procedió a dejar un colchón por abajo de esta socavación (aproximadamente 40cm), en esta zona se encofro la tubería de acero en concreto, posteriormente se pusieron un codo para volver a subir al nivel normal del acueducto, en estos codos se calculó un atraque de concreto para proteger a la tubería del empuje hidrodinámico del agua por el cambio de dirección de la tubería, después de este atraque se colocaron las válvulas de desfogue en caso de haberse requerido este tipo de válvulas en esa zona.

Se realizaron 32 planos de estas estructuras de cruces en donde se indican las dimensiones de los atraques, ubicación de codos y ubicación de válvulas de desfogue, así como la socavación de proyecto que habrá en cada uno de los cruces. Adicional a estos planos se realizaron 32 planos del cálculo de la socavación en estos cruces.

Además, se dejaron 32 archivos digitales para integrar los permisos de obra del cruce del Acueducto Chapala-Guadalajara con estos cauces y canales federales, lo anterior en apego a los lineamientos de la Ley de Aguas Nacionales y de su Reglamento vigente a la fecha de elaboración del presente estudio.

5.2.13 Protección catódica

El objetivo de la protección catódica es suministrar la corriente adecuada a la estructura a proteger para que alcance un nivel adecuado de polarización catódica. El sistema de protección catódica consistirá en 4 camas de pozo profundo de 12 ánodos cada una. Se deberá suministrar cuatro rectificadores Marca "*Universal Rectifiers*", Modelo ASAI-100-100-HCIR.

La supervisión y/o instalación se realizará con personal con certificación NACE/AMPP CP-2 *Cathodic Protection Technician*, garantizando así la correcta ejecución del proyecto.

Los postes deberán colocarse en sitios donde no se ponga en riesgo su integridad, los cruces de alta tensión y los cruces con gasoductos se deberá mantener su instalación al sitio más aproximado al cruce y los postes de kilometraje podrán sufrir modificaciones en su odómetro de instalación bajo la premisa de que no sufran daños por construcciones futuras.

Se deberá colocar un par bridado superficial, para la instalación de las juntas de aislamiento en los siguientes puntos:

Km 0+000, antes de la interfase ducto-electrolito, después de todas las interconexiones de los bombeos, el diámetro considerado deberá ser 106" o del diámetro que marque la ingeniería del ducto.

Km 8+780, antes de la llegada al tanque de oscilación, el diámetro considerado deberá ser 106".

Km 25+880, antes de la llegada al tanque de cambio de régimen, el diámetro considerado deberá ser 106".

Km 26+940, después de la salida del tanque de cambio de régimen, el diámetro considerado deberá ser 106".

Km 42+315, antes de la llegada al tanque de entrega, el diámetro considerado deberá ser 106.

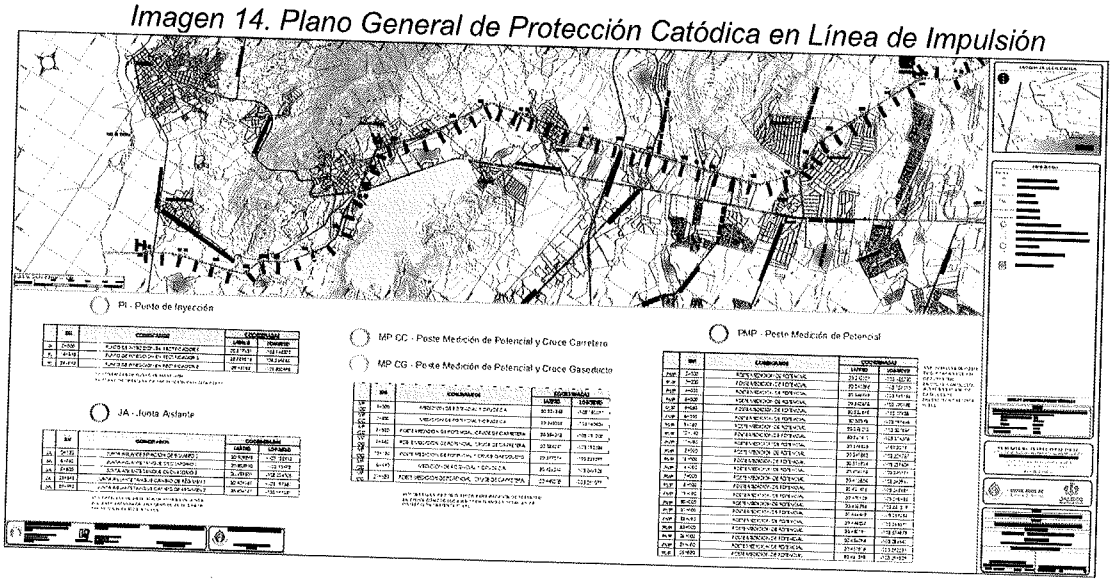
Se seleccionó el aislamiento en bridas para seccionar eléctricamente el ducto enterrado de las instalaciones superficiales, por su bajo costo de instalación y mantenimiento, tiempos de entregar reducidos.

Mantener un control de calidad del recubrimiento exterior e interior durante la etapa constructiva del Acueducto, aplicar recubrimiento en las uniones soldadas, realiza las pruebas con equipo Holiday detector en la totalidad de la línea antes del tapado y reparar las fallas de recubrimiento encontradas.

Si el acueducto atraviesa la pared de una fosa de válvulas o tanque, puede producirse contacto metálico entre la tubería y el refuerzo de acero del hormigón, lo que provoca una pérdida significativa de corriente de protección, se deben evitar en todo momento soldar o tener contacto metálico entre el ducto y el acero de refuerzo.

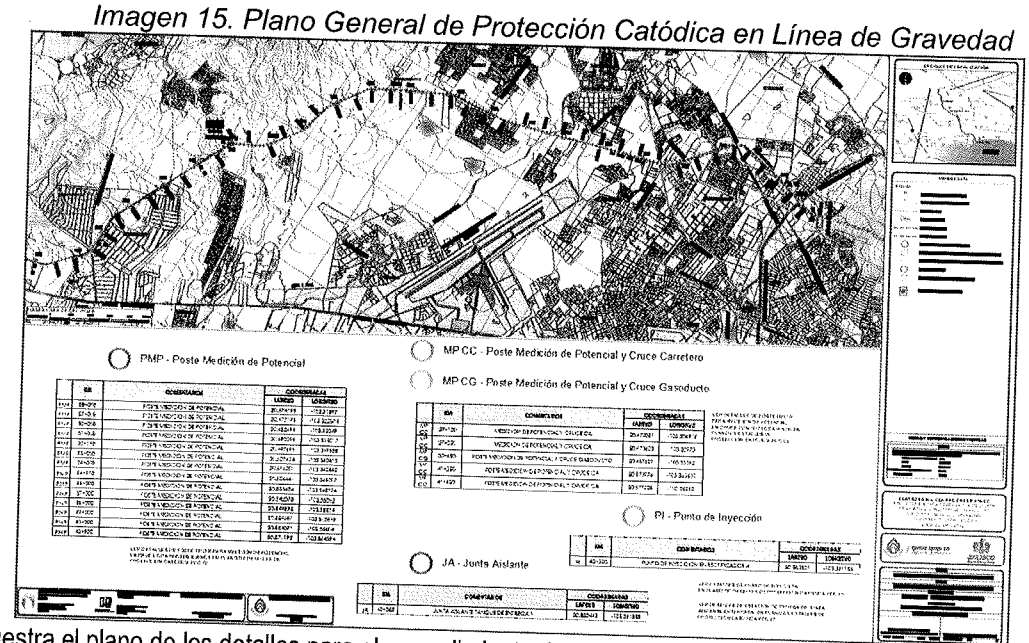
En la siguiente imagen se puede observar el plano de general de protección catódica en línea de impulsión, en este se observa la ubicación de los puntos de inyección, juntas aislantes, postes de medición potencial y postes de medición potencial en cruces carreteros y cruces de gasoducto.

Imagen 14. Plano General de Protección Catódica en Línea de Impulsión



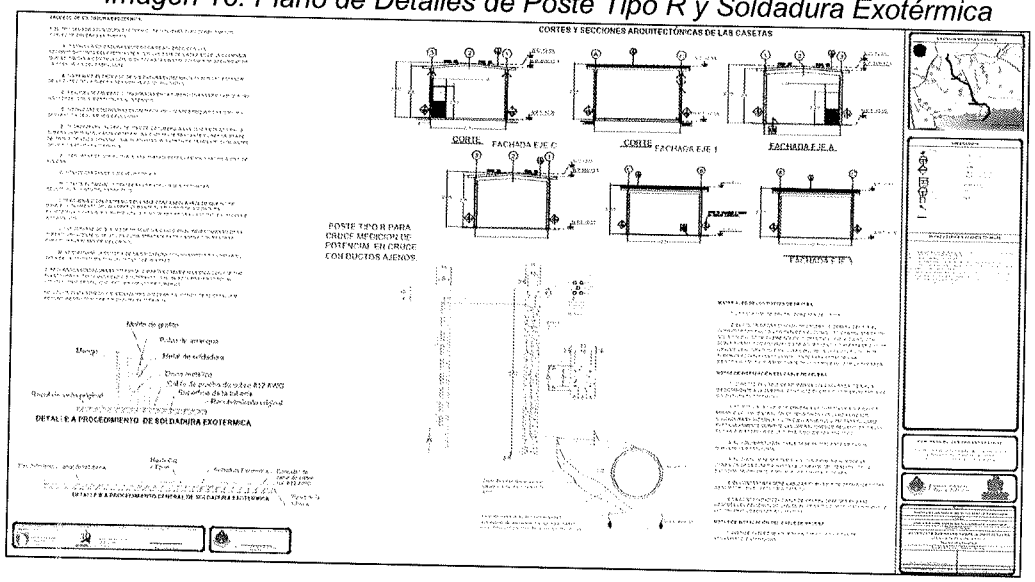
En la siguiente imagen se puede observar el plano de general de protección catódica en línea de gravedad, en este se observa la ubicación de los puntos de inyección, juntas aislantes, postes de medición potencial y postes de medición potencial en cruces carreteros y cruces de gasoducto.

Imagen 15. Plano General de Protección Catódica en Línea de Gravedad



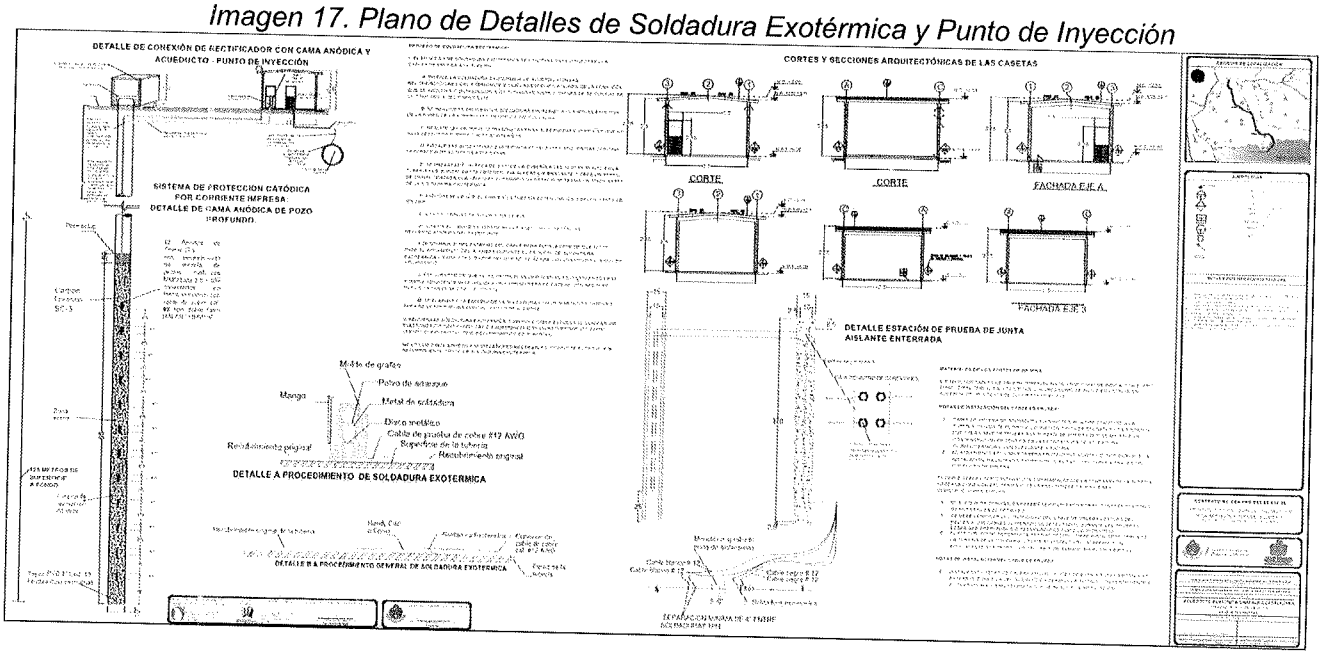
La imagen 16 muestra el plano de los detalles para el procedimiento de soldadura exotérmica y para el poste tipo R que se usa para cruces de medición potencial y cruces de medición potencial carreteros y de gasoducto.

Imagen 16. Plano de Detalles de Poste Tipo R y Soldadura Exotérmica



La imagen 17 muestra el plano de los detalles para el procedimiento de soldadura exotérmica y para el sistema de protección catódica por corriente impresa, con el detalle de cama anódica profundo. Este detalle es el que se conoce como el Punto de Inyección.

Imagen 17. Plano de Detalles de Soldadura Exotérmica y Punto de Inyección



5.2.14 Telemetría

El objetivo de la Telemetría es diseñar e implementar un sistema integrado para medir, supervisar y (donde aplique) controlar variables hidráulicas y electromecánicas del acueducto, habilitando su operación centralizada mediante telemetría continua y registro histórico, con criterios de alta disponibilidad y escalabilidad.

Alcance de los Trabajos

- Medición en tiempo real de presión, caudal y nivel en 4 subestaciones telemétricas distribuidas a lo largo del acueducto.
- Adquisición local de señales y transmisión de datos mediante Unidades Terminales Remotas (UTR) S-32 (UTR-CR32).
- Control y supervisión de actuadores eléctricos de válvulas mariposa en la Subestación 3 (caja de control) y adquisición de parámetros eléctricos vía RS-485 Modbus.
- Interconexión mediante red de fibra óptica monomodo y equipo de conmutación Ethernet (IDF/MDF), contemplando redundancia y crecimiento futuro.
- Integración con sistema SCADA (existente o por instalar), alarmas, tendencias y almacenamiento histórico.
- Pruebas FAT/SAT, documentación de ingeniería, protocolos de puesta en marcha y lineamientos de operación/mantenimiento.

Parámetros de operación de referencia

- Caudal total de diseño: ~10,000 L/s (10 m^3/s) con 5 bombas operativas en paralelo (orden de 1,800–2,000 L/s por bomba).
- Altura total de referencia: ~100–120 m (según condición de operación).
- Presión máxima esperada en operación estable: ≤ ~14 bar; se consideran márgenes para transitorios (golpe de ariete), por lo que se emplean rangos 0–16 bar y 0–30 bar para transmisores de presión.
- Tubería principal de gran diámetro (referencia DN 106"): velocidades típicas alrededor de 2.8 m/s para 10 m^3/s (compatibles con medición ultrasónica clamp-on).

Elementos singulares relevantes para instrumentación

- Tanque de oscilación: amortigua transitorios y requiere monitoreo continuo de nivel.
- Tanque de cambio de régimen: punto de transición hidráulica con interés en niveles/seguridad operativa.
- Caja de control: punto de maniobra con válvulas mariposa de gran diámetro y actuadores eléctricos; requiere telemetría robusta y supervisión eléctrica.

Puntos de monitoreo y subestaciones telemétricas

Se establecen 4 subestaciones telemétricas distribuidas a lo largo del acueducto. Las primeras dos corresponden al tramo de impulsión, mientras que las dos últimas corresponden al tramo de gravedad.

En la tabla 5.44 se muestran las características de las mismas.

Tabla 5.46 Características de Puntos de Monitoreo

Subestación	Progresiva	Elemento/Tramo	Instrumentación y telemetría
S-1	8+780	Tanque de Oscilación	LIT-01 (LH300), A02 (UTR S-32)
S-2	25+920	Tanque de Cambio de Régimen	LIT-02 y LIT-03 (LH300), A05 (UTR S-32)
S-3	30+900	Caja de control / seccionamiento mayor	A06 (UTR S-32); actuadores AUMA eléctricos para válvulas mariposa Ø36", Ø42", Ø48" y Ø106" (MV-361-06, MV-421-06, MV-481-06, MV-1061-06); medidor de parámetros eléctricos RS-485 Modbus
S-4	42+420	Tanque de Entrega en cerro	LIT-03 y LIT-04 (LH300), A08 (UTR S-32)

Descripción de la solución propuesta (arquitectura)

Modelo por capas

- Nivel de campo: instrumentos de proceso (presión, caudal, nivel), sensores de seguridad (puerta/movimiento) y actuadores eléctricos (Subestación 3).
- Nivel de adquisición local: UTR S-32 por subestación, con módulos de entradas/salidas analógicas y digitales, y comunicaciones Ethernet/Radio.
- Nivel de comunicaciones: red Ethernet industrial sobre fibra óptica monomodo, con terminación MDF en estación principal y IDF en cada subestación.
- Nivel de supervisión: SCADA en centro de control (operación, histórico, alarmas, reportes), con interfaces hacia operación local y corporativa.

6. Catálogo de conceptos, análisis de precios unitarios y presupuesto base

En el anexo se localizan los generadores, catálogo de conceptos, APU y presupuesto base.

El presente capítulo tiene como objetivo exponer y analizar la estructura de costos del proyecto de infraestructura urbana, a través del catálogo de conceptos, el análisis de precios unitarios y la integración del presupuesto base proyecto del acueducto sustituto Guadalajara – Chapala. Este análisis permite identificar la distribución de los recursos económicos, así como evaluar la proporción que representa cada etapa y cada partida de obra dentro del costo total del proyecto.

El proyecto se encuentra dividido en dos etapas constructivas. En este sentido, la figura 6.1 muestra el porcentaje de participación de la línea de conducción a impulsión y de la línea a gravedad con respecto al monto total de la obra. Esta comparación permite visualizar de manera clara la magnitud relativa de cada etapa, evidenciando que la línea a impulsión posee un mayor peso financiero dentro del presupuesto global del proyecto.

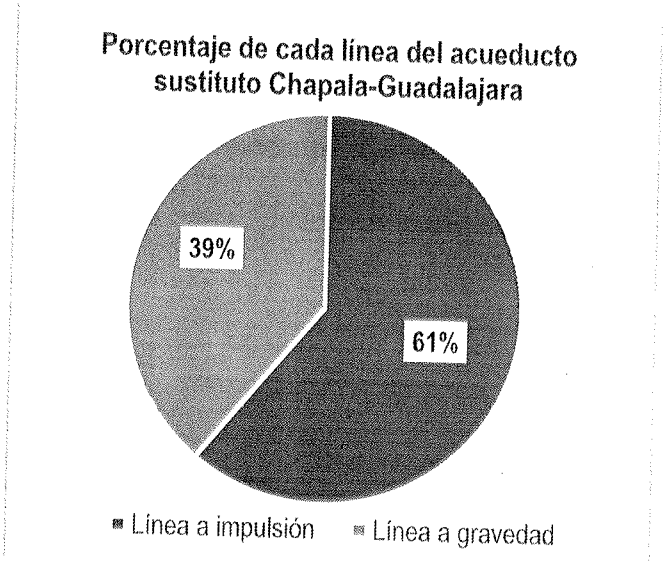


Figura 6.1 Porcentaje de participación de la línea de impulsión y de gravedad.

Asimismo, con el propósito de profundizar en la composición del presupuesto, se presenta la figura 6.2, la cual ilustra el porcentaje que representa cada partida de conceptos correspondiente a la línea de bombeo. Dicho gráfico permite identificar los conceptos con mayor incidencia económica en esta fase del proyecto, reflejando las actividades que concentran la mayor inversión y que, por tanto, resultan críticas para el control de costos y el seguimiento financiero.

De manera complementaria, el Gráfico 3 muestra la distribución porcentual de las partidas de conceptos que integran la Etapa 2. Este análisis facilita la comparación entre etapas, permitiendo reconocer similitudes o variaciones en la estructura de costos, así como los conceptos que adquieren mayor relevancia en esta fase del desarrollo del proyecto.

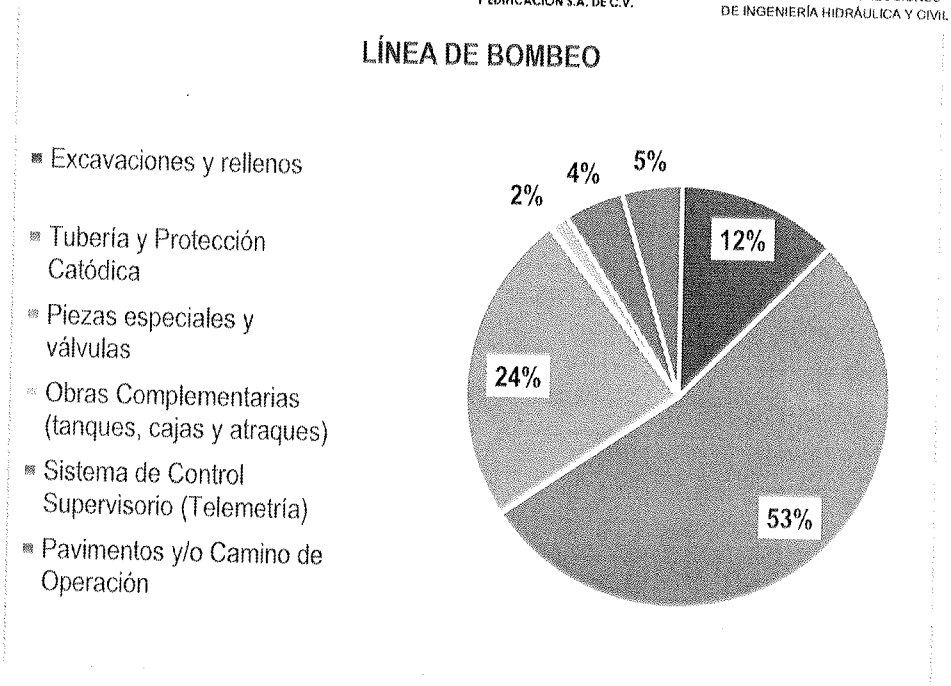


Figura 6.2 Porcentaje de cada partida en la línea a bombeo.

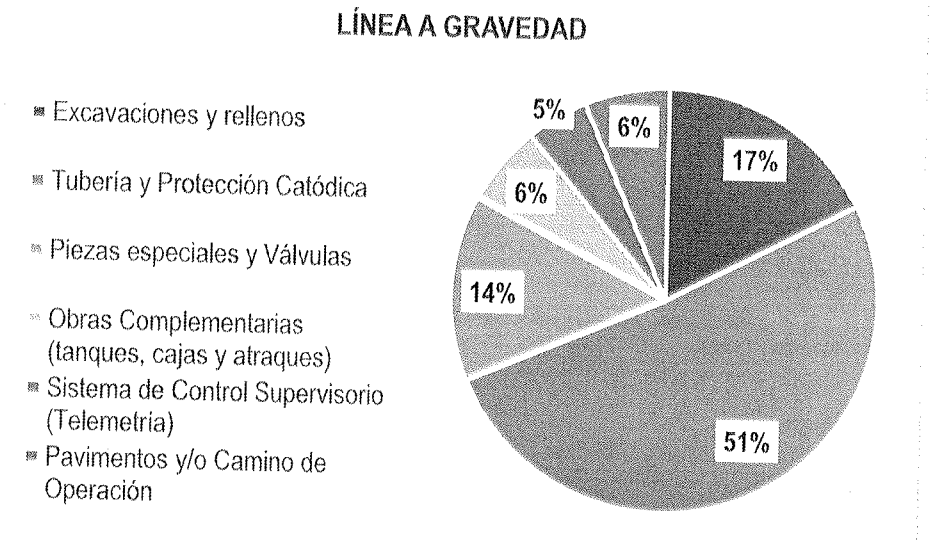


Figura 6.3 Porcentaje de cada partida en la línea a gravedad.

7. Especificaciones de obra

En el anexo se localizan las especificaciones técnicas y constructivas.

8. Calendario de ejecución y programación

En el anexo se localiza el calendario de ejecución.

9. Manuales de operación y mantenimiento

En el anexo se localiza el manual de operación y mantenimiento.

Gestión Integral del Agua

Comisión Estatal del Agua Jalisco

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DEL PROYECTO CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA.

MARZO 2026

AL ESTILO Jalisco

ÍNDICE

I.RESUMEN EJECUTIVO 1
II.ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL 6
II.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL 6
II.2 ANÁLISIS DE LA OFERTA EXISTENTE 10
II.2.1. ANTECEDENTES DE LA OFERTA 11
II.2.2. FUENTES SUBTERRÁNEAS 12
II.2.2.1. MUNICIPIOS SIAPA 17
II.2.2.2 JUANACATLÁN 20
II.2.2.3. EL SALTO 20
II.2.2.4. TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA 21
II.2.2.5. IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS 22
II.2.2.6. CALIDAD DEL AGUA DE LAS FUENTES SUBTERRÁNEAS 24
II.2.3 FUENTES SUPERFICIALES 24
II.2.3.1 LAGO DE CHAPALA 24
II.2.3.2 PRESA ELÍAS GONZÁLEZ CHÁVEZ (PRESA CALDERÓN) 30
II.2.4 OFERTA SUSTENTABLE 33
II.2.5 PROYECCIÓN DE LA OFERTA ACTUAL 35
II.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA ACTUAL 38
II.3.1 POBLACIÓN 40
II.3.2 CONSUMOS 45
II.3.2.1 USUARIOS NO DOMÉSTICOS 45
II.3.2.2 TOMAS POR TIPO DE MEDICIÓN 46
II.3.2.3 CÁLCULO DE LA DEMANDA ACTUAL 47
II.3.2.4 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA ACTUAL 47
II.4 INTERACCIÓN DE LA OFERTA-DEMANDA 49
III.SITUACIÓN SIN EL PPI 51
III.1 OPTIMIZACIONES 51
III.2. PROYECCIÓN DE LA OFERTA DE LA SITUACIÓN SIN PROYECTO 52
III.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA 53
III.4 DIAGNÓSTICO DE LA INTERACCIÓN OFERTA-DEMANDA 54
III.5 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN 56
IV.SITUACIÓN CON EL PPI 62
IV.1 DESCRIPCIÓN GENERAL 62

IV.2 ALINEACIÓN ESTRATÉGICA 70
IV.3 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA 78
IV.4 CALENDARIO DE ACTIVIDADES 80
IV.5 MONTO TOTAL DE INVERSIÓN 81
IV.6 FUENTES DE FINANCIAMIENTO 82
IV.7 CAPACIDAD INSTALADA 82
IV.8 METAS ANUALES Y TOTALES DE PRODUCCIÓN 82
IV.9 VIDA ÚTIL. 83
IV.10 DESCRIPCIÓN DE LOS ASPECTOS MÁS RELEVANTES 84
IV.11 ANÁLISIS DE LA OFERTA 86
IV.12 ANÁLISIS DE LA DEMANDA 87
IV.13 INTERACCIÓN OFERTA-DEMANDA 88
V.EVALUACIÓN DEL PPI 91
V.1 IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE COSTOS DEL PPI 91
V.1.1 COSTOS DE INVERSIÓN. 91
V.1.2 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO. 91
V.2 IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS BENEFICIOS DEL PPI 92
V.2.1 FUNCIÓN DE DEMANDA 93
V.2.2 BENEFICIOS POR MAYOR CONSUMO. 95
V.2.3 POR LIBERACIÓN DE RECURSOS POR AHORRO DE COSTOS EN ABASTECIMIENTO CON PIPAS 101
V.2.4 BENEFICIOS POR AHORRO DE COSTOS EN POTABILIZACIÓN Y OPERACIÓN DEBIDO AL ACUEDUCTO SUSTITUTO 103
V.2.5 BENEFICIOS POR COSTOS EVITADOS DEBIDO A LA PROBABILIDAD DE FALLA DEL ACUEDUCTO CHAPALA-GUADALAJARA 104
V.3 CÁLCULO DE LOS INDICADORES DE RENTABILIDAD. 105
V.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 107
V.5 ANÁLISIS DE RIESGOS. 109
VI.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 111
VII.BIBLIOGRAFÍA 113

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Descripción del proyecto. 2
Ilustración 2 Cobertura de servicio de agua potable del AMG. 7
Ilustración 3 Diagrama de causa-efecto relativo a suministro insuficiente de agua potable. 8

Ilustración 4 Delimitación del acuífero Atemajac. 13
Ilustración 5 Delimitación del acuífero Toluquilla 14
Ilustración 6 Delimitación del acuífero Cajititlán. 15
Ilustración 7 Ubicación de los principales sistemas de pozos 18
Ilustración 8 Conducción del sistema de pozos Toluquilla 19
Ilustración 9 Infraestructura de abastecimiento de Juanacatlán 20
Ilustración 10 Infraestructura de abastecimiento de El Salto 21
Ilustración 11 Infraestructura de abastecimiento de Tlajomulco de Zúñiga 22
Ilustración 12 Localización de las captaciones (fuentes de abastecimiento subterráneas). 23
Ilustración 13 Lago de Chapala 25
Ilustración 14 Líneas de conducción de agua en bloque del Lago de Chapala 27
Ilustración 15 Perfil topográfico Chapala - Guadalajara 28
Ilustración 16 Trazo del acueducto Chapala – Guadalajara 30
Ilustración 17 Ubicación de potabilizadoras del SIAPA. 35
Ilustración 18 Municipios en el Área Metropolitana de Guadalajara 40
Ilustración 19 Esquema para Acueducto Sustituto Chapala – Guadalajara 62
Ilustración 20 Esquema perfil topográfico del trazo del acueducto 63
Ilustración 21 Vista aérea de la estación de bombeo Chapala 63
Ilustración 22 Vista aérea del tanque de cambio de régimen existente 64
Ilustración 23 Esquema vista aérea del tanque de entrega 65
Ilustración 24 Esquema perfil topográfico de la línea de impulsión 66
Ilustración 25 Esquema perfil topográfico de la línea de gravedad 67
Ilustración 26 Esquema diseño conceptual de la línea de impulsión 68
Ilustración 27 Esquema línea de conducción estación de bombeo a tanque de cambio de régimen 68
Ilustración 28 Esquema tanque de oscilación 69
Ilustración 29 Esquema tanque de cambio de régimen 69
Ilustración 30 Esquema línea de conducción de tanque de cambio de régimen a tanque de entrega 69

Índice de gráficas

Gráfica 1 Proyección oferta-demanda con proyecto (m^3/s) 3
Gráfica 2 Análisis de confiabilidad y riesgo de falla de una estructura, en función de su vida útil y de su mantenimiento 9
Gráfica 3 Relación lineal de la probabilidad de falla de una estructura, respecto a su vida útil remanente. 10
Gráfica 4 Proyección de población total para municipios del AMG: Guadalajara, Zapopan, Tonalá y San Pedro Tlaquepaque 43

Gráfica 5 Proyección de población total para municipios del AMG: El Salto, Tlajomulco de Zúñiga, Juanacatlán, Zapotlanejo e Ixtlahuacán de los Membrillos 44
Gráfica 6 Proyección de la población en el Área Metropolitana de Guadalajara al 2058 44
Gráfica 7 Proyección del balance oferta-demanda de la situación actual del AMG (l/s) 50
Gráfica 8 Proyección del balance oferta-demanda de la situación sin proyecto del AMG (l/s) 56
Gráfica 9 Niveles máximos y mínimos del Lago de Chapala Período 1990-2024 64
Gráfica 10 Proyección del balance oferta – demanda en la situación con proyecto (l/s) 90
Gráfica 11 Función de demanda para la AMG 95
Gráfica 12 Sensibilidad a incrementos en el monto de inversión 107
Gráfica 13 Sensibilidad a incrementos en los costos de operación 108
Gráfica 14 Sensibilidad a disminución de los beneficios 109

Índice de tablas

Tabla 1 Inversión propuesta (pesos 2026) 3
Tabla 2 Caudales históricos extraídos de agua superficial y subterránea 2001-2022 del SIAPA (m^3/s) 11
Tabla 3 Gasto promedio producido por las fuentes de abastecimiento del AMG. 12
Tabla 4 Recarga y balance de los acuíferos el AMG (Hm^3) 15
Tabla 5 Gasto promedio anual aportado del Lago de Chapala. 25
Tabla 6 Cadenamiento en el Sistema Acueducto Chapala – Guadalajara. 29
Tabla 7 Cadenamiento del Sistema Antiguo Chapala – Guadalajara. 29
Tabla 8 Gasto promedio anual aportado por la presa Elías González Chávez. 30
Tabla 9 Volumen explotado urbano y no urbano de los acuíferos. 34
Tabla 10 Volumen y gasto sustentable urbano y no urbano de los acuíferos. 34
Tabla 11 Gasto promedio anual abastecido por las fuentes del SIAPA (m^3/s) 36
Tabla 12 Gasto promedio anual abastecido por las fuentes de los municipios conurbados en 2020 (m^3/s). 36
Tabla 13 Porcentaje de pérdidas físicas. 37
Tabla 14 Proyección de la oferta en la situación actual (l/s). 37
Tabla 15 Proyección de población del AMG. 40
Tabla 16 Proyección de la población del AMG (2020-2058) 42
Tabla 17 Usuarios no domésticos del SIAPA (tomas). 45
Tabla 18 Consumos de los usuarios no domésticos del SIAPA. 45
Tabla 19 Tomas de usuarios con cuota fija. 46
Tabla 20 Tomas de usuarios con servicio medido 47
Tabla 21 Demanda actual del AMG (año 2025) 47
Tabla 22 Proyección de Demanda de la Situación Actual del AMG 48
Tabla 23 Proyección del Balance Oferta-Demanda de la Situación Actual del AMG. 49

Tabla 24 Pérdidas físicas históricas del SIAPA. 51
Tabla 25 Recuperación de caudales estimada (l/s). 51
Tabla 26 Proyección de la oferta en la situación sin proyecto (l/s). 52
Tabla 27 Proyección de demanda de la situación sin proyecto del AMG (l/s). 53
Tabla 28 Proyección del balance oferta-demanda de la situación sin proyecto del AMG (l/s). 54
Tabla 29 Tipo de bombas analizadas. 57
Tabla 30 Comparativa entre equipos de bombeo. 57
Tabla 31 Comparativa de costos entre tubería para conducción. 59
Tabla 32 Comparativa de costos de energía. 60
Tabla 33 Comparativa de costos anuales para todas las condiciones. 61
Tabla 34 Principales temas PROMARNAT. 73
Tabla 35 Objetivos prioritarios PROMARNAT 74
Tabla 36 Programa Nacional Hídrico 2020-2024 75
Tabla 37 Resultados Esperados y Estrategias Plan Estatal de Desarrollo y Gobernanza 2024-2030. 76
Tabla 38 Coordenadas del trazo de la línea de conducción Tramo Impulsión. 79
Tabla 39 Coordenadas del trazo de la línea de conducción Tramo Gravedad. 80
Tabla 40 Calendario de inversiones (pesos 2026). 81
Tabla 41 Inversión estimada (pesos 2026). 81
Tabla 42 Metas anuales de producción (l/s). 82
Tabla 43 Proyección de la oferta en la situación con proyecto (l/s). 86
Tabla 44 Proyección de demanda de la situación con proyecto del AMG (l/s). 87
Tabla 45 Proyección del balance oferta- demanda de la situación con proyecto del AMG (l/s). 88
Tabla 46 Costos de Inversión (pesos 2026) 91
Tabla 47 Costos de operación y mantenimiento sin IVA (pesos 2026) 91
Tabla 48 Funciones de demanda por agrupamiento climático. 94
Tabla 49 Datos para la función de la demanda. 94
Tabla 50 Proyección de los consumos sin proyecto. 96
Tabla 51 Proyección de los consumos con proyecto. 97
Tabla 52 Precios implícitos sin y con proyecto. 98
Tabla 53 Beneficios por mayor consumo (pesos 2026). 100
Tabla 54 Beneficios por liberación de recursos de agua de pipa (pesos 2026). 101
Tabla 55 Beneficios por liberación de recursos por ahorro de costos de potabilización y conducción (pesos 2026). 103
Tabla 56 Proyección de beneficios ante eventos de fallas en el acueducto Chapala-Guadalajara (pesos 2026). 104

Tabla 57 Proyección de beneficios y costos sociales (pesos 2026). 106
Tabla 58 Indicadores de rentabilidad (pesos 2026). 107
Tabla 59 Sensibilidad a incrementos en el monto de inversión. 108
Tabla 60 Sensibilidad a incrementos en los costos de operación. 108
Tabla 61 Sensibilidad a disminución de los beneficios por mayor consumo. 109
Tabla 62 Matriz de riesgos. 109
Tabla 63 Indicadores de rentabilidad socioeconómica (año 0=2026). 111

PROMOVENTE

GOBIERNO DEL ESTADO DE JALISCO
COMISIÓN ESTATAL DEL AGUA DE JALISCO
Domicilio:
Calle Francia 1726, Col. Moderna,
Guadalajara, Jal CP. 44190, Tel. (33) 3030 9200

OBJETIVO DEL ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Determinar la conveniencia del proyecto *"Construcción de la Infraestructura del Acueducto Sustituto Chapala-Guadalajara"* mediante la valoración en términos monetarios de los costos y beneficios asociados al proyecto de inversión.

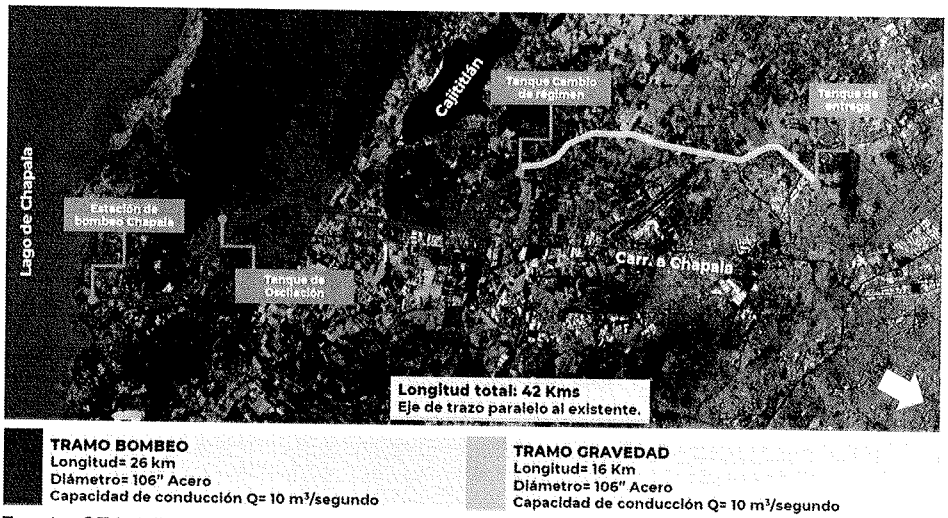
TIPO DE PROYECTO DE INVERSIÓN

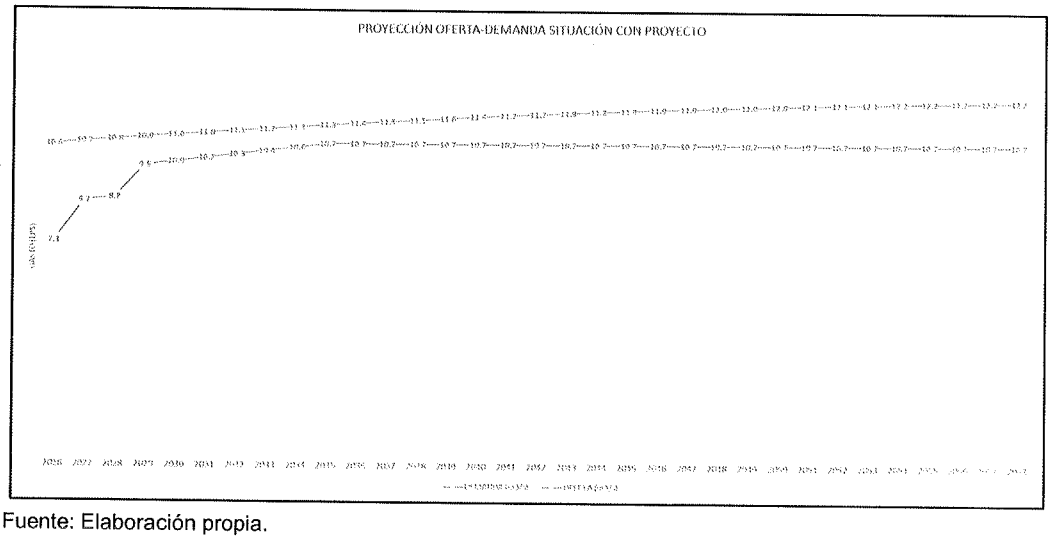
Proyecto de Infraestructura Económica.

I. RESUMEN EJECUTIVO

Problemática, objetivo y descripción del PPI	
Objetivo del PPI	El crecimiento poblacional y económico del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) ha derivado en un incremento en el déficit existente de provisión de agua potable para la zona, lo cual podría agravarse si la infraestructura de abastecimiento no logra tener los niveles de eficiencia técnica y operativa que garanticen su pleno funcionamiento. El sistema Chapala-Guadalajara representa una infraestructura estratégica pues actualmente aporta poco más del 50% del agua que se entrega a los municipios metropolitanos. El acueducto existente ya cumplió su vida útil por lo que se requiere analizar la conveniencia técnica y económica de la construcción de un acueducto sustituto. El proyecto se integra por la construcción de una línea de impulsión (línea a bombeo), línea por gravedad, estación de bombeo y adquisición de algunos predios. El objetivo principal es garantizar la seguridad hídrica mediante infraestructura que no tenga altas probabilidades de falla.

Problemática Identificada	El Sistema Antiguo Chapala – Guadalajara (Canal Atequiza) y el Sistema Acueducto Chapala - Guadalajara constituyen una infraestructura hidráulica que opera a partir de un perfil topográfico detallado, con datos clave de cadenamiento, elevación y puntos de control estratégicos. Este sistema abastece de agua en bloque del Lago de Chapala para su potabilización y posterior distribución. La vida útil de ambos sistemas ha sido rebasada, y dado la carencia de mantenimiento adecuado durante su operación, ha llevado a que actualmente presenten fragilidad operativa, poniendo el riesgo el abasto metropolitano. Desde 1956, la principal fuente de abastecimiento de agua en bloque para Guadalajara es el Lago de Chapala, mismo que durante los últimos años ha presentado una tendencia decreciente en sus niveles de almacenamiento. En promedio de los últimos 25 años se han extraído 6.0 lps. Por otra parte, el gasto total para uso público urbano que representan 4.456 m^3/s de agua concesionada no corresponde al agua explotada en su totalidad, por lo que, para fines de establecer el caudal de aprovechamiento de agua, se utilizan los reportes de los Organismos Operadores sobre el caudal explotado en los mismos. • SIAPA. - De acuerdo con los registros proporcionados por el SIAPA, en la actualidad se cuenta con un total de 169 pozos distribuidos en los cuatro municipios de servicio, aprovechando un caudal de 2.70 m^3/s para el último año. • Tlajomulco de Zúñiga. - Tiene 61 pozos en operación con un caudal producido de 0.423 m^3/s. • El Salto. - Cuenta con 9 pozos y se estima un aprovechamiento de 0.053 m^3/s. • Juanacatlán. - Cuenta con 12 pozos y se estima un aprovechamiento de 0.074 m^3/s. • Ixtlahuacán de los Membrillos. - Tiene registrados 33 pozos profundos con un caudal aprovechado de 0.100 m^3/s. • Zapotlanejo, se tiene un dato de 0.044 m^3/s.

	• Servicio doméstico en desarrollos habitacionales en los cuatro municipios antes mencionados 0.141 m^3/s. • Otros usuarios autoabastecidos en toda el AMG 0.665 m^3/s. Con base en el análisis de la demanda de agua se estimó un déficit durante todo el horizonte de análisis. A los valores de producción se deberá restar el componente de pérdidas físicas por lo que se tiene un déficit al comparar la oferta disponible y la demanda, en un marco de fuentes de abastecimiento que no presentan sustentabilidad de largo plazo, lo que deriva en una problemática futura complicada para atender las necesidades propias de desarrollo de esta zona geográfica del país.
Breve descripción del PPI	El Acueducto Chapala Guadalajara se ubica dentro del derecho de vía en el cual se había previsto un segundo acueducto. Es por lo anterior, que el Acueducto Sustituto tendrá el mismo trazo del actual Acueducto. La propuesta de proyecto contempla las siguientes acciones. • Línea de Conducción de la Estación de Bombeo Chapala a Tanque de Cambio de Régimen. • Tanque de Oscilación. • Estructura de Cambio de Régimen. • Línea de Conducción por Gravedad del Tanque de Cambio de Régimen al Tanque de Entrega Cerro del 4. • Tanque de Entrega. *Ilustración 1 Descripción del proyecto.*  Fuente: CEA Jalisco. Este conjunto de obras permitirá abastecer de agua al AMG a partir del año 2029 con 1.5 m^3/s adicionales a la producción existente (promedio anual), permitiendo que el balance oferta-demanda sea como se muestra en la gráfica 1.

	Gráfica 1 Proyección oferta-demanda con proyecto (m^3/s).  Fuente: Elaboración propia. Con base en información paramétrica de proyectos de infraestructura y el monto de inversión previsto en estos componentes a futuro, se estima que el proyecto genere: 2,485 empleos directos 1.243 empleos indirectos

Horizonte de evaluación, costos y beneficios del PPI	
Objetivo del estudio	El objetivo del estudio es determinar la rentabilidad socioeconómica de llevar a cabo el proyecto *"Construcción de la Infraestructura del Acueducto Sustituto Chapala-Guadalajara"* y puesta en operación del mismo.
Horizonte de Evaluación	El horizonte de evaluación comprende 33 años, considerando los años 2026-2028 como periodo de inversión (30 meses). La operación del proyecto iniciará en 2029 y hasta el año 2058 (30 años de vida útil).
Descripción de los principales costos del PPI	Los principales componentes de inversión del proyecto se presentan a continuación, ascendiendo a $10,136,374,704.85 (diez mil ciento treinta y seis millones trescientos setenta y cuatro mil setecientos cuatro pesos 85/100 M.N.), IVA incluido (pesos 2026). *Tabla 1 Inversión propuesta (pesos 2026).*

	MONTO SIN IVA	MONTO CON IVA
Línea de impulsión (línea a bombeo)	$4,083,323,333.54	$4,736,655,066.91
Línea por gravedad	$2,348,896,239.60	$2,724,719,637.94
Estación de Bombeo	$2,155,172,413.79	$2,500,000,000.00

	Predios	$175,000,000.00	$175,000,000.00
	Total	$8,762,391,986.94	$10,136,374,704.85

Fuente: Elaboración a partir de información de la CEA Jalisco.

Por otra parte, los costos de mantenimiento y operación se calcularon considerando el efecto neto, es decir, la variación respecto a la operación actual. El total asciende a $168,935,381.00 (ciento sesenta y ocho millones novecientos treinta y cinco mil trescientos ochenta y un pesos 00/100 MN) incluyendo IVA (pesos 2026).

Finalmente, como parte de los flujos de costos del proyecto, se identificó que en el año 20 deberá realizarse una reinversión en equipos de bombeo, la cual se incorporó por un monto de $706,544,400.00 en el año 2048 del escenario de evaluación.

Descripción de los principales beneficios del PPI	El análisis de la problemática permitió identificar los siguientes beneficios: (1) Mayor consumo atribuible al mayor aporte de agua debido a la capacidad hidráulica de la infraestructura que permitirá utilizar el gasto autorizado para explotación (2) Liberación de recursos de agua de pipa debido a que podrá reducirse el programa emergente anual dado el mayor aporte de agua debido a la capacidad hidráulica de la infraestructura. (3) Liberación de recursos por ahorro en los costos de potabilización en la PP1 debido a la mejora en la calidad del agua al evitarse el abasto por el sistema del canal de Atequiza. (4) Beneficio por evitarse la pérdida de consumo de agua potable de la población ante un evento de falla de la línea de conducción. (5) Beneficio por ahorro de costos por las reparaciones emergentes ante un evento de falla de la línea de conducción. (6) Beneficio por ahorro de costos en el servicio de entrega de agua en pipas ante un evento de falla de la línea de conducción. (7) Liberación de recursos por ahorro de costos en el mantenimiento anual de la línea de conducción existente. La estimación de beneficios asociados al consumo de agua potable se hizo únicamente para usuarios domésticos, por lo que se definió un escenario conservador para la evaluación. El valor actual calculado al año 2026 del flujo de beneficios asciende a $10,706,688,614 (pesos 2026).
Monto total de inversión (con IVA)	El monto total de inversión previsto asciende a $10,136,374,704.85 (diez mil ciento treinta y seis millones trescientos setenta y cuatro mil setecientos cuatro pesos 85/100 M.N.), IVA incluido (pesos 2026).

Indicadores de Rentabilidad del PPI	
Valor Actual Neto Social (VANS)	**$1,649,820,652**

Tasa Interna de Retorno (TIR)	**12.17%**
Tasa de Rentabilidad Inmediata (TRI)	**13.02%**

Conclusión	
Conclusión del Análisis del PPI	Los resultados obtenidos a partir de la estimación de flujos de beneficios y costos sociales del proyecto permiten concluir que la obra *"Construcción de la Infraestructura del Acueducto Sustituto Chapala-Guadalajara"* es socialmente rentable, por lo que resulta conveniente para el país su ejecución. Como se observa, el valor actual neto es positivo y tanto la TIR como la TRI tienen un valor superior a la tasa de descuento social (10%), por lo que cumplen con el criterio técnico para determinar la conveniencia del proyecto. En lo correspondiente a la sensibilización de variables, se trabajó con la inversión, los costos de operación y mantenimiento, así como con los beneficios por mayor consumo, manteniendo la rentabilidad del proyecto ante variaciones superiores al 25%. En el caso de la inversión tiene una sensibilidad hasta 21%, pero se considera adecuado toda vez que se cuenta con el proyecto ejecutivo de la obra. Por lo antes expuesto y de conformidad con el análisis realizado, se concluye que el proyecto es socialmente rentable, por lo que resulta viable su ejecución.

II. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

II.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) es la segunda metrópoli más grande de México, con una población de poco más de 5.2 millones de habitantes, y una superficie de 3,265.46 km^2, de los cuales 883 son clasificados como superficie urbana. comprende nueve municipios: El Salto, Guadalajara, Ixtlahuacán de los Membrillos, Juanacatlán, San Pedro Tlaquepaque, Tlajomulco de Zúñiga, Tonalá, Zapopan y Zapotlanejo. (Agenda de Resiliencia Hídrica del Área Metropolitana de Guadalajara, IMEPLAN, 2023)

El AMG se localiza en la cuenca del Valle del Río Grande de Santiago, en los Valles de Atemajac y la Planicie de Tonalá, entre las provincias montañosas de la Sierra Madre Occidental y el Eje Neovolcánico, en la Región Centro del Estado de Jalisco.

Derivado del artículo 94 de la Ley de Gobierno y la Administración Pública Municipal del Estado, la infraestructura urbana es la que corresponde a los servicios públicos municipales tales como el agua potable, el alcantarillado, energía eléctrica y recolección de residuos sólidos. De manera introductoria a continuación se menciona la situación general de la infraestructura urbana y servicios públicos municipales antes mencionados.

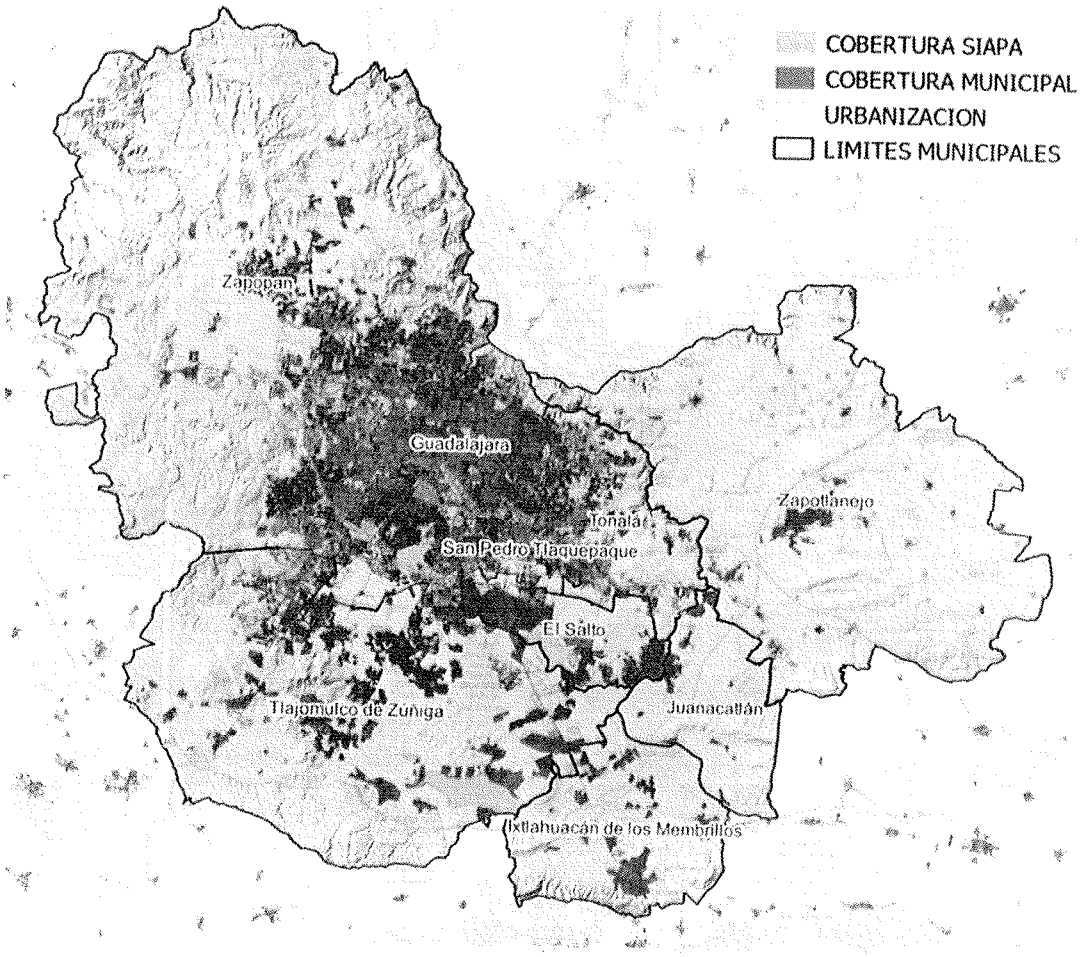
Los servicios de agua potable y alcantarillado son proporcionados por organismos públicos descentralizados y comisiones edilicias, siendo esta heterogeneidad una de las grandes problemáticas en la prestación del servicio metropolitano. En Guadalajara, Tlaquepaque, Zapopan y Tonalá se abastece a la mayoría de la población a través del Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA). A pesar de esto el municipio de Tonalá aún no tiene abastecimiento en la totalidad del territorio. En Tlajomulco, opera el Sistema de Agua Tlajomulco (SIAT); y el resto de los municipios son operados por las comisiones edilicias de agua potable y alcantarillado.

Las fuentes actuales son subterráneas y superficiales, siendo que las subterráneas presentan un esquema muy fuerte de sobre explotación que provoca su abatimiento con una gran celeridad, mientras que las fuentes superficiales tienen un comportamiento que tiende a la baja y con un comportamiento errático.

La ilustración 2 muestra en color azul la cobertura por parte del SIAPA, que abarca una superficie de 506 km2 de un total de 883 km2 de área urbanizada, lo que representa el 57% de la cobertura y donde se puede observar que las zonas fuera

de esta cobertura son dispersas y donde la zona al sur resalta por ser la de mayor dimensión sin este tipo de servicio intermunicipal.

Ilustración 2 Cobertura de servicio de agua potable del AMG.



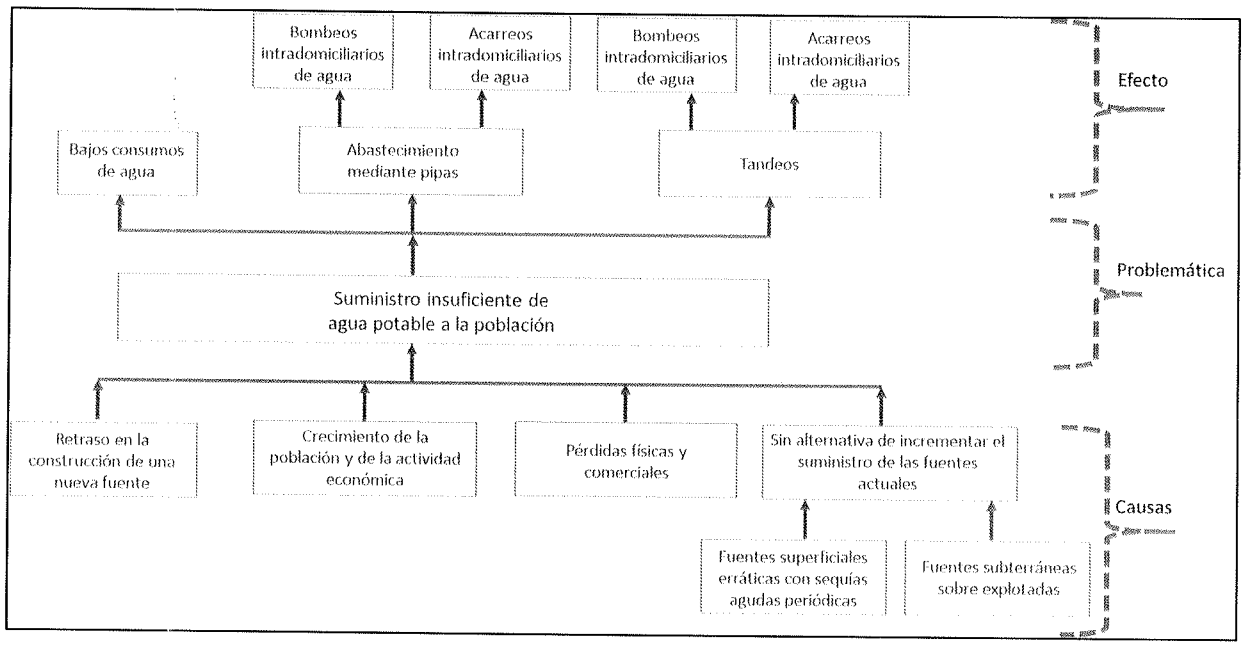
Fuente: Proyecto ejecutivo para la construcción de la infraestructura del acueducto sustituto Chapala-Guadalajara.

El Lago de Chapala representa la principal fuente de abastecimiento, por lo que el sistema extracción y bombeo tiene carácter estratégico para el suministro de agua en bloque a la zona metropolitana.

Por tal motivo, y ante el riesgo que representa que la principal fuente de abastecimiento de agua tenga una expectativa tal que lleve a imposibilitar la conducción de agua es que las autoridades del estado en materia de agua, representadas por la Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEA), dependiente del Poder Ejecutivo Estatal, han efectuado el análisis de diversas alternativas que reduzcan la situación de vulnerabilidad existente.

La problemática de suministro insuficiente para el AMG se plasma en el siguiente diagrama[1].

Ilustración 3 Diagrama de causa-efecto relativo a suministro insuficiente de agua potable.



Fuente: Elaboración propia a partir de información del Diagnóstico Integral de Planeación 2018 del SIAPA.

Ante la problemática de déficit en el abasto pues es insuficiente, resulta relevante analizar las alternativas que permitan elevar el nivel de servicio de la infraestructura existente, así como aprovechar los derechos de abastecimiento existentes para maximizar la entrega de agua potable a la población. En el caso de la infraestructura del Sistema Chapala-Guadalajara se detecta que la vida útil ha concluido, por lo que resulta necesario analizarlo a la luz de la probabilidad de falla que pudiera tener.

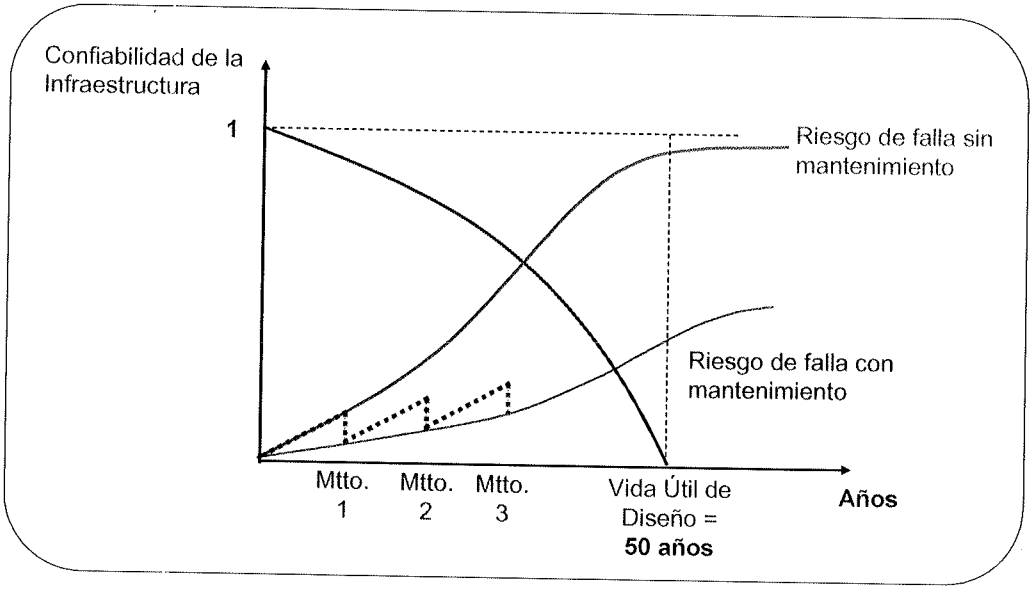
Para considerar la probabilidad de falla, se debe contemplar la confiabilidad de la estructura hidráulica. En este sentido, se tiene que en el primer año de operación la confiabilidad es 1 (100%) pero conforme van pasando los años, la confiabilidad va disminuyendo por el "consumo" de la infraestructura, de manera que tiende a cero hacia el final de su vida útil de diseño en caso de que no se implementen acciones de mantenimiento o de rehabilitación que incrementen la vida útil remanente.

A partir del análisis de confiabilidad se derivó un análisis de riesgo de falla de una estructura hidráulica, considerando que al inicio de su operación la probabilidad de

[1] Sistema Intermunicipal para los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado, (2018), *Diagnóstico Integral de Planeación*, México.

falla de la estructura será cercana a 0 (cero), mientras que al finalizar su vida útil de diseño tenderá a ser cercana al 100%, si no se otorga mantenimiento ni se rehabilita para incrementar su vida útil remanente (ver gráfica).

Gráfica 2 Análisis de confiabilidad y riesgo de falla de una estructura, en función de su vida útil y de su mantenimiento.

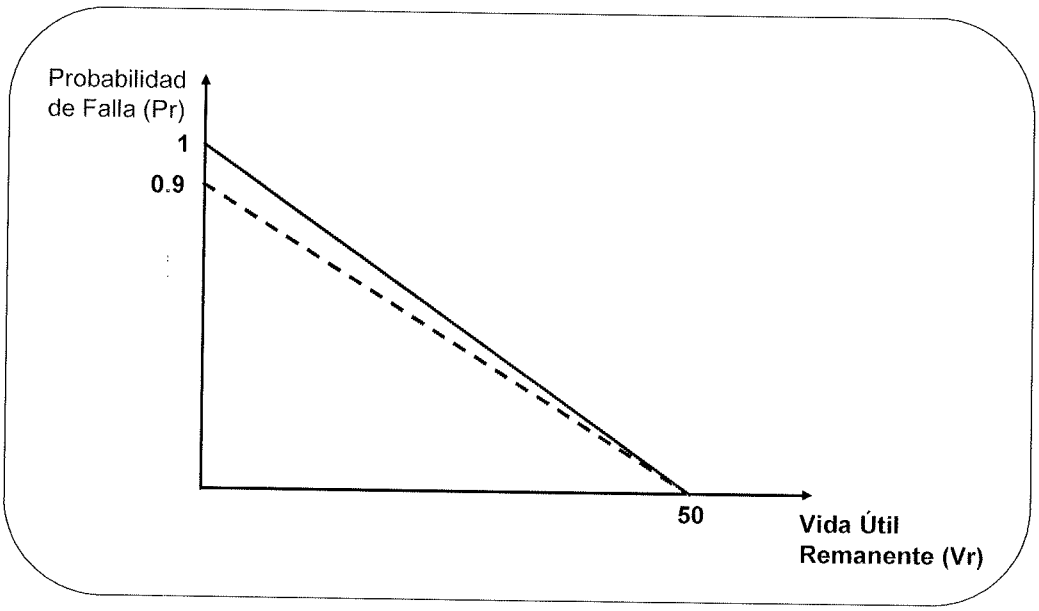


Fuente: Elaboración propia.

Para los fines del análisis, se asume que, al concluir la vida útil de diseño de una estructura, en caso de que no se le brinde mantenimiento, su confiabilidad sería de 0.1 (10%), de manera que su probabilidad de falla sería del 90% (0.9). Al concluir su vida útil, la vida útil remanente es igual a 0 (cero).

Por otra parte, si se considera que en su primer año de operación –cuando la vida útil remanente es igual a la vida útil de diseño–, la probabilidad de falla es igual a 0 (cero); o bien, la confiabilidad es del 100% (1), puede establecerse entonces una relación lineal entre probabilidad de falla y vida útil remanente (ver gráfica).

Gráfica 3 Relación lineal de la probabilidad de falla de una estructura, respecto a su vida útil remanente.



Fuente: Elaboración propia.

Derivado de la gráfica anterior, se puede definir una ecuación lineal que relaciona la probabilidad de falla de una estructura con su vida útil remanente y su vida útil de diseño, misma que se expresa de la siguiente forma:

$$\mathrm{Pr} = 0.9 - \frac{Vr}{Vu}$$

Donde:

Pr = Probabilidad de falla,
Vr = Vida útil remanente,
Vu = Vida útil de diseño,

Con base en lo anterior, se define la problemática que da origen al análisis, en virtud del creciente riesgo de falla en el sistema Chapala-Guadalajara.

II.2 ANÁLISIS DE LA OFERTA EXISTENTE.

El análisis de la oferta se debe realizar considerando las condiciones históricas y actuales en que se generan los bienes o servicios que el proyecto va a producir, que en este caso es el incremento de la oferta de agua.

Lo anterior debe incluir una descripción de la infraestructura de producción disponible, considerando aspectos como capacidad de producción y operación, localización de esta, ventajas, desventajas, así como la calidad de los bienes y servicios producidos.

II.2.1 ANTECEDENTES DE LA OFERTA

La oferta se da mediante un organismo operador del agua. Para este caso se tiene a la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) que mediante el Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA)[2] da servicio a los municipios de Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque y Tonalá.

Por otro lado, los municipios de Tlajomulco, Ixtlahuacán de los Membrillos, El Salto[3], Juanacatlán y Zapotlanejo cuentan con sus organismos municipales. Los 9 municipios conforman en conjunto el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG), área de influencia de este proyecto.

La importancia del agua subterránea y superficial es proporcional a su volumen de suministro, en donde el agua subterránea promedia el 28.8% y el agua superficial 71.2% en los últimos 22 años (2001-2022), como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 2 Caudales históricos extraídos de agua superficial y subterránea 2001-2022 del SIAPA (m^3/s)

Año	Aguas superficiales.	Agua subterránea.	Total, Agua ZMG	Superficial %	Subterránea %
2001	5.5	2.9	8.4	65.8%	34.2%
2002	5.4	2.9	8.3	65.4%	34.6%
2003	5.8	2.8	8.6	67.6%	32.4%
2004	6.2	2.5	8.7	71.1%	28.9%
2005	6.6	2.5	9.1	72.3%	27.7%
2006	6.4	2.8	9.2	69.4%	30.6%
2007	6.3	2.9	9.2	68.4%	31.6%
2008	6.6	2.8	9.4	70.2%	29.8%
2009	6.6	2.7	9.3	71.2%	28.8%
2010	6.6	2.8	9.4	70.1%	29.9%
2011	6.8	2.8	9.6	70.5%	29.5%
2012	6.6	2.7	9.2	71.0%	29.0%
2013	6.8	2.8	9.5	71.0%	29.0%

[2] De acuerdo con el Decreto número 24805/LX/13, del H. Congreso del Estado de Jalisco, publicado el día 24 de diciembre de 2013 de la Ley que crea el Organismo Descentralizado del Poder Ejecutivo denominado Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado.

[3] En el año 2020 se incorporaron al SIAPA 4,602 cuenta de este municipio.

Año	Aguas superficiales.	Agua subterránea.	Total, Agua ZMG	Superficial %	Subterránea %
2014	7.3	2.6	9.9	74.0%	26.0%
2015	7.4	2.6	10.0	74.1%	25.9%
2016	7.4	2.8	10.2	72.6%	27.4%
2017	7.7	2.9	10.5	72.7%	27.3%
2018	7.6	2.9	10.6	72.3%	27.7%
2019	7.8	2.9	10.7	72.9%	27.1%
2020	8.3	2.7	11.0	75.5%	24.5%
2021	7.4	2.7	10.1	73.0%	27.0%
2022	7.7	2.6	10.2	74.9%	25.1%
2023	8.1	2.5	10.6	76.7%	23.3%
2024	8.0	2.5	10.5	76.6%	23.4%
2025	8.6	2.5	11.1	77.4%	22.6%
PROMEDIO	**7.0**	**2.**	**9.7**	**71.2%**	**28.8%**

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la CEA Jalisco.

La producción actual total promedio para el AMG es de 11.1 m^3/s (2025), considerando que SIAPA aporta 9.6 m^3/s y los municipios de Tlajomulco de Zúñiga, El Salto, Ixtlahuacán de los Membrillos y Juanacatlán los restantes 1.456 m^3/s.

Tabla 3 Gasto promedio producido por las fuentes de abastecimiento del AMG.

Producción AP (m^3/s)	SIAPA				Municipios	TOTAL
	Chapala	Calderón	Subterránea	Subtotal	Subterránea	
Promedio 2001-2025	**6.00**	**1.01**	**2.72**	**9.73**	**1.5**	**11.23**

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la CEA Jalisco.

II.2.2. FUENTES SUBTERRÁNEAS

El AMG cuenta con un sistema de pozos profundos que contribuyen al abastecimiento de agua, los cuales aportan en promedio el 28.8% del agua total requerida. Los acuíferos de los cuales se extrae el agua son: Atemajac, Toluquilla y Cajititlán, los cuales están sobreexplotados. Los restantes municipios se abastecen con pozos propios en su totalidad con agua subterránea de los mismos acuíferos.

A continuación, se resumen las características generales de los acuíferos de Atemajac, Toluquilla y Cajititlán, así como su delimitación administrativa.

II.2.2.1 Acuífero de Atemajac[4]

El acuífero de Atemajac tiene una extensión superficial aproximada de 736.45 km2, se localiza en la porción central del estado de Jalisco, entre los paralelos 20°35' y 20°56' y los meridianos 103°10' y 103°35', limita al norte con el acuífero de Arenal y Caqui, al oriente con Altos de Jalisco, al sur con Ameca y Toluquilla. Incluye totalmente el municipio de Guadalajara y de manera parcial los municipios colindantes de Tonalá, Tlaquepaque y Zapopan.

Ilustración 4 Delimitación del acuífero Atemajac.

Fuente: CEA Jalisco.

II.2.2.2 Acuífero Toluquilla

El acuífero Toluquilla, se ubica en la porción centro del estado de Jalisco, entre las coordenadas 20° 28' y 20° 42' de latitud norte y entre los meridianos 103° 07' y 103° 34' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 632 km2. Colinda al norte, con el acuífero Atemajac, al sur con Cajititlán, al este con Altos de Jalisco y al oeste con los acuíferos San Isidro y Arenal, todos ellos del estado de Jalisco. Geopolíticamente comprende parcialmente a los municipios de Zapopan, Tlaquepaque, Tlajomulco de Zúñiga, Tonalá y Juanacatlán, la

[4] Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas (CONAGUA). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Atemajac (1401), Estado de Jalisco (diciembre 2020)

totalidad del municipio EL Salto y muy pequeñas porciones de los municipios Ixtlahuacán de los Membrillos y Zapotlanejo.

Ilustración 5 Delimitación del acuífero Toluquilla.

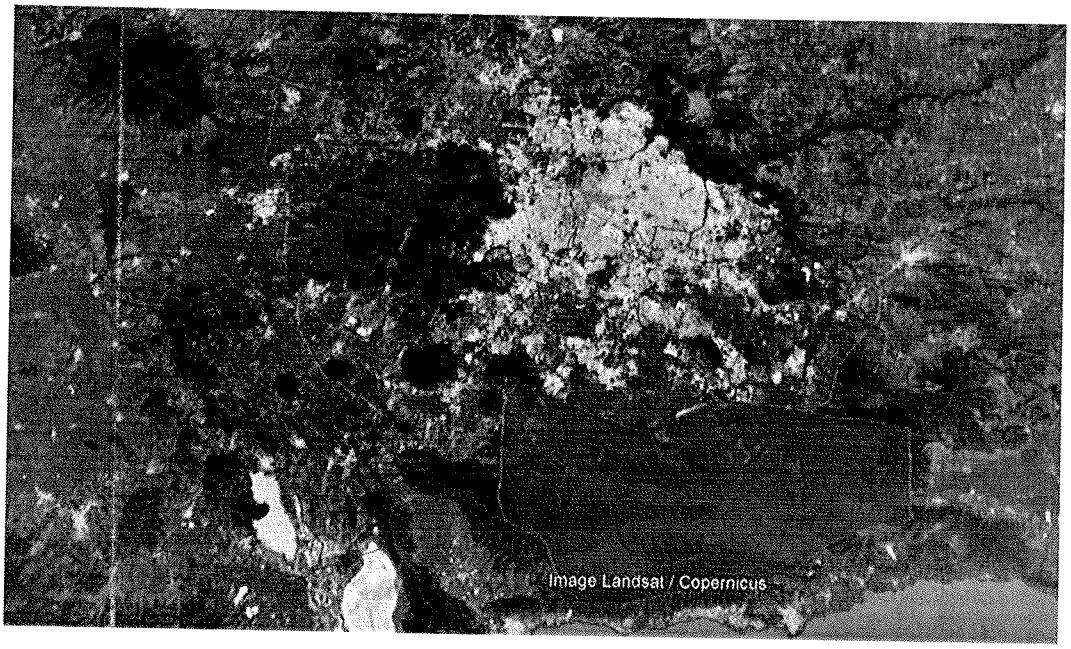
Fuente: CEA Jalisco.

II.2.2.3 Acuífero de Cajititlán

El acuífero de Cajititlán, se localiza en la porción centro del estado de Jalisco, a 25 km aproximadamente de la ciudad de Guadalajara, entre los paralelos 20° 20' y 20° 29' de latitud norte y los meridianos 103° 32' y 103°10' de longitud oeste.

Las poblaciones más importantes que se encuentran en el acuífero Cajititlán son las cabeceras municipales de Tlajomulco de Zúñiga, Ixtlahuacán de Los Membrillos, así como las poblaciones de San Miguel Cuyutlán, Potrerillos, Cajititlán, La Capilla, Atequiza, Atotonilquillo y San Lucas Evangelista.

Ilustración 6 Delimitación del acuífero Cajititlán.



Fuente: CEA Jalisco.

Se concluye que los tres acuíferos que abastecen el AMG presentan una fuerte sobre explotación a un ritmo cercano a 104 hm^3/año que provocan su abatimiento a tal grado que no es posible mantenerlos en el futuro.

En la siguiente tabla se observa la disponibilidad de agua subterránea publicada en el diario oficial de la federación a partir del año 2007, donde se puede advertir el crecimiento de la sobreexplotación del agua subterránea, situación que obliga a tomar acciones urgentes de mitigación y control antes que el daño sea irreversible.

La situación de los acuíferos de Atemajac, Toluquilla y Cajititlán, que es de donde se abastecen las localidades del AMG, es de sobre explotación y se ha seguido incrementando desde hace varios años, como se observa en las publicaciones del Diario Oficial de la Federación (DOF), para estos acuíferos.

Tabla 4 Recarga y balance de los acuíferos el AMG (Hm^3).

	Acuífero						
Publicación en el DOF	**Atemajac**		**Toluquilla**		**Cajititlán**		**BALANCE TOTAL**
	Recarga	**Balance**	**Recarga**	**Balance**	**Recarga**	**Balance**	
2020	147.3	-12.038310	49.1	-75.653523	47.6	-16.21785	-103.909683
2018	147.3	-11.508840	49.1	-73.095837	47.5	-18.144598	-102.749275

	Acuífero						
2015	147.3	-11.091327	49.1	-72.318105	47.5	-15.263569	-98.673001
2013	147.3	-12.393151	49.1	-72.430365	47.5	-16.334969	-101.158485
2009	147.3	-5.449903			47.5	-1.090467	-6.540370
2007	147.3	-1.413137			41.0	+10.784124	+ 9.370987

Nota: Un valor negativo en la columna de balance representa un déficit debido a que la recarga fue menor a la extracción. Un valor positivo representa un superávit.

Fuente: Elaboración propia con información del Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican, publicado por la CONAGUA en el Diario Oficial de la Federación en los años 2007, 2009, 2013, 2015, 2018, 2020.

Como puede observarse, los déficits van en aumento significativo, por ejemplo, el acuífero de Toluquilla, cuyo uso principal es el abasto del AMG presenta un déficit de 75.65 Hm^3 por lo que habría que eliminar el suministro de agua subterránea de alguna de estas dos zonas.

De conformidad con los reportes generados por el SIAPA y un estudio elaborado por la Universidad de Guadalajara[5], se observan los siguientes problemas derivados de la sobreexplotación de los acuíferos:

- Disminución de las reservas de agua subterránea a un ritmo cercano a 6 km^3 por año.
- Problemas asociados al hundimiento del subsuelo y fracturas que generan grietas que dañan las edificaciones.
- Mayor concentración de sales a medida que aumenta la profundidad de extracción.

Gasto medio de los pozos

Para precisar lo relacionado al caudal de los pozos que se maneja en la oferta, el Gasto potencial de los pozos se establece en función del aforo que se practica a cada uno de ellos, y a partir de ello, se equipan.

Para la determinación del gasto medio de extracción se requiere conocer de cada uno de los pozos las horas de bombeo, a partir de ello se determina el gasto medio diario y/o en función de las horas anuales que se operan, se

[5] Las aguas subterráneas en Jalisco. (2012).

determina el gasto medio anual y su equivalente en volumen anual de agua extraída.

Normalmente en las grandes ciudades como el AMG, los pozos que se destinan para servicio de agua potable se explotan las 24 horas.

Cabe puntualizar que, en su caso, el volumen medio anual de extracción o su gasto equivalente no podrá ni deberá ser mayor al volumen asignado a cada usuario, por lo que las cifras se centran al promedio asignado o concesionado que se registra en el REPDA. Evidentemente el caudal explotado también está en función de las condiciones hídricas del acuífero, ya que la sobre explotación va mermando el caudal a obtener de cada pozo.

Para este estudio, se utilizan los reportes de los Organismos Operadores sobre el caudal explotado en los mismos.

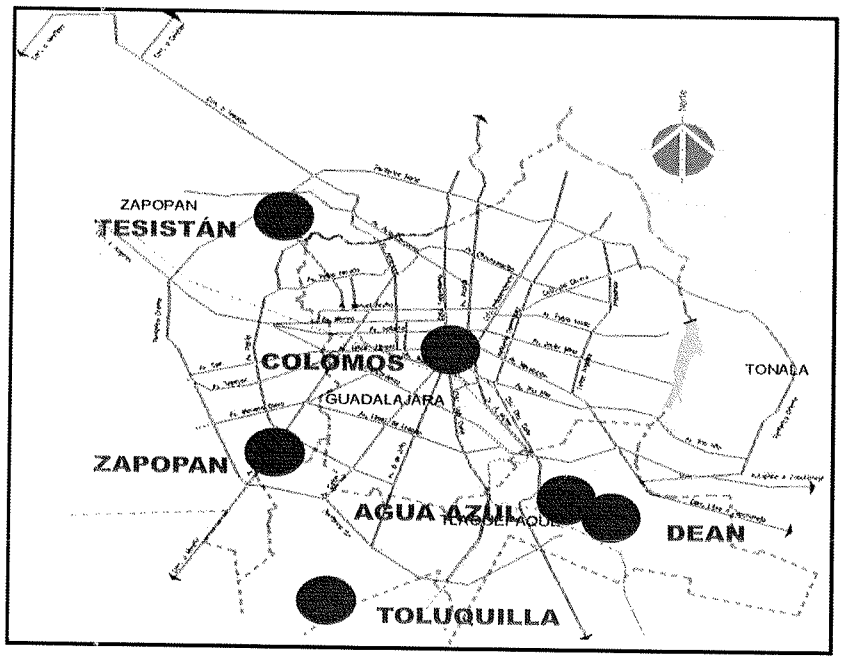
II.2.2.1. Municipios SIAPA

De acuerdo con los registros proporcionados por el SIAPA, se cuenta con un total de 163 pozos distribuidos en los cuatro municipios de la ZMG. A continuación, se muestra la relación de pozos por sector y cuenca, incluyendo el gasto y la profundidad promedio de extracción.

Aunque la capacidad instalada en pozos es mayor, no se pueden utilizar a su máxima capacidad por abatimiento del acuífero.

En la siguiente ilustración se muestra esquemáticamente la ubicación de las baterías de pozos.

Ilustración 7 Ubicación de los principales sistemas de pozos



Fuente: SIAPA.

La principal aportación de aguas subterráneas proviene de una batería de pozos situada en las zonas de Tesistán y Toluquilla. El primero de ellos cuenta con un total de 47 pozos, por lo que respecta al sistema de Toluquilla, éste cuenta con un total de 27 pozos.

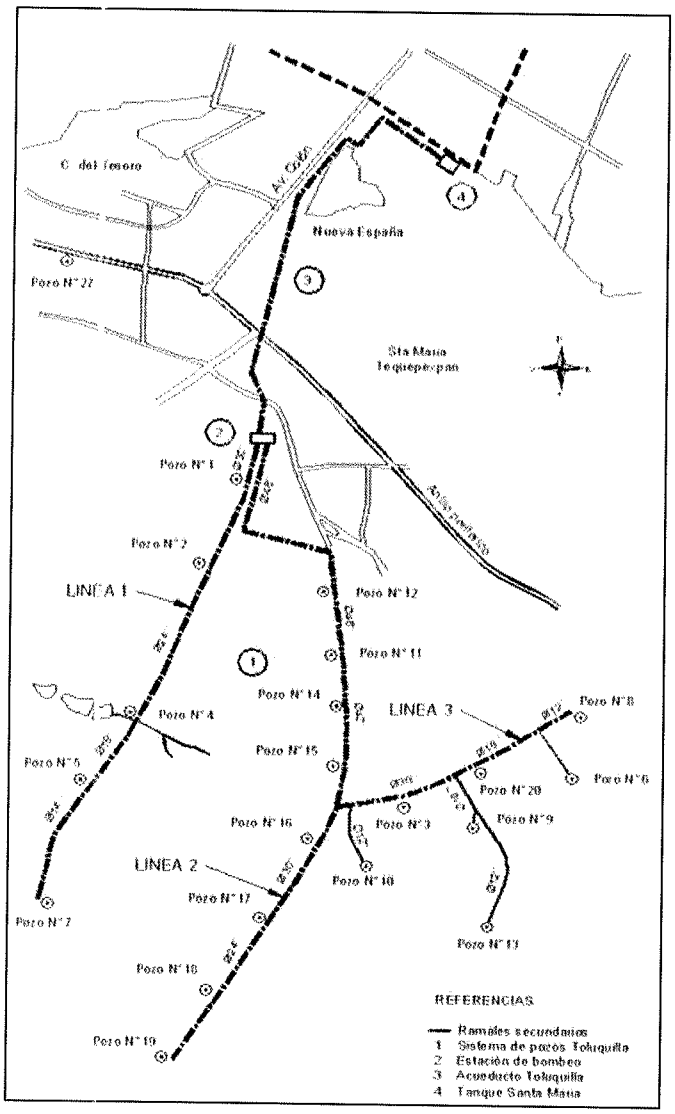
Para el caso del sistema de pozos Toluquilla, la instalación de cada pozo se compone de la respectiva perforación hasta la capa de agua subterránea, línea de salida con válvulas de corte, retención, alivio y de drenaje, caseta para resguardo del tablero eléctrico y sistemas telemétricos, línea de abastecimiento eléctrico desde una subestación eléctrica ubicada en el terreno del tanque Toluquilla y su respectivo transformador. Además del tanque receptor, el terreno alberga un cárcamo de bombeo con 5 equipos verticales y una capacidad máxima de 2.5 m^3/s.

Es importante mencionar que debido a que el agua extraída de los pozos de Toluquilla comenzó a presentar un alto contenido de arsénico, hierro y manganeso, fue necesaria la implementación de la planta potabilizadora No. 4, la cual opera mediante un proceso de inyección de ozono.

Para el caso del sistema Toluquilla, los pozos bombean sus caudales a 3 líneas de conducción que poseen una longitud de 17.5 km. Se unen 2 de ellas para que finalmente lleguen 2 líneas de conducción de 30" y de 48" respectivamente al tanque de recepción Toluquilla que posee una capacidad

de almacenamiento de 11,500 m³. Este tanque se conecta mediante tubería de 30" a un cárcamo de bombeo que consta de 5 equipos verticales con una capacidad de 0.5 m³/s cada uno. La estación de bombeo alimenta al acueducto Toluquilla, mediante el cual se eleva el agua al tanque Santa María, desde donde se procede a la distribución. Este acueducto de 3.9 km de longitud tiene 48" de diámetro.

Ilustración 8 Conducción del sistema de pozos Toluquilla[6]



Fuente: CEA Jalisco.

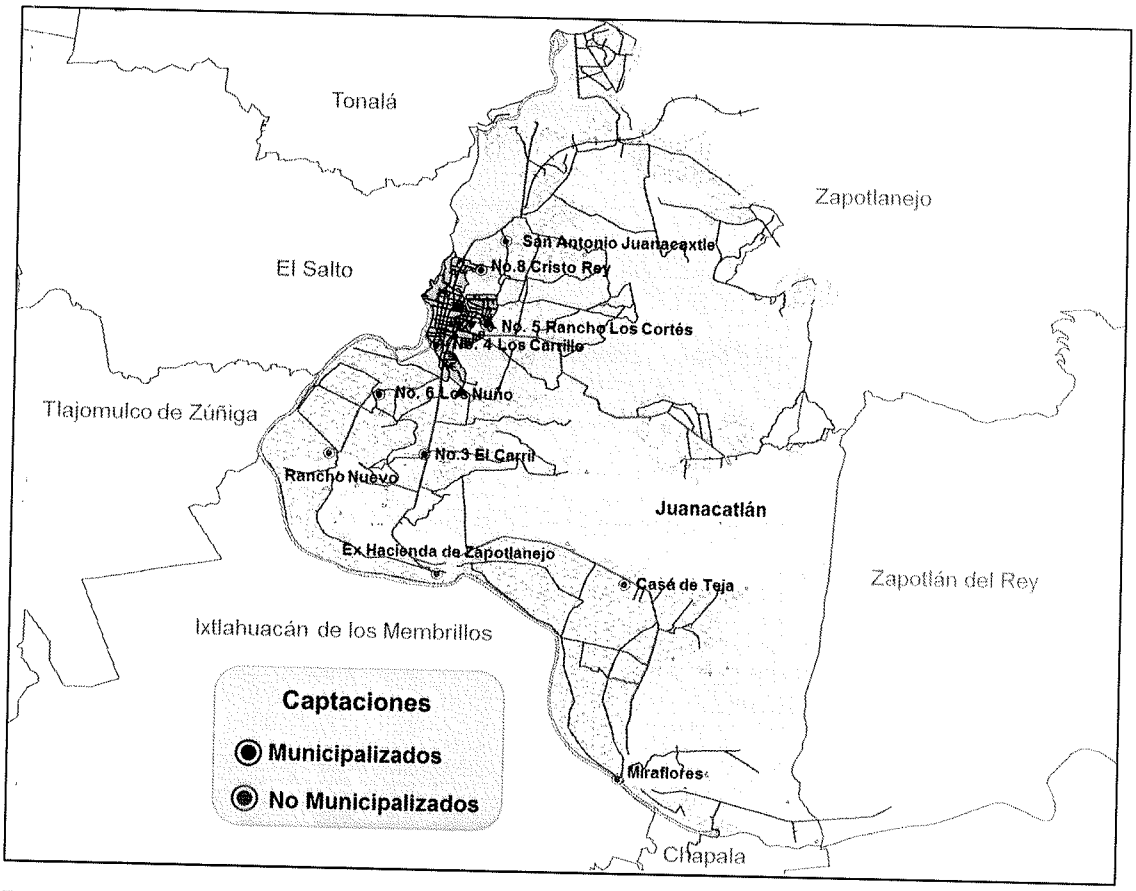
El gasto aportado por los pozos que son administrados por el SIAPA es 2.72 m³/s promedio (2001-2025).

[6] Se solicitó este tipo de diagramas para el resto de los sistemas de pozos, pero no se cuenta con dicha información.

II.2.2.2 Juanacatlán[7]

El abastecimiento de agua dentro del municipio de Juanacatlán se lleva a cabo a partir de las aguas subterráneas del acuífero Toluquilla, a través de pozos profundos.

Ilustración 9 Infraestructura de abastecimiento de Juanacatlán



Fuente: CEA Jalisco.

De acuerdo con información disponible del organismo municipal sobre el volumen extraído para el año 2018, el gasto medio diario asciende a la cantidad de 74 lps para la totalidad del sistema.

II.2.2.3. EL SALTO [8]

El sistema de abastecimiento que opera el Sistema Municipal de Agua Potable de El Salto (SIMAPES), tiene 71 líneas de conducción con una

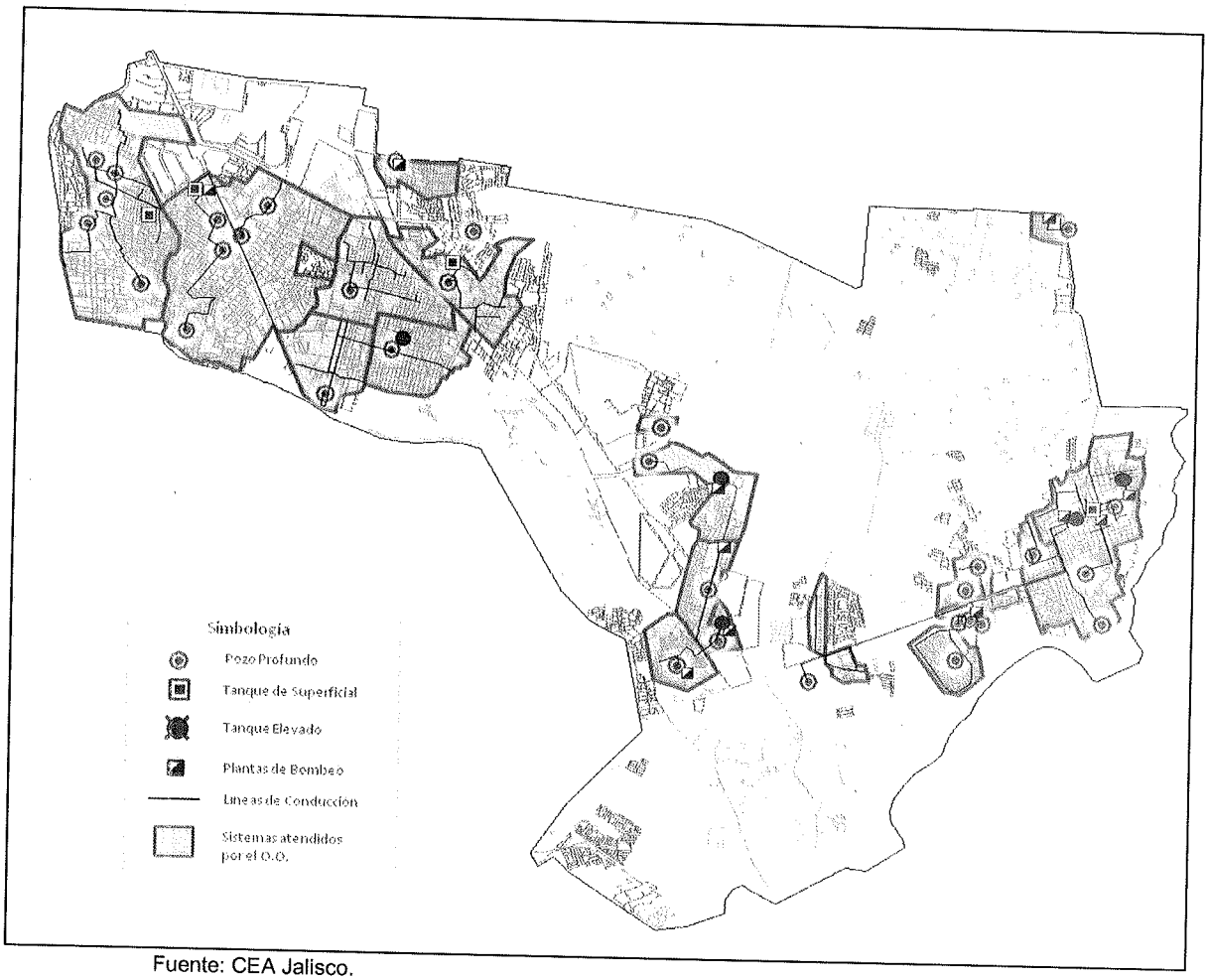
[7] *Estudio de Diagnóstico Integral del Organismo Operador de Agua del Municipio de Juanacatlán, Jal. CEA 2011*

[8] Estudio de diagnóstico y planeación integral del organismo operador de agua de la cabecera municipal de El Salto, Jalisco (SIMAPES). CEA 2011.

longitud total de 68.6 Km, construidas en diferentes diámetros que van de 2" hasta 10".

En la siguiente ilustración se muestra el trazo que tienen las líneas de conducción e interconexión entre pozos, tanques y plantas de bombeo.

Ilustración 10 Infraestructura de abastecimiento de El Salto



Fuente: CEA Jalisco.

El volumen producido total anual para los 29 pozos se estimó en 12,823,240 m^3 al año 2015, lo que significa que el gasto medio diario extraído fue de 407 l/s.

II.2.2.4. TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA[9]

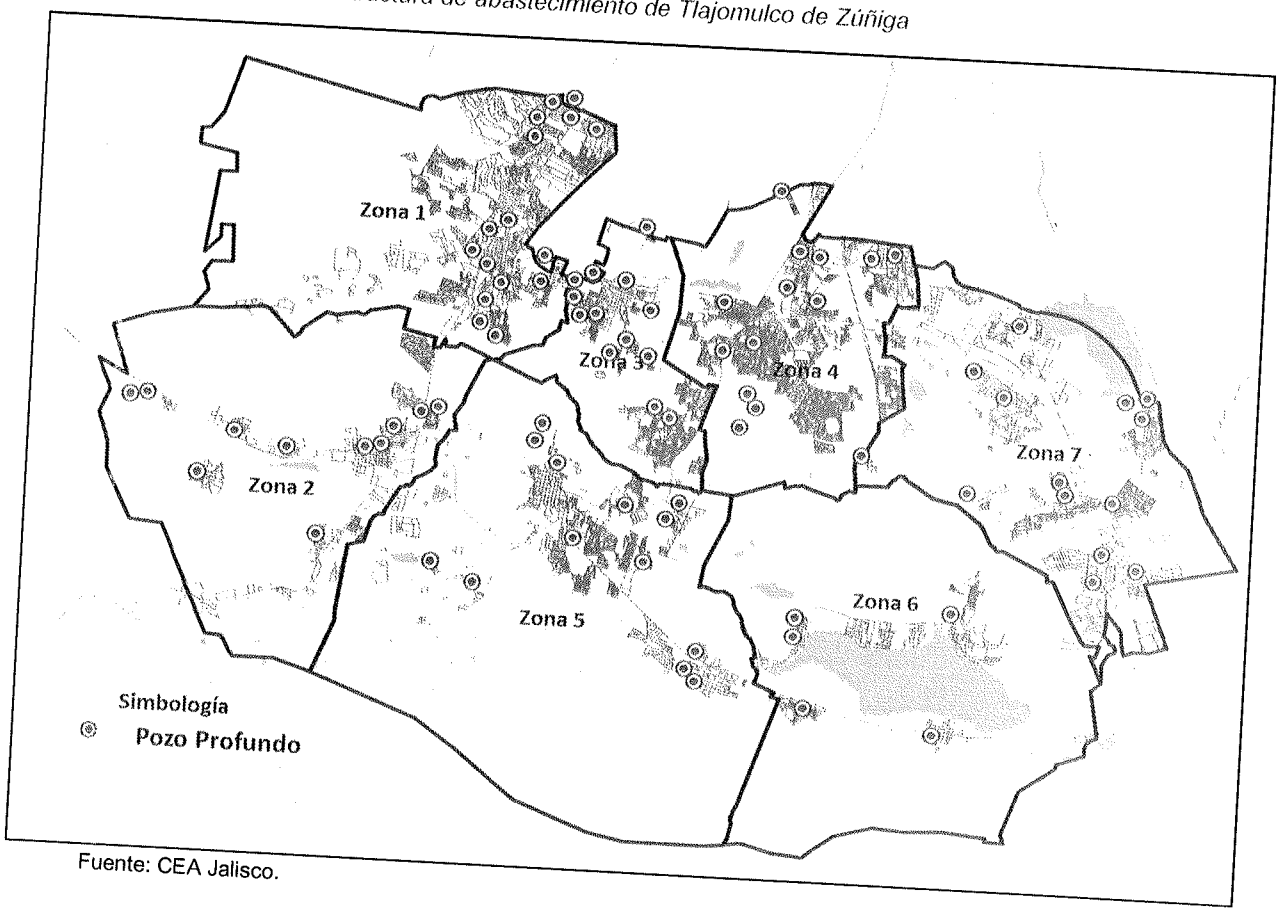
El abastecimiento de agua dentro del municipio de Tlajomulco de Zúñiga se realiza de las aguas subterráneas de los acuíferos Toluquilla, Cajititlán

[9] Estudio de diagnóstico y planeación integral del organismo operador de agua de la cabecera municipal de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco (DGAPA), CEA 2011.

y San Isidro a través de 80 pozos profundos, los cuales operan en su mayoría de forma regular durante el año y en un insignificante porcentaje de afloramientos (manantiales).

En la siguiente ilustración se presenta un mapa del municipio con la ubicación de las captaciones que operó la Dirección General de Agua Potable y Alcantarillado (DGAPA) para el abastecimiento de agua potable a la población que es atendida por el organismo operador del municipio de Tlajomulco de Zúñiga.

Ilustración 11 Infraestructura de abastecimiento de Tlajomulco de Zúñiga



Fuente: CEA Jalisco.

El volumen producido total anual para los 80 pozos, fue de 31,030,082 m^3 para el año 2015, lo que significa que el gasto medio diario extraído fue de 984 l/s.

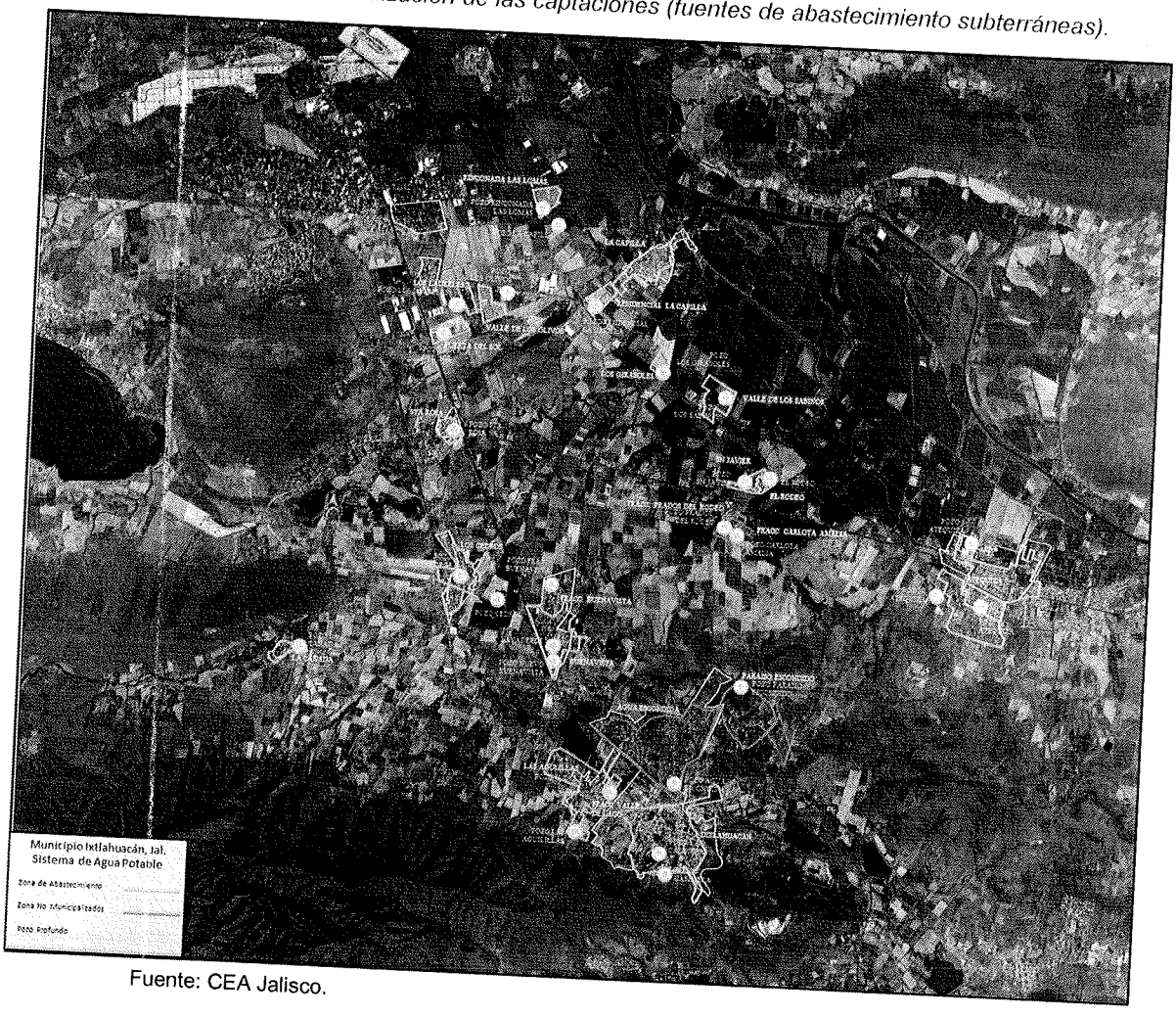
II.2.2.5. IXTLAHUACÁN DE LOS MEMBRILLOS[10]

[10] Estudio de diagnóstico integral del organismo operador de agua del municipio de Ixtlahuacán de los Membrillos, Jalisco, CEA 2011.

El abastecimiento de agua dentro del municipio de Ixtlahuacán de los Membrillos se lleva a cabo a partir de las aguas subterráneas del acuífero Toluquilla, a través de pozos profundos. Se tiene registro de 33 pozos, de los cuales 26 son operados por el municipio y los otros 7 son operados por los comités de agua independientes que funcionan de manera autónoma, pero que reciben del municipio apoyo cuando se lo solicitan, sobre todo cuando requieren del mantenimiento de los equipos de bombeo.

En la siguiente ilustración se presenta un mapa del municipio con la ubicación de los pozos que operó tanto el municipio como los comités independientes para el abastecimiento de agua potable a la población que atiende cada uno de ellos en el municipio durante el año 2011.

Ilustración 12 Localización de las captaciones (fuentes de abastecimiento subterráneas).



Fuente: CEA Jalisco.

El volumen producido total anual (no ajustado), bajo las condiciones de operación indicadas para los 33 pozos, fue de 5,650,503 m^3 al año, lo que significa que el gasto medio diario extraído fue de 179 l/s.

II.2.2.6. CALIDAD DEL AGUA DE LAS FUENTES SUBTERRÁNEAS

De acuerdo con los análisis que se han estado realizando de manera periódica en diferentes puntos de los acuíferos del AMG, se han encontrado parámetros fuera de norma, entre los que destacan por su riesgo a la salud los siguientes:

- Arsénico
- Fierro
- Manganeso
- Flúor
- Dureza total

Aunque aún no es un problema muy generalizado en los pozos, en el corto plazo resultaría imprescindible para el aprovechamiento de estas aguas, la construcción de sistemas de tratamiento que además de ser complejos, elevan el costo del servicio de abastecimiento y distribución.

En virtud de lo anterior, existen pozos que actualmente no están cumpliendo con la norma NOM-127-SSA1-1994 Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

II.2.3 FUENTES SUPERFICIALES

II.2.3.1 LAGO DE CHAPALA

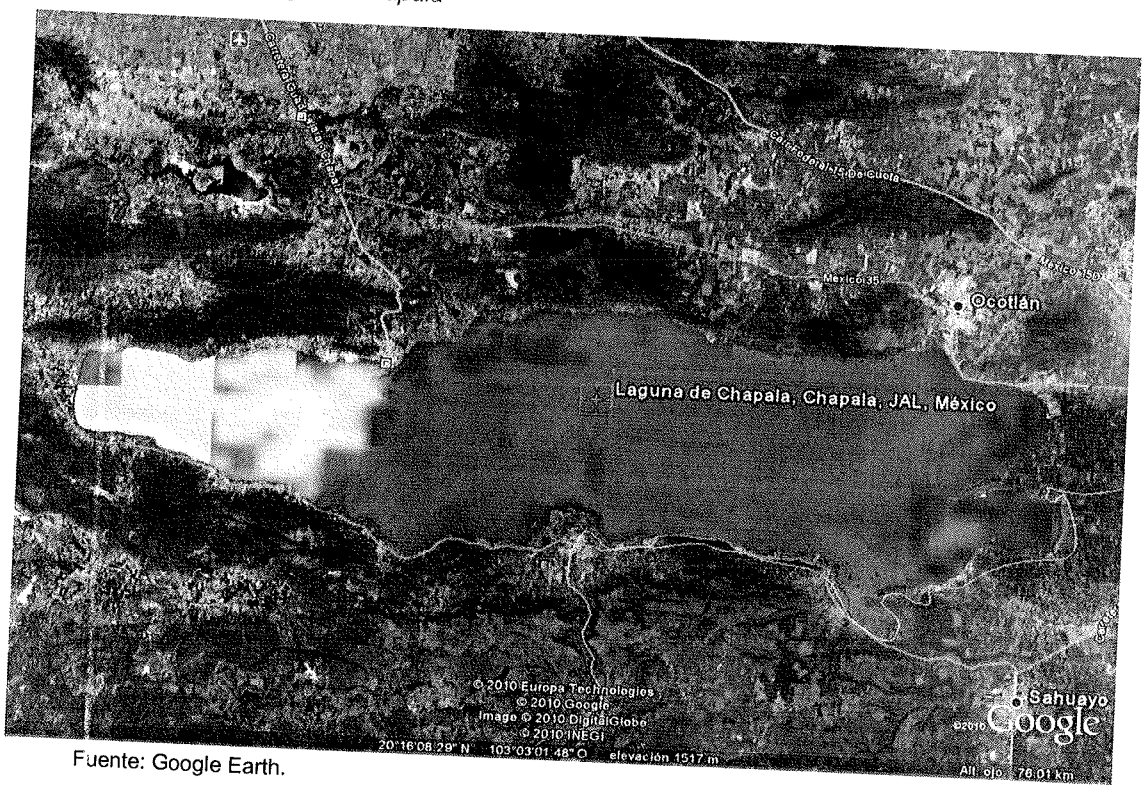
El Lago de Chapala es el lago natural más grande de México. Está a 1,524 metros sobre el nivel del mar, y a 42 kilómetros al sur de la ciudad de Guadalajara. Su superficie es 1,112 km^2 y el área de captación es de 53,500 km^2, la longitud del Lago de Chapala es de 76 km de largo por 18 km de ancho. El lago forma parte de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago.

El Lago de Chapala actualmente tiene una superficie total de 114,659 ha, de los cuales Jalisco ocupa el 86% y Michoacán el 14%; tiene una

profundidad media de 8 metros a la cota 97.80 (1,523.80 msnm); con un almacenamiento máximo de 7,897 Mm^3 (CEA).

El Lago de Chapala es actualmente la principal fuente de abastecimiento del AMG, ya que aporta aproximadamente el 53% del agua que es requerida en los ocho municipios.

Ilustración 13 Lago de Chapala



Fuente: Google Earth.

Durante los últimos 25 años, el Lago de Chapala ha aportado en promedio 6.0 m^3/s.

Tabla 5 Gasto promedio anual aportado del Lago de Chapala.

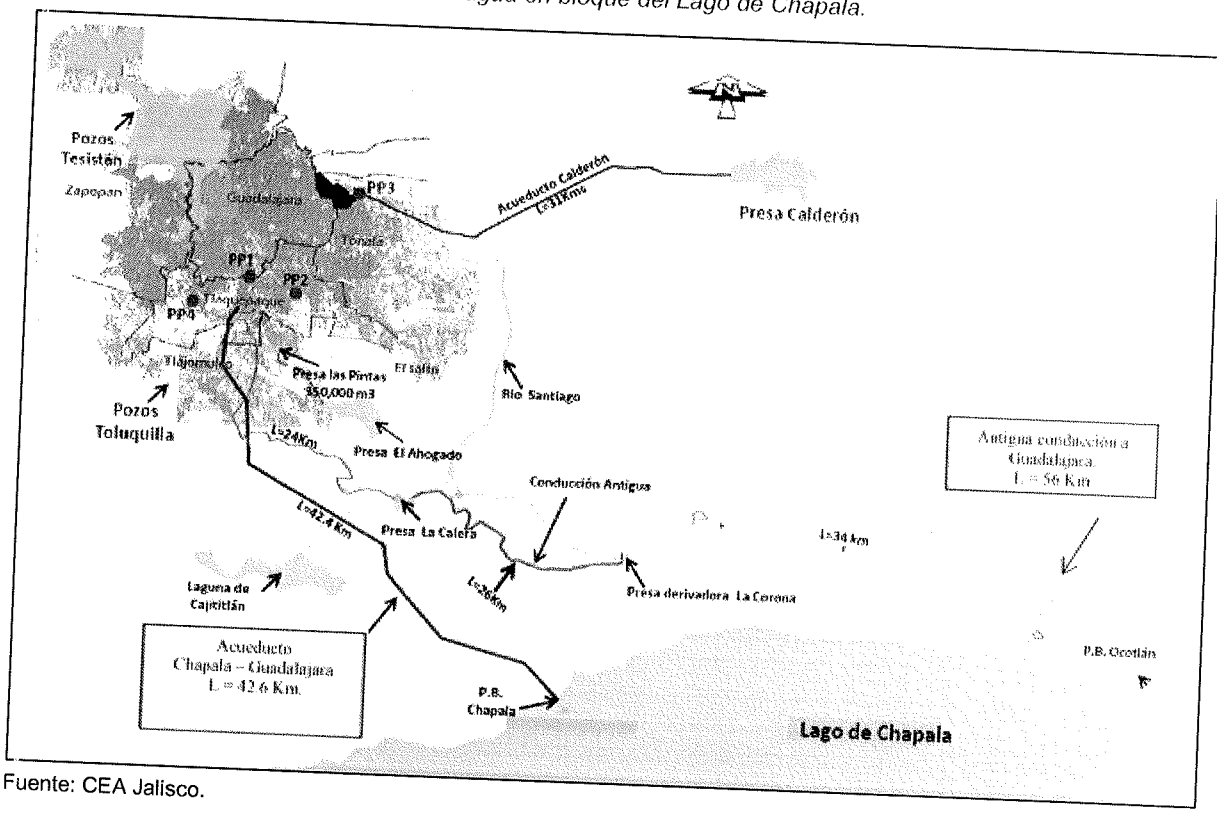
	Producción (m^3/s)
2001	5.22
2002	5.20
2003	4.93
2004	4.96
2005	5.38
2006	5.18
2007	5.19
2008	5.49
2009	5.63

	Producción (m^3/s)
2010	5.68
2011	5.71
2012	5.72
2013	6.40
2014	6.54
2015	6.53
2016	6.35
2017	6.49
2018	6.47
2019	6.50
2020	6.95
2021	6.91
2022	6.55
2023	6.80
2024	6.58
2025	6.65
Promedio	**6.00**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SIAPA.

Actualmente el agua que se extrae del Lago de Chapala se conduce a través de dos canales construidos para tal efecto: Las Pintas y Chapala-Guadalajara. El canal Las Pintas data del año 1956 y parte del municipio de Ocotlán, este canal es a cielo abierto y tiene una longitud de 56 km. A partir del año 1991 se integró a la conducción del agua extraída el canal Chapala-Guadalajara, integrado por un sistema de bombeo ubicado en Chapala, para posteriormente acceder a un acueducto con una longitud de 42.6 km. El agua de ambos canales llega en bloque a la Planta Potabilizadora Numero 1 (PP1) "Ing. Adolfo Guzmán Méndez" ubicada en Miravalle, y a la Planta Potabilizadora Numero 2 (PP2) "Ing. David Gutiérrez Carvajal" ubicada en Las Huertas.

Ilustración 14 Líneas de conducción de agua en bloque del Lago de Chapala.



Fuente: CEA Jalisco.

Acueducto Chapala-Guadalajara

Para la conducción del agua del Lago de Chapala al AMG, se utiliza el denominado ***Acueducto Chapala Guadalajara.*** Esta infraestructura data de principios de los años 80, ya que su construcción inició en 1984 y se terminó en 1991. Fue diseñado para transferir 7.5 m³/s del lago de Chapala, mediante una planta de bombeo para vencer una carga total de 138 m, longitud de 42.4 kilómetros y diámetro de 2.1 m, de ellos 26 km, son línea de impulsión con origen en la Planta de Bombeo, el resto es conducción por gravedad que inicia en el tanque de cambio de régimen localizado en el kilómetro 26.

Es de destacar que, asociado a su antigüedad y a sus 30 años de operación permanente, día a día, por no disponer de infraestructura alternativa que permita suspender su servicio, no ha sido posible dar el mantenimiento correspondiente a la línea de impulsión.

Sumado a lo anterior, como consecuencia de bombear agua cruda del Lago de Chapala, toda vez que la potabilización se proporciona en las Plantas Potabilizadoras ubicadas en el área urbana de Guadalajara, se generan incrustaciones en la tubería, lo que afecta tanto al diámetro efectivo de la tubería

como el coeficiente de rugosidad, lo que en conjunto con la pérdida de eficiencia de los equipos de bombeo reduce el aporte.

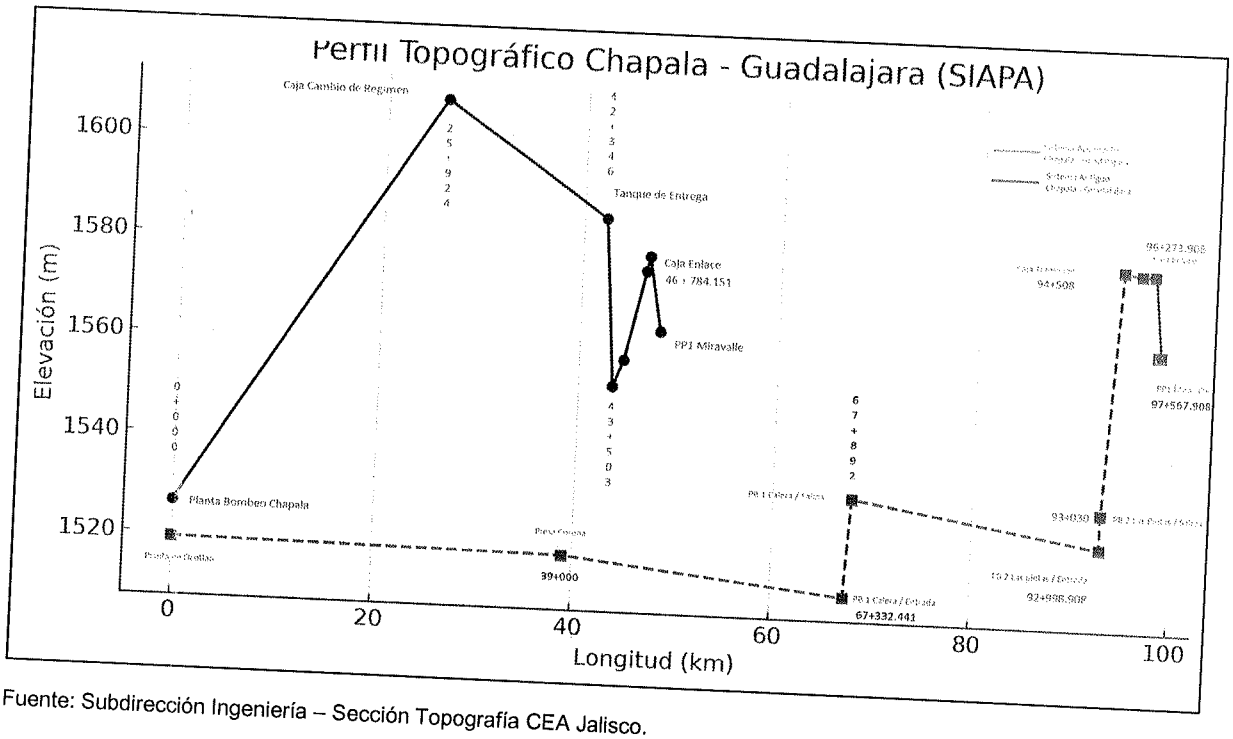
El Sistema Antiguo Chapala – Guadalajara y Sistema Acueducto, es una infraestructura hidráulica que opera a partir de un perfil topográfico detallado, con datos clave de cadenamiento, elevación y puntos de control estratégicos.

Especificaciones Técnicas:

- Cadenamiento: Rango desde 0+000 hasta 97+567.908 m, representando distancias progresivas a lo largo del sistema.
- Elevaciones: Variación de cotas entre 1512.290 m y 1579.000 m, determinando los niveles críticos del trazo.
- Puntos de Control e Infraestructura:
- Captación y regulación: Ocotlán, Presa Corona.
- Puntos de Bombeo: PB1, PB2.
- Infraestructura clave: Caja Transición, Caja Enlace, PP1 Miravalle.

Este perfil permite evaluar y optimizar la distribución hidráulica y planificar intervenciones técnicas para la operación y mantenimiento del sistema.

Ilustración 15 Perfil topográfico Chapala - Guadalajara



Fuente: Subdirección Ingeniería – Sección Topografía CEA Jalisco.

Tabla 6 Cadenamiento en el Sistema Acueducto Chapala – Guadalajara.

Cadenamiento (m)	Elevación (m)	Lugar
0+000	1526.240	Chapala
25+924	1608.166	Caja Cambio de Régimen
42+346.151	1585.617	Tanque Entrega Cerro del Cuatro
43+503.151	1552.30	Vía / Artesanos
44+542.151	1557.60	Tubos PB2
46+475	1575.40	Vía / Cemex
46+784.151	1578.43	Caja Enlace
48+078.151	1563.547	PP1 Miravalle

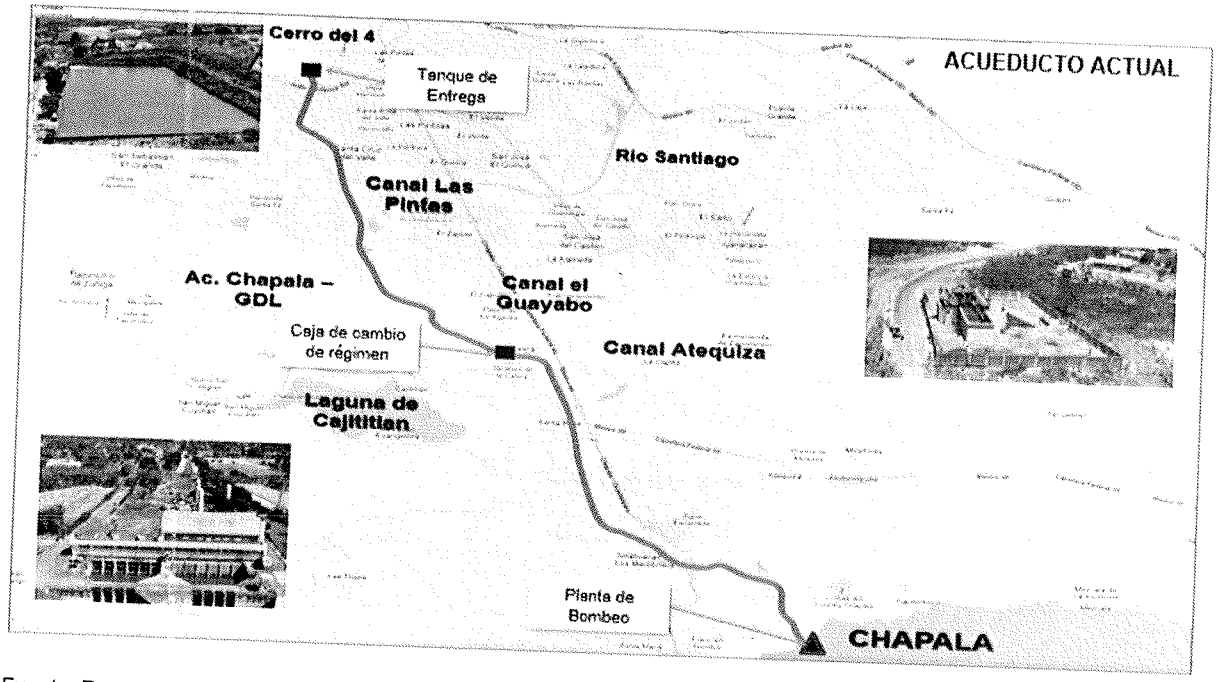
Fuente: Subdirección Ingeniería – Sección Topografía CEA Jalisco.

Tabla 7 Cadenamiento del Sistema Antiguo Chapala – Guadalajara.

Cadenamiento (m)	Elevación (m)	Lugar
0+000	1519.057	Ocotlán
39+000	1518.384	Presa Corona
67+332.441	1512.290	PB1
67+892.441	1531.837	PB1
92+998.908	1523.700	PB2
93+030.000	1530.551	PB2
94+508.908	1579.00	Caja Transición
96+273.908	1578.43	Caja Enlace
97+567.908	1563.47	PP1 Miravalle

Fuente: Subdirección Ingeniería – Sección Topografía CEA Jalisco.

Ilustración 16 Trazo del acueducto Chapala – Guadalajara



Fuente: Proyecto ejecutivo para la construcción de la infraestructura del acueducto sustituto Chapala-Guadalajara.

II.2.3.2 PRESA ELÍAS GONZÁLEZ CHÁVEZ (PRESA CALDERÓN)

La segunda fuente superficial más importante que abastece al AMG es la presa Elías González Chávez (EGC), también conocida como Presa Calderón por estar asentada sobre el cauce del río Calderón. Se encuentra ubicada en el municipio de Acatic; cuenta con una capacidad de almacenamiento de 80 Hm^3 y se encuentra a 1,625 m.s.n.m. Esta presa se comenzó a construir en el año 1989 y se concluyó la obra civil en 1991, iniciando operaciones en ese mismo año; el área de embalse de esta presa es de aproximadamente 1,000 ha. Como segunda fuente de abastecimiento superficial de abasto aporta un gasto promedio durante los últimos 25 años de 1.01 m^3/s.

Tabla 8 Gasto promedio anual aportado por la presa Elías González Chávez.

	Producción (m^3/s)
2001	0.32
2002	0.22
2003	0.90
2004	1.23
2005	1.18

	Producción (m^3/s)
2006	1.21
2007	1.08
2008	1.07
2009	1.01
2010	0.94
2011	1.05
2012	0.84
2013	0.36
2014	0.80
2015	0.88
2016	1.06
2017	1.16
2018	1.16
2019	1.31
2020	1.34
2021	0.45
2022	1.11
2023	1.30
2024	1.47
2025	1.90
Promedio	**1.01**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SIAPA.

El agua que se aprovecha de la presa EGC, cuyo volumen histórico es de aproximadamente 0.94 m^3/s, se conduce por medio de gravedad en forma directa a la Planta Potabilizadora San Gaspar (PP3) a través de un acueducto de aproximadamente 31 km de largo, con una capacidad nominal de diseño de 1.5 m^3/s que es utilizado según la disponibilidad de agua en la presa.

Como puede observarse, el año 2021 fue complejo debido al estiaje lo que redujo en más de 50% su aportación respecto al promedio anual, motivo por el cual el SIAPA implementó un programa emergente para entregar agua a través de pipas, en coordinación con los ayuntamientos del Área Metropolitana de Guadalajara a fin de mitigar las afectaciones por la temporada de estiaje y los bajos niveles de la Presa Calderón.

El programa contempló el servicio sin costo para los usuarios, en particular a las colonias en el área de influencia de la Planta Potabilizadora número 3 (San Gaspar), que da servicio principalmente a

la zona norte y oriente de la ciudad. Las principales características del programa fueron las siguientes:

- Costo total del servicio de camiones pipas $72,125,000.00 con IVA (incluye combustible, choferes, vehículos, agua, etc.).
- Volumen entregado según pipas de distintos tamaños: 441,881,012 litros
- Periodo: cuatro meses
- Población atendida: 400,000 habitantes en 159 colonias.

Operación del AMG como un sistema

Como se indicó en la descripción de las diferentes fuentes de abastecimiento, las fuentes subterráneas funcionan como un sistema general de acuíferos para abastecer a los diferentes municipios del área de influencia, especialmente considerando los acuíferos de Toluquilla y Atemajac que son los que se consideran con un mayor nivel de uso y con un mayor nivel de sobre explotación, por lo que cualquier disminución en la explotación o dejar de sobre explotarlos en el futuro permitirá tener un menor decremento en la calidad y en la disminución de los niveles de abatimiento.

Las fuentes superficiales solo se pueden centrar en el SIAPA para la ZMG debido a la distancia con los otros municipios, además de la concentración de la población.

Lo anterior implica que las fuentes que entren a la AMG son benéficas para todos los municipios del AMG debido a que comparten los acuíferos para el abastecimiento de agua potable.

Para efectos de distribución, el proyecto incluye la construcción del ramal Sur para la distribución del caudal en la zona del proyecto.

Cobertura

La cobertura del servicio de abastecimiento de agua potable en el AMG asciende a 98.5%[11], el cual, dado que es elevado, se contemplará sin cambios en el horizonte de estudio. Este valor es un promedio ponderado

[11] Censo de Población y Vivienda 2020.

considerando el dato publicado por cada municipio del AMG respecto de viviendas habitadas y disponibilidad del servicio de agua potable.

II.2.4 OFERTA SUSTENTABLE[12]

Para la adecuada evaluación del proyecto, debe manejarse el esquema de oferta sustentable para que realmente sea un caudal viable de proyectarse en el horizonte de evaluación, ya que hacer una proyección con un caudal producto de la sobre explotación es proyectar un problema existente y agravarlo en el largo plazo.

Para su obtención, se realiza de la siguiente forma.

1.- Consulta de la información oficial

Se utilizan las publicaciones del Diario Oficial de la Federación (DOF) sobre la disponibilidad de agua en los acuíferos, las cuales parten de un análisis que realiza la CONAGUA.

2.- Análisis de la disponibilidad

Los tres acuíferos de la zona de proyecto presentan déficit, es decir que su extracción de los diferentes usuarios es mayor a la recarga que se presenta.

En particular, del acuífero Atemajac se observa que sigue un deterioro creciente en el déficit que presenta llegando actualmente a 381 l/s, mientras que el de Toluquilla (que no tenía una publicación previa al 2013), tiene un déficit de 2.40 m^3/s. El caso del acuífero de Cajititlán ha tenido un incremento significativo, ya que en el año 2007 tenía inclusive disponibilidad, y actualmente llega a un déficit de 514 l/s.

Lo anterior implica que en estos recursos hídricos existe una sobre explotación de 3.295 m^3/s.

3.- Determinación de la sobre explotación de los acuíferos

Estos acuíferos son para usos urbano y no urbano (agrícola principalmente), por lo que, en base en el caudal del uso público urbano, se puede estimar la

[12] El presente apartado se contempla de conformidad con el *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Metodologías de Evaluación Socioeconómica y Estructuración de Proyectos de Inversión (Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento, Mejoramiento de Eficiencia y Protección a Centros de Población)* publicado por la CONAGUA (2015).

parte proporcional del déficit. Con base en la publicación del 2020, se conoce el total del déficit y el volumen asignado de cada uno de ellos.

4.- Determinación de la sobre explotación por tipo de usuario

De la asignación total de 316.32 Hm^3 y sabiendo que el público-urbano es de 87.03 Hm^3, se obtiene que los otros usos son de 229.29 Hm^3, lo que representa en el público urbano el 27.5% de la extracción total.

Tabla 9 Volumen explotado urbano y no urbano de los acuíferos.

Uso	Volumen (Hm3)	Proporción
Volumen Urbano	86.97	27.5%
Volumen otros usos	229.35	72.5%
Total	316.32	100%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CEA Jalisco.

5.- Determinación del caudal sustentable por tipo de usuario

Por lo anterior, con los porcentajes de cada tipo de usuario y conociendo el déficit de 103.91 Hm^3, se puede obtener la parte proporcional que se sobre explota de los acuíferos.

El decremento considerado por cada tipo de usuario se le resta al volumen explotado actual para obtener el volumen sustentable de cada uno.

Tabla 10 Volumen y gasto sustentable urbano y no urbano de los acuíferos.

Uso	Volumen (Hm^3)	Proporción	Disminución	Volumen Sustentable	Caudal sustentable (m^3/s)
Volumen Urbano	86.97	27.5%	-28.57	58.40	1.852
Volumen otros usos	229.35	72.5%	-75.34	154.01	4.884

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CEA Jalisco.

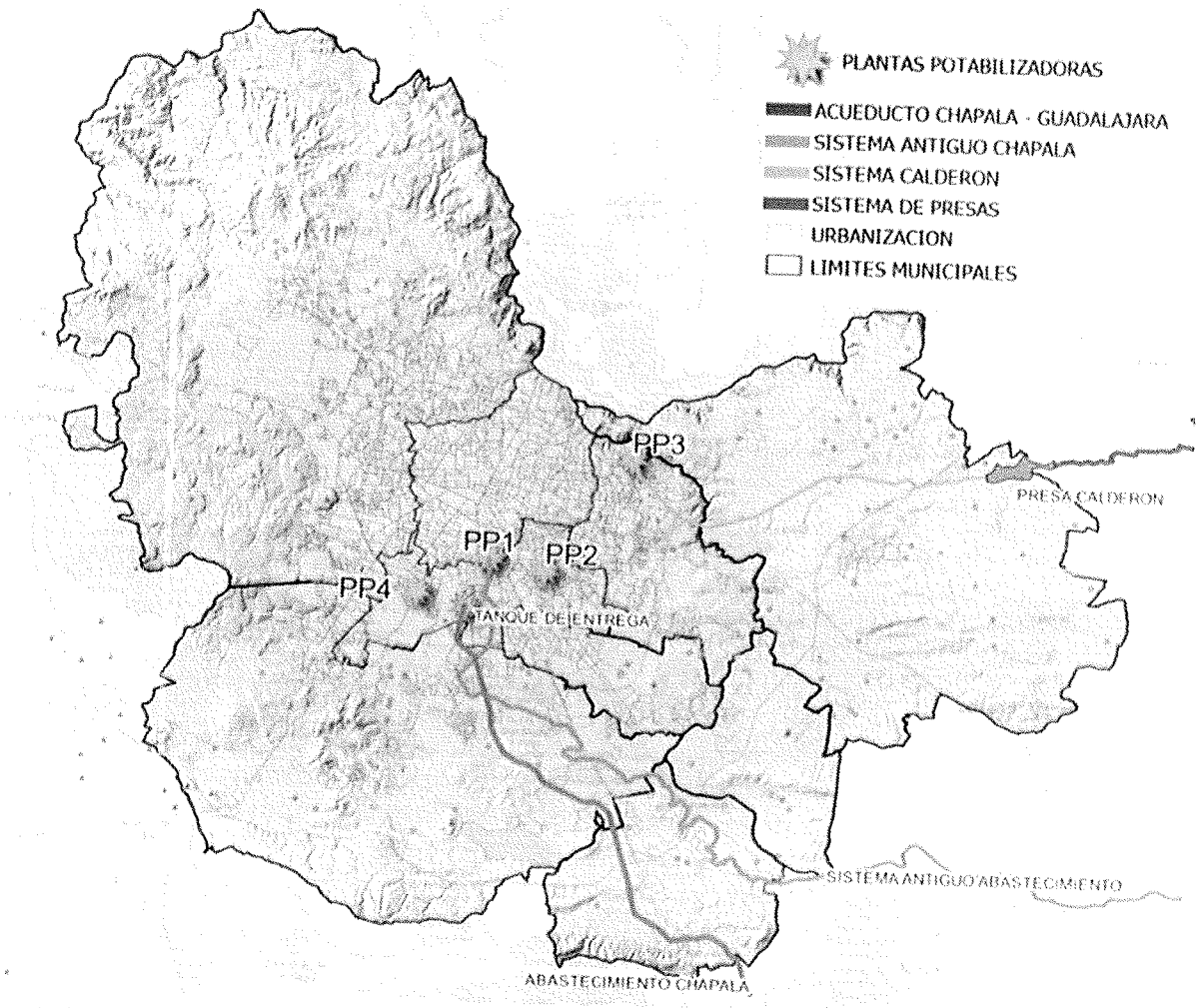
Por lo anterior, la extracción media en el sector urbano debe disminuir de 2.75 m^3/s a 1.852 m^3/s para garantizar sustentabilidad. Para llevar a cabo la reducción en la extracción, los pozos que deberían ser clausurados corresponden al acuífero Toluquilla, en virtud de que, de acuerdo con el diagnóstico, es la fuente que presenta la mayor sobreexplotación, así como problemas de metales pesados y minerales en el agua extraída.

Se reitera que esta es una medida para darle sustentabilidad a la extracción de fuentes subterráneas, pues no es viable mantener en el largo plazo un volumen de extracción superior al de recarga de los pozos.

Potabilizadoras en el AMG

El AMG cuenta con la operación de las siguiente potabilizadoras, en donde se da tratamiento al agua en bloque de fuentes superficiales.

Ilustración 17 Ubicación de potabilizadoras del SIAPA.



Fuente: Proyecto ejecutivo para la construcción de la infraestructura del acueducto sustituto Chapala-Guadalajara.

II.2.5 PROYECCIÓN DE LA OFERTA ACTUAL.

Una vez analizado los sistemas de producción, se puede resumir el registro histórico en la siguiente tabla.

Tabla 11 Gasto promedio anual abastecido por las fuentes del SIAPA (m^3/s).

	Chapala	Calderón	Subterránea	Subtotal
2001	5.22	0.32	2.88	8.42
2002	5.20	0.22	2.86	8.28
2003	4.93	0.90	2.80	8.63
2004	4.96	1.23	2.51	8.70
2005	5.38	1.18	2.51	9.07
2006	5.18	1.21	2.82	9.21
2007	5.19	1.08	2.90	9.17
2008	5.49	1.07	2.78	9.35
2009	5.63	1.01	2.69	9.32
2010	5.68	0.94	2.82	9.43
2011	5.71	1.05	2.82	9.58
2012	5.72	0.84	2.68	9.24
2013	6.40	0.36	2.76	9.53
2014	6.54	0.80	2.58	9.92
2015	6.53	0.88	2.58	10.00
2016	6.35	1.06	2.80	10.21
2017	6.49	1.16	2.87	10.52
2018	6.47	1.16	2.93	10.56
2019	6.50	1.31	2.90	10.70
2020	6.95	1.34	2.70	10.99
2021	6.91	0.45	2.72	10.08
2022	6.55	1.11	2.57	10.23
2023	6.80	1.30	2.46	10.56
2024	6.58	1.47	2.45	10.50
2025	6.65	1.90	2.50	11.05
Promedio	**6.00**	**1.01**	**2.72**	**9.73**

Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIAPA.

Estas fuentes comprenden la ZMG, por lo que para tomar la totalidad del AMG hay que tomar los otros 5 municipios, de los cuales no se tiene un registro histórico ni medición de los caudales de producción, excepto los valores obtenidos de los Diagnósticos Integrales de Planeación (DIP) del 2011 para estas localidades así como datos puntuales para el año 2018, por lo que, al no tener más información determinada en estos municipios, se considerará que estos valores son representativos de la situación actual.

Tabla 12 Gasto promedio anual abastecido por las fuentes de los municipios conurbados en 2020 (m^3/s).

Municipio	Gasto de extracción (m^3/s)
Tlajomulco de Zúñiga	0.423

Municipio	Gasto de extracción (m^3/s)
El Salto	0.053
Desarrollos habitacionales	0.141
Usuarios autoabastecidos	0.665
Juanacatlán	0.074
Ixtlahuacán de los Membrillos	0.100
Zapotlanejo	0.044
TOTAL	1.500

Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por organismos operadores.

Para la proyección de la oferta de la situación actual, se considera que el promedio de las fuentes del SIAPA puede ser representativo de la oferta dado el número de años con los que se cuenta, aunque puede estar sobre valorada debido a las disminuciones drásticas que llega a tener de forma cíclica y que se seguirán presentando e inclusive incrementando debido a las condiciones en las que se está deteriorando el Lago de Chapala y los acuíferos de la zona. Especialmente si no existen fuentes alternas a las actuales. Por tal motivo, deberán considerarse aspectos de sustentabilidad en las proyecciones.

Con respecto a los pozos del AMG se utilizará a futuro el valor estimado de explotación sustentable mientras que para el resto de las fuentes subterráneas se considerará el promedio histórico.

En lo que corresponde a pérdidas físicas en el sistema, el SIAPA presenta la siguiente información.

Tabla 13 Porcentaje de pérdidas físicas.

	2022	2023	2024	2025
Eficiencia	63.5%	63.8%	64.1%	63.1%
Pérdidas físicas	36.5%	36.2%	35.9%	36.9%

Fuente: Elaboración propia a partir de información del SIAPA.

A partir de ello, la proyección de la oferta de la situación actual queda de la siguiente forma.

Tabla 14 Proyección de la oferta en la situación actual (l/s).

AÑO	LAGO DE CHAPALA (LPS)	RESTO DE FUENTES (LPS)	PRODUCCIÓN (LPS)	OFERTA (LPS)
2026	6,001	5,337	11,338	7,201
2027	6,001	7,337	13,338	8,471
2028	6,001	7,337	13,338	8,471

AÑO	LAGO DE CHAPALA (LPS)	RESTO DE FUENTES (LPS)	PRODUCCIÓN (LPS)	OFERTA (LPS)
2029	6,001	7,337	13,338	8,471
2030	6,001	7,337	13,338	8,471
2031	6,001	7,337	13,338	8,471
2032	6,001	7,337	13,338	8,471
2033	6,001	7,337	13,338	8,471
2034	6,001	7,337	13,338	8,471
2035	6,001	7,337	13,338	8,471
2036	6,001	7,337	13,338	8,471
2037	6,001	7,337	13,338	8,471
2038	6,001	7,337	13,338	8,471
2039	6,001	7,337	13,338	8,471
2040	6,001	7,337	13,338	8,471
2041	6,001	7,337	13,338	8,471
2042	6,001	7,337	13,338	8,471
2043	6,001	7,337	13,338	8,471
2044	6,001	7,337	13,338	8,471
2045	6,001	7,337	13,338	8,471
2046	6,001	7,337	13,338	8,471
2047	6,001	7,337	13,338	8,471
2048	6,001	7,337	13,338	8,471
2049	6,001	7,337	13,338	8,471
2050	6,001	7,337	13,338	8,471
2051	6,001	7,337	13,338	8,471
2052	6,001	7,337	13,338	8,471
2053	6,001	7,337	13,338	8,471
2054	6,001	7,337	13,338	8,471
2055	6,001	7,337	13,338	8,471
2056	6,001	7,337	13,338	8,471
2057	6,001	7,337	13,338	8,471
2058	6,001	7,337	13,338	8,471

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la CEA Jalisco y SIAPA.

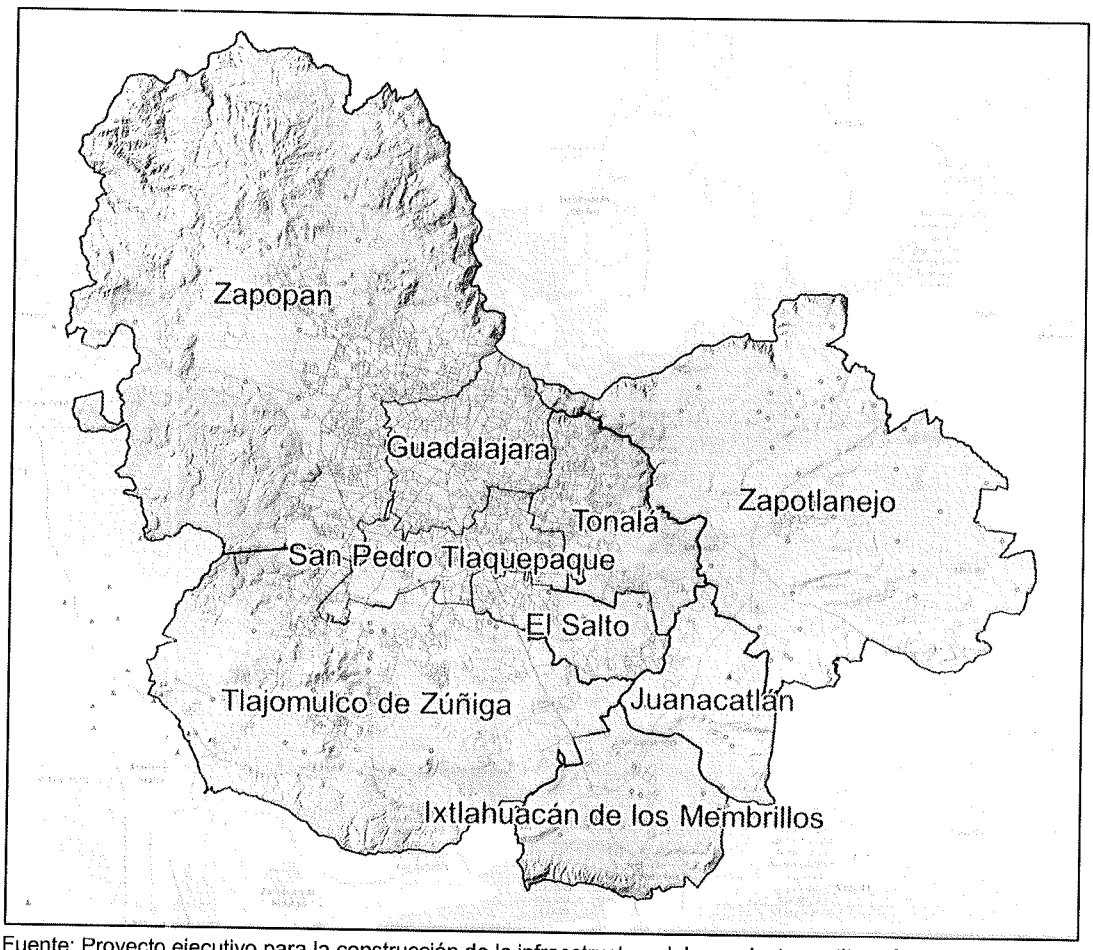
II.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA ACTUAL.

La Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) se encuentra en el Área centro del estado de Jalisco y está conformada por los municipios de Guadalajara, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan, y representa uno de los centros urbanos más importantes del país, tanto por el tamaño de su población con 4.2 millones habitantes, como por el conjunto de actividades económicas, sociales y culturales que se desarrollan en la zona. Territorialmente el crecimiento de esta zona ha experimentado un proceso de integración urbana con los municipios de El Salto, Ixtlahuacán de los Membrillos, Juanacatlán, Zapotlanejo y Tlajomulco de Zúñiga (este último, es uno de los municipios con mayor crecimiento poblacional del País y el número uno en Jalisco en crecimiento poblacional) por lo que se ha denominado a este conjunto como el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG).

De esta forma, el AMG se integra por 9 municipios, que para el año 2020 tienen una población estimada de 5.2 millones de habitantes, es la más poblada junto con el Área Metropolitana de Monterrey (ZMM) y por debajo de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

En el mapa se presenta la localización geográfica de los municipios que integran el AMG.

Ilustración 18 Municipios en el Área Metropolitana de Guadalajara



Fuente: Proyecto ejecutivo para la construcción de la infraestructura del acueducto sustituto Chapala-Guadalajara.

El Área Metropolitana de Guadalajara ocupa en total una extensión territorial de 2,734 km^2, representando el 3.4% de la superficie total de estado.

II.3.1 POBLACIÓN

Para la proyección de la población se utilizaron los datos del último censo del Consejo Nacional de Población (CONAPO) para los 8 municipios, obteniéndose lo siguiente.

Tabla 15 Proyección de población del AMG.

	Tasa de crecimiento CONAPO	Población total
2020		8,507,662
2021	0.77%	8,573,447
2022	0.87%	8,647,986
2023	1.01%	8,735,511

	Tasa de crecimiento CONAPO	Población total
2024	0.98%	8,820,915
2025	0.93%	8,903,326
2026	0.88%	8,982,027
2027	0.83%	9,056,773
2028	0.78%	9,127,766
2029	0.74%	9,195,384
2030	0.70%	9,259,907
2031	0.67%	9,321,688
2032	0.64%	9,380,983
2033	0.61%	9,438,200
2034	0.59%	9,493,580
2035	0.57%	9,547,250
2036	0.54%	9,599,196
2037	0.52%	9,649,233
2038	0.50%	9,697,072
2039	0.47%	9,742,320
2040	0.44%	9,784,753
2041	0.40%	9,824,040
2042	0.37%	9,860,136
2043	0.33%	9,893,126
2044	0.30%	9,923,152
2045	0.27%	9,950,380
2046	0.25%	9,975,039
2047	0.22%	9,997,348
2048	0.20%	10,017,500
2049	0.18%	10,035,595
2050	0.16%	10,051,671
2051	0.14%	10,065,711
2052	0.12%	10,077,570
2053	0.09%	10,087,061
2054	0.07%	10,093,962
2055	0.04%	10,098,071
2056	0.01%	10,099,320
2057	-0.02%	10,097,629
2058	-0.04%	10,093,159

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONAPO y resultados de la Encuesta Intercensal 2015 INEGI.

Para la proyección a nivel municipal se tomó en cuenta la misma tasa de CONAPO y se aplicó al dato obtenido del Censo de Población y Vivienda 2020 para cada municipio del AMG.

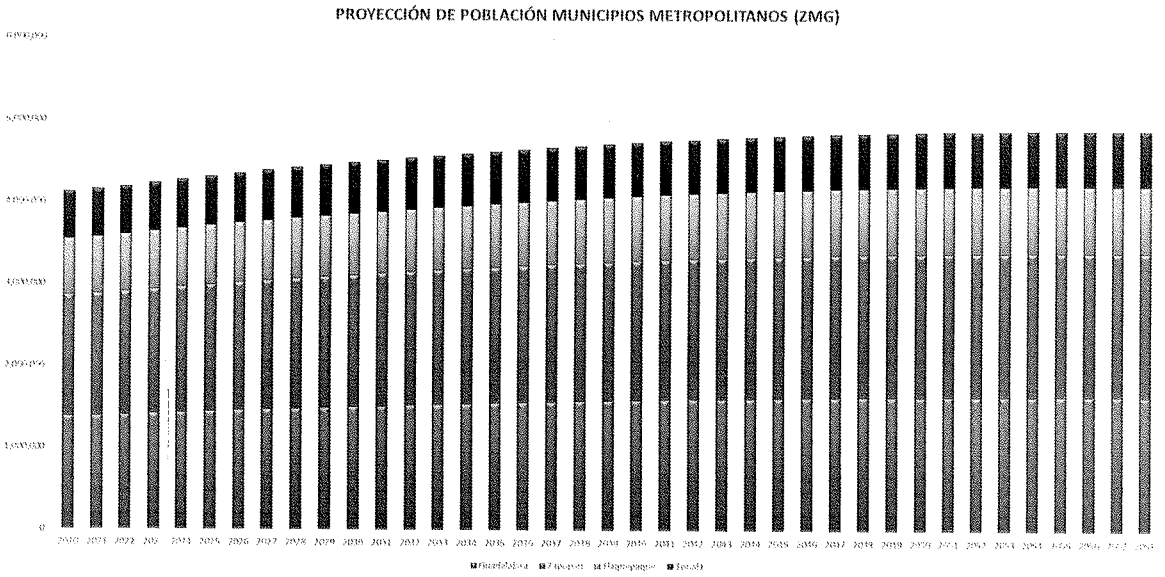
Tabla 16 Proyección de la población del AMG (2020-2058).

MUN	Guadalajara	Zapopan	Tlaquepaque	Tonalá	Tlajomulco de Zúñiga	Ixtlahuacán de los Membrillos	Juanacatlán	El Salto	Zapotlanejo
2020	1,385,629	1,476,491	687,127	569,913	727,750	67,969	30,855	232,852	64,806
2021	1,396,343	1,487,908	692,440	574,320	733,377	68,495	31,094	234,653	65,307
2022	1,408,483	1,500,844	698,460	579,313	739,753	69,091	31,364	236,693	65,875
2023	1,422,738	1,516,034	705,529	585,176	747,240	69,790	31,681	239,089	66,542
2024	1,436,648	1,530,856	712,427	590,897	754,546	70,472	31,991	241,426	67,193
2025	1,450,070	1,545,158	719,083	596,418	761,595	71,130	32,290	243,682	67,821
2026	1,462,888	1,558,816	725,439	601,690	768,327	71,759	32,575	245,836	68,421
2027	1,475,062	1,571,788	731,476	606,697	774,721	72,356	32,846	247,882	68,990
2028	1,486,625	1,584,109	737,210	611,453	780,794	72,923	33,103	249,825	69,531
2029	1,497,638	1,595,844	742,671	615,983	786,578	73,463	33,348	251,676	70,046
2030	1,508,147	1,607,042	747,882	620,305	792,097	73,978	33,582	253,442	70,538
2031	1,518,209	1,617,764	752,872	624,444	797,382	74,472	33,806	255,133	71,009
2032	1,527,866	1,628,055	757,661	628,416	802,454	74,946	34,021	256,756	71,461
2033	1,537,185	1,637,985	762,282	632,249	807,348	75,403	34,229	258,322	71,897
2034	1,546,205	1,647,596	766,755	635,959	812,085	75,845	34,430	259,838	72,319
2035	1,554,946	1,656,910	771,090	639,554	816,676	76,274	34,625	261,307	72,728
2036	1,563,406	1,665,925	775,285	643,034	821,119	76,689	34,813	262,729	73,124
2037	1,571,555	1,674,609	779,326	646,386	825,399	77,089	34,994	264,099	73,505
2038	1,579,346	1,682,911	783,190	649,591	829,491	77,471	35,167	265,408	73,869
2039	1,586,715	1,690,764	786,844	652,622	833,362	77,832	35,331	266,646	74,214
2040	1,593,626	1,698,128	790,271	655,465	836,992	78,171	35,485	267,807	74,537
2041	1,600,025	1,704,946	793,444	658,097	840,353	78,485	35,627	268,882	74,836
2042	1,605,904	1,711,210	796,359	660,515	843,441	78,773	35,758	269,870	75,111
2043	1,611,277	1,716,935	799,023	662,725	846,263	79,037	35,878	270,773	75,362
2044	1,616,167	1,722,146	801,448	664,736	848,831	79,277	35,987	271,595	75,591
2045	1,620,602	1,726,871	803,647	666,560	851,160	79,495	36,086	272,340	75,798
2046	1,624,618	1,731,151	805,639	668,212	853,269	79,692	36,175	273,015	75,986
2047	1,628,251	1,735,023	807,441	669,706	855,177	79,870	36,256	273,626	76,156
2048	1,631,533	1,738,520	809,069	671,056	856,901	80,031	36,329	274,178	76,310
2049	1,634,480	1,741,660	810,530	672,268	858,449	80,176	36,395	274,673	76,448
2050	1,637,098	1,744,450	811,828	673,345	859,824	80,304	36,453	275,113	76,570
2051	1,639,385	1,746,887	812,962	674,286	861,025	80,416	36,504	275,497	76,677
2052	1,641,316	1,748,945	813,920	675,080	862,039	80,511	36,547	275,822	76,767
2053	1,642,862	1,750,592	814,687	675,716	862,851	80,587	36,581	276,082	76,839
2054	1,643,986	1,751,790	815,244	676,178	863,441	80,642	36,606	276,271	76,892

MUN	Guadalajara	Zapopan	Tlaquepaque	Tonalá	Tlajomulco de Zúñiga	Ixtlahuacán de los Membrillos	Juanacatlán	El Salto	Zapotlanejo
2055	1,644,655	1,752,503	815,576	676,453	863,792	80,675	36,621	276,383	76,923
2056	1,644,858	1,752,720	815,677	676,537	863,899	80,685	36,626	276,417	76,933
2057	1,644,583	1,752,427	815,540	676,424	863,754	80,671	36,620	276,371	76,920
2058	1,643,855	1,751,651	815,179	676,125	863,372	80,635	36,604	276,249	76,886

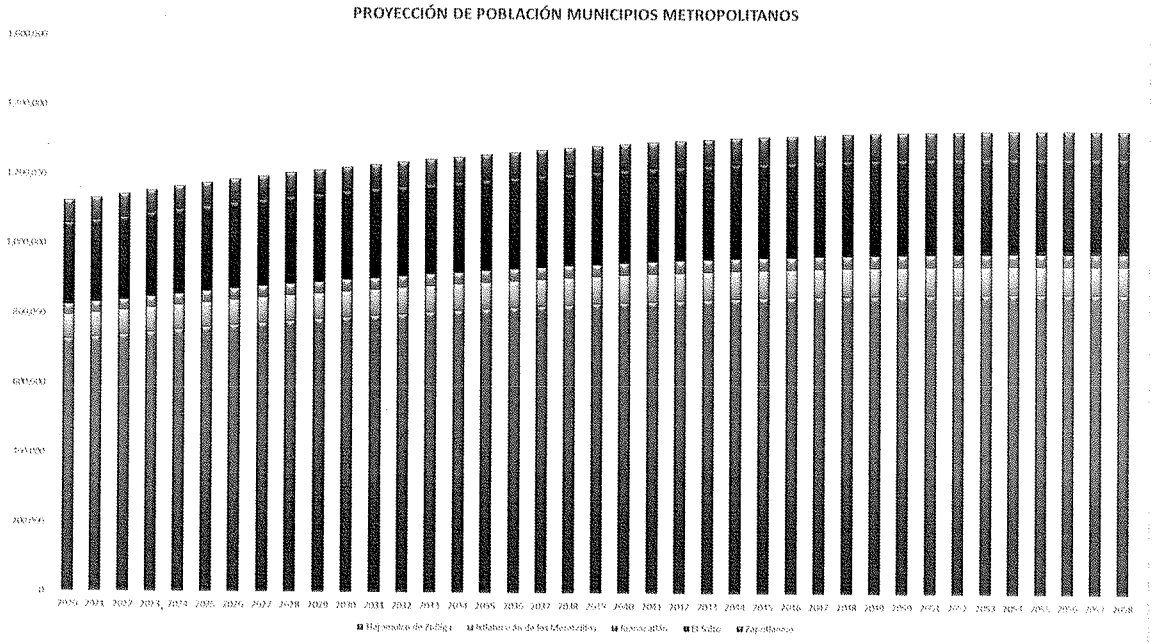
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONAPO e INEGI.

Gráfica 4 Proyección de población total para municipios del AMG: Guadalajara, Zapopan, Tonalá y San Pedro Tlaquepaque



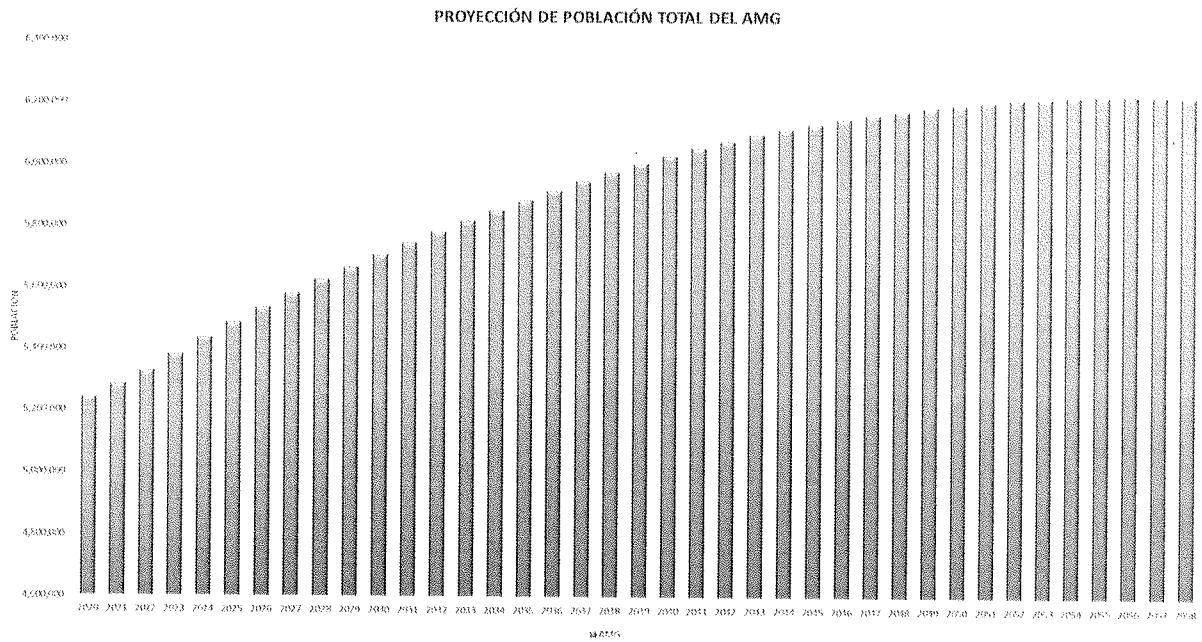
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONAPO e INEGI.

Gráfica 5 Proyección de población total para municipios del AMG: El Salto, Tlajomulco de Zúñiga, Juanacatlán, Zapotlanejo e Ixtlahuacán de los Membrillos



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONAPO e INEGI.

Gráfica 6 Proyección de la población en el Área Metropolitana de Guadalajara al 2058



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONAPO e INEGI.

Mediante tendencia se hizo la proyección para todo el horizonte de evaluación, por lo que se estimó una población de 5.6 millones de habitantes al 2026 y se estima que llegue a 6.2 millones de habitantes al año 2058.

II.3.2 CONSUMOS

El consumo deseable del sistema de agua potable para la población del AMG es la cantidad de agua en toma que está dispuesta a consumir la población bajo un esquema de no restricción en la oferta, con medición y pago y considerando las tarifas vigentes.

II.3.2.1 USUARIOS NO DOMÉSTICOS

Para el cálculo de los usuarios no domésticos, se tomaron en primera instancia los datos del SIAPA, el cual tiene tipificados tres diferentes tipos de usuarios no domésticos.

Tabla 17 Usuarios no domésticos del SIAPA (tomas).

Año	Tomas comerciales	Tomas industriales	Tomas Públicas/Gobierno
2011	85,885	3,601	4,414
2012	87,731	3,614	4,551
2013	88,727	3,533	4,673
2014	89,180	3,503	4,721
2015	90,508	3,464	4,772
2016	91,238	3,432	4,676
2017	92,643	3,406	4,694
2018	93,445	3,402	4,779
2019	94,064	3,375	4,805
2020	94,412	3,367	4,809
2021	94,115	3,335	4,804
2022	94,763	3,322	4,856
2023	95,791	3,371	4,891
2024	96,505	3,414	4,905
2025	97,872	3,457	4,977

Fuente: Elaboración propia a partir de información del SIAPA.

De los consumos facturados se obtuvieron los consumos unitarios por tipo de toma.

Tabla 18 Consumos de los usuarios no domésticos del SIAPA.

Consumos de agua potable SIAPA		
Tomas comerciales	19.02	m^3/toma/mes
Tomas industriales	119.27	m^3/toma/mes

Consumos de agua potable SIAPA		
Tomas públicas	220.76	m^3/toma/mes

Nota: Se consideró el valor reportado en el año 2022 para la proyección debido a que presenta una tendencia decreciente durante los últimos años.
Fuente: Elaboración propia a partir de información del SIAPA.

Para la proyección de las tomas se analizaron los crecimientos históricos de las tomas, para lo cual se estimó una tasa ponderada considerando los usuarios con servicio medido y los usuarios con cuota fija.

II.3.2.2 TOMAS POR TIPO DE MEDICIÓN

En México se considera el término de *Agua no contabilizada* para incluir todo lo referente a las pérdidas físicas ocasionadas por fugas, usuarios clandestinos y errores o falta de medición, principalmente.

En lo que corresponde a usuarios no medidos, se dispone de la siguiente información derivada del Diagnóstico Integral de Planeación del SIAPA.

Tabla 19 Tomas de usuarios con cuota fija.

Año	Tomas domésticas	Tomas comerciales	Tomas industriales	Tomas Públicas/Gobierno	Total
2011	93,658	14,257	189	1,168	**109,272**
2012	104,027	15,318	193	1,242	**120,780**
2013	112,615	15,703	187	1,337	**129,842**
2014	118,758	15,830	189	1,377	**136,154**
2015	128,484	16,405	185	1,411	**146,485**
2016	128,291	15,966	179	1,289	**145,725**
2017	128,351	15,877	165	1,279	**145,672**
2018	130,816	16,019	173	1,345	**148,353**
2019	134,844	15,868	171	1,359	**152,242**
2020	130,132	15,766	168	1,355	**147,421**
2021	129,180	15,461	165	1,341	**146,147**
2022	131,449	15,270	163	1,376	**148,258**
2023	129,590	15,054	163	1,357	**146,163**
2024	126,436	14,688	163	1,324	**142,611**
2025	128,883	14,972	163	1,349	**145,367**

Fuente: Elaboración propia a partir de información del SIAPA.

Tabla 20 Tomas de usuarios con servicio medido.

Año	Tomas domésticas	Tomas comerciales	Tomas industriales	Tomas Públicas/Gobierno	Total
2011	811,751	71,628	3,412	3,246	**890,037**
2012	825,315	72,413	3,421	3,309	**904,458**
2013	836,435	73,024	3,346	3,336	**916,141**
2014	846,169	73,350	3,314	3,344	**926,177**
2015	858,422	74,103	3,279	3,361	**939,165**
2016	875,301	75,272	3,253	3,387	**957,213**
2017	891,748	76,766	3,241	3,415	**975,170**
2018	904,865	77,426	3,229	3,434	**988,954**
2019	921,111	78,196	3,204	3,446	**1,005,957**
2020	932,813	78,646	3,199	3,454	**1,018,112**
2021	942,347	78,654	3,170	3,463	**1,027,634**
2022	955,605	79,493	3,159	3,480	**1,041,737**
2023	970,554	80,737	3,208	3,534	**1,058,033**
2024	983,534	81,817	3,251	3,581	**1,072,183**
2025	996,551	82,900	3,294	3,628	**1,086,373**

Fuente: Elaboración propia a partir de información del SIAPA.

II.3.2.3 CÁLCULO DE LA DEMANDA ACTUAL

De conformidad con los datos descritos y el valor de demanda deseada se obtiene la demanda total para el año 2025.

Tabla 21 Demanda actual del AMG (año 2025).

DATOS DEL AMG	2025
Población	5,487,247
Cobertura	0.93%
Población servida AMG	98.5%
CONSUMO DOMÉSTICO (l/s)	5,405,161
CONSUMOS NO DOMÉSTICOS (l/s)	**9,086**
DEMANDA TOTAL (l/s)	**1,454**

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la CEA Jalisco.

II.3.2.4 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA ACTUAL

Con estos datos, se obtiene una proyección de la demanda actual a partir del año 2026 siendo de 10.6 m^3/s que se estima llegue a 12.2 m^3/s en el año 2058.

Tabla 22 Proyección de Demanda de la Situación Actual del AMG.

	Población	Tasa de crec.	Cobertura	Población servida AMG	Demanda doméstico (l/s)	Demanda no domésticos (l/s)	Demanda total (l/s)
2026	5,535,751	0.88%	98.50%	5,452,940	9,167	1,466	10,632
2027	5,581,818	0.83%	98.50%	5,498,317	9,243	1,478	10,721
2028	5,625,573	0.78%	98.50%	5,541,418	9,315	1,490	10,805
2029	5,667,247	0.74%	98.50%	5,582,468	9,384	1,502	10,886
2030	5,707,013	0.70%	98.50%	5,621,640	9,450	1,514	10,964
2031	5,745,091	0.67%	98.50%	5,659,148	9,513	1,527	11,040
2032	5,781,636	0.64%	98.50%	5,695,146	9,574	1,539	11,113
2033	5,816,900	0.61%	98.50%	5,729,883	9,632	1,552	11,184
2034	5,851,032	0.59%	98.50%	5,763,504	9,689	1,565	11,254
2035	5,884,110	0.57%	98.50%	5,796,087	9,744	1,578	11,321
2036	5,916,124	0.54%	98.50%	5,827,622	9,797	1,591	11,387
2037	5,946,962	0.52%	98.50%	5,857,999	9,848	1,604	11,452
2038	5,976,444	0.50%	98.50%	5,887,040	9,896	1,617	11,514
2039	6,004,330	0.47%	98.50%	5,914,509	9,943	1,631	11,574
2040	6,030,482	0.44%	98.50%	5,940,270	9,986	1,645	11,631
2041	6,054,695	0.40%	98.50%	5,964,120	10,026	1,658	11,684
2042	6,076,941	0.37%	98.50%	5,986,034	10,063	1,672	11,735
2043	6,097,273	0.33%	98.50%	6,006,062	10,097	1,686	11,783
2044	6,115,778	0.30%	98.50%	6,024,290	10,127	1,701	11,828
2045	6,132,559	0.27%	98.50%	6,040,820	10,155	1,715	11,870
2046	6,147,757	0.25%	98.50%	6,055,790	10,180	1,729	11,910
2047	6,161,506	0.22%	98.50%	6,069,334	10,203	1,744	11,947
2048	6,173,927	0.20%	98.50%	6,081,569	10,223	1,759	11,982
2049	6,185,079	0.18%	98.50%	6,092,554	10,242	1,774	12,016
2050	6,194,985	0.16%	98.50%	6,102,312	10,258	1,789	12,047
2051	6,203,639	0.14%	98.50%	6,110,836	10,273	1,804	12,077
2052	6,210,947	0.12%	98.50%	6,118,035	10,285	1,820	12,104
2053	6,216,797	0.09%	98.50%	6,123,798	10,294	1,835	12,130
2054	6,221,050	0.07%	98.50%	6,127,987	10,301	1,851	12,152
2055	6,223,581	0.04%	98.50%	6,130,480	10,306	1,867	12,172
2056	6,224,352	0.01%	98.50%	6,131,239	10,307	1,883	12,190
2057	6,223,310	-0.02%	98.50%	6,130,213	10,305	1,899	12,204
2058	6,220,556	-0.04%	98.50%	6,127,500	10,301	1,915	12,216

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la CEA Jalisco.

II.4 INTERACCIÓN DE LA OFERTA-DEMANDA

Una vez que se consideran ambos escenarios de proyección en la oferta y la demanda acorde a los supuestos de cada apartado, el balance obtenido es el siguiente.

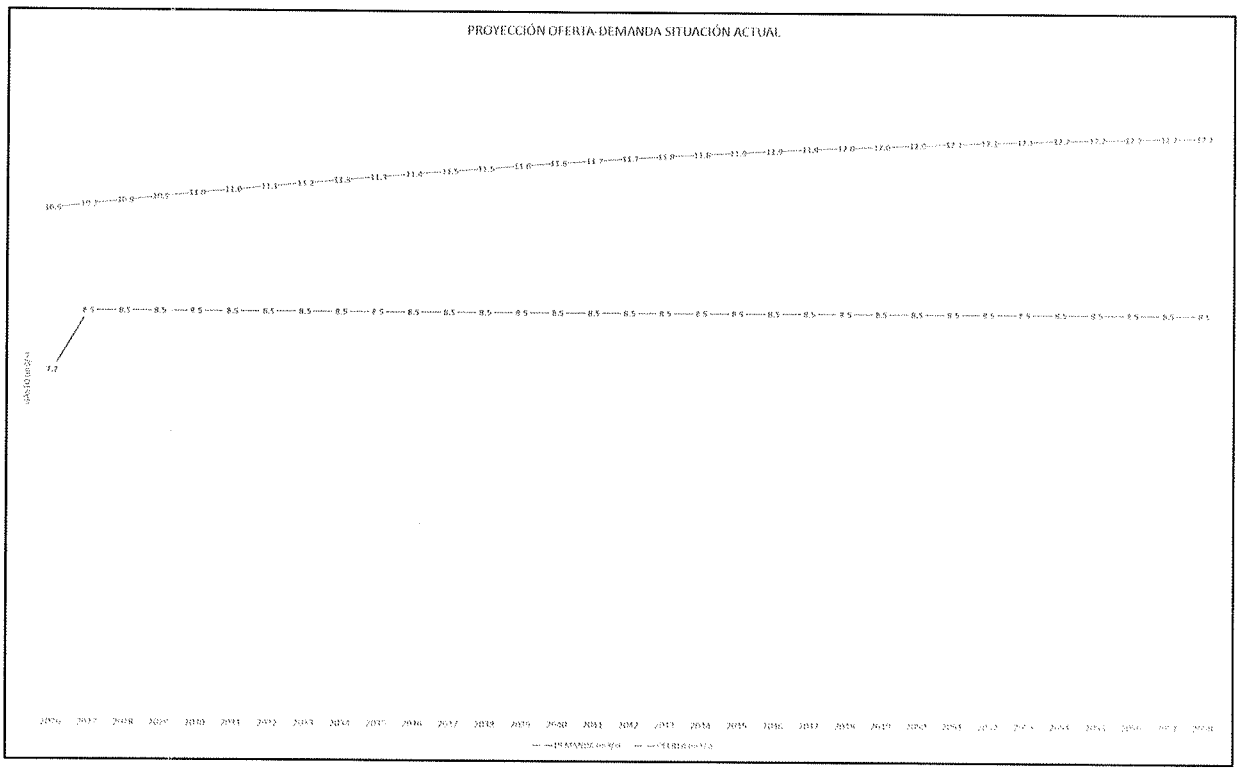
Tabla 23 Proyección del Balance Oferta-Demanda de la Situación Actual del AMG.

AÑO	DEMANDA	OFERTA	BALANCE
2026	10,632	7,201	- 3,432
2027	10,721	8,471	- 2,250
2028	10,805	8,471	- 2,334
2029	10,886	8,471	- 2,416
2030	10,964	8,471	- 2,494
2031	11,040	8,471	- 2,569
2032	11,113	8,471	- 2,642
2033	11,184	8,471	- 2,713
2034	11,254	8,471	- 2,783
2035	11,321	8,471	- 2,851
2036	11,387	8,471	- 2,917
2037	11,452	8,471	- 2,981
2038	11,514	8,471	- 3,043
2039	11,574	8,471	- 3,103
2040	11,631	8,471	- 3,160
2041	11,684	8,471	- 3,214
2042	11,735	8,471	- 3,264
2043	11,783	8,471	- 3,312
2044	11,828	8,471	- 3,357
2045	11,870	8,471	- 3,399
2046	11,910	8,471	- 3,439
2047	11,947	8,471	- 3,476
2048	11,982	8,471	- 3,512
2049	12,016	8,471	- 3,545
2050	12,047	8,471	- 3,577
2051	12,077	8,471	- 3,606
2052	12,104	8,471	- 3,634
2053	12,130	8,471	- 3,659
2054	12,152	8,471	- 3,682
2055	12,172	8,471	- 3,702

AÑO	DEMANDA	OFERTA	BALANCE
2056	12,190	8,471	- 3,719
2057	12,204	8,471	- 3,734
2058	12,216	8,471	- 3,745

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la CEA Jalisco.

Gráfica 7 Proyección del balance oferta-demanda de la situación actual del AMG (l/s)



Fuente: Elaboración propia.

III. SITUACIÓN SIN EL PPI

En esta sección se describe la situación esperada en ausencia del proyecto de inversión y se analizan las optimizaciones, las cuales son medidas de bajo costo o proyectos en marcha que permitan optimizar la situación actual al reducir el déficit en la demanda.

III.1 OPTIMIZACIONES.

Para la evaluación del proyecto se debe analizar la situación sin proyecto que corresponde a la situación actual incorporando las optimizaciones, las cuales corresponden a acciones de bajo costo (se consideran opciones que representen el 10% del monto de inversión del proyecto analizado) o proyectos en marcha que permitan no adjudicar beneficios al proyecto que no le correspondan.

En este sentido, el SIAPA tiene en proceso diversas acciones para mejorar la eficiencia operativa, tales como acciones en materia de sectorización, sustitución de medidores y recuperación de caudales mediante reducción de pérdidas físicas.

Como resultado de estos componentes, se espera una mejora en la eficiencia física, respecto de los valores prevalecientes durante los últimos años. Conforme a la información analizada, actualmente el SIAPA tiene un nivel aproximado de 36.86% el cual se pretende llevar a 28%. Para efecto de evaluación, se consideró un plazo de 10 años para lograrlo. En la tabla 25 se estimó la potencial recuperación de caudales a partir de la reducción de pérdidas físicas.

Tabla 24 Pérdidas físicas históricas del SIAPA.

	2022	2023	2024	2025
Eficiencia	63.5%	63.8%	64.1%	63.1%
Pérdidas físicas	36.5%	36.2%	35.9%	36.9%

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la CEA Jalisco y el SIAPA.

Tabla 25 Recuperación de caudales estimada (l/s).

AÑO	Gasto recuperado
2026	58.7
2027	187.2
2028	305.4
2029	423.6
2030	541.7
2031	659.9

AÑO	Gasto recuperado
2032	778.1
2033	896.2
2034	1,014.4
2035	1,132.6

Fuente: Elaboración propia.

III.2. PROYECCIÓN DE LA OFERTA DE LA SITUACIÓN SIN PROYECTO

La oferta de la situación actual se considera optimizada al no incorporar fuentes alternas y reconociendo un criterio de explotación sustentable para las fuentes subterráneas, por lo que será igual a la oferta de la situación sin proyecto.

Tabla 26 Proyección de la oferta en la situación sin proyecto (l/s).

AÑO	LAGO DE CHAPALA	RESTO DE FUENTES	PRODUCCIÓN	OFERTA
2029	6,001	7,337	13,338	8,894
2030	6,001	7,337	13,338	9,012
2031	6,001	7,337	13,338	9,131
2032	6,001	7,337	13,338	9,249
2033	6,001	7,337	13,338	9,367
2034	6,001	7,337	13,338	9,485
2035	6,001	7,337	13,338	9,603
2036	6,001	7,337	13,338	9,603
2037	6,001	7,337	13,338	9,603
2038	6,001	7,337	13,338	9,603
2039	6,001	7,337	13,338	9,603
2040	6,001	7,337	13,338	9,603
2041	6,001	7,337	13,338	9,603
2042	6,001	7,337	13,338	9,603
2043	6,001	7,337	13,338	9,603
2044	6,001	7,337	13,338	9,603
2045	6,001	7,337	13,338	9,603
2046	6,001	7,337	13,338	9,603
2047	6,001	7,337	13,338	9,603
2048	6,001	7,337	13,338	9,603

AÑO	LAGO DE CHAPALA	RESTO DE FUENTES	PRODUCCIÓN	OFERTA
2049	6,001	7,337	13,338	9,603
2050	6,001	7,337	13,338	9,603
2051	6,001	7,337	13,338	9,603
2052	6,001	7,337	13,338	9,603
2053	6,001	7,337	13,338	9,603
2054	6,001	7,337	13,338	9,603
2055	6,001	7,337	13,338	9,603
2056	6,001	7,337	13,338	9,603
2057	6,001	7,337	13,338	9,603
2058	6,001	7,337	13,338	9,603

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la CEA Jalisco y cálculos propios.

III.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA

La demanda es la cantidad de agua que requieren los usuarios sin restricción de acuerdo con las condiciones actuales. Se obtuvo una proyección de la demanda para el horizonte de evaluación.

Tabla 27 Proyección de demanda de la situación sin proyecto del AMG (l/s).

AÑO	DEMANDA DOMÉSTICA	DEMANDA NO DOMÉSTICOS	DEMANDA TOTAL
2029	9,384	1,502	10,886
2030	9,450	1,514	10,964
2031	9,513	1,527	11,040
2032	9,574	1,539	11,113
2033	9,632	1,552	11,184
2034	9,689	1,565	11,254
2035	9,744	1,578	11,321
2036	9,797	1,591	11,387
2037	9,848	1,604	11,452
2038	9,896	1,617	11,514
2039	9,943	1,631	11,574
2040	9,986	1,645	11,631
2041	10,026	1,658	11,684
2042	10,063	1,672	11,735

AÑO	DEMANDA DOMÉSTICA	DEMANDA NO DOMÉSTICOS	DEMANDA TOTAL
2043	10,097	1,686	11,783
2044	10,127	1,701	11,828
2045	10,155	1,715	11,870
2046	10,180	1,729	11,910
2047	10,203	1,744	11,947
2048	10,223	1,759	11,982
2049	10,242	1,774	12,016
2050	10,258	1,789	12,047
2051	10,273	1,804	12,077
2052	10,285	1,820	12,104
2053	10,294	1,835	12,130
2054	10,301	1,851	12,152
2055	10,306	1,867	12,172
2056	10,307	1,883	12,190
2057	10,305	1,899	12,204
2058	10,301	1,915	12,216

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la CEA Jalisco y cálculos propios.

III.4 DIAGNÓSTICO DE LA INTERACCIÓN OFERTA-DEMANDA

A partir de las proyecciones realizadas para la oferta y la demanda sin proyecto se obtuvo el siguiente balance para el horizonte de evaluación.

Tabla 28 Proyección del balance oferta-demanda de la situación sin proyecto del AMG (l/s).

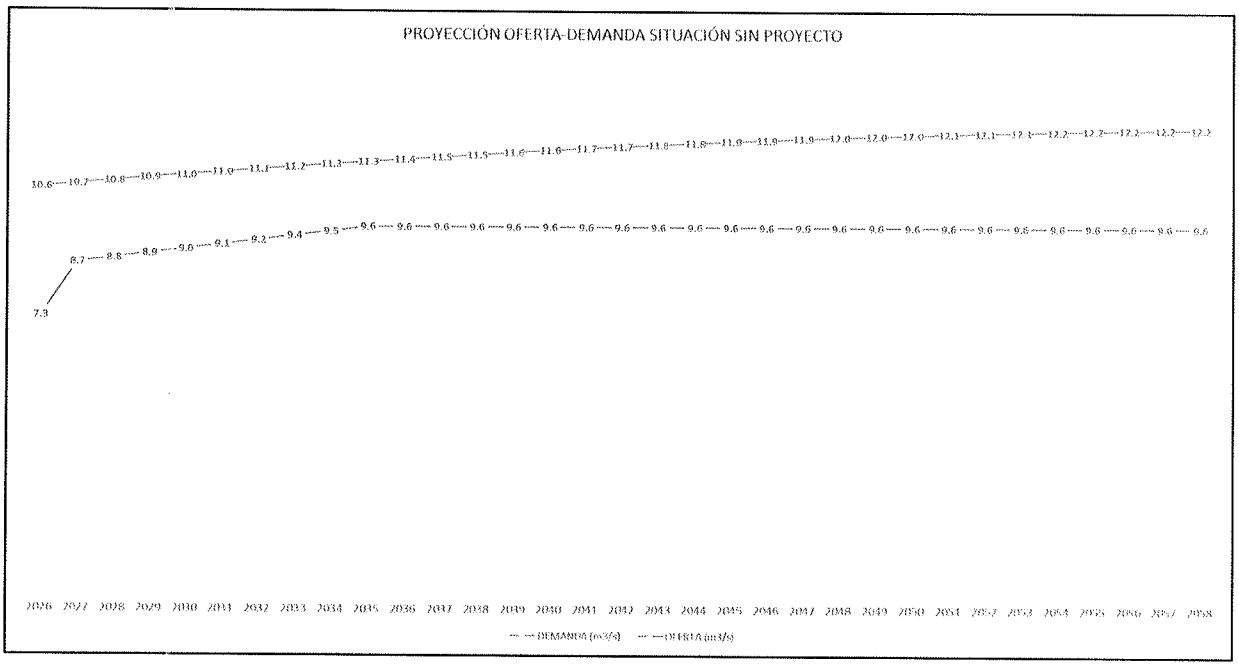
AÑO	DEMANDA	OFERTA	BALANCE
2029	10,886	8,894	- 1,992
2030	10,964	9,012	- 1,952
2031	11,040	9,131	- 1,909
2032	11,113	9,249	- 1,864
2033	11,184	9,367	- 1,817
2034	11,254	9,485	- 1,768
2035	11,321	9,603	- 1,718
2036	11,387	9,603	- 1,784
2037	11,452	9,603	- 1,848
2038	11,514	9,603	- 1,911

AÑO	DEMANDA	OFERTA	BALANCE
2039	11,574	9,603	- 1,970
2040	11,631	9,603	- 2,027
2041	11,684	9,603	- 2,081
2042	11,735	9,603	- 2,132
2043	11,783	9,603	- 2,180
2044	11,828	9,603	- 2,224
2045	11,870	9,603	- 2,267
2046	11,910	9,603	- 2,306
2047	11,947	9,603	- 2,344
2048	11,982	9,603	- 2,379
2049	12,016	9,603	- 2,412
2050	12,047	9,603	- 2,444
2051	12,077	9,603	- 2,474
2052	12,104	9,603	- 2,501
2053	12,130	9,603	- 2,526
2054	12,152	9,603	- 2,549
2055	12,172	9,603	- 2,569
2056	12,190	9,603	- 2,586
2057	12,204	9,603	- 2,601
2058	12,216	9,603	- 2,613

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la CEA Jalisco y cálculos propios.

El déficit en el año 2029 es 2.0 m^3/s y se contempla que llegue a 2.6 m^3/s al final del horizonte de evaluación. Lo anterior se observa en la siguiente gráfica.

Gráfica 8 Proyección del balance oferta-demanda de la situación sin proyecto del AMG (l/s)



Fuente: Elaboración propia.

III.5 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

El análisis de alternativas contempla el análisis técnico contenido en el proyecto ejecutivo de la obra bajo análisis. En la selección de un equipo de bombeo intervienen la carga estática de succión y descarga, así como los niveles de superficie libre del agua a bombear que generarán las presiones a las que estará sometida la bomba.

Para este caso en particular, para las propuestas solicitadas, se generó una curva del funcionamiento del sistema en base a los niveles mínimos y máximos del Lago de Chapala, así como un valor de la carga estática y dos puntos de operación a cumplir dentro del rango de operación marcado por la curva.

La eficiencia energética debe considerar las pérdidas en todos los componentes del sistema, no de manera separada para exclusivamente la bomba o el motor.

Tabla 29 Tipo de bombas analizadas.

	INDAR	KBL	KSB	RUHRPUMPEN
Tipo de bomba	SUMERGIBLE	TURBINA VERT	TURBINA VERT	TURBINA VERT
Ef. Hidráulica (%)	**85.6**	**88**	**83**	**87.9**
Ef. Eléctrica (%)	91.5	95.6	96.3	95.8

Fuente: Proyecto ejecutivo para la construcción de la infraestructura del acueducto sustituto Chapala-Guadalajara.

Costo de Inversión

Se revisó el costo propio de la bomba los componentes necesarios para la operación de la misma.

Tabla 30 Comparativa entre equipos de bombeo.

	INDAR	KBL	KSB	RUHRPUMPEN
	CHAPALA	CHAPALA	GUADALAJARA	MONTERREY
Precio (DLS) NETO por equipo				$ 1,216,251.88
Precio (DLS) NETO en TOTALES				$ 6,081,259.40
Precio (DLS) NETO EQUIPOS DE CONTROL, INST Y PUESTA EN MARCHA				$ 4,256,713.40
Precio (mxn) NETO por equipo	$ 88,850,200.00			
Precio (mxn) NETO en Totales (4)	$ 444,251,000.00			
Precio (mxn) NETO EQUIPOS CONTROL, INST Y PUESTA EN MARCHA	$ 278,226,000.00			
Precio total (DLS) Neto		$ 21,031,304.60	$ 41,644,000.00	$ 10,337,972.80
Precio TOTAL (MNX) Neto TC 20	$ 722,477,000.00	$ 420,626,092.00	$ 832,880,000.00	$ 206,759,456.00
		NO INCLUYE COSTOS VFD, INST Y VIATICOS PERSONAL SUP DE PUESTA EN MARCHA Y CAPACIT.	FALTA FLETE GDL-CHAPALA Y COSTO DE VALVULA DE PASO ANULAR DE 106"	FALTA FLETE MTY-CHAPALA
Tiempo Entrega (sem hab)	48	*ND	45	51

Fuente: Proyecto ejecutivo para la construcción de la infraestructura del acueducto sustituto Chapala-Guadalajara.

En este caso se puede observar que Rurhpumpen presenta un costo muy bajo en relación a los demás, por lo que considera que es una propuesta insolvente, además de tener mayor tiempo de entrega.

La propuesta de KBL no se compromete a la instalación y puesta en marcha y capacitación, a la vez que solicita costos de viáticos por tener al personal como supervisión en sitio lo que no es claro y no presenta garantía. El tiempo de entrega no se especifica en la propuesta, lo cual también no es garantía de cumplimiento. No tiene instalaciones de referencia en México por consiguiente no cuenta con un equipo disponible en caso de emergencia y su tiempo de respuesta puede ser mayor que los demás.

En el caso de KSB es el mejor tiempo de respuesta sin embargo el costo es el mayor presentado y además se requiere de instalaciones adicionales que se deben sumar al mismo. Costo de válvula de paso anular, casa de máquinas y no se puede prescindir del uso de variadores de velocidad para la operación lo cual sumar costos en la operación.

Por lo anterior, se considera que las propuestas de KSB e Indar se podrían estudiar de manera más puntual con información del conjunto motor proporcionado por los fabricantes para tener una última decisión.

En lo que corresponden a la línea de conducción, para el costo del suministro e instalación de tubería y piezas especiales, el criterio utilizado fue el siguiente:

- Para tubería de acero se consideró espesor de 5/8" en las zonas altas y de ¾" en la parte baja del perfil. La longitud considerada fue de 50% para el primer caso y 50% para el segundo caso.
- En el caso de la tubería de poliéster reforzado, se consideraron las mismas longitudes, pero para una PN16 y PN20 respectivamente.
- En el caso de la tubería de concreto presforzado, solo se consideró una presión nominal de 20 kg/cm2 que es la única disponible.
- Finalmente, para el caso de tubería de hierro dúctil, la presión de trabajo disponible es de 25 kg/cm2 por lo cual se consideró toda la longitud en la misma clase. El resultado final se muestra a continuación:

Tabla 31 Comparativa de costos entre tubería para conducción.

DIAM (plg)	110	106	100
DIAM (m)	2750	2650	2500
MATERIAL	ACERO	ACERO	ACERO
COSTO ML TUBERIA	$ 85,092.75	$ 82,246.00	$ 77,953.75
COSTO TOTAL TUBERIA	$ 2,204,497,874.25	$ 2,130,747,122.00	$ 2,019,547,801.25
COSTO TOTAL PZAS ESP	$ 221,156,458.74	$ 212,623,743.69	$ 201,728,869.69
SUMA	$ 2,425,654,332.99	$ 2,343,370,865.69	$ 2,221,276,670.94
	$ 2,425.65	$ 2,343.37	$ 2,221.28

DIAM (plg)	108	104	100
DIAM (m)	2700	2600	2500
MATERIAL	PRFV	PRFV	PRFV
COSTO ML TUBERIA	$ 65,346.31	$ 56,231.84	$ 50,354.62
COSTO TOTAL TUBERIA	$ 1,692,926,756.02	$ 1,456,798,214.11	$ 1,304,537,107.96
COSTO TOTAL PZAS ESP	$ 553,304,270.55	$ 521,413,739.80	$ 499,884,857.96
SUMA	$ 2,246,231,026.57	$ 1,978,211,953.91	$ 1,804,421,965.91
	$ 2,246.23	$ 1,978.21	$ 1,804.42

DIAM (plg)	108	104	99
DIAM (m)	2700	2600	2475
MATERIAL	CONCRETO	HIERRO DUCTIL	CONCRETO
COSTO ML TUBERIA	$ 102,667.50	$ 77,265.63	$ 75,903.75
COSTO TOTAL TUBERIA	$ 2,659,806,922.50	$2,001,720,546.88	$ 1,966,438,451.25
COSTO TOTAL PZAS ESP	$ 358,410,704.70	$ 993,397,180.18	$ 322,062,555.00
SUMA	$ 3,018,217,627.20	$2,995,117,727.05	$ 2,288,501,006.25
	$ 3,018.22	$ 2,995.12	$ 2,288.50

Fuente: Proyecto ejecutivo para la construcción de la infraestructura del acueducto sustituto Chapala-Guadalajara.

En el proyecto ejecutivo se plantearon los costos de energía que se requieren para la operación de la línea de conducción. Esto se consideró para 24 horas de bombeo con un gasto de diseño de 7.5 m^3/s y para una operación de 18 horas con un gasto de diseño de 10 m^3/s.

El esquema tarifario vigente de la CFE para la Demanda Industrial en Subtransmisión, que es la que aplica en este caso en particular, la cual corresponde a los servicios que destinen la energía en cualquier uso suministrados en alta tensión. Los cálculos fueron realizados con la tarifa vigente en junio 2025.

A continuación, se presentan los resultados del proyecto ejecutivo correspondientes a los valores del costo por kW/h para ambos casos, con una diferencia de $0.10 cuando no se utilizan horarios punta.

Tabla 32 Comparativa de costos de energía.

COSTO POR CONSUMO EN KW/HR ANUAL USO CONTINUO 24 HORAS (tarifa jun 25)

DEMANDA POR DIAS	TARIFA CFE	HORARIOS POR TIPO DEMANDA	HORAS EFECT	DIAS/SEM	DIAS CALENDARIO	DIAS PARA TARIFA	HORAS POR ANO	COSTO Kw/Hr
LUNEA A VIERNES								
demanda base	$ 1.14	0-6 hrs	6.00	5	261	254	1,524.00	$ 1,743.46
demanda intermedia	$ 1.89	6-19 hrs y 22-24 hrs	15.00	5	261	254	3,810.00	$ 7,205.09
demanda punta	$ 2.24	19-22 hrs	3.00	5	261	254	762.00	$ 1,704.59
SABADOS								
demanda base	$ 1.14	0-7 hrs	7.00	1	52	52	364.00	$ 416.42
demanda intermedia	$ 1.89	7-24 hrs	17.00	1	52	52	884.00	$ 1,671.73
DOMINGOS- FESTIVOS								
demanda base	$ 1.14	0-19 hrs y 23-24 hrs	20.00	1	52	59	1,180.00	$ 1,349.92
demanda intermedia	$ 1.89	19-23 hrs	4.00	1	52	59	236.00	$ 446.30
SUMAS					**365**	**365**	**8,760.00**	**$ 1.66**

COSTO POR CONSUMO EN KW/HR ANUAL PARA 18 HORAS FUERA DE HORARIO PUNTA (tarifa jun 25)

DEMANDA POR DIAS	TARIFA CFE	HORARIOS POR TIPO DEMANDA	HORAS EFECT	DIAS/SEM	DIAS CALENDARIO	DIAS PARA TARIFA	HORAS POR ANO	COSTO Kw/Hr
LUNEA A VIERNES								
demanda base	$ 1.14	0-6 hrs	6.00	5	261	254	1,524.00	$ 1,743.46
demanda intermedia	$ 1.89	6-19 hrs y 22-24 hrs	12.00	5	261	254	3,048.00	$ 5,764.07
demanda punta	$ 2.24	19-22 hrs	-	5	261	254	-	$ -
SABADOS								
demanda base	$ 1.14	0-7 hrs	7.00	1	52	52	364.00	$ 416.42
demanda intermedia	$ 1.89	7-24 hrs	11.00	1	52	52	572.00	$ 1,081.71
DOMINGOS- FESTIVOS								
demanda base	$ 1.14	0-19 hrs y 23-24 hrs	18.00	1	52	59	1,062.00	$ 1,214.93
demanda intermedia	$ 1.89	19-23 hrs	-	1	52	59	-	$ -
SUMAS					**365**	**365**	**6,570.00**	**$ 1.56**

Fuente: Proyecto ejecutivo para la construcción de la infraestructura del acueducto sustituto Chapala-Guadalajara.

Adicionalmente los cobros por Suministro, Transmisión, Cargos Fijos, Cenace, Capacidad y SCn MEM se obtuvieron a partir del último recibo de la Estación de bombeo, en el cual el precio promedio por kW/h fue de $2.3357 sin incluir IVA.

De lo anterior, restando este valor de $2.3357 a la tarifa calculada para ese mismo mes de $1.733 le restan $0.6027, de manera que el costo estimado para el bombeo de 24 horas se considerará en $2.7094 y para el de 18 horas en $2.6031. Ambos valores consideran el valor del IVA.

Para la obtención de la demanda eléctrica requerida se consideró una eficiencia del 84% y los datos fueron obtenidos a partir de la fórmula

Potencia (HP) = (Q * ADT) / (367 * η): (versión simplificada para agua, donde $\gamma \approx 1000$ kg/m^3)

Para el análisis definitivo del diámetro económico, el documento del proyecto ejecutivo muestra que se analizaron los escenarios de los 2 tipos de bombeo (24 horas y 18 horas) y con sus gastos respectivos para las condiciones de tubería

nueva, tubería con uso de 10 años, tubería de 20 años de uso y finalmente con 30 años de uso.

Tabla 33 Comparativa de costos anuales para todas las condiciones.

DIAM	Bombeo 18 hrs Q=10m3/seg				Bombeo 24 hrs Q=7.5 m3/seg			
plg	Tub Nva	Tub uso 10a	Tub uso 20a	Tub uso 30a	Tub Nva	Tub uso 10a	Tub uso 20a	Tub uso 30a
	ACERO							
110	$ 391.10	**$ 424.99**	**$ 435.75**	**$ 445.06**	$ 384.87	**$ 403.33**	**$ 410.71**	**$ 416.16**
106	**$ 386.52**	$ 429.20	$ 439.58	$ 450.65	**$ 381.98**	$ 403.94	$ 412.70	$ 419.18
100	$ 393.22	$ 448.92	$ 470.78	$ 486.97	$ 382.38	$ 414.55	$ 427.34	$ 436.83
	PRFV							
108	$ 376.87	**$ 414.29**	**$ 428.88**	**$ 439.63**	$ 375.56	$ 398.55	$ 407.09	$ 413.39
104	$ 376.10	$ 422.79	$ 440.69	$ 453.88	$ 365.73	**$ 394.03**	**$ 404.50**	**$ 412.23**
100	**$ 373.28**	$ 431.80	$ 453.93	$ 470.26	**$ 360.20**	$ 395.32	$ 408.27	$ 417.84
	CONCRETO							
108	$ 464.32	$ 494.28	$ 508.26	$ 518.92	$ 420.63	$ 439.53	$ 447.72	$ 453.96
99	$ 450.51	$ 502.47	$ 525.93	$ 543.90	$ 392.16	$ 423.86	$ 437.59	$ 448.12
	HD							
104	$ 424.23	$ 468.76	$ 487.92	$ 502.96	$ 415.11	$ 440.85	$ 452.06	$ 460.88

Fuente: Proyecto ejecutivo para la construcción de la infraestructura del acueducto sustituto Chapala-Guadalajara.

Del análisis anterior, el proyecto ejecutivo presenta las siguientes conclusiones:

1. *Conforme la tubería cuenta con años de servicio, el acueducto se vuelve más deficiente. Por lo anterior, es necesario contar con un sistema de limpieza periódico y un sistema para el control de las incrustaciones que se pagaría con el ahorro de energía que representa la disminución del área hidráulica a largo plazo. También se propone realizar el cálculo hidráulico definitivo con valores de los coeficientes de fricción más conservadores cercanos a los 5 años de servicio.*

2. *Las tuberías con mayor costo de operación resultaron ser las tuberías de concreto reforzado y la de hierro dúctil en todos los escenarios propuestos.*

3. *Dentro de los materiales restantes, correspondientes a tuberías de acero se puede concluir que el diámetro óptimo para este material es de 106"de diámetro. En el caso de la tubería de PRFV el diámetro de 100" es el de mayor conveniencia.*

IV. SITUACIÓN CON EL PPI

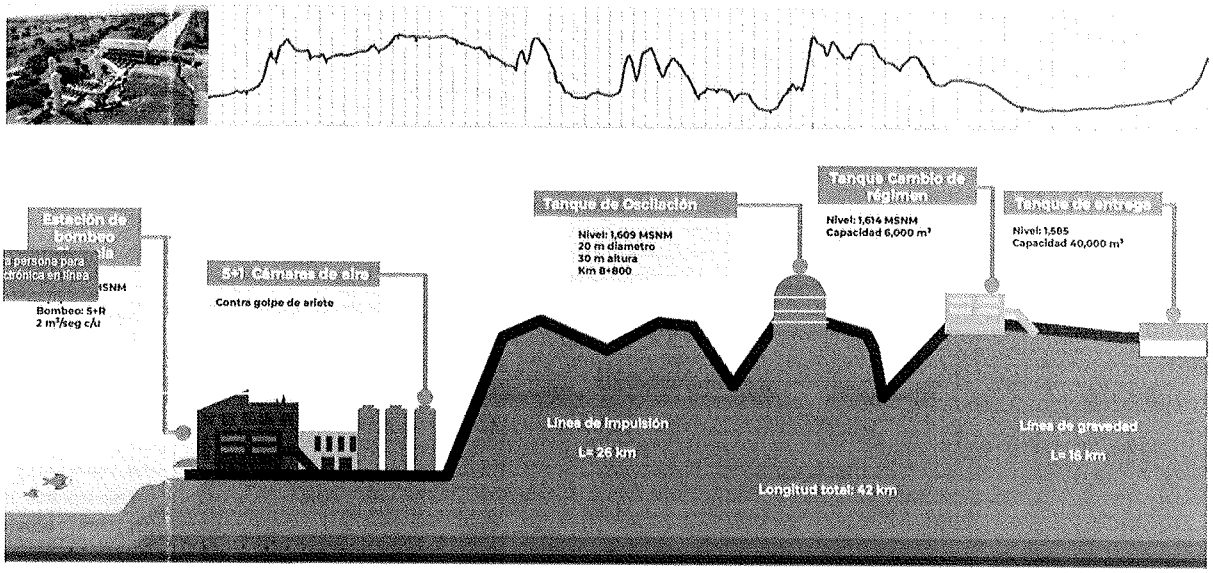
IV.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

El Acueducto Chapala Guadalajara se ubica dentro del derecho de vía en el cual se había previsto un segundo acueducto. Es por lo anterior, que el Acueducto Sustituto tendrá el mismo trazo del actual Acueducto.

La propuesta de proyecto contempla las siguientes acciones.

- Línea de Conducción de la Estación de Bombeo Chapala a Tanque de Cambio de Régimen.
- Tanque de Oscilación.
- Estructura de Cambio de Régimen.
- Línea de Conducción por Gravedad del Tanque de Cambio de Régimen al Tanque de Entrega Cerro del 4.
- Tanque de Entrega.

Ilustración 19 Esquema para Acueducto Sustituto Chapala – Guadalajara

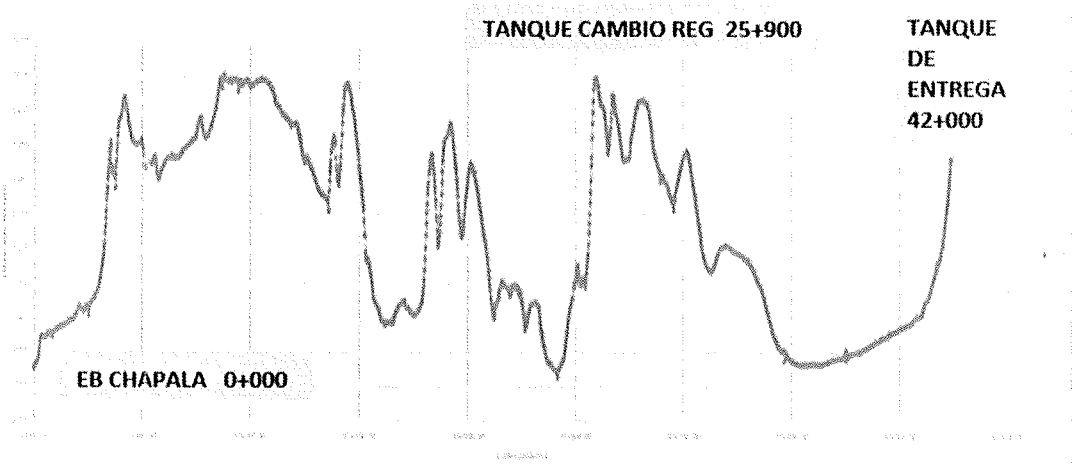


Fuente: Proyecto ejecutivo para la construcción de la infraestructura del acueducto sustituto Chapala-Guadalajara.

Para efectuar el diseño conceptual del acueducto, una vez determinado el eje de trazo y con la información topográfica se procedió a analizarlo. El perfil se muestra en la ilustración 20 y el punto de inicio será la Estación de Bombeo del Acueducto Chapala existente. En la ilustración 21 se muestra una vista aérea de estación de

bombeo actual y se muestra a manera esquemática el área disponible para la nueva infraestructura.

Ilustración 20 Esquema perfil topográfico del trazo del acueducto



Fuente: Cea Jalisco.

Ilustración 21 Vista aérea de la estación de bombeo Chapala

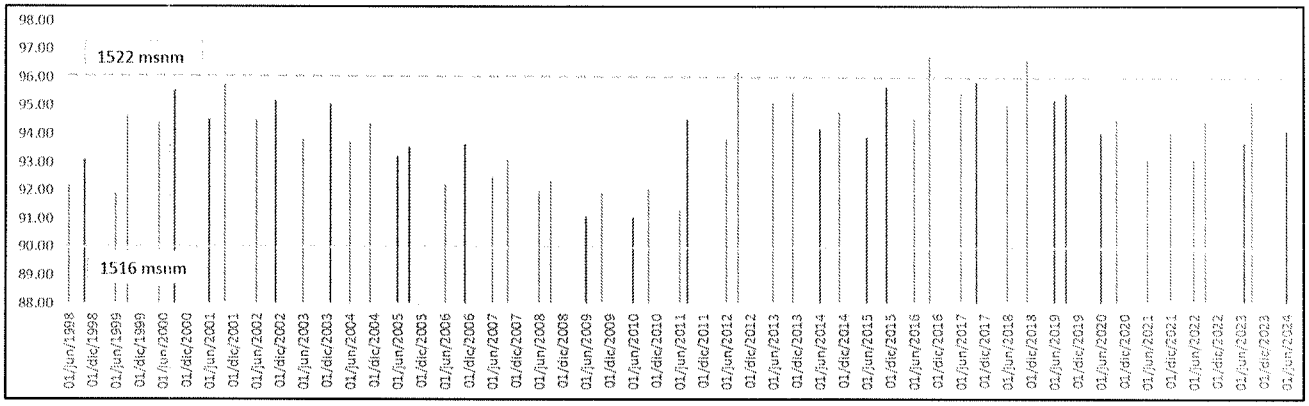
Fuente: Cea Jalisco.

Por otro lado, es importante definir previamente los niveles de operación del Lago de Chapala. Para ello, se evaluaron los datos de los niveles máximos y mínimos registrados en el período de 1990 a 2024. En la gráfica 9 se presentan estos valores.

Los resultados muestran que en dicho período solamente en 3 ocasiones se presentan niveles mayores a la cota 96 la cual referida al banco de nivel de INEGI es la cota 1522 msnm. En lo que respecta a los niveles mínimos registrados, sólo

en 2 ocasiones se registraron niveles en la cota 91 equivalente a la cota 1517 msnm. De esto se propone, que el rango de operación del bombeo se fije como nivel de aguas máximas ordinarias (NAMO) la cota 1522 msnm y como nivel de aguas mínimas la cota 1516 msnm.

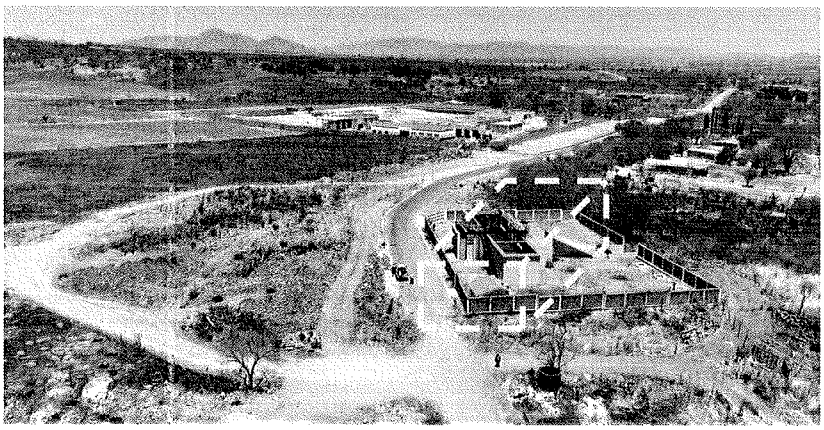
Gráfica 9 Niveles máximos y mínimos del Lago de Chapala Período 1990-2024



Fuente: Cea Jalisco.

El acueducto funcionará por bombeo hasta el km 25+900 donde se colocará un tanque de cambio de régimen, ya que es uno de los puntos con mayor elevación más cercano al punto de entrega y a partir del cual se cuenta con pendiente descendente. En la ilustración 22 se muestra una vista aérea del actual Tanque de Cambio de Régimen. De manera conceptual el nuevo Tanque podría ubicarse en la zona marcada en color amarillo.

Ilustración 22 Vista aérea del tanque de cambio de régimen existente

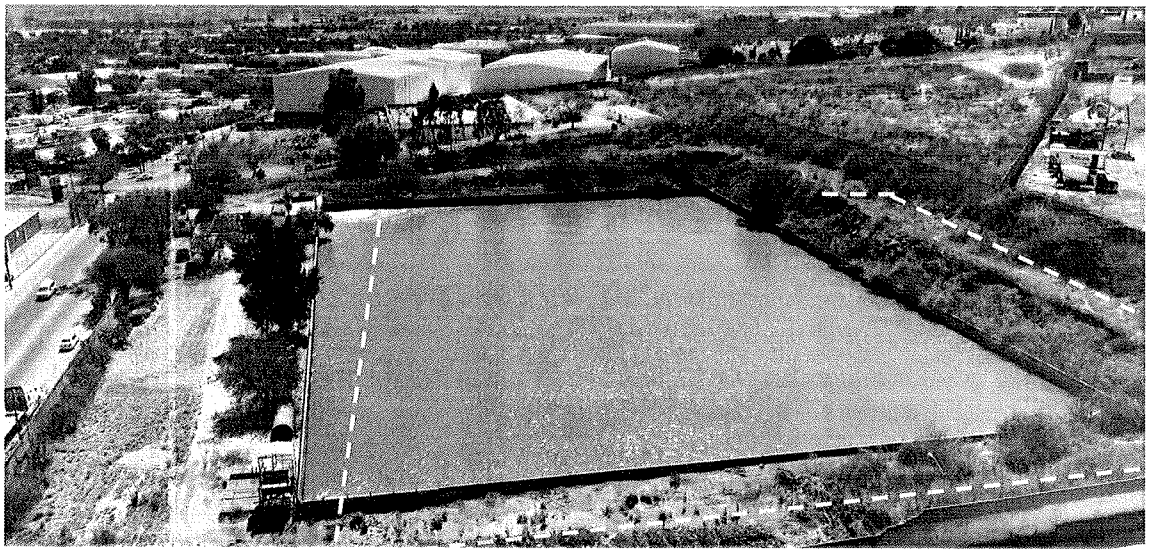


Fuente: Cea Jalisco.

A partir del del tanque de cambio de régimen comenzará una línea a gravedad hasta el sitio de descarga, tendrá una longitud de 16.46 km y el desnivel topográfico permite contar con una carga de hasta 25.14 metros.

El sitio de descarga del acueducto será el Tanque de Entrega Cerro del Cuatro, se propone revisar si es factible ampliar la capacidad de almacenamiento previa revisión geotécnica y estructural. La propuesta preliminar se puede visualizar en la ilustración 23 que muestra una vista aérea del Tanque de Entrega existente y la zona marcada en amarillo como la posible ampliación.

Ilustración 23 Esquema vista aérea del tanque de entrega



Fuente: Cea Jalisco.

Diseño del Acueducto

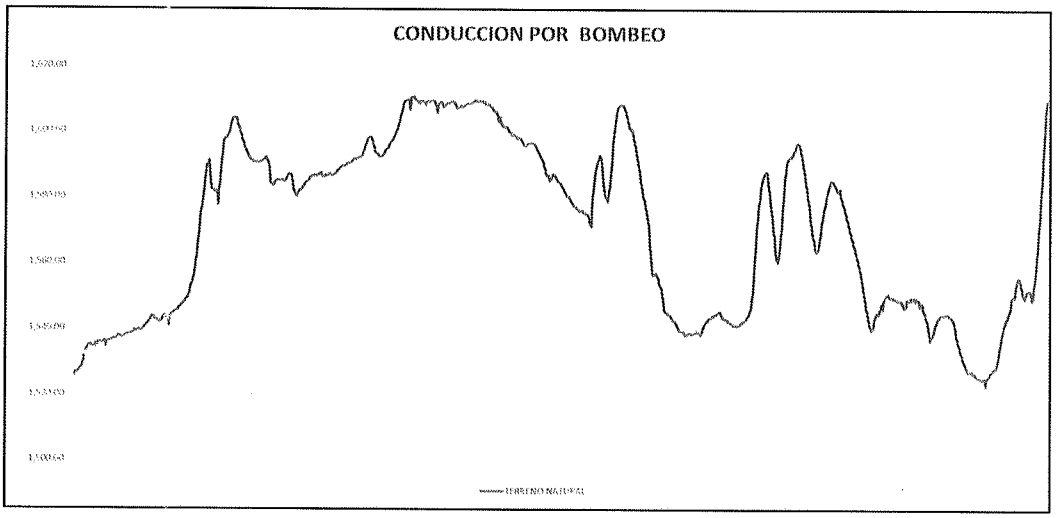
Descripción de las condiciones topográficas

Se realizó un levantamiento topográfico, cuyo reporte se anexa al informe principal del proyecto ejecutivo, dicho levantamiento permitió obtener con detalle la configuración topográfica de la zona y definir un trazo preciso de la línea.

El tramo de acueducto que funcionara como línea de impulsión, tiene una longitud de 25.92 km con un desnivel total de 96.50 metros. Se distinguen varias zonas con configuraciones topográficas particulares: La configuración topográfica en el tramo se describe a continuación:

En la ilustración 24 muestra el perfil topográfico del acueducto en el tramo de impulsión.

Ilustración 24 Esquema perfil topográfico de la línea de impulsión



Fuente: Cea Jalisco.

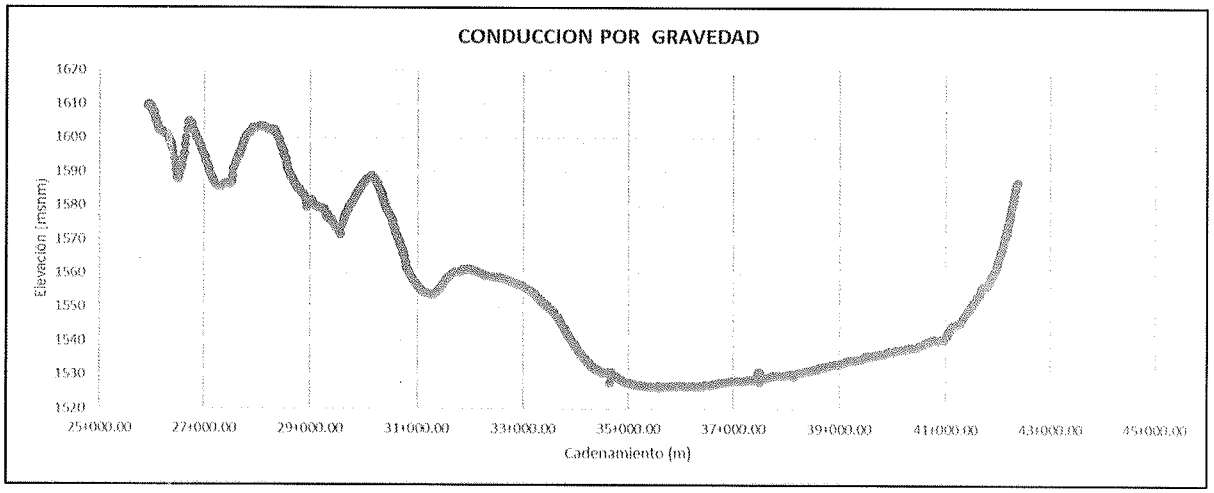
El tramo de acueducto con funcionamiento a gravedad tiene una longitud de 16.46 km con un desnivel total de 25.14 metros. La configuración topográfica se describe a continuación:

- Entre el cadenamiento 25+920 al cadenamiento 26+500 existe un desnivel de 21.6 metros (So=0.037).
- Entre el cadenamiento 26+500 y el 26+700 se presenta una zona con pendiente ascendente pronunciada de aproximadamente 8% de pendiente.
- Entre el cadenamiento 26+700 y el 27+500, la pendiente es más suave y descendente, con un desnivel de 18.40 metros (So=0.023).
- Entre el cadenamiento 27+500 y el 28+080, la pendiente es ascendente recuperando prácticamente la misma elevación con una pendiente del 3%.
- Entre el cadenamiento 28+080 y el 29+050, se presentan pendientes más suaves (So=0.02).
- Entre el cadenamiento 29+050 al 29+560 se presenta un columpio con un descenso de aprox. 10 metros y pendiente del 25%
- Entre el cadenamiento 29+560 y el 30+140 se presenta la pendiente ascendente del columpio con una pendiente del 3% nuevamente.
- En una longitud de 1000 metros y pendiente del 3.7% se vuelve a descender y se presenta nuevamente otro columpio.
- En el cadenamiento 31+140 inicia un ascenso hasta el 32+000 con pendiente del 1%.
- En el cadenamiento 32+000 se presenta la misma pendiente del 1% pero en descenso hasta el cadenamiento 33+000.
- A partir del cadenamiento 33+000 y hasta el 34+660 la pendiente de descenso es mayor y se presentan elevaciones cercanas a la 1520.

- Entre el cadenamiento 34+660 al 37+500 se presentan zonas relativamente planas con un ligero descenso.
- A partir del 37+500 en una longitud de 3500 metros se presentan ascensos con pendientes mínimas.
- En el cadenamiento 41+800 la pendiente aumenta al 2% en una longitud de aproximadamente 1000 metros para entonces aumentar la misma hasta cerca del 5.2% y alcanzar niveles cercanos a la 1540 en los últimos 600 metros del trazo.

De igual manera a partir de la información topográfica obtenida se determinó la configuración topográfica del tramo de la línea por gravedad. En la ilustración 25 se muestra el perfil topográfico.

Ilustración 25 Esquema perfil topográfico de la línea de gravedad



Fuente: Cea Jalisco.

Diámetro económico Línea de Impulsión

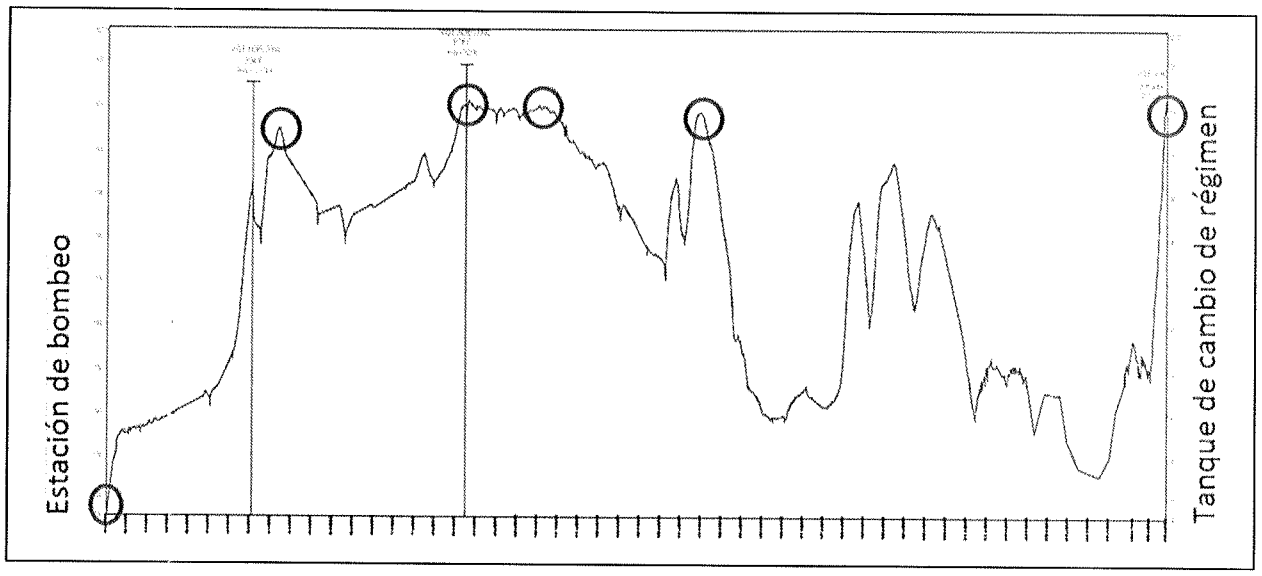
Tomando en consideración las condiciones topográficas que imperan entre los puntos con mayor elevación del tramo y el nivel del sitio destinado para la estación de bombeo los cuales se pueden observar en la ilustración 26 marcados en color rojo se propone lo siguiente:

Se realizará el análisis del diámetro económico para diferentes materiales posibles para la tubería.

Para el control del fenómeno transitorio se emplearán cámaras de aire y un tanque de oscilación en algún o algunos de los puntos más altos.

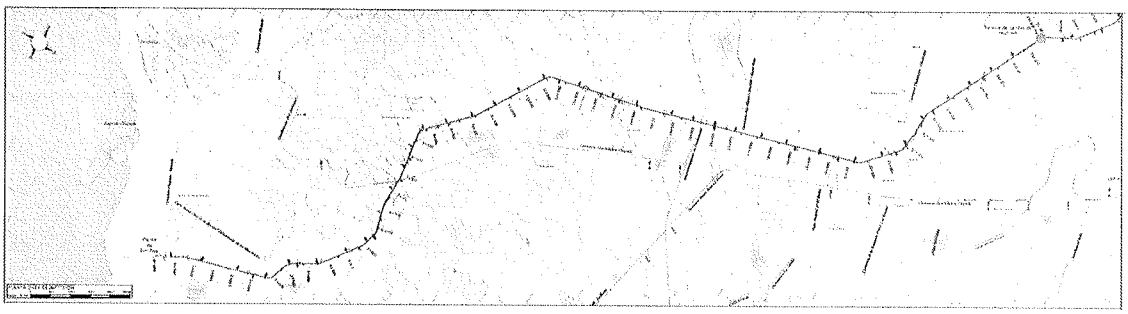
Se colocará un tanque de cambio de régimen que funcionará de manera oscilante durante el transitorio.

Ilustración 26 Esquema diseño conceptual de la línea de impulsión



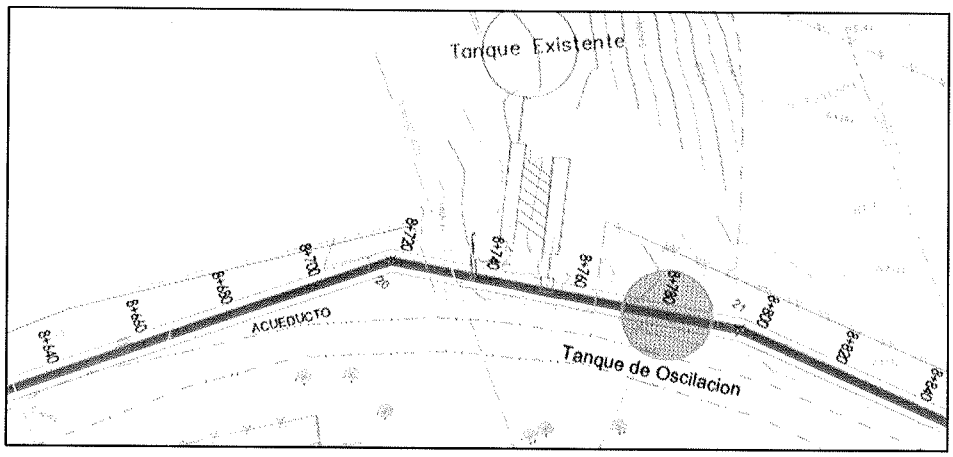
Fuente: Cea Jalisco.

Ilustración 27 Esquema línea de conducción estación de bombeo a tanque de cambio de régimen



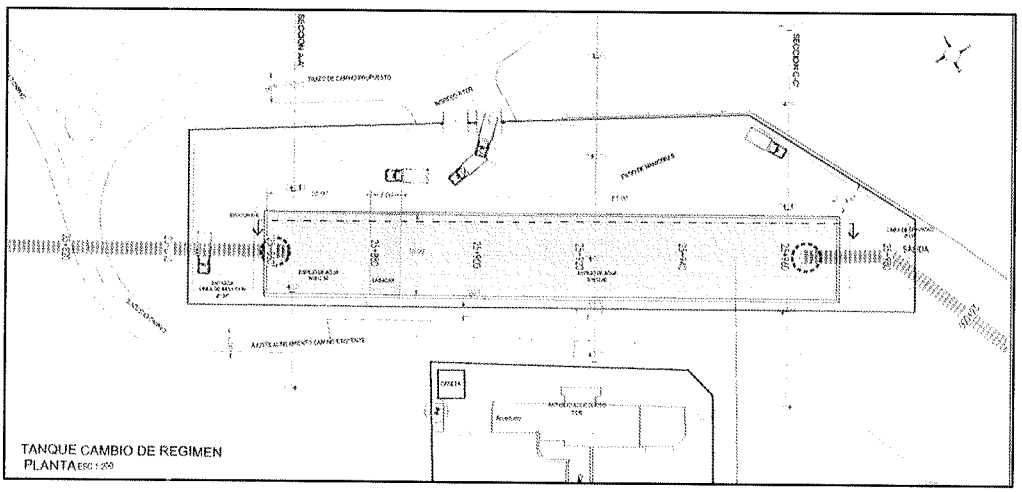
Fuente: Cea Jalisco.

Ilustración 28 Esquema tanque de oscilación



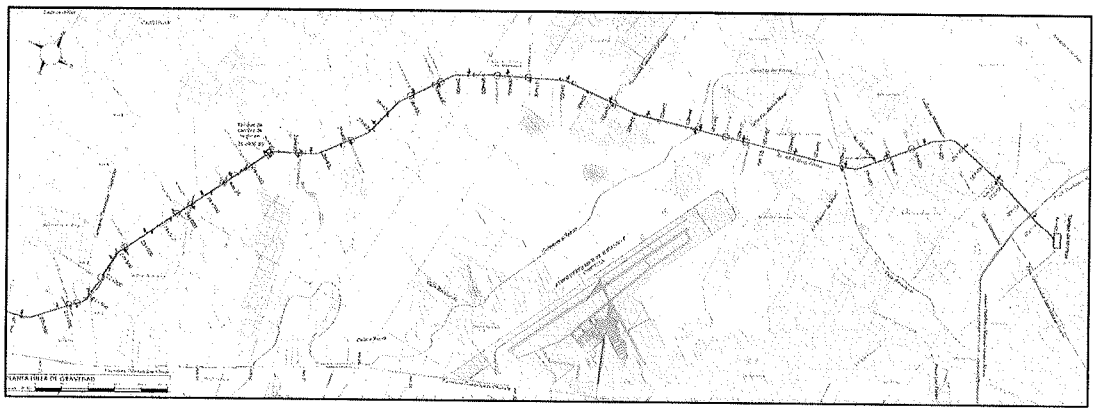
Fuente: Cea Jalisco.

Ilustración 29 Esquema tanque de cambio de régimen



Fuente: Cea Jalisco.

Ilustración 30 Esquema línea de conducción de tanque de cambio de régimen a tanque de entrega



Fuente: Cea Jalisco.

IV.2 ALINEACIÓN ESTRATÉGICA

El Plan Nacional de Desarrollo 2025-2030 se articula sobre cuatro ejes generales y tres ejes transversales que estructuran la política en su conjunto.

- Gobernanza con justicia y participación ciudadana.
- Desarrollo con bienestar y humanismo.
- Economía moral y trabajo.
- Desarrollo sustentable.
- Igualdad sustantiva y derechos de las mujeres.
- Innovación pública para el desarrollo tecnológico nacional.
- Derechos de las comunidades indígenas y afromexicanas.

Eje 4: Desarrollo Sustentable

El desarrollo sustentable es un principio fundamental para garantizar el bienestar de las generaciones presentes y futuras. La soberanía energética es un objetivo estratégico del país y la transición energética una prioridad. El Plan Nacional del Energía incluye nuevas inversiones en transmisión, generación y un programa ambicioso de transición energética hacia fuentes renovables de energía que contribuyan a disminuir los gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático. De manera específica, se contemplan 51 proyectos que apuntan a generar 22 mil 674 mega watts adicionales.

La preservación del medio ambiente, la protección de los recursos naturales y la lucha contra el cambio climático requieren un compromiso de todos los sectores, incluyendo el uso racional del agua y la protección de los ecosistemas estratégicos. Se reforestarán bosques y selvas.

Diagnóstico

República con derecho al agua

El acceso, la suficiencia y la calidad del agua son desafíos globales críticos, pues este recurso es fundamental para la seguridad alimentaria, la generación de energía y la salud pública. Según la Organización Mundial de la Salud y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, tres de cada diez personas en el mundo carecen de acceso a agua potable en el hogar y seis de cada diez no cuenta con saneamiento seguro.

En México, la disponibilidad de agua per cápita ha disminuido drásticamente, pasando de 17,742 a 3,656 metros cúbicos por habitante en siete décadas, con una proyección de solo 3,285 metros cúbicos para 2030. Este problema se agrava por el

uso ineficiente del recurso, especialmente en la agricultura, que consume más del 70% del agua concesionada, y la industria, que tiene un bajo nivel de reúso.

La calidad del agua también enfrenta serios desafíos: el 70% de los ríos del país está contaminado por descargas de aguas residuales y químicos agrícolas. Además, solo la mitad de las aguas residuales municipales generadas en 2023 fueron tratadas. La sobre explotación ha generado problemas de disponibilidad en 104 de 757 cuencas hidrológicas y en 286 de los 653 acuíferos.

En los últimos años, se han implementado acciones para garantizar progresivamente el derecho al agua y al saneamiento, priorizando a las poblaciones con menor acceso. Entre 2019 y 2024, se destinaron más de 110 mil millones de pesos en 18 obras estratégicas, beneficiando a más de 24 millones de personas. Sin embargo, aún se requiere una estrategia integral para asegurar la dotación de agua en cantidad y calidad suficientes, prevenir la sobreexplotación y evitar el acaparamiento.

Es fundamental fortalecer y ampliar la infraestructura hídrica, incluyendo la construcción y mantenimiento de acueductos y presas en coordinación con los distintos niveles de gobierno. Asimismo, se deben impulsar proyectos de reciclaje de agua para su uso en riego, minería y recarga de presas, maximizando la reutilización de los volúmenes tratados en las ciudades.

Además, se debe promover el uso de tecnologías de desalinización en las zonas con mayor estrés hídrico, garantizando que las descargas de salmuera no afecten los ecosistemas marinos.

Con esas acciones, México podrá garantizar un acceso equitativo y sostenible al agua, asegurando su disponibilidad para las generaciones futuras.

Objetivo 4.6

Garantizar el derecho al agua mediante una gestión eficiente, sustentable y resiliente al cambio climático, protegiendo la integridad de las cuencas y asegurando su disponibilidad para las generaciones presente y futuras.

Estrategia 4.6.1

Garantizar el acceso asequible y equitativo al agua potable y su saneamiento mediante inversión en infraestructura y fomento del reúso, con prioridad en regiones con mayor vulnerabilidad climática o impacto por actividad humana.

Estrategia 4.6.2

Promover el uso eficiente y sustentable del agua para reducir la presión sobres las fuentes de abastecimiento y garantizar su disponibilidad a largo plazo.

Estrategia 4.6.3

Modernizar y expandir la infraestructura de recolección, distribución y tratamiento de aguas residuales, municipales e industriales para mejorar su calidad y promover su reúso sustentable.

Estrategia 4.6.4

Reforzar el monitoreo y control de contaminantes para prevenir el deterior de la calidad del agua y proteger los ecosistemas y su biodiversidad.

Estrategia. 4.6.5

Desarrollar métodos y tecnologías para la restauración de las cuencas más contaminadas del país, adaptables y replicables en otras regiones afectadas.

Estrategia 4.6.6

Ampliar los mecanismos de sanción y resarcimiento de aquellas prácticas que afecten la disponibilidad o calidad del agua.

Indicador 4.6.2

Proyectos estratégicos de agua implementados

Descripción: Mide el avance en la implementación de los 17 proyectos estratégicos de agua.

VISIÓN 2030

El acceso al agua es uno de los objetivos prioritarios de la Organización de Naciones Unidas. En diversas publicaciones se señala la importancia del agua como epicentro del desarrollo sostenible y clave para el desarrollo socioeconómico, energético y alimenticio. Dentro de la agenda 2030, el sector objetivo propone el reto de brindar agua limpia, segura y asequible para quienes aún no cuenta con ella (ONU, 2021). Además, Nidos de Lluvia se alinea con los objetivos de: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades. (ODS 3) y; lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean más inclusivos, seguros y resilientes y sostenibles (ODS 11).

PROGRAMA SECTORIAL DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES 2020-2024 (PROMARNAT)

La activación y el fortalecimiento de espacios locales y regionales de participación, de vigilancia y control de la ciudadanía y las comunidades para decidir acerca del agua, de la tierra y del medio ambiente fueron demandas y exigencias ciudadanas en todos los Foros Regionales de Consulta. En la tabla 34 se enlistan los principales temas planteados por la ciudadanía en los Foros Regionales.

Tabla 34 Principales temas PROMARNAT.

1. Actualización y mejora del marco normativo ambiental
2. Fortalecimiento a las instituciones ambientales.
3. Mayor participación ciudadana.
4. Mejora en la calidad, suministro del agua, así como mayor eficiencia en su uso
5. Conservación de la biodiversidad y aprovechamiento sustentable.
6. Mejora en la gestión de los residuos sólidos urbanos
7. Impulso a los ordenamientos ecológicos
8. Fortalecimiento a la inspección, vigilancia y procuración de la justicia ambiental.
9. Agroecología y manejo forestal sustentable
10. Respuesta y atención al cambio climático
11. Mayor control y regulación de actividades industriales como la minería y grandes proyectos
12. Educación y cultura ambiental

Fuente: PROMARNAT

Objetivos prioritarios

El Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2020-2024 (PROMARNAT) contribuirá a: Lo*s objetivos establecidos por el nuevo gobierno en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) como parte del Segundo Eje de Política Social. Sus Objetivos prioritarios, Estrategias prioritarias y Acciones puntuales están centrados en la búsqueda del bienestar de las personas, todo ello de la mano de la conservación y recuperación del equilibrio ecológico en las distintas regiones del país. El actuar del Programa se inspira y tiene como base el principio de impulso al desarrollo sostenible establecido en el PND, considerado como uno de los factores más importantes para lograr el bienestar de la población. En la tabla 35 que se muestra a continuación se enlistan los cinco Objetivos prioritarios del PROMARNAT.*

Tabla 35 Objetivos prioritarios PROMARNAT.

1. Promover la conservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y su biodiversidad con enfoque territorial y de derechos humanos, considerando las regiones bioculturales, a fin de mantener ecosistemas funcionales que son la base del bienestar de la población.
2. Fortalecer la acción climática a fin de transitar hacia una economía baja en carbono y una población, ecosistemas, sistemas productivos e infraestructura estratégica resilientes, con el apoyo de los conocimientos científicos, tradicionales y tecnológicos disponibles.
3. Promover al agua como pilar de bienestar, manejada por instituciones transparentes, confiables, eficientes y eficaces que velen por un medio ambiente sano y donde una sociedad participativa se involucre en su gestión.
4. Promover un entorno libre de contaminación del agua, el aire y el suelo que contribuya al ejercicio pleno del derecho a un medio ambiente sano
5. Fortalecer la gobernanza ambiental a través de la participación ciudadana libre, efectiva, significativa y corresponsable de las decisiones de política pública, asegurando el acceso a la justicia ambiental con enfoque territorial y de derechos humanos y promoviendo la educación y cultura ambiental

Fuente: PROMARNAT

Objetivo prioritario 3. Promover al agua como pilar de bienestar, manejada por instituciones transparentes, confiables, eficientes y eficaces que velen por un medio ambiente sano y donde una sociedad participativa se involucre en su gestión.

Estrategia prioritaria 3.1. Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable.

Acciones puntuales

3.1.1.- Proteger la disponibilidad de agua en cuencas y acuíferos para la implementación del derecho humano al agua.

3.1.2.- Abatir el rezago en el acceso al agua potable y al saneamiento para elevar el bienestar en los medios rural y periurbano.

3.1.3.- Fortalecer a los organismos operadores de agua y saneamiento, a fin de asegurar servicios de calidad a la población

3.1.4.- Atender los requerimientos de infraestructura hidráulica para hacer frente a las necesidades presentes y futuras.

PROGRAMA NACIONAL HÍDRICO 2020-2024

El Programa Nacional Hídrico 2020-2024 es un "Programa Especial", derivado del Plan Nacional de Desarrollo, encaminado a enfrentar los problemas del agua que permitirán reducir las brechas de inequidad, avanzar en la seguridad hídrica del país con un enfoque de derechos humanos que coloca en el centro de las prioridades a las personas; bajo las perspectivas territorial, multisectorial y transversal. En este momento está en proceso de actualización, por lo que sigue vigente el Programa Nacional Hídrico 2020-2024.

Este Programa está definido en el artículo 3° de la Ley de Aguas Nacionales como el documento rector de los Programas Hídricos de las cuencas del país. Se trata de un instrumento que ordena objetivos prioritarios, estrategias prioritarias y acciones puntuales, para alcanzar metas que contribuirán al cumplimiento del Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

El Programa Nacional Hídrico se formula en atención a las prioridades que demandan el bienestar social y el desarrollo económico, sin poner en peligro el equilibrio ecológico.

Para el logro de cada uno de los 5 objetivos prioritarios del PNH, se definieron 20 estrategias prioritarias y, que a su vez incluyen intervenciones de política pública a través de un conjunto de 88 acciones puntuales, las cuales se enlistan a continuación.

Objetivo 1. Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable

Estrategia 1.4. Atender los requerimientos de infraestructura hidráulica para hacer frente a las necesidades presentes y futuras

Tabla 36 Programa Nacional Hídrico 2020-2024.

Acción puntual	Tipo	Institución coordinadora
1.4.1 Identificar los requerimientos de infraestructura de agua potable, drenaje y tratamiento de aguas residuales en los centros de población	De coordinación	Conagua
1.4.3 Revisar, y en su caso concluir, los proyectos de agua potable y saneamiento en curso	Específica	Conagua

Fuente: Plan Nacional de Desarrollo

PLAN ESTATAL DE DESARROLLO Y GOBERNANZA 2024-2030 "HACIA UNA RUTA SUSTENTABLE PARA LAS NIÑAS Y NIÑOS, CON UNA VISIÓN 2050"

En el estado de Jalisco, la gestión hídrica se encuentra contemplada en la sección **4. Jalisco cuida su Tierra,** Gestión del Territorio, cuyo **Objetivo sectorial 4.3 Gestión Responsable y Sostenible del Agua** cuentan con el Objetivo Temático que es: Garantizar el derecho humano al agua y al saneamiento mediante una gestión integral de los recursos hídricos, que privilegia la protección de los ecosistemas y las fuentes de agua, la modernización y ampliación de la infraestructura, el reúso y la economía circular del agua, y el fortalecimiento de la cultura y la gobernanza del agua en el estado.

Con el objetivo de garantizar el derecho humano al agua y al saneamiento, se definieron cuatro resultados estratégicos orientados a mejorar la calidad, cobertura y sostenibilidad de los servicios hídricos en el estado. Las estrategias aquí planteadas contemplan desde el fortalecimiento de la infraestructura y la modernización tecnológica hasta la creación de una nueva cultura del agua basada en la economía circular, la protección de fuentes, la resiliencia climática y la participación corresponsable de usuarios e instituciones. La visión integral que se propone vincula acciones en continuidad, calidad, eficiencia, tratamiento, reúso, planeación territorial y fortalecimiento institucional para una gestión equitativa y sustentable del recurso hídrico en Jalisco.

A continuación, se muestran una tabla con Resultados Esperados, Estrategias y las Corresponsabilidades del Plan Estatal de Desarrollo y Gobernanza 2024-2030.

Tabla 37 Resultados Esperados y Estrategias Plan Estatal de Desarrollo y Gobernanza 2024-2030.

Resultados esperados	Estrategias
R 4.3.1 En el estado se cumple la normatividad de disponibilidad, acceso y calidad del agua en los servicios de agua potable y saneamiento de cabeceras municipales y localidades mayores a 20 mil habitantes	E 4.3.1.1 Realizar diagnósticos sobres las condiciones actuales y necesidades del servicio para garantizar la continuidad y calidad del agua potable y saneamiento
	E 4.3.1.2 Los municipios y prestadores de servicios de agua son apoyados y asesorados en el uso de tecnologías que permiten medir e implementar esquemas que aseguren la continuidad del servicio.
	E 4.3.1.3 Los municipios y prestadores de servicios de agua son apoyados y asesorados en el uso de tecnologías que garantizan la calidad del agua suministrada a la población

Resultados esperados	Estrategias
	E 4.3.1.4 Los sistemas de abasto alternativo de agua potable y/o purificada son implementados en sitios e instalaciones públicas, priorizando a los municipios con mayor desigualdad social.
R 4.3.2 Se moderniza y mejora la infraestructura hidráulica para incrementar la eficiencia y reducir pérdidas en los servicios de agua.	E4.3.2.1 La infraestructura para el abastecimiento de agua potable es ampliada, modernizada o rehabilitada con el fin de mejorar la cobertura y eficiencia del servicio.
	E4 3.2.2 Los diagnósticos técnicos son realizados para medir las eficiencias operativas y definir las prioridades de inversión en el sector hídrico.
	E4.3.2.3 Fortalecer la capacidad municipal para medir el ciclo urbano y rural del agua en las comunidades, con el fin de reducir pérdidas.
	E4.3.2.4 Los municipios y/u organismos operadores son apoyados en la construcción, operación y ampliación de sistemas de potabilización estratégicos que fortalecen el acceso al agua segura
R4.3.3 En el estado se reducen las descargas de aguas residuales sin tratamiento que contaminan el agua superficial y subterránea gracias a la coordinación con los municipios.	E4.3.3.1 La infraestructura de saneamiento es ampliada y rehabilitada mediante tecnologías económicamente sostenibles que privilegian la producción de energía limpia para su operación y mantenimiento.
	E4.3.3.2 Los municipios son apoyados en la operación de plantas de tratamiento estratégicas para el saneamiento, asegurando el cumplimiento de la normatividad vigente
	E4.3.3.3 La participación del sector privado es promovida en las acciones de tratamiento y reúso de aguas residuales, impulsando esquemas de colaboración sostenibles.
	E4.3.3.4 La corresponsabilidad de los usuarios industriales, porcícolas y agrícolas es promovida en la prevención de la contaminación de cuerpos de agua y fuentes de abastecimiento.

Resultados esperados	Estrategias
R4.3.4 En Jalisco se impulsa una cultura del agua en organismos operadores y entidades públicas, basadas en el reúso, economía circular, protección de fuentes, reducción de pérdidas, fortalecimiento institucional y resiliencia ante fenómenos hidrometeorológicos extremos.	E.4.3.4.1 Capacitar y profesionalizar a los municipios y a las personas encargadas de los servicios de agua y saneamiento
	E.4.3.4.2 Las fuentes de abastecimiento son protegidas y restauradas, y las reservas de agua para consumo humano son incrementadas mediante la implementación del programa estatal de recarga de acuíferos, el control de avenidas y el fortalecimiento del abastecimiento de agua en Jalisco.
	E4.3.4.3 El reúso del agua tratada es impulsado con fines industriales, potable y para la recarga de acuíferos, promoviendo una gestión eficiente y sostenible del recurso.
	E4.3.4.4 Planes contingentes ante sequías, inundaciones y otros eventos extremos generados por el cambio climático son desarrollados para apoyar a los municipios y prestadores de servicios de agua y saneamiento.
	E.4.3.4.5 Diagnósticos sobre el costo de los servicios de agua y saneamiento a nivel municipal son realizados para establecer una política estatal de incentivos que propicie tarifas que reflejen el valor real de los servicios.

Fuente: Elaboración propia.

IV.3 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

Los valores correspondientes a las coordenadas del eje de trazo del Acueducto se pueden visualizar en las siguientes tablas, correspondientes al tramo de conducción por bombeo y conducción por gravedad respectivamente.

Tabla 38 Coordenadas del trazo de la línea de conducción Tramo Impulsión.

PVI	CAD.	X	Y	Z
0	0	693,580.3942	2,247,566.2113	1,525.73
41	747.31	693,205.7478	2,248,207.0403	1,535.89
149	2877.02	692,568.8867	2,250,239.2947	1,547.51
155	2978.71	692,499.3278	2,250,313.4688	1,549.26
175	3355.43	692,137.2482	2,250,417.4685	1,576.31
183	3495.07	692,016.5168	2,250,487.6448	1,589.75
191	3629.44	691,918.5216	2,250,579.5820	1,582.08
220	4173.63	691,644.4917	2,251,049.7335	1,603.97
228	4281.66	691,580.4731	2,251,136.7540	1,600.67
280	5318.14	690,734.5408	2,251,735.6735	1,585.20
289	5460.76	690,612.5411	2,251,809.5425	1,584.77
312	5867.89	690,217.0798	2,251,906.3117	1,582.04
316	5938.66	690,146.4397	2,251,902.0359	1,583.33
350	6580.9	689,530.6208	2,251,719.7223	1,586.49
356	6693.11	689,419.8423	2,251,701.8437	1,586.67
392	7393.97	688,718.9942	2,251,705.5679	1,591.87
455	8613.59	687,516.0589	2,251,504.5427	1,609.29
461	8717.56	687,412.0914	2,251,505.6897	1,609.76
466	8796.56	687,344.1337	2,251,545.9757	1,610.48
530	10048.02	686,438.4094	2,252,409.5747	1,607.32
535	10127.4	686,375.6748	2,252,458.2092	1,607.72
638	12123.19	684,642.9260	2,253,448.5556	1,596.32
644	12234.37	684,564.7304	2,253,527.5892	1,593.80
649	12301.54	684,537.3299	2,253,588.9142	1,591.71
771	14707.32	683,998.4760	2,255,933.5692	1,600.87
1050	20195.95	682,365.4563	2,261,173.6316	1,584.08
1056	20293.97	682,325.1825	2,261,263.0006	1,581.70
1109	21339.38	681,539.2163	2,261,952.3000	1,544.90
1115	21433.88	681,450.7572	2,261,985.5460	1,546.96
1134	21779.98	681,105.0031	2,262,001.0047	1,549.14
1139	21852.97	681,039.1341	2,262,032.4636	1,548.72
1144	21935.04	680,957.0733	2,262,031.5954	1,547.81
1148	21997.93	680,899.3246	2,262,006.6950	1,546.88
1175	22509.77	680,387.6748	2,262,020.8505	1,544.83
1349	25920	677,286.7687	2,263,440.0175	1,609.38

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la CEA Jalisco.

Tabla 39 Coordenadas del trazo de la línea de conducción Tramo Gravedad.

PVI	CAD	X	Y	Z
0	25+920.00	677286.7687	2263440.0175	1,609.38
4	25+981.36	677230.5537	2263464.6159	1,609.28
48	26+809.84	676829.8816	2264189.7302	1,602.06
51	26+853.72	676801.1384	2264222.8829	1,600.20
104	27+863.82	675976.1250	2264805.6750	1,601.43
147	28+681.24	675177.3778	2264979.3872	1,587.45
205	29+824.27	674209.8167	2265587.9393	1,582.25
209	29+884.72	674166.2511	2265629.8436	1,583.97
245	30+580.00	673795.0230	2266217.7301	1,573.07
318	31+967.10	673152.2518	2267446.9054	1,561.28
390	33+359.59	673002.2214	2268831.2842	1,551.69
393	33+389.58	672998.1173	2268860.9881	1,551.15
396	33+425.74	672991.3080	2268896.5031	1,550.76
399	33+461.28	672983.6349	2268931.2059	1,550.27
405	33+571.38	672952.4334	2269036.7919	1,548.72
468	34+807.37	672579.2693	2270215.1066	1,529.02
485	35+136.70	672478.2284	2270528.5484	1,527.06
509	35+580.10	672343.9956	2270951.1475	1,526.71
599	37+346.81	671807.1269	2272634.3008	1,528.41
604	37+436.45	671778.6935	2272719.3170	1,528.76
611	37+553.12	671738.9445	2272829.0058	1,529.22
620	37+701.67	671684.2255	2272967.1058	1,529.49
622	37+731.37	671669.6594	2272992.9949	1,529.68
626	37+781.48	671638.0879	2273031.9048	1,529.72
651	38+264.87	671258.9946	2273331.8244	1,530.64
660	38+427.44	671130.0386	2273430.8247	1,531.21
669	38+585.76	671005.7587	2273528.8960	1,531.77
679	38+762.74	670868.3357	2273640.4193	1,532.59
697	39+115.84	670590.8824	2273858.8257	1,533.77
700	39+139.42	670571.8786	2273872.7768	1,534.04
704	39+195.25	670523.5210	2273900.6873	1,534.24
708	39+245.99	670483.3309	2273931.6597	1,534.22
711	39+285.61	670454.2763	2273958.5913	1,534.48
719	39+436.18	670362.4885	2274077.9452	1,534.77
722	39+475.46	670340.1784	2274110.2768	1,535.09
738	39+711.89	670226.2113	2274312.3910	1,535.92
741	39+750.26	670226.1522	2274350.7646	1,536.00
744	39+791.31	670233.1056	2274391.2143	1,536.17
749	39+866.36	670250.8154	2274464.1467	1,536.34
772	40+317.20	670329.1004	2274908.1434	1,537.97
792	40+695.43	670398.5569	2275279.9362	1,539.87
797	40+770.99	670421.6467	2275351.8838	1,540.30
809	40+993.17	670468.1020	2275569.1531	1,540.93
816	41+112.37	670489.6078	2275686.3937	1,544.05
819	41+143.58	670495.7921	2275716.9895	1,544.58
827	41+280.46	670535.9197	2275847.8536	1,545.48
835	41+438.84	670579.9098	2276000.0000	1,549.06
840	41+502.92	670590.0501	2276063.2737	1,550.54
849	41+673.57	670635.4033	2276227.7845	1,554.64
855	41+775.06	670672.9578	2276322.0759	1,556.10
867	41+994.12	670724.7246	2276534.9341	1,562.88
876	42+154.58	670738.8065	2276694.7734	1,571.53
878	42+178.94	670743.9753	2276718.5795	1,573.02
884	42+273.90	670772.9067	2276809.0245	1,580.13
891	42+380.00	670801.6843	2276907.1881	1,586.87

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la CEA Jalisco.

IV.4 CALENDARIO DE ACTIVIDADES

El programa de inversiones está previsto a concluir en 30 meses, por lo que para evaluación se consideró de julio 2026 a diciembre 2028.

Tabla 40 Calendario de inversiones (pesos 2026).

	2026	2027	2028
Línea de impulsión (línea a bombeo)	947,331,013	1,894,662,027	1,894,662,027
Línea por gravedad	544,943,928	1,089,887,855	1,089,887,855
Estación de Bombeo	500,000,000	1,000,000,000	1,000,000,000
Predios	35,000,000	70,000,000	70,000,000
Total, con IVA	2,027,274,941	4,054,549,882	4,054,549,882
Línea de impulsión (línea a bombeo)	816,664,667	1,633,329,333	1,633,329,333
Línea por gravedad	469,779,248	939,558,496	939,558,496
Estación de Bombeo	431,034,483	862,068,966	862,068,966
Predios	35,000,000	70,000,000	70,000,000
Total, sin IVA	**1,752,478,397**	**3,504,956,795**	**3,504,956,795**

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la CEA Jalisco.

IV.5 MONTO TOTAL DE INVERSIÓN

El monto total de inversión estimado asciende a $10,136,374,704.85 (diez mil ciento treinta y seis millones trescientos setenta y cuatro mil setecientos cuatro pesos 85/100 M.N.) IVA incluido expresado en pesos de 2026.

Tabla 41 Inversión estimada (pesos 2026).

Inversión	
Línea de impulsión (línea a bombeo)	4,736,655,067
Línea por gravedad	2,724,719,638
Estación de Bombeo	2,500,000,000
Predios	175,000,000
Total, con IVA	10,136,374,705
Línea de impulsión (línea a bombeo)	4,083,323,334

Inversión	
Línea por gravedad	2,348,896,240
Estación de Bombeo	2,155,172,414
Predios	175,000,000
Total, sin IVA	8,762,391,987

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la CEA Jalisco.

IV.6 FUENTES DE FINANCIAMIENTO

La Comisión Estatal del Agua de Jalisco está analizando con el gobierno del estado de Jalisco las gestiones requeridas para identificar oportunidades de ejecución con una mezcla de recursos financieros, en los cuales pueda haber participación federal y/o privada.

IV.7 CAPACIDAD INSTALADA

El proyecto permitirá entregar 10.0 m^3/s de agua en bloque como valor máximo, pero conforme a los derechos de extracción, el proyecto contribuirá a un gasto promedio anual de 7.5 m^3/s de agua en bloque del Lago de Chapala.

IV.8 METAS ANUALES Y TOTALES DE PRODUCCIÓN

La operación del acueducto permitirá incrementar el gasto disponible en 1.5 m^3/s, ya que el proyecto contribuirá a un gasto promedio anual de 7.5 m^3/s de agua en bloque del Lago de Chapala.

Tabla 42 Metas anuales de producción (l/s).

AÑO	LAGO DE CHAPALA	RESTO DE FUENTES	PRODUCCIÓN
2029	7,500	7,337	14,837
2030	7,500	7,337	14,837
2031	7,500	7,337	14,837
2032	7,500	7,337	14,837
2033	7,500	7,337	14,837

AÑO	LAGO DE CHAPALA	RESTO DE FUENTES	PRODUCCIÓN
2034	7,500	7,337	14,837
2035	7,500	7,337	14,837
2036	7,500	7,337	14,837
2037	7,500	7,337	14,837
2038	7,500	7,337	14,837
2039	7,500	7,337	14,837
2040	7,500	7,337	14,837
2041	7,500	7,337	14,837
2042	7,500	7,337	14,837
2043	7,500	7,337	14,837
2044	7,500	7,337	14,837
2045	7,500	7,337	14,837
2046	7,500	7,337	14,837
2047	7,500	7,337	14,837
2048	7,500	7,337	14,837
2049	7,500	7,337	14,837
2050	7,500	7,337	14,837
2051	7,500	7,337	14,837
2052	7,500	7,337	14,837
2053	7,500	7,337	14,837
2054	7,500	7,337	14,837
2055	7,500	7,337	14,837
2056	7,500	7,337	14,837
2057	7,500	7,337	14,837
2058	7,500	7,337	14,837

Fuente: CEA Jalisco.

IV.9 VIDA ÚTIL.

Para la evaluación se está considerando una vida útil de las inversiones de 30 años, lo que es consistente con lo que se ha observado en obras e instalaciones de generación de energía hidroeléctrica. El horizonte de evaluación contemplado en la evaluación es 31 años.

IV.10 DESCRIPCIÓN DE LOS ASPECTOS MÁS RELEVANTES DE LA VIABILIDAD DEL PROYECTO

Este subcapítulo está enfocado en los aspectos más relevantes con respecto a la viabilidad del proyecto de inversión, que incluye las conclusiones de la factibilidad técnica, legal, ambiental. El estatus de estos instrumentos es el siguiente:

	Estatus
Factibilidad técnica	Concluida
Factibilidad legal	Concluida
Factibilidad ambiental	Concluida
Factibilidad económica	Concluida

IV.10.1 Factibilidad técnica

El proyecto ejecutivo cumple con las metas señaladas por el Gobierno del Estado de Jalisco, y que se desarrolló con las mejores prácticas de la Ingeniería aplicables al diseño de acueductos para el abastecimiento de agua potable, con el pleno cumplimiento de las especificaciones técnicas, nacionales e internacionales, validadas por la Comisión Nacional del Agua, del Gobierno Federal.

Para llevar a cabo el diseño de los diferentes componentes del proyecto fue necesario realizar los siguientes estudios de gabinete y de campo:

- Recopilación y análisis de información
- Comparación de alternativas de trazo de la conducción (a nivel cartográfico)
- Selección de la alternativa más conveniente
- Levantamiento topográfico de la línea de conducción correspondiente a la alternativa seleccionada
- Geotecnia en el trazo del acueducto y estructuras especiales

A este respecto, podemos mencionar que todos los estudios se realizaron conforme a la normatividad y legislación federal, estatal y municipal vigente, así como al manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS, 2015) editado por la CONAGUA, los cuales pueden consultarse en los informes que integran el proyecto ejecutivo.

- Equipamiento eléctrico
- Levantamiento topográfico de la línea de conducción del acueducto El Salto-Calderón

Estudios de geotecnia
Diseño conceptual

IV.10.2 Factibilidad ambiental

Los supuestos normativos que se exponen a continuación, representan los instrumentos de regulación que inciden en el sitio por el lugar en el que se ubica o bien por el tipo de actividad que se pretende desarrollar.

i. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM), es el máximo cuerpo normativo de nuestro sistema jurídico del cual emana todo ordenamiento legal ya sea federal o local. Él contiene los principios y objetivos de la nación. Establece la existencia de órganos de autoridad, sus facultades y limitaciones, así como los derechos de los individuos y las vías para hacerlos efectivos.

La factibilidad ambiental señala el proyecto se ajusta a las disposiciones que emanan de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, siendo uno de sus objetivos, el acceso y disposición de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable, asequible; por lo que, con la elaboración de la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) en la modalidad correspondiente, se coadyuva con las metas buscadas por el Gobierno en materia de planeación y regulación de actividades con la ejecución del presente proyecto, la propuesta de implementación de una estrategia de medidas tendientes a la preservación y mantenimiento del equilibrio ecológico; por lo que este proyecto coadyuva a que el Estado garantice el derecho al acceso de agua para consumo personal y doméstico así como a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar.

IV.10.3 Factibilidad legal

Competencia

Ámbito federal

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
- Ley de Aguas Nacionales
    - Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
    - Comisión Nacional del Agua

- Organismos de Cuenca

Ámbito estatal

- Constitución Política del Estado de Jalisco
  - Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA)
  - Agua y Saneamiento del Municipio de Tepatitlán ASTEPA
  - Comisión Estatal del Agua de Jalisco CEA
  - Secretaría de Gestión Integral del Agua

IV.11 ANÁLISIS DE LA OFERTA

La metodología para estimar la oferta se detalló en los capítulos de la situación actual y situación sin el proyecto de inversión.

Tabla 43 Proyección de la oferta en la situación con proyecto (l/s).

AÑO	LAGO DE CHAPALA	RESTO DE FUENTES	PRODUCCIÓN	OFERTA
2029	7,500	7,337	14,837	9,894
2030	7,500	7,337	14,837	10,026
2031	7,500	7,337	14,837	10,157
2032	7,500	7,337	14,837	10,289
2033	7,500	7,337	14,837	10,420
2034	7,500	7,337	14,837	10,551
2035	7,500	7,337	14,837	10,683
2036	7,500	7,337	14,837	10,683
2037	7,500	7,337	14,837	10,683
2038	7,500	7,337	14,837	10,683
2039	7,500	7,337	14,837	10,683
2040	7,500	7,337	14,837	10,683
2041	7,500	7,337	14,837	10,683
2042	7,500	7,337	14,837	10,683
2043	7,500	7,337	14,837	10,683
2044	7,500	7,337	14,837	10,683
2045	7,500	7,337	14,837	10,683
2046	7,500	7,337	14,837	10,683
2047	7,500	7,337	14,837	10,683

AÑO	LAGO DE CHAPALA	RESTO DE FUENTES	PRODUCCIÓN	OFERTA
2048	7,500	7,337	14,837	10,683
2049	7,500	7,337	14,837	10,683
2050	7,500	7,337	14,837	10,683
2051	7,500	7,337	14,837	10,683
2052	7,500	7,337	14,837	10,683
2053	7,500	7,337	14,837	10,683
2054	7,500	7,337	14,837	10,683
2055	7,500	7,337	14,837	10,683
2056	7,500	7,337	14,837	10,683
2057	7,500	7,337	14,837	10,683
2058	7,500	7,337	14,837	10,683

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la CEA Jalisco.

Por lo anterior, la producción de agua potable para el AMG se puede incrementar en el año 2029 a 14.8 m^3/s.

IV.12 ANÁLISIS DE LA DEMANDA

La demanda de agua potable está definida con base en un consumo promedio de acuerdo con la función de demanda para la región de estudio para los usuarios domésticos, así como seguir dando el consumo actual a los usuarios no domésticos, el pronóstico de población de CONAPO.

Tabla 44 Proyección de demanda de la situación con proyecto del AMG (l/s).

AÑO	DEMANDA DOMÉSTICA	DEMANDA NO DOMÉSTICOS	DEMANDA TOTAL
2029	9,384	1,502	10,886
2030	9,450	1,514	10,964
2031	9,513	1,527	11,040
2032	9,574	1,539	11,113
2033	9,632	1,552	11,184
2034	9,689	1,565	11,254
2035	9,744	1,578	11,321
2036	9,797	1,591	11,387
2037	9,848	1,604	11,452
2038	9,896	1,617	11,514

AÑO	DEMANDA DOMÉSTICA	DEMANDA NO DOMÉSTICOS	DEMANDA TOTAL
2039	9,943	1,631	11,574
2040	9,986	1,645	11,631
2041	10,026	1,658	11,684
2042	10,063	1,672	11,735
2043	10,097	1,686	11,783
2044	10,127	1,701	11,828
2045	10,155	1,715	11,870
2046	10,180	1,729	11,910
2047	10,203	1,744	11,947
2048	10,223	1,759	11,982
2049	10,242	1,774	12,016
2050	10,258	1,789	12,047
2051	10,273	1,804	12,077
2052	10,285	1,820	12,104
2053	10,294	1,835	12,130
2054	10,301	1,851	12,152
2055	10,306	1,867	12,172
2056	10,307	1,883	12,190
2057	10,305	1,899	12,204
2058	10,301	1,915	12,216

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la CEA Jalisco y cálculos propios.

IV.13 INTERACCIÓN OFERTA-DEMANDA

El balance Oferta – Demanda en la situación con proyecto se muestra en las tablas siguientes. Se aprecia que, en el año 2029, con la operación del proyecto, el déficit se estima en 0.992 m^3/s.

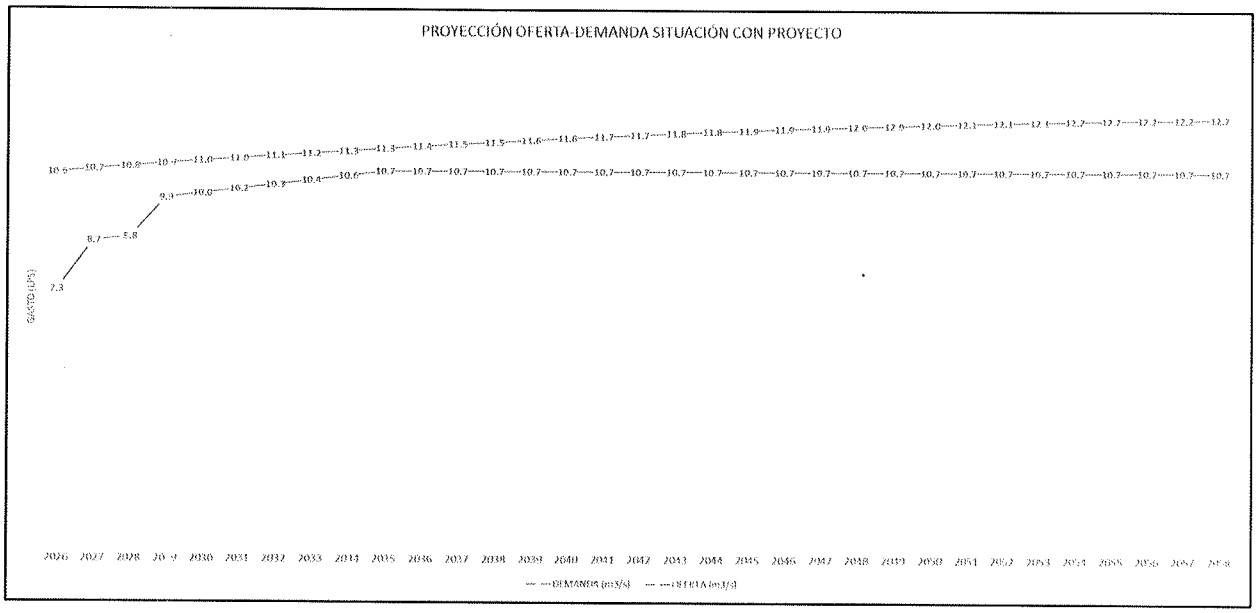
Tabla 45 Proyección del balance oferta- demanda de la situación con proyecto del AMG (l/s).

AÑO	DEMANDA	OFERTA	BALANCE
2029	10,886	9,894	- 992
2030	10,964	10,026	- 939
2031	11,040	10,157	- 883
2032	11,113	10,289	- 824
2033	11,184	10,420	- 764

AÑO	DEMANDA	OFERTA	BALANCE
2034	11,254	10,551	- 702
2035	11,321	10,683	- 638
2036	11,387	10,683	- 704
2037	11,452	10,683	- 769
2038	11,514	10,683	- 831
2039	11,574	10,683	- 891
2040	11,631	10,683	- 948
2041	11,684	10,683	- 1,001
2042	11,735	10,683	- 1,052
2043	11,783	10,683	- 1,100
2044	11,828	10,683	- 1,145
2045	11,870	10,683	- 1,187
2046	11,910	10,683	- 1,227
2047	11,947	10,683	- 1,264
2048	11,982	10,683	- 1,299
2049	12,016	10,683	- 1,333
2050	12,047	10,683	- 1,364
2051	12,077	10,683	- 1,394
2052	12,104	10,683	- 1,421
2053	12,130	10,683	- 1,447
2054	12,152	10,683	- 1,469
2055	12,172	10,683	- 1,489
2056	12,190	10,683	- 1,507
2057	12,204	10,683	- 1,521
2058	12,216	10,683	- 1,533

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la CEA Jalisco y cálculos propios.

Gráfica 10 Proyección del balance oferta – demanda en la situación con proyecto (l/s)


PROYECCIÓN OFERTA-DEMANDA SITUACIÓN CON PROYECTO
GASTO (L/S)
7.3
8.7
5.8
9.3
10.0
10.2
10.3
10.4
10.6
10.7
10.7
10.7

V. EVALUACIÓN DEL PPI

La evaluación del proyecto de inversión consiste en la comparación de los flujos esperados de beneficios y costos del proyecto valorados a precios de mercado, al tiempo que se identifique aquellos efectos positivos o negativos que no hayan sido posible medir (en caso de que así suceda).

V.1 IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE COSTOS DEL PPI.

V.1.1 COSTOS DE INVERSIÓN.

Los principales componentes de inversión para el desarrollo del proyecto se presentan en la tabla 46.

Tabla 46 Costos de Inversión (pesos 2026).

	MONTO SIN IVA Pesos 2026	MONTO CON IVA Pesos 2026
Línea de impulsión (línea a bombeo)	$4,083,323,333.54	$4,736,655,066.91
Línea por gravedad	$2,348,896,239.60	$2,724,719,637.94
Estación de Bombeo	$2,155,172,413.79	$2,500,000,000.00
Predios	$175,000,000.00	$175,000,000.00
Total	$8,762,391,986.94	$10,136,374,704.85

Fuente: Elaboración propia con información de la CEA Jalisco.

V.1.2 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Para la estimación de los costos anuales de operación y mantenimiento se tomaron en cuenta los aspectos relacionados al bombeo, la potabilización y mantenimiento de los equipos y línea de impulsión y de gravedad, mismos que se presenta en la tabla 47.

Tabla 47 Costos de operación y mantenimiento sin IVA (pesos 2026).

AÑO	OPERACIÓN	MANTENIMIENTO
2026	$0	$0
2027	$0	$0
2028	$0	$0
2029	$124,437,617	$21,196,332
2030	$124,437,617	$21,196,332
2031	$124,437,617	$21,196,332
2032	$124,437,617	$21,196,332
2033	$124,437,617	$21,196,332

AÑO	OPERACIÓN	MANTENIMIENTO
2034	$124,437,617	$21,196,332
2035	$124,437,617	$21,196,332
2036	$124,437,617	$21,196,332
2037	$124,437,617	$21,196,332
2038	$124,437,617	$21,196,332
2039	$124,437,617	$21,196,332
2040	$124,437,617	$21,196,332
2041	$124,437,617	$21,196,332
2042	$124,437,617	$21,196,332
2043	$124,437,617	$21,196,332
2044	$124,437,617	$21,196,332
2045	$124,437,617	$21,196,332
2046	$124,437,617	$21,196,332
2047	$124,437,617	$21,196,332
2048	$124,437,617	$21,196,332
2049	$124,437,617	$21,196,332
2050	$124,437,617	$21,196,332
2051	$124,437,617	$21,196,332
2052	$124,437,617	$21,196,332
2053	$124,437,617	$21,196,332
2054	$124,437,617	$21,196,332
2055	$124,437,617	$21,196,332
2056	$124,437,617	$21,196,332
2057	$124,437,617	$21,196,332
2058	$124,437,617	$21,196,332

Fuente: Elaboración propia con información de la CEA Jalisco.

Finalmente, como parte de los flujos de costos del proyecto, se identificó que en el año 20 deberá realizarse una reinversión en equipos de bombeo, la cual se incorporó por un monto de $706'544,400.00 en el año 2048 del escenario de evaluación.

V.2 IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS BENEFICIOS DEL PPI.

Los beneficios identificados debido al proyecto son

(1) Mayor consumo atribuible al mayor aporte de agua debido a la capacidad hidráulica de la infraestructura que permitirá utilizar el gasto autorizado para explotación

(2) Liberación de recursos de agua de pipa debido a que podrá reducirse el programa emergente anual dado el mayor aporte de agua debido a la capacidad hidráulica de la infraestructura.

(3) Liberación de recursos por ahorro en los costos de potabilización en la PP1 debido a la mejora en la calidad del agua al evitarse el abasto por el sistema del canal de Atequiza.

(4) Beneficio por evitarse la pérdida de consumo de agua potable de la población ante un evento de falla de la línea de conducción.

(5) Beneficio por ahorro de costos por las reparaciones emergentes ante un evento de falla de la línea de conducción.

(6) Beneficio por ahorro de costos en el servicio de entrega de agua en pipas ante un evento de falla de la línea de conducción.

(7) Liberación de recursos por ahorro de costos en el mantenimiento anual de la línea de conducción existente.

Para calcular los beneficios del proyecto, es indispensable contar con una función de demanda que determine la disposición a pagar de la población por el agua potable.

V.2.1 FUNCIÓN DE DEMANDA

Para el desarrollo de la función de la demanda, se utilizó el estudio "Estimación de los factores y funciones de la demanda de agua potable en el sector doméstico en México" que realizó la CONAGUA en el 2012, del cual se obtuvieron las funciones de demanda de diferentes tipos de clima[13].

La estimación de funciones de demanda de agua potable doméstica requiere de información específica, tanto sobre las características sociodemográficas y económicas propias del hogar como de su entorno físico, así como asociarla al nivel de consumo y al precio pagado. Para la AMG, la función de demanda que se aplica es la correspondiente al clima Cálido subhúmedo, de acuerdo con la clasificación de climas que corresponde a la región.

[13] Comisión Nacional del Agua, (2008), Metodologías de Evaluación Socioeconómica para Proyectos de Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento, Mejoramiento de Eficiencia y Protección a Centros de Población, SEMARNAT, México.

Tabla 48 Funciones de demanda por agrupamiento climático.

CLIMA	FUNCION	Elasticidad precio
Cálido Subhúmedo	$Q = e^{2.094} * P^{-0.322} * N^{0.445} * e^{0.040*TMA} * e^{-0.361*SD}$	-0.322

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de demanda de agua de CONAGUA.

Los datos de la zona que se obtuvieron y utilizaron para la determinación de la función de la demanda son los siguientes.

Tabla 49 Datos para la función de la demanda.

Municipio	Población[1/]	Índice de hacinamiento N[2/]	Tipo de clima	Temperatura media anual TMA[3/]	Precipitación (mm)[3/]
Guadalajara	1,385,629	3.46	Cálido Subhúmedo	23.5	984
Zapopan	1,476,491	3.46	Cálido Subhúmedo	23.5	1,007
Tlaquepaque	687,127	3.70	Cálido Subhúmedo	23.5	999
Tonalá	569,913	3.78	Cálido Subhúmedo	23.5	829
Tlajomulco de Zúñiga	727,750	3.42	Cálido Subhúmedo	19.3	783
Ixtlahuacán de los Membrillos	67,969	3.44	Cálido Subhúmedo	20.3	837
Juanacatlán	30,855	3.54	Cálido Subhúmedo	19.0	1,000
El Salto	232,852	3.72	Cálido Subhúmedo	19.7	1,000
Zapotlanejo	64,806	3.60	Cálido Subhúmedo	20.5	859.5
TOTAL	**5,243,392**	**3.53**	**Cálido Subhúmedo**	**21.4**	**922.0**

Nota: 1/ Censo de Población y Vivienda 2020.INEGI.
https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html#Datos_abiertos
2/ Promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas por entidad federativa. INEGI.
https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Vivienda_Vivienda_02_ada7bd46-f22e-4a3f-83a4-2a66d45baf66
3/ Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara y Sistema Meteorológico Nacional.
https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica
Fuente: Elaboración propia.

Con dichos datos, se determina la función de la demanda.

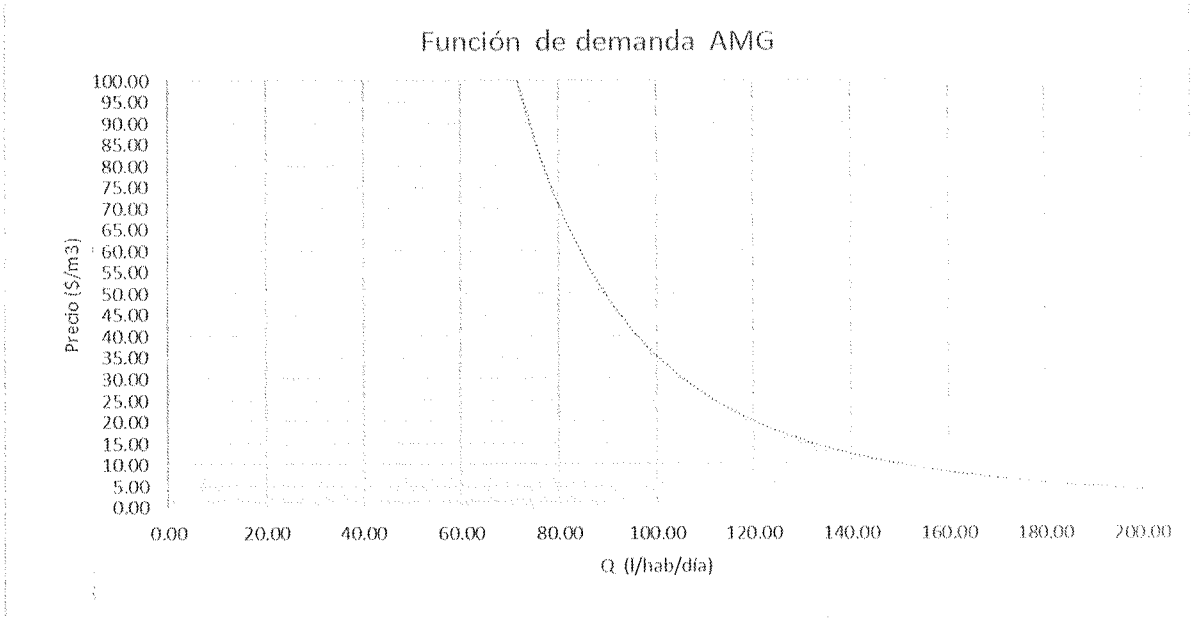
$$Q = e^{2.094} * P^{-0.322} * N^{0.445} * e^{0.04*TMA} * e^{-0.361*SD}$$

Por lo cual, sustituyendo los valores en la función:

$$Q= 33.67309082 * P^{-0.322}$$

Con lo cual se puede obtener la función de demanda para evaluar el proyecto.

Gráfica 11 Función de demanda para la AMG



Fuente: Elaboración propia.

V.2.2 BENEFICIOS POR MAYOR CONSUMO.

La estimación de los beneficios anuales corresponde a la diferencia entre el consumo de la oferta de agua en la situación sin proyecto, comparándose con el consumo que se obtendrá con la adición del proyecto a la oferta. En la situación sin proyecto, la extracción de agua del Lago de Chapala es 6.0 m3/s en promedio y con el proyecto podrá extraerse hasta 7.5 m3/s conforme a los derechos disponibles.

En caso de no ejecutarse el proyecto, se generarían paulatinamente mayores restricciones en el suministro de agua potable para los habitantes del AMG, de manera que se espera que sus niveles de consumo sean cada vez menores, con respecto a lo que estarían dispuestos a consumir ante las tarifas vigentes.

Una vez que la infraestructura de producción adicional del proyecto entre en operación, los habitantes del AMG podrán consumir los niveles de agua que su

disposición a pagar les permita, generando un beneficio social por mayor consumo de agua.

Para tal fin, se estimará el área bajo la función de demanda de cada año considerando el consumo sin y con proyecto.

El procedimiento es el siguiente.

1.- Se calculan los consumos sin y con proyecto, considerando la producción, pérdidas y consumos de otros usuarios.

Tabla 50 Proyección de los consumos sin proyecto.

AÑO	Consumos sin proyecto (l/hab/día)	Consumos sin proyecto (m3/toma/mes)
2026	91.8	9.7
2027	112.8	12.0
2028	113.6	12.0
2029	114.4	12.1
2030	115.2	12.2
2031	116.1	12.3
2032	117.0	12.4
2033	117.8	12.5
2034	118.7	12.6
2035	119.6	12.7
2036	118.8	12.6
2037	118.0	12.5
2038	117.2	12.4
2039	116.5	12.3
2040	115.8	12.3
2041	115.1	12.2
2042	114.5	12.1
2043	113.9	12.1
2044	113.3	12.0
2045	112.8	12.0
2046	112.3	11.9
2047	111.9	11.9
2048	111.4	11.8
2049	111.0	11.8
2050	110.6	11.7

2051	110.3	11.7
2052	109.9	11.7
2053	109.6	11.6
2054	109.3	11.6
2055	109.0	11.6
2056	108.8	11.5
2057	108.6	11.5
2058	108.4	11.5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 51 Proyección de los consumos con proyecto.

AÑO	Consumos con proyecto (l/hab/día)	Consumos con proyecto (m3/toma/mes)
2026	109.1	11.6
2027	100.3	10.6
2028	99.1	10.5
2029	84.2	8.9
2030	83.7	8.9
2031	91.2	9.7
2032	91.8	9.7
2033	112.8	12.0
2034	113.6	12.0
2035	129.9	13.8
2036	130.8	13.9
2037	131.8	14.0
2038	132.7	14.1
2039	133.7	14.2
2040	134.7	14.3
2041	135.7	14.4
2042	134.8	14.3
2043	133.9	14.2
2044	133.0	14.1
2045	132.2	14.0
2046	131.5	13.9
2047	130.7	13.9
2048	130.1	13.8
2049	129.4	13.7

2050	128.8	13.7
2051	128.3	13.6
2052	127.7	13.5
2053	127.2	13.5
2054	126.8	13.4
2055	126.3	13.4
2056	125.9	13.4
2057	125.5	13.3
2058	125.2	13.3

Fuente: Elaboración propia.

2.- Se determina el área bajo la función de la demanda

La diferencia entre estos consumos son los que determinaron la rentabilidad del proyecto al determinar el área bajo la función de demanda descrita anteriormente.

Para tal fin, se realiza la integración del área bajo la curva desde el consumo sin proyecto hasta el consumo con proyecto, cuidando que el precio implícito de dichos consumos no sea mayor que el de obtener el agua por un método alterno, como es el agua en pipa.

A partir de la información obtenida mediante las encuestas realizadas por la CEA Jalisco, se observa que el precio del agua en pipa asciende a $\$124.91/m^3$ (Pesos 2026), precio del cual no puede subir el precio implícito del proyecto.

El precio implícito se obtiene de igual forma con la función de demanda obtenida.

$$P= (Q/A)^{\wedge(1/e)}$$
$$A= 33.67309082$$
$$e= -0.322$$

Tabla 52 Precios implícitos sin y con proyecto.

AÑO	Precios implícitos sin proyecto	Precios implícitos con proyecto
2029	$ 23.50	$ 15.85
2030	$ 22.98	$ 15.50
2031	$ 22.46	$ 15.16
2032	$ 21.94	$ 14.81

AÑO	Precios implícitos sin proyecto	Precios implícitos con proyecto
2033	$ 21.44	$ 14.48
2034	$ 20.94	$ 14.15
2035	$ 20.46	$ 13.82
2036	$ 20.91	$ 14.12
2037	$ 21.36	$ 14.42
2038	$ 21.80	$ 14.71
2039	$ 22.24	$ 14.99
2040	$ 22.66	$ 15.26
2041	$ 23.07	$ 15.53
2042	$ 23.46	$ 15.78
2043	$ 23.83	$ 16.02
2044	$ 24.19	$ 16.26
2045	$ 24.54	$ 16.48
2046	$ 24.87	$ 16.69
2047	$ 25.19	$ 16.89
2048	$ 25.50	$ 17.08
2049	$ 25.79	$ 17.27
2050	$ 26.08	$ 17.45
2051	$ 26.35	$ 17.62
2052	$ 26.61	$ 17.78
2053	$ 26.85	$ 17.93
2054	$ 27.08	$ 18.06
2055	$ 27.29	$ 18.19
2056	$ 27.47	$ 18.30
2057	$ 27.64	$ 18.39
2058	$ 27.78	$ 18.47

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, el valor de este beneficio se hace en términos anuales y por el total de tomas para obtener el beneficio total anual atribuible al proyecto, mediante la integración del área bajo la curva.

Haciendo una analogía entre las variables matemáticas (X, Y) y las variables precio y demanda (Q, P), y observando la ecuación: $Q = f(P) = A \cdot P^e$ la función queda expresada en la siguiente forma:

$$P = f(Q) = \left(\frac{Q}{A}\right)^{\frac{1}{e}}$$

Cuya integral resulta ser:

$$\int P = \int_{Q_1}^{Q_2} \left(\frac{Q}{A}\right)^{\frac{1}{e}} d(Q) = \left[\frac{e}{A^{\frac{1}{e}} + A^{\frac{1}{e}} \cdot e}\right] \cdot Q^{\frac{1+e}{e}} \Bigg|_{Q_1}^{Q_2} = \left[\frac{e}{A^{\frac{1}{e}} + A^{\frac{1}{e}} \cdot e}\right] \cdot \left(Q_2^{\frac{1+e}{e}} - Q_1^{\frac{1+e}{e}}\right)$$

Es decir, que el beneficio se calcula con la fórmula:

$$beneficio := \frac{e}{A^{\frac{1}{e}} + A^{\frac{1}{e}} \cdot e} \cdot \left(Q2^{\frac{1+e}{e}} - Q2^{\frac{1+e}{e}}\right)$$

La estimación del área permite determinar la valoración de los beneficios anuales por el efecto por mayor consumo, los cuales se presentan en la tabla 53.

Tabla 53 Beneficios por mayor consumo (pesos 2026).

AÑO	
2026	$0
2027	$0
2028	$0
2029	$610,648,208
2030	$605,145,507
2031	$599,349,021
2032	$593,321,179
2033	$587,151,388
2034	$580,891,929
2035	$574,570,445
2036	$587,135,196
2037	$599,585,628
2038	$611,852,620
2039	$623,844,332
2040	$635,498,010
2041	$646,726,511
2042	$657,499,065
2043	$667,812,637

AÑO	
2044	$677,677,440
2045	$687,111,276
2046	$696,147,463
2047	$704,819,410
2048	$713,158,183
2049	$721,174,408
2050	$728,866,637
2051	$736,223,310
2052	$743,200,365
2053	$749,746,187
2054	$755,798,086
2055	$761,297,703
2056	$766,219,332
2057	$770,531,917
2058	$774,264,310

Fuente: Elaboración propia.

V.2.3 BENEFICIOS POR LIBERACIÓN DE RECURSOS POR AHORRO DE COSTOS EN ABASTECIMIENTO CON PIPAS.

De conformidad con lo señalado en el diagnóstico, un amplio porcentaje de la población complementa su consumo mediante la compra de agua en pipa, misma que almacena en tambos, tinacos o cisternas. Estos costos han disminuido recientemente debido a las obras de infraestructura que ha llevado a cabo el gobierno del estado.

Este consumo no es tan significativo respecto del consumo diario, sin embargo, dada la ausencia de un programa de tandeos programados, la compra de agua en pipa sustituye a la incertidumbre de contar con el servicio.

De conformidad con los resultados del estudio realizado en 2015, el 42.3% de la población del AMG requiere agua de pipa debido a tandeos o baja presión en el sistema. Para la evaluación se consideró que disminuyó este porcentaje un 50% derivado de la mayor disponibilidad de agua en bloque.

Tabla 54 Beneficios por liberación de recursos de agua de pipa (pesos 2026).

AÑO	
2026	$0
2027	$0

AÑO	
2028	$0
2029	$528,246,943
2030	$531,953,690
2031	$535,502,950
2032	$538,909,040
2033	$542,196,121
2034	$545,377,615
2035	$548,460,679
2036	$551,444,868
2037	$554,319,442
2038	$557,067,400
2039	$559,666,821
2040	$562,104,280
2041	$564,360,989
2042	$566,434,709
2043	$568,329,914
2044	$570,054,659
2045	$571,618,785
2046	$573,035,715
2047	$574,317,082
2048	$575,474,965
2049	$576,514,285
2050	$577,437,728
2051	$578,244,399
2052	$578,925,348
2053	$579,470,734
2054	$579,867,135
2055	$580,103,364
2056	$580,174,949
2057	$580,077,862
2058	$579,821,052

Fuente: Elaboración propia.

V.2.4 BENEFICIOS POR AHORRO DE COSTOS EN POTABILIZACIÓN Y OPERACIÓN DEBIDO AL ACUEDUCTO SUSTITUTO.

El proyecto del acueducto sustituto permitirá una reducción de costos de potabilización debido a que podrá dejar de utilizarse el antiguo sistema del canal de Atequiza como complemento. Asimismo, el acueducto sustituto podrá tener una reducción en los costos de bombeo ante la mejora de eficiencia de los equipos.

Tabla 55 Beneficios por liberación de recursos por ahorro de costos de potabilización y conducción (pesos 2026).

AÑO	
2026	$0
2027	$0
2028	$0
2029	$176,137,994
2030	$176,137,994
2031	$176,137,994
2032	$176,137,994
2033	$176,137,994
2034	$176,137,994
2035	$176,137,994
2036	$176,137,994
2037	$176,137,994
2038	$176,137,994
2039	$176,137,994
2040	$176,137,994
2041	$176,137,994
2042	$176,137,994
2043	$176,137,994
2044	$176,137,994
2045	$176,137,994
2046	$176,137,994
2047	$176,137,994
2048	$176,137,994
2049	$176,137,994
2050	$176,137,994
2051	$176,137,994
2052	$176,137,994

AÑO	
2053	$176,137,994
2054	$176,137,994
2055	$176,137,994
2056	$176,137,994
2057	$176,137,994
2058	$176,137,994

Fuente: Elaboración propia.

V.2.5 BENEFICIOS POR COSTOS EVITADOS DEBIDO A LA PROBABILIDAD DE FALLA DEL ACUEDUCTO CHAPALA-GUADALAJARA.

De conformidad con lo señalado en el diagnóstico, un amplio porcentaje de la población complementa su consumo mediante la compra de agua en pipa, misma que almacena en tambos, tinacos o cisternas. Estos costos han disminuido recientemente debido a las obras de infraestructura que ha llevado a cabo el gobierno del estado.

Tabla 56 Proyección de beneficios ante eventos de fallas en el acueducto Chapala-Guadalajara (pesos 2026).

AÑO	CONSUMO NO PERDIDO EN EVENTOS DE FALLA	AHORRO DE COSTOS POR REPARACIONES EN EVENTOS DE FALLA	AHORRO DE COSTOS POR PIPAS EN EVENTOS DE FALLA
2026	$0	$0	$0
2027	$0	$0	$0
2028	$0	$0	$0
2029	$3,313,631	$2,327,586	$13,553,132
2030	$3,260,890	$2,327,586	$13,553,132
2031	$3,208,249	$2,327,586	$13,553,132
2032	$3,155,908	$2,327,586	$13,553,132
2033	$3,104,157	$2,327,586	$13,553,132
2034	$3,053,149	$2,327,586	$13,553,132
2035	$3,002,947	$2,327,586	$13,553,132
2036	$3,052,010	$2,327,586	$13,553,132
2037	$3,100,568	$2,327,586	$13,553,132
2038	$3,148,394	$2,327,586	$13,553,132
2039	$3,195,191	$2,327,586	$13,553,132
2040	$3,240,763	$2,327,586	$13,553,132
2041	$3,284,835	$2,327,586	$13,553,132

AÑO	CONSUMO NO PERDIDO EN EVENTOS DE FALLA	AHORRO DE COSTOS POR REPARACIONES EN EVENTOS DE FALLA	AHORRO DE COSTOS POR PIPAS EN EVENTOS DE FALLA
2042	$3,327,325	$2,327,586	$13,553,132
2043	$3,368,249	$2,327,586	$13,553,132
2044	$3,407,662	$2,327,586	$13,553,132
2045	$3,445,645	$2,327,586	$13,553,132
2046	$3,482,328	$2,327,586	$13,553,132
2047	$3,517,840	$2,327,586	$13,553,132
2048	$3,552,299	$2,327,586	$13,553,132
2049	$3,585,752	$2,327,586	$13,553,132
2050	$3,618,203	$2,327,586	$13,553,132
2051	$3,649,625	$2,327,586	$13,553,132
2052	$3,679,877	$2,327,586	$13,553,132
2053	$3,708,794	$2,327,586	$13,553,132
2054	$3,736,175	$2,327,586	$13,553,132
2055	$3,761,831	$2,327,586	$13,553,132
2056	$3,785,682	$2,327,586	$13,553,132
2057	$3,807,627	$2,327,586	$13,553,132
2058	$3,827,764	$2,327,586	$13,553,132

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, debido a la operación del acueducto sustituto, se dejarán de erogar los costos de mantenimiento para el acueducto Chapala-Guadalajara por un monto anual estimado en $387,931.03 ya que la infraestructura existente quedará solo para operar en caso de eventos extraordinarios.

V.3 CÁLCULO DE LOS INDICADORES DE RENTABILIDAD.

Con base en las estimaciones de costos y beneficios anuales a precios de 2025, y considerando una tasa de descuento de 10%[14], se calcularon los indicadores de rentabilidad. En la siguiente tabla se presenta la proyección de beneficios y costos.

[14] Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Subsecretaría de Egresos. Unidad de Inversiones. Oficio 400.1.410.14.009 de fecha 3 de enero de 2014.

Tabla 57 Proyección de beneficios y costos sociales (pesos 2026).

AÑO	BENEFICIOS TOTALES	COSTOS TOTALES	FLUJO NETO DE EVALUACIÓN
2026	$0	$1,752,478,397	-$1,752,478,397
2027	$0	$3,504,956,795	-$3,504,956,794
2028	$0	$3,504,956,795	-$3,504,956,795
2029	$1,334,615,425	$145,633,949	$1,188,981,476
2030	$1,332,766,729	$145,633,949	$1,187,132,780
2031	$1,330,466,862	$145,633,949	$1,184,832,913
2032	$1,327,792,770	$145,633,949	$1,182,158,820
2033	$1,324,858,309	$145,633,949	$1,179,224,360
2034	$1,321,729,336	$145,633,949	$1,176,095,387
2035	$1,318,440,715	$145,633,949	$1,172,806,766
2036	$1,334,038,717	$145,633,949	$1,188,404,768
2037	$1,349,412,280	$145,633,949	$1,203,778,331
2038	$1,364,475,058	$145,633,949	$1,218,841,109
2039	$1,379,112,986	$145,633,949	$1,233,479,037
2040	$1,393,249,697	$145,633,949	$1,247,615,748
2041	$1,406,778,978	$145,633,949	$1,261,145,028
2042	$1,419,667,742	$145,633,949	$1,274,033,793
2043	$1,431,917,443	$145,633,949	$1,286,283,494
2044	$1,443,546,404	$145,633,949	$1,297,912,455
2045	$1,454,582,349	$145,633,949	$1,308,948,400
2046	$1,465,072,150	$145,633,949	$1,319,438,201
2047	$1,475,060,975	$145,633,949	$1,329,427,026
2048	$1,484,592,090	$852,178,349	$632,413,741
2049	$1,493,681,088	$145,633,949	$1,348,047,139
2050	$1,502,329,212	$145,633,949	$1,356,695,263
2051	$1,510,523,976	$145,633,949	$1,364,890,027
2052	$1,518,212,233	$145,633,949	$1,372,578,284
2053	$1,525,332,359	$145,633,949	$1,379,698,410
2054	$1,531,808,039	$145,633,949	$1,386,174,090
2055	$1,537,569,542	$145,633,949	$1,391,935,592
2056	$1,542,586,606	$145,633,949	$1,396,952,657
2057	$1,546,824,049	$145,633,949	$1,401,190,100
2058	$1,550,319,770	$145,633,949	$1,404,685,821

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 58 se presenta los resultados obtenidos.

Tabla 58 Indicadores de rentabilidad (pesos 2026).

Valor actual de los beneficios social (VABS)=	**$10,706,688,614**
Valor actual de los costos social (VACS)=	**$9,056,867,963**
Valor actual neto social (VANS)=	**$1,649,820,652**
Tasa interna de retorno social (TIRS)=	**12.17%**
Tasa de rentabilidad inmediata (TRI)=	**13.02%**

Fuente: Elaboración propia.

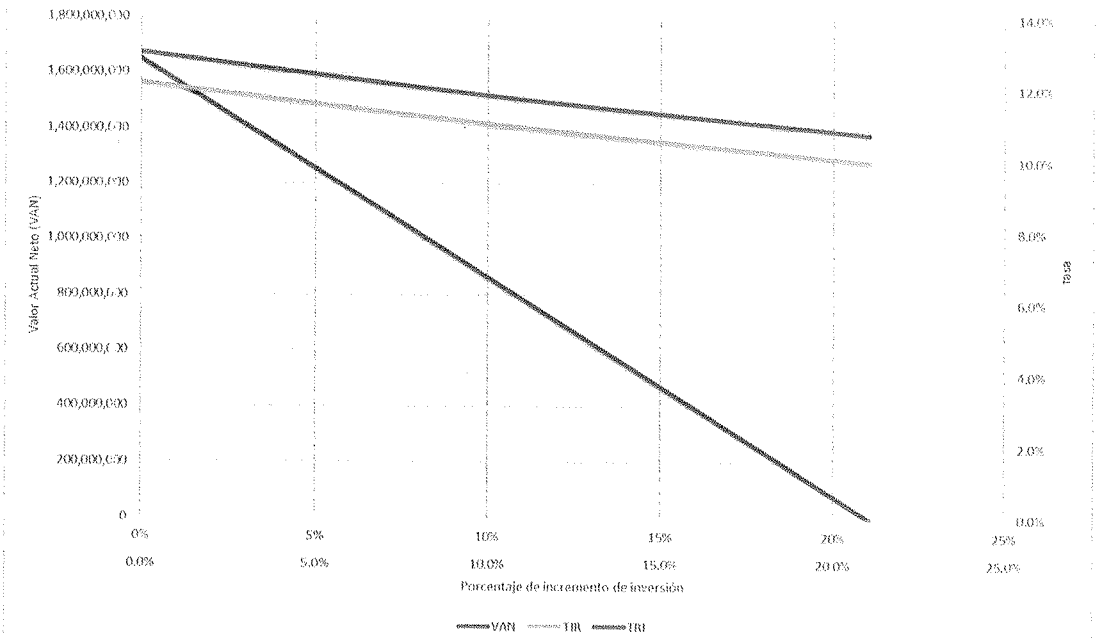
Como puede observarse, la rentabilidad es positiva y tanto la TIR como la TRI tienen valores superiores a la tasa social de descuento.

V.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.

V.4.1 VARIACIÓN EN EL MONTO TOTAL DE INVERSIÓN.

Al realizar el análisis de sensibilidad de este parámetro, se determinó que para que el proyecto deje de ser rentable, es necesario que la inversión se incremente en más de 21%, por lo que deberá llevarse a cabo un adecuado seguimiento y control del proceso constructivo.

Gráfica 12 Sensibilidad a incrementos en el monto de inversión



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59 Sensibilidad a incrementos en el monto de inversión.

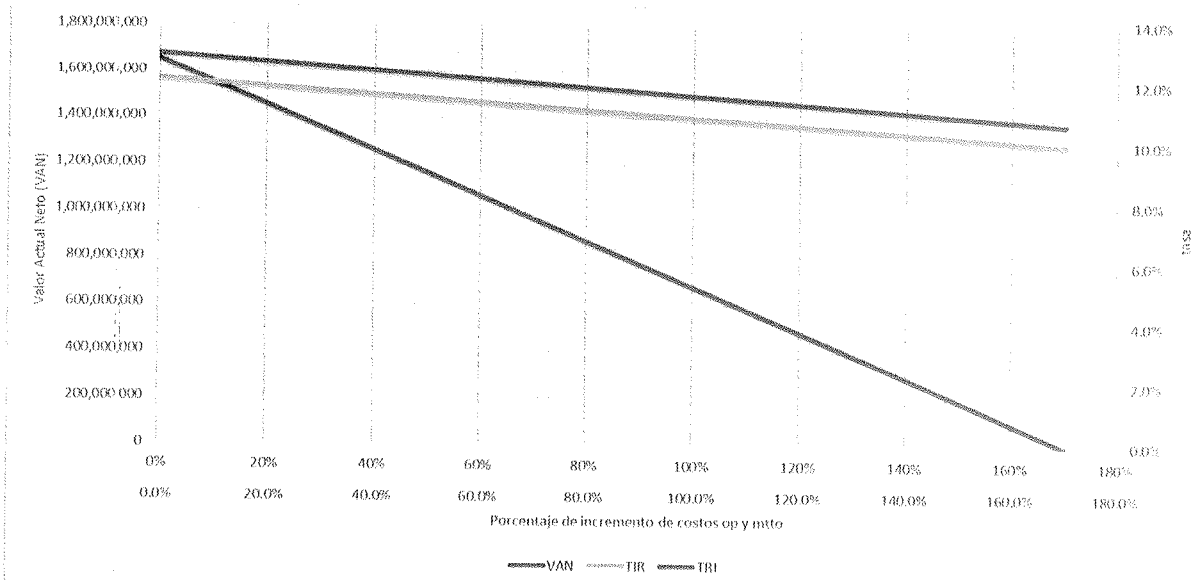
% incremento	VAN (Pesos de 2026)	TIR	TRI
0.0%	$1,649,820,652	12.2%	13.0%
10.0%	$866,274,525	11.1%	11.8%
21.1%	$0	10.0%	10.8%

Fuente: Elaboración propia.

V.4.2 VARIACIÓN EN LOS COSTOS DE OPERACIÓN.

Con respecto a esta variable, la sensibilidad es muy baja, ya que para que dejara de ser rentable se requiere que los costos se incrementen en más de 170.2%, por lo que se considera un escenario muy poco probable y por ende de bajo riesgo.

Gráfica 13 Sensibilidad a incrementos en los costos de operación



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60 Sensibilidad a incrementos en los costos de operación.

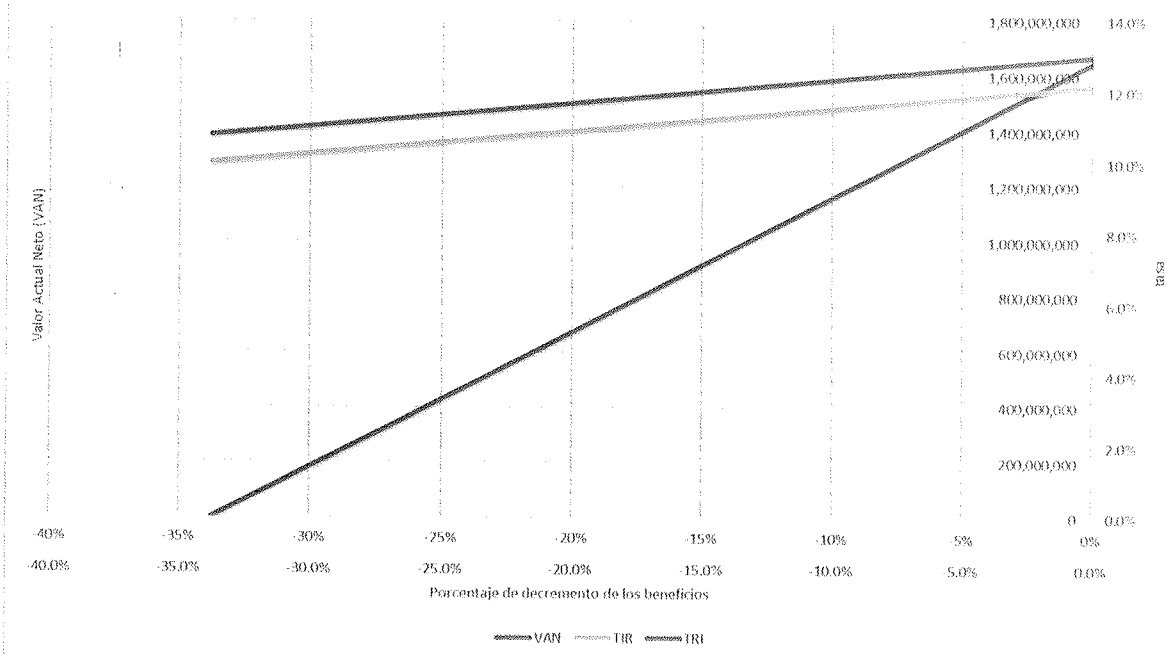
% incremento	VAN (Pesos de 2026)	TIR	TRI
0.0%	$1,649,820,652	12.2%	13.0%
100.0%	$680,347,285	10.9%	11.7%
170.2%	$0	10.0%	10.7%

Fuente: Elaboración propia.

V.4.3 VARIACIÓN EN LOS BENEFICIOS POR MAYOR CONSUMO.

Con respecto a los beneficios, se estimó que tendrían que disminuir en más de 33.7% para que la rentabilidad del proyecto se volviera negativa, por lo que, dado que se trabajó con un escenario conservador, puede considerarse también de bajo riesgo.

Gráfica 14 Sensibilidad a disminución de los beneficios



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61 Sensibilidad a disminución de los beneficios por mayor consumo.

% decremento	VAN (Pesos de 2026)	TIR	TRI
0.0%	$1,649,820,652	12.2%	13.0%
-25.0%	$427,714,055	10.6%	11.4%
-33.7%	$0	10.0%	10.8%

Fuente: Elaboración propia.

V.5 ANÁLISIS DE RIESGOS.

A partir de la revisión de los potenciales riesgos del proyecto, se identificaron los principales en el desarrollo del mismo.

Tabla 62 Matriz de riesgos.

	Riesgos	Clasificación	Medida de mitigación
1	Riesgo de adquisición de terrenos	Medio	Formalizar contrato de compra-venta. Convenios de ocupación previa. No iniciar el proyecto hasta tener el terreno.
2	Riesgo de demora en la aprobación de la adjudicación del contrato	Medio	Garantía de seriedad.
3	Riesgo en la participación de los concursantes	Medio	Documentos de licitación adecuados. Promoción.

	Riesgos	Clasificación	Medida de mitigación
4	Riesgo en la información para participantes	Medio	Integración de un apéndice técnico lo más completo. Bases claras y concretas.
5	Riesgo de diseño	Bajo	Proyecto ejecutivo concluido, supervisión y GEP eficiente. Revisar bases. Supervisión eficiente. Revisión de oferta técnica exhaustiva. Tiempo suficiente para elaborar propuestas.
6	Riesgo de sobrecostos en la construcción	Medio	Proyecto ejecutivo concluido, supervisión y GEP eficiente. Revisar bases. Supervisión eficiente. Revisión de oferta técnica exhaustiva. Tiempo suficiente para elaborar propuestas.
7	Riesgos de atrasos en el desarrollo de la construcción de obras	Alto	Proyecto ejecutivo concluido, supervisión y GEP eficiente. Revisar bases. Supervisión eficiente. Revisión de oferta técnica exhaustiva. Tiempo suficiente para elaborar propuestas.
8	Riesgo Operativo	Bajo	Supervisión.
9	Riesgo de discontinuidad del servicio	Medio	Seguros
10	Riesgo ambiental	Medio	Supervisión. Sanciones en contrato. Vigilancia.
11	Riesgo tasa de interés	Medio	Coberturas.
12	Riesgo tipo de cambio	Medio	Coberturas.

Fuente: CEA Jalisco.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El crecimiento del Área Metropolitana de Guadalajara sumado a que es uno de los centros de población más importantes del país debido a sus actividades económicas y sociales, requiere contar con una infraestructura que permita un servicio continuo de agua potable para la población. Durante los últimos años, se han ejecutado diversas acciones que han permitido incrementar la disponibilidad de agua en bloque para la metrópoli, sin embargo, ahora se requiere garantizar la operación del sistema de abastecimiento.

La importancia de planear el abasto de agua en este contexto es que el aumento de la población y la expansión urbana generan una mayor demanda de agua potable, que puede superar la oferta disponible y provocar problemas de escasez, contaminación y conflictos por el uso del recurso. Por eso, se necesita una visión futura sobre los mejores aprovechamientos de las concesiones disponibles del agua potable mediante la optimización de la infraestructura para hacer frente al crecimiento poblacional, y además políticas públicas que fomenten la eficiencia, la equidad, la calidad y la sustentabilidad del servicio.

El escenario de evaluación contempló un esquema de abastecimiento de agua potable sostenible en el largo plazo, el cual mantenga en equilibrio la explotación de los acuíferos. Por otra parte, en lo que corresponde a la demanda, se trabajó con supuestos razonables en cuanto a su crecimiento futuro, mismos que pueden considerarse conservadores.

El balance oferta-demanda, por las razones anteriores se considera conservador en gran medida, y realmente el Estado de Jalisco deberá de seguir buscando alternativas que permitan cubrir el déficit de agua en el largo plazo.

Tabla 63 Indicadores de rentabilidad socioeconómica (año 0=2026).

Indicador	Pesos de 2026
Valor actual neto social	**$1,649,820,652**
Tasa interna de retorno social	**12.17%**
Tasa de rentabilidad inmediata social	**13.02%**

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, el valor actual neto es positivo y tanto la TIR como la TRI tienen un valor superior a la tasa de descuento social (10%), por lo que cumplen con el criterio establecido para determinar la conveniencia del proyecto.

En lo correspondiente a la sensibilización de variables, se trabajó con la inversión, los costos de operación y mantenimiento, así como con los beneficios por mayor consumo, manteniendo la rentabilidad del proyecto ante variaciones superiores al 25%. En el caso de la inversión tiene una sensibilidad hasta 21%, pero se considera adecuado toda vez que se cuenta con el proyecto ejecutivo de la obra.

Por lo antes expuesto y de conformidad con el análisis realizado, se concluye que el proyecto es socialmente rentable, por lo que resulta viable su ejecución.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, *Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican*, SEMARNAT, México. Publicado en el Diario Oficial de la Federación en los años 2007, 2009, 2013, 2015, 2018, 2020.

http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4996252&fecha=13/08/2007
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5107344&fecha=28/08/2009
http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5327360&fecha=20/12/2013
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5389380&fecha=20/04/2015
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5510042&fecha=04/01/2018
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5600593&fecha=17/09/2020

Comisión Nacional del Agua, (2015), *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Metodologías de Evaluación Socioeconómica y Estructuración de Proyectos de Inversión (Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento, Mejoramiento de Eficiencia y Protección a Centros de Población)*, SEMARNAT, México.

Comisión Nacional del Agua, (2012), *Estimación de los Factores y Funciones de la Demanda de Agua Potable en el Sector Doméstico en México. Informe Final*, CIDE, Octubre, México.

Gobierno del estado de Jalisco, (2025), *Plan Estatal de Desarrollo y Gobernanza 2024-2030 "Hacia una Ruta Sustentable para las Niñas y Niños, con una Visión 2050"*, Jalisco, México.

Sistema Intermunicipal para los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado, (2020), *Informe de Actividades y Resultados*, Enero-Diciembre 2020, México.

Sistema Intermunicipal para los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado, (2021), *Informe de Actividades y Resultados*, Enero-Diciembre 2021, México.

Sistema Intermunicipal para los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado, (2022), *Informe de Actividades y Resultados*, Enero-Diciembre 2022, México.

Sistema Intermunicipal para los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado, (2023), *Informe de Actividades y Resultados*, Enero-Diciembre 2023, México.

Sistema Intermunicipal para los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado, (2024), *Informe de Actividades y Resultados*, Enero-Diciembre 2024, México.

Sistema Intermunicipal para los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado, (2025), *Informe de Actividades y Resultados*, Enero-Diciembre 2025, México.

Sistema Intermunicipal para los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado, (2018), *Diagnóstico Integral de Planeación*, México.

Presidencia de la República, (2025), Plan Nacional de Desarrollo 2025 - 2030, México.

Páginas web

www.ceajalisco.gob.mx

www.gob.mx/conapo

www.inegi.org.mx

www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/

www.siapa.gob.mx

www.smn.cna.gob.mx/es/

http://iam.cucei.udg.mx/sites/default/files/datos1991-2020-prom.png

https://www.dof.gob.mx/

Formato - Ficha de Valoración Estratégica (FIVE)
Ficha de Valoración Estratégica Simplificada (FIVE-S)

I. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROGRAMA Y PROYECTO DE INVERSIÓN (PPI)

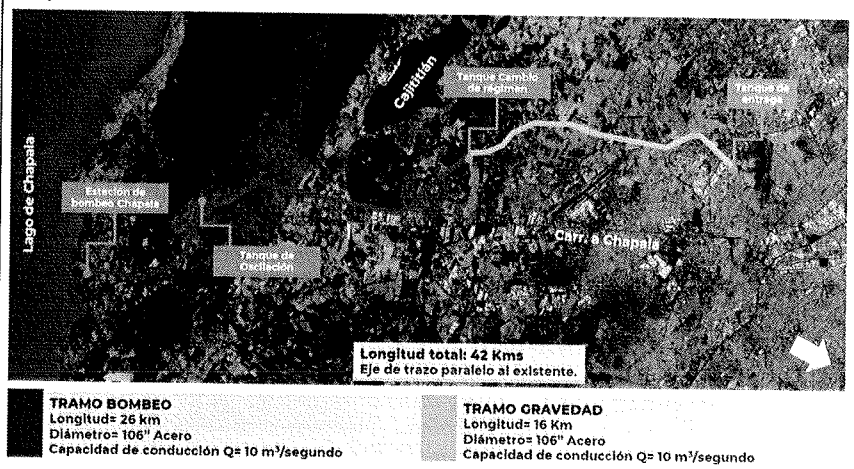
Objetivo: *Capturar la información básica de identificación técnica y administrativa que describa la información básica del PPI.*

No	Campo	Descripción/Indicaciones de llenado
1	**Nombre del PPI**	*Construcción de la Infraestructura del Acueducto Sustituto Chapala-Guadalajara.*
2	**Nombre oficial del PPI**	*Construcción de la Infraestructura del Acueducto Sustituto Chapala-Guadalajara.*
3	**Ramo, Unidades Responsables**	*Sector Agua - Infraestructura Hidráulica. Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEA).*
4	**Programa presupuestario**	*27. Infraestructura en materia de agua potable, alcantarillado y saneamiento.*
5	**Localización geográfica**	*El proyecto se localiza en el estado de Jalisco y contempla la construcción de infraestructura a través de los municipios de Chapala, Ixtlahuacán de los Membrillos, El Salto, Tlajomulco y Guadalajara. Las coordenadas de localización son las siguientes:* *Línea de conducción: tramo de impulsión*

PVI	CAD.	X	Y	Z
0	0	693,580.3942	2,247,566.2113	1,525.73
41	747.31	693,205.7478	2,248,207.0403	1,535.89
149	2877.02	692,568.8867	2,250,239.2947	1,547.51
155	2978.71	692,499.3278	2,250,313.4688	1,549.26
175	3355.43	692,137.2482	2,250,417.4685	1,576.31
183	3495.07	692,016.5168	2,250,487.6448	1,589.75
191	3629.44	691,918.5216	2,250,579.5820	1,582.08
220	4173.63	691,644.4917	2,251,049.7335	1,603.97
228	4281.66	691,580.4731	2,251,136.7540	1,600.67
280	5318.14	690,734.5408	2,251,735.6735	1,585.20
289	5460.76	690,612.5411	2,251,809.5425	1,584.77
312	5867.89	690,217.0798	2,251,906.3117	1,582.04
316	5938.66	690,146.4397	2,251,902.0359	1,583.33
350	6580.9	689,530.6208	2,251,719.7223	1,586.49
356	6693.11	689,419.8423	2,251,701.8437	1,586.67
392	7393.97	688,718.9942	2,251,705.5679	1,591.87
455	8613.59	687,516.0589	2,251,504.5427	1,609.29
461	8717.56	687,412.0914	2,251,505.6897	1,609.76
466	8796.56	687,344.1337	2,251,545.9757	1,610.48
530	10048.02	686,438.4094	2,252,409.5747	1,607.32
535	10127.4	686,375.6748	2,252,458.2092	1,607.72
638	12123.19	684,642.9260	2,253,448.5556	1,596.32
644	12234.37	684,564.7304	2,253,527.5892	1,593.80
649	12301.54	684,537.3299	2,253,588.9142	1,591.71
771	14707.32	683,998.4760	2,255,933.5692	1,600.87
1050	20195.95	682,365.4563	2,261,173.6316	1,584.08
1056	20293.97	682,325.1825	2,261,263.0006	1,581.70
1109	21339.38	681,539.2163	2,261,952.3000	1,544.90
1115	21433.88	681,450.7572	2,261,985.5460	1,546.96
1134	21779.98	681,105.0031	2,262,001.0047	1,549.14
1139	21852.97	681,039.1341	2,262,032.4636	1,548.72
1144	21935.04	680,957.0733	2,262,031.5954	1,547.81
1148	21997.93	680,899.3246	2,262,006.6950	1,546.88
1175	22509.77	680,387.6748	2,262,020.8505	1,544.83
1349	25920	677,286.7687	2,263,440.0175	1,609.38

Línea de conducción: tramo gravedad

PVI	CAD	X	Y	Z
0	25+920.00	677286.7687	2263440.0175	1,609.38
4	25+981.36	677230.5537	2263464.6159	1,609.28
48	26+809.84	676829.8816	2264189.7302	1,602.06
51	26+853.72	676801.1384	2264222.8829	1,600.20
104	27+863.82	675976.1250	2264805.6750	1,601.43
147	28+681.24	675177.3778	2264979.3872	1,587.45
205	29+824.27	674209.8167	2265587.9393	1,582.25
209	29+884.72	674166.2511	2265629.8436	1,583.97
245	30+580.00	673795.0230	2266217.7301	1,573.07
318	31+967.10	673152.2518	2267446.9054	1,561.28
390	33+359.59	673002.2214	2268831.2842	1,551.69
393	33+389.58	672998.1173	2268860.9881	1,551.15
396	33+425.74	672991.3080	2268896.5031	1,550.76
399	33+461.28	672983.6349	2268931.2059	1,550.27
405	33+571.38	672952.4334	2269036.7919	1,548.72
468	34+807.37	672579.2693	2270215.1066	1,529.02
485	35+136.70	672478.2284	2270528.5484	1,527.06
509	35+580.10	672343.9956	2270951.1475	1,526.71
599	37+346.81	671807.1269	2272634.3008	1,528.41
604	37+436.45	671778.6935	2272719.3170	1,528.76
611	37+553.12	671738.9445	2272829.0058	1,529.22
620	37+701.67	671684.2255	2272967.1058	1,529.49
622	37+731.37	671669.6594	2272992.9949	1,529.68
626	37+781.48	671638.0879	2273031.9048	1,529.72
651	38+264.87	671258.9946	2273331.8244	1,530.64
660	38+427.44	671130.0386	2273430.8247	1,531.21
669	38+585.76	671005.7587	2273528.8960	1,531.77
679	38+762.74	670868.3357	2273640.4193	1,532.59
697	39+115.84	670590.8824	2273858.8257	1,533.77
700	39+139.42	670571.8786	2273872.7768	1,534.04
704	39+195.25	670523.5210	2273900.6873	1,534.24
708	39+245.99	670483.3309	2273931.6597	1,534.22
711	39+285.61	670454.2763	2273958.5913	1,534.48
719	39+436.18	670362.4885	2274077.9452	1,534.77
722	39+475.46	670340.1784	2274110.2768	1,535.09
738	39+711.89	670226.2113	2274312.3910	1,535.92
741	39+750.26	670226.1522	2274350.7646	1,536.00
744	39+791.31	670233.1056	2274391.2143	1,536.17
749	39+866.36	670250.8154	2274464.1467	1,536.34
772	40+317.20	670329.1004	2274908.1434	1,537.97
792	40+695.43	670398.5569	2275279.9362	1,539.87
797	40+770.99	670421.6467	2275351.8838	1,540.30
809	40+993.17	670468.1020	2275569.1531	1,540.93
816	41+112.37	670489.6078	2275686.3937	1,544.05
819	41+143.58	670495.7921	2275716.9895	1,544.58
827	41+280.46	670535.9197	2275847.8536	1,545.48
835	41+438.84	670579.9098	2276000.0000	1,549.06
840	41+502.92	670590.0501	2276063.2737	1,550.54
849	41+673.57	670635.4033	2276227.7845	1,554.64
855	41+775.06	670672.9578	2276322.0759	1,556.10
867	41+994.12	670724.7246	2276534.9341	1,562.88
876	42+154.58	670738.8065	2276694.7734	1,571.53
878	42+178.94	670743.9753	2276718.5795	1,573.02
884	42+273.90	670772.9067	2276809.0245	1,580.13
891	42+380.00	670801.6843	2276907.1881	1,586.87

		Mapa de localización 
6	**Problemática a atender**	*El sistema de conducción Chapala-Guadalajara presenta deterioro estructural y ha superado su vida útil, lo que incrementa el riesgo de fallas en el suministro de agua potable para el Área Metropolitana de Guadalajara. La creciente demanda derivada del crecimiento poblacional y la dependencia de una infraestructura envejecida generan vulnerabilidad en la continuidad del servicio para una población de 5.6 millones de habitantes (2026).*
7	**Metas físicas**	*Construcción de línea de impulsión a bombeo y línea por gravedad con capacidad máxima de 10 m^3/s, estación de bombeo y adquisición de predios para infraestructura hidráulica del sistema Chapala-Guadalajara.*
8	**Objetivo del PPI**	*Garantizar la continuidad y confiabilidad del abastecimiento de agua potable para el Área Metropolitana de Guadalajara mediante la construcción de infraestructura sustituta del sistema de conducción existente que permita la entrega de 7.5 m^3/s promedio anual.*
9	**Descripción general del PPI**	*Construcción de la infraestructura hidráulica para la conducción de 7.5 m^3/s promedio anual de agua en bloque del Lago de Chapala para abastecer el AMG y permitir el incremento en la disponibilidad media anual y garantizar el abasto medio actual para una población de 5.6 millones de habitantes.*

II. CLASIFICACIÓN DEL PPI: TIPO DE PPI

Objetivo: *Clasificar el PPI según el sector de política pública de infraestructura a ejecutar, para su agrupación, análisis y priorización sectorial. Presentar las cifras.*

No	Campo	Descripción/Indicaciones de llenado
10	**Tipo de PPI**	***f. Infraestructura energética y para la sustentabilidad***

		27. Infraestructura en materia de agua potable, alcantarillado y saneamiento

III. MONTO TOTAL DE INVERSIÓN Y DESAGREGACIÓN

Objetivo: *Registrar el monto total requerido para toda la vida útil del PPI, con desglose de conceptos y requerimientos plurianuales. (indicar montos con IVA).*

A) MONTO TOTAL DEL PPI

No	Campo	Monto
11	**Monto total de inversión**	*$10,136,374,704.85 pesos (IVA incluido).*
12	**Costo de operación**	*$$622,395,678 (anuales) lo que suma $18,671,870,338 durante la vida útil* *Este costo es el total operando a la capacidad de 7.5 m^3/s*
13	**Costos de mantenimiento**	*$21,196,332 (anual) lo que suma $635,889,960 durante la vida útil*
14	**Otros costos asociados**	*$706,544,400 pesos (reinversión en año 2048).*
15	**Vida útil del PPI**	*30 años.*
16	**Fecha de inicio de etapa**	*Julio 2026.*
17	**Fecha de término de etapa**	*Diciembre 2028.*

B) DESGLOSE POR CONCEPTO

No	#	Concepto de inversión	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Subtotal
18	1	*Línea de impulsión*	*km*	26	**157,050,897.44**	**4,447,141,626**
	2	**Línea a gravedad**	*km*	16	**146,806,014.98**	**2,556,623,117**
	3	**Estación de bombeo**	m^3/s	10	**215,517,241.38**	**2,041,510,351**
	4	*Predios*			**175,000,000.00**	**175,000,000**
					SUBTOTAL	**9,220,275,094.00**
					IVA	**1,475,244,015.04**
					TOTAL	**10,695,519,109.04**

C) PROYECCIÓN PLURIANUAL *(Solo PPI plurianuales)*

No	Año de ejecución	Monto requerido
19	**2026**	**2,027,274,940.97**
	2027	**4,054,549,881.94**
	2028	**4,613,694,286.13**
	TOTAL (coincidente con el monto total):	**10,695,519,109.04**

D) CALENDARIO DE INVERSIÓN POR FUENTES DE FINANCIAMIENTO

(Indicar el monto total de inversión por fuente de financiamiento y calendario desglosado por cada año).

Año de ejecución	Presupuestarios		No Presupuestarios					Monto requerido total
	Fiscales	Propios	Estatales	Municipales	Privados	Fideicomiso	Otro	
2026								2,027,274,940.97
2027								4,054,549,881.94
2028								4,613,694,286.13
TOTAL								10,695,519,109.04

En caso de seleccionar Fideicomiso y/u Otro, especificar: _____

El TOTAL del calendario D) debe coincidir con el Monto total de inversión (11).

IV. PLANEACIÓN ESTRATÉGICA Y PRIORIDADES NACIONALES

Objetivo: *Verificar la alineación del PPI con los instrumentos de planeación y prioridades nacionales:*

- ***Grado de alineación con el Plan Nacional de Desarrollo, los programas sectoriales, institucionales, regionales y especiales aplicables, entre otros.***
- ***Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, así como a algún acuerdo, estrategia o compromiso internacional.***

No	Instrumento	¿Aplica?	Detalle *(especificar eje, objetivo, estrategia, meta, etc.)*
20	Plan Nacional de Desarrollo 2025-2030	X Sí ☐ No	Eje 4: Desarrollo Sustentable El desarrollo sustentable es un principio fundamental para garantizar el bienestar de las generaciones presentes y futuras. *República con derecho al agua* *Objetivo 4.6* Garantizar el derecho al agua mediante una gestión eficiente, sustentable y resiliente al cambio climático, protegiendo la integridad de las cuencas y asegurando su disponibilidad para las generaciones presente y futuras. *Estrategia 4.6.1*

			Garantizar el acceso asequible y equitativo al agua potable y su saneamiento mediante inversión en infraestructura y fomento del reúso, con prioridad en regiones con mayor vulnerabilidad climática o impacto por actividad humana. *Estrategia 4.6.2* Promover el uso eficiente y sustentable del agua para reducir la presión sobres las fuentes de abastecimiento y garantizar su disponibilidad a largo plazo.
	Programas Sectoriales	X Sí ☐ No	Plan Nacional Hídrico 2024-2030 Eje 4 Justicia y acceso al agua. El proyecto está alineado con el objetivo de garantizar el derecho humano al agua en cantidad y calidad suficiente, asegurar la sostenibilidad de nuestros recursos y fomentar un manejo adecuado y responsable del agua en todos sus usos.
	Programas Especiales	☐ Sí X No	
	Programas Regionales	☐ Sí X No	
	Programas Institucionales	☐ Sí X No	
	100 Compromisos de la Presidenta	☐ Sí X No	
	Plan México		
	Agenda 2030	X Sí ☐ No	El proyecto está alineado al ODS 6 Agua Limpia y Saneamiento Meta 6.1 De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al

			agua potable a un precio asequible para todos Meta 6.4 De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.
	Acuerdo, estrategia o compromiso internacional	☐ Sí X No	
	Otro instrumento (especificar): Plan Estatal de Desarrollo y Gobernanza 2024-2030 "Hacia una Ruta Sustentable para las Niñas y Niños, con una Visión 2050"	X Sí ☐ No	La gestión hídrica se encuentra contemplada en la sección 4. Jalisco cuida su Tierra, Gestión del Territorio Objetivo sectorial 4.3 Gestión Responsable y Sostenible del Agua Objetivo Temático: Garantizar el derecho humano al agua y al saneamiento mediante una gestión integral de los recursos hídricos, que privilegia la protección de los ecosistemas y las fuentes de agua, la modernización y ampliación de la infraestructura, el reúso y la economía circular del agua, y el fortalecimiento de la cultura y la gobernanza del agua en el estado.

V. CLASIFICACIÓN Y COMPLEMENTARIEDAD

Objetivo: *Identificar relaciones funcionales, sinergias y complementariedades regionales y territoriales del PPI.*

Esta información puede ser revisada con la UPER para contar con un mapeo general de las intervenciones actuando en la escala local, regional u otra, que se relacionen con el PPI.

A) PPI COMPLEMENTARIOS

No	#	ID Solicitud	Clave de cartera	Nombre del PPI	Tipo	Descripción y justificación de la relación del PPI
21	1		0616B000034	Adecuación de la Presa El Zapotillo y construcción de acueducto: Zapotillo-El Salto y El Salto-La Red-Calderón, para el abastecimiento integral de agua en bloque al Área Metropolitana de Guadalajara, Jalisco	Proyecto de Inversión de Infraestructura Económica	La vinculación operativa de ambos proyectos permitirán reducir fuertemente el déficit en consumo de agua existente, así como la proyección estimada que contempla un recrudecimiento de la falta de agua para la población del Área Metropolitana de Guadalajara.

VI. POBLACIÓN BENEFICIADA

Objetivo: *Se estimó para el año 2029 (año de inicio de operaciones) una población a beneficiar de 5,667,247 personas en el Área Metropolitana de Guadalajara.*

No	Grupo de la población	Número estimado	Fuente de información
22	Mujeres	**2,888,596**	*Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI* *Datos de población femenina por municipio* *Fuente pública disponible en:*

			https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html#Datos_abiertos *Proyecciones de la población de México 2020 a 2070 de la CONAPO* *Tasa de crecimiento poblacional de Jalisco* *Fuente pública disponible en: https://www.gob.mx/conapo/documentos/bases-de-datos-de-la-conciliacion-demografica-1950-a-2019-y-proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-2020-a-2070*
	Hombres	**2,778,651**	*Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI* *Datos de población femenina por municipio* *Fuente pública disponible en: https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html#Datos_abiertos* *Proyecciones de la población de México 2020 a 2070 de la CONAPO* *Tasa de crecimiento poblacional de Jalisco* *Fuente pública disponible en: https://www.gob.mx/conapo/documentos/bases-de-datos-de-la-conciliacion-demografica-1950-a-2019-y-proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-2020-a-2070*

	TOTAL	**5,667,247**	

VII. BENEFICIO SOCIAL GENERADO

A) DESCRIPCIÓN GENERAL

Objetivo: *Describir los beneficios sociales tangibles e intangibles que generará el PPI considerando los tipos seleccionados, incluyendo una proyección cuantitativa con base en los instrumentos de planeación seleccionados previamente. La cuantificación de los beneficios sociales generados puede no aplicar para algunos casos identificados para PPI con FIVE-S.*

23	*Marcar todos los que apliquen:* ☐ Reducción de tiempos de traslado X Disminución de costos de acceso a servicios ☐ Incremento en cobertura territorial X Mejora en la calidad de servicios existentes ☐ Disminución de riesgos o vulnerabilidad territorial ☐ Reducción de desigualdades sociales o regionales ☐ Reactivación de economías locales ☐ Generación de empleos dignos ☐ Fortalecimiento del tejido comunitario ☐ Acceso a tecnologías o energías limpias ☐ Mejor gobernanza institucional local ☐ Preservación ambiental o resiliencia climática ☐ Otros (especificar): X Aumento en el consumo de agua potable X Disminución en los costos de potabilización X Eliminación del riesgo de afectaciones a la población por suspensión del servicio de agua potable ante una falla en la infraestructura existente X Disminución de costos por las reparaciones emergentes ante un evento de falla de la línea de conducción X Disminución de costos en el servicio de entrega de agua en pipas ante un evento de falla de la línea de conducción	Disminución de costos de acceso a servicios La población atendida podrá acceder a servicio formal en sustitución de agua de pipa. Se tiene estimado un costo de $1,100 pesos por pipa, mediante el cual se atiende a aproximadamente 1.2 millones de habitantes (2029). Mejora en la calidad de servicios existentes Se reducirá el déficit existente lo que permitirá reducir los tandeos a la población y la entrega de agua en pipas durante la etapa de estiaje. Aumento en el consumo de agua potable La población estimada en 5.6 millones de habitantes podrá incrementar su consumo promedio diario de 91.8 litros-habitante-día (2026) a 129.9 litros-habitante-día (2029) con la operación del proyecto. Disminución en los costos de potabilización La operación de la línea sustituta permitirá dejar de conducir agua mediante el sistema antiguo (canal de Atequiza) el cual, debido a que es a cielo abierto, obliga a un mayor uso de insumos para su potabilización, por lo que se estimó una reducción de 15% que representa un ahorro de $44,295,414 anuales (precios constantes).

	X Ahorro en los costos en el mantenimiento anual de la línea de conducción existente	<u>Eliminación del riesgo de afectaciones a la población por suspensión del servicio de agua potable ante una falla en la infraestructura existente</u> Debido a la antigüedad de la línea de conducción existente, se estimó un 90% de probabilidad de falla, lo que impactaría, conservadoramente, a una población de 2,457,082 (2026) durante 5 días en promedio. La población considerada es únicamente la zona de cobertura de la Planta Potabilizadora No. 1. <u>Disminución de costos por las reparaciones emergentes ante un evento de falla de la línea de conducción</u> Debido a la antigüedad de la línea de conducción existente, se estimó un 90% de probabilidad de falla, lo que impactaría, conservadoramente, en una reparación de 3.0 millones de pesos promedio, lo cual se evitaría con el proyecto, bajo la consideración de una falla en el año (criterio conservador). <u>Disminución de costos en el servicio de entrega de agua en pipas ante un evento de falla de la línea de conducción</u> Debido a la antigüedad de la línea de conducción existente, se estimó un 90% de probabilidad de falla, lo que implicaría implementar un programa emergente de entrega de agua en pipa para la población más afectada que recibe agua de la Planta Potabilizadora No. 1 durante 5 días, el cual se evitaría con el proyecto, por lo que se evitarían costos estimados en $ $13,553,132.11 en caso de una falla en el año.

		Ahorro en los costos en el mantenimiento anual de la línea de conducción existente La línea existente se dejará en reserva para casos especiales, por lo que se podrá dejar de erogar el mantenimiento anual a la infraestructura, el cual se estimó en $387,931.03 anuales.

B) VALOR PÚBLICO (a nivel del PPI)

Objetivo: *Evaluar la capacidad del PPI para generar valor público y transformación estructural del territorio. Los PPI que presenten FIVE- S deberán mapear las dimensiones con una descripción narrativa, que permita dar cuenta de la capacidad de generación de valor público. Sin necesidad de dar estimaciones para cada una de las dimensiones.*

No	Efecto transformador del PPI	Dimensiones del efecto
24	*Describa y de aproximaciones cuantitativas del efecto transformador del PPI.* *Se debe tomar de referencia lo que se ha plasmado en los instrumentos de planeación tanto en la parte diagnóstica como de prospectiva, para articular estos elementos.*	*Marcar todas las que apliquen:* X Reducción de desigualdades ☐ Ampliación del acceso efectivo a derechos ☐ Impulso a economías locales inclusivas ☐ Fortalecimiento de cohesión social ☐ Sostenibilidad ambiental ☐ Innovación y fortalecimiento institucional ☐ Otro: _____

C) VALOR PÚBLICO NETO (a nivel nacional/regional abonando a la prosperidad compartida)
[Aplicable únicamente FIVE, para el caso de los PPI con FIVE-S se presentará el apartado 27]

25	***Objetivo:*** *Describa el valor público neto del PPI donde se detallen los beneficios con los que contribuye de forma efectiva y duradera a transformar condiciones estructurales de rezago o exclusión, de manera eficiente, justa y sostenible, conforme a los objetivos de desarrollo del país:* ***Instrucciones:*** *Con base en lo anterior, se deberán identificar y destacar indicadores estratégicos orientados a mostrar el beneficio y la generación de valor público de cara a la población, en particular en cerrar brechas entre las poblaciones y los territorios que padecen las problemáticas descritas en los apartados anteriores.* La ejecución del proyecto de construcción del Acueducto Sustituto Chapala-Guadalajara permitirá reducir una desigualdad en el acceso al derecho de disponibilidad de agua potable. Actualmente, las familias de menores ingresos son las que reciben el mayor impacto negativo ante una falla en el suministro, pues tienen que destinar un porcentaje más elevado de su ingreso para cubrir el déficit, ya sea mediante la compra de agua en pipa o bien agua embotellada para la preparación de alimentos y consumo humano. En este sentido, el proyecto reduce favorablemente esta desigualdad con los siguientes efectos.

- ***Beneficio por mayor consumo de agua potable***

Este beneficio es un derecho fundamental que se garantiza a la población del Área Metropolitana de Guadalajara pues permitirá reducir el déficit existente, mismo que sin el proyecto se incrementará aún más. El proyecto reduce la brecha existente durante todo el horizonte de evaluación, a la vez que garantiza el suministro, el cual actualmente presenta el riego latente de interrupción por fallas en el acueducto.

- ***Beneficio por liberación de recursos***

Este beneficio se mide por el impacto económico en la economía de la población atendida. Las familias que más se ven impactadas favorablemente por el proyecto son aquellas que no cuentan con aljibes o cisternas dado su nivel de ingreso, por lo que evitar la compra de pipas generará un efecto redistributivo a favor de las familias de menores ingresos.

Adicionalmente, el indicador estratégico al que contribuye el proyecto antes referido, se encuentra alineado al Plan Nacional de Desarrollo 2025-2030

Eje General 4: Desarrollo sustentable

Objetivo 4.6:

Garantizar el derecho al agua mediante una gestión eficiente, sustentable y resiliente al cambio climático, protegiendo la integridad de las cuencas y asegurando su disponibilidad para las generaciones presentes y futuras.

Estrategia 4.6.2

Promover el uso eficiente y sustentable del agua para reducir la presión sobre las fuentes de abastecimiento y garantizar su disponibilidad a largo plazo.

D) SUPUESTOS RAZONABLES

Instrucciones:

En este espacio deben describirse de manera clara y concisa los supuestos más relevantes considerados en el diseño, planeación y evaluación preliminar del PPI. Se recomienda agrupar los supuestos en las siguientes categorías, si son aplicables:

- ***Supuestos técnicos**: tecnologías disponibles, estándares de construcción, eficiencia operativa prevista.*

- ***Supuestos económicos-financieros**: tasas de crecimiento económico local, costos y precios de insumos, inflación, tasas de descuento, flujos estimados.* - ***Supuestos institucionales**: continuidad de políticas públicas, disponibilidad presupuestaria, articulación interinstitucional.* - ***Supuestos sociales y territoriales**: aceptación comunitaria, disponibilidad de mano de obra, accesibilidad al sitio, condiciones de seguridad.* - ***Supuestos ambientales y normativos**: cumplimiento de normativas ambientales, disponibilidad de permisos, condiciones climáticas.*		
26	**Supuestos razonables**	**Supuestos técnicos:** Se cuenta con los estudios técnicos detallados conforme al proyecto ejecutivo para determinar y/o evaluar la viabilidad técnica del proyecto. **Supuestos económicos-financieros:** Se cuenta con el análisis a nivel de proyecto ejecutivo de los costos de inversión, operación y mantenimiento. Existe una correcta identificación de los beneficios sociales generados a partir de su ejecución, así como los riesgos económicos y financieros que podrían afectar la viabilidad del proyecto. **Supuestos institucionales**: Se considera que no existen cambios significativos en las políticas públicas para la asignación de recursos presupuestarios. Existe una adecuada coordinación entre las distintas instituciones gubernamentales y los diferentes órdenes de gobierno involucrados. Se lleva a cabo los procesos de licitación conforme a normativa y existe una adecuada participación de actores para la ejecución del proyecto. **Supuestos sociales y territoriales:** Existe aceptación por parte de la población dentro de la zona estudio. Las comunidades permiten el desarrollo y ejecución de los trabajos a realizar. Existe disponibilidad de mano de obra cercana a la zona de estudio. Se cuenta con accesibilidad al sitio y condiciones de seguridad para la realización de los trabajos. **Supuestos ambientales y normativos:** Se asume que no existen cambios significativos a la normatividad vigente en materia ambiental. Se gestiona en tiempo y forma los permisos y los estudios de impacto ambiental.

No	Valor Público Neto (a nivel nacional/regional abonando a la prosperidad compartida) *[Aplicable únicamente a FIVE-S]*
27	*No aplica.*

E) CONTRIBUCIÓN AL DESARROLLO REGIONAL *Se debe señalar las brechas que se estiman cerrar considerando el valor público neto identificado.*

No	Brechas a cerrar	Enfoque territorial
28	*Marcar las que apliquen:* X Infraestructura básica ☐ Aislamiento territorial ☐ Marginación social o pobreza estructural ☐ Falta de servicios públicos esenciales ☐ Débil institucionalidad local ☐ Desempleo estructural ☐ Riesgo climático o ambiental ☐ Otro: _____	*Marcar la opción que corresponda:* ☐ Local X Metropolitano/intermunicipal ☐ Regional ☐ Nacional

F) Efectos esperados por dimensión

***Para el caso de los PPI con FIVE-S** es necesario identificar al menos 2 dimensiones.*

***Objetivo:** Identificar y describir de manera anticipada los principales efectos esperados del PPI a lo largo de su ciclo de vida, desagregados por dimensiones clave del desarrollo. Se busca asegurar una visión integral del impacto proyectado, alineada con los principios de prosperidad compartida, equidad territorial, sostenibilidad ambiental, fortalecimiento institucional y justicia intergeneracional.*

En ese sentido, se deben considerar efectos cuantitativos y cualitativos, tanto directos como indirectos, e indicar si dichos efectos son locales, regionales o nacionales, así como su temporalidad (corto, mediano y largo plazo).

No	Dimensión	Efectos esperados durante la ejecución y vida útil del PPI
29	**Económica**	Con la realización del proyecto de inversión se generará 2,485 empleos directos y 1,243 empleos indirectos, fortaleciendo la economía local durante la ejecución del proyecto (30 meses); el organismo operador tendrá ahorros debido a la mayor eficiencia operativa del sistema de abastecimiento y potabilización y la población podrá tener acceso a un servicio de mejor calidad, así como ahorros en operación de pipas al reducir su uso.
30	**Social**	Garantizar el incremento en el consumo de agua potable para 5.6 millones de habitantes (2,888,596 mujeres y 2,778,651 hombres), reduciendo los costos y molestias a la sociedad derivado de la disminución del consumo de agua de pipa, y por el incremento en el abasto intradomiciliario.
31	**Territorial**	Reducir molestias intradomiciliarias durante la entrega de agua en pipa a la vez que se asegura la extracción del recurso hídrico respetando el nivel de derechos existentes.
32	**Ambiental**	La implementación de acciones de abastecimiento de agua en bloque a partir de fuentes de extracción superficiales, reducirá la presión hídrica sobre los acuíferos del Área Metropolitana de Guadalajara, los cuales presentan niveles de sobreexplotación. Adicionalmente, la mayor eficiencia operativa del acueducto sustituto permitirá una reducción en el consumo de energía eléctrica a partir de su operación.

33	**Institucional**	Fortalecimiento a los Organismos Operadores de agua potable, alcantarillado y saneamiento mediante la construcción de infraestructura hidráulica estratégica para apoyar la prestación del servicio continuo de agua potable, así como, el reforzamiento de las capacidades técnicas, gerenciales, administrativas y financieras de los gobiernos locales. De igual manera, la obra se encuentra alineada con los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo y con los programas sectoriales de infraestructura hídrica, garantizando el cumplimiento de las disposiciones ambientales, de seguridad hidráulica y de operación aplicables.
34	**Intergeneracional**	El proyecto permitirá reducir significativamente el déficit en el consumo de agua potable, por lo que se garantiza el acceso de agua potable a la población presente y futura durante de la vida útil del proyecto (30 años), asegurando el acceso equitativo y seguro al agua, promoviendo el bienestar social.

G) Mapeo de Estudios, Permisos y Autorizaciones

Identificar la información entendida como estudios, permisos y autorizaciones necesarias para la completa ejecución del PPI.

No.	Viabilidad	Grado de avance (%)	Detalle (enunciarlos)
35	Técnica	100	Se cuenta con proyecto ejecutivo y viabilidad técnica
	Económica	100	Se cuenta con evaluación socioeconómica (análisis costo-beneficio) Se cuenta con FIVE
	Financiera	NA	
	Legal	100	Se cuenta con viabilidad legal
	Ambiental	100	Se cuenta con: MIA, DTU, viabilidad ambiental
	Institucional	100	El proyecto está alineado a los objetivos y responsabilidades institucionales en materia hídrica.
	Social	NA	
	Otro (especificar):	NA	

VIII. INDICADORES Y RIESGOS

[para la FIVE-S señalar solo 1 Indicador y un Riesgo principal]

Objetivo: *Asociar el PPI con indicadores de resultados estratégicos que permitan cuantificar y comunicar el valor público neto generado, así como anticipar riesgos estructurales y operativos que puedan comprometer la ejecución, impacto o sostenibilidad del PPI. Esta sección orienta la toma de decisiones en torno al PPI con base en evidencia y prevé posibles vulnerabilidades que deban ser mitigadas.*

Los indicadores deben reflejar los beneficios tangibles e intangibles del PPI durante todo su ciclo de vida, más allá del retorno financiero, e incorporar variables sociales, económicas, territoriales, institucionales, ambientales e intergeneracionales.

Instrucciones:

1. *Selecciona un **Indicador Estratégico Asociado (IEA)** que sea representativo del impacto más relevante del PPI.*
2. *El IEA debe permitir observar el cierre de brechas sociales o territoriales, o bien la generación de bienestar comunitario, con base en los efectos esperados descritos en la sección anterior.*
3. *Incluye unidades de medida claras, línea base verificable y metas alcanzables en horizontes temporales definidos.*
4. *Si existe un indicador oficial del INEGI, CONAPO, RENAPO, metas de los ODS, registros propios.*
5. *Identifica riesgos críticos en dimensiones operativas, técnicas, sociales, institucionales, financieras, legales o ambientales, y propone acciones preventivas o de mitigación si es posible.*

A) INDICADOR ESTRATÉGICO ASOCIADO (IEA)

Recomendaciones para su determinación:

- *Debe estar alineado con la naturaleza del PPI y los resultados esperados descritos en las dimensiones clave.*
- *Preferentemente, debe mostrar mejoras tangibles en calidad de vida o comunitarias.*

No	Nombre del Indicador	Tipo de Indicador (Estratégico/ Gestión)	Unidad de medida	Línea base	Meta esperada	Fuente
36	***Incremento en el consumo medio de agua potable habitacional***	Estratégico	Litros por habitante por día (litros)	91.2 (2025)	129.9 (2029)	Patrones de consumo y recibos de servicio de agua potable para usuarios residenciales

B) RIESGOS DE EJECUCIÓN

Consideraciones importantes:

- *Se recomienda que el análisis de riesgos esté vinculado con los supuestos críticos descritos en la sección anterior.*
- *Se sugiere vincular los indicadores y los riesgos con el cierre de brechas previamente diagnosticadas (acceso desigual a servicios, disparidades territoriales, rezago institucional).*

No	Categoría del riesgo	Descripción del riesgo	Nivel de probabilidad	Impacto potencial	Medidas preventivas o de mitigación
37	Técnico	Riesgos de atrasos y/o sobrecostos en el desarrollo de la construcción de obras	Media	Alto	Proyecto ejecutivo concluido, supervisión y GEP eficiente. Revisar bases. Supervisión eficiente. Revisión de oferta técnica exhaustiva. Tiempo suficiente para elaborar propuestas.
38	Social	Inconformidad sobre el destino de la extracción de agua del Lago de Chapala.	Baja	Bajo	Socialización de las características y alcances del proyecto con la población.
39	Institucional	Riesgo de retrasos y/o demora en la formalización del contrato	Medio	Medio	Integración de un apéndice técnico lo más completo. Bases claras y concretas.
40	Ambiental	Riesgo de afectaciones al entorno en el trazo.	Baja	Bajo	Supervisión. Sanciones en contrato. Vigilancia.
41	Financiero	Riesgo en incremento de tasas de interés y/o tipo de cambio	Media	Medio	Adquisición de coberturas en el contrato.
42	Legal	Riesgo de adquisición de terrenos	Media	Medio	Formalizar contrato de compra-venta. Convenios de ocupación previa.

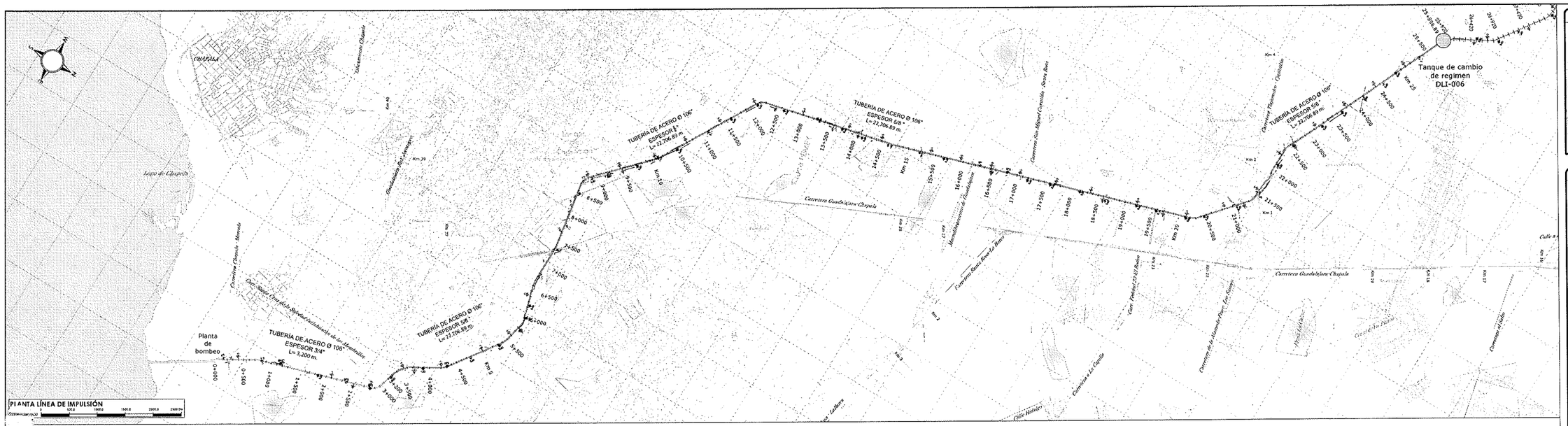
IX. ADMINISTRADOR DEL PPI

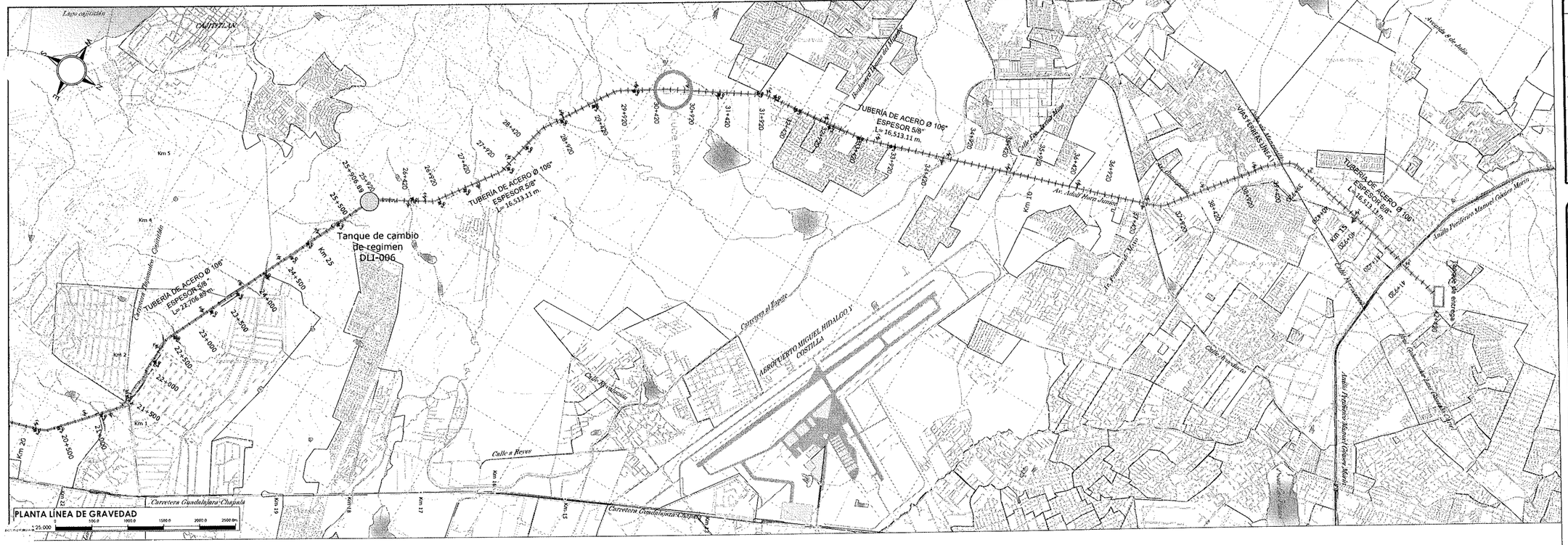
43	**Nombre completo:**	**M. en C. Mario López Pérez**
	Cargo (mínimo Director de Área o equivalente):	**Director General de la Comisión Estatal del Agua de Jalisco**
	Correo electrónico institucional:	**mario.lopezp@ceajalisco.gob.mx**
	Teléfono y extensión:	**(33) 30309200 Ext. 8294**
	Correo electrónico institucional de usuario alterno:	**mario.lopezp@ceajalisco.gob.mx**

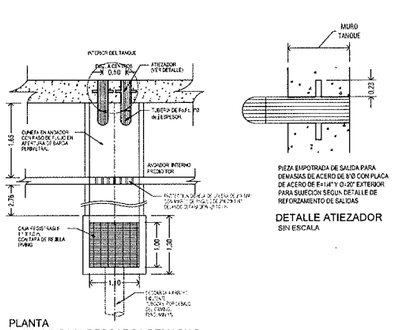
Firma

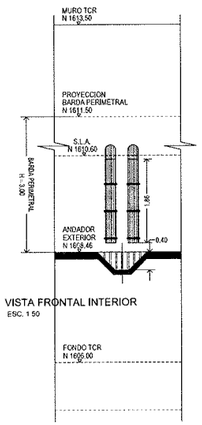
M. en C. Mario López Pérez
Director General de la Comisión Estatal del Agua de Jalisco

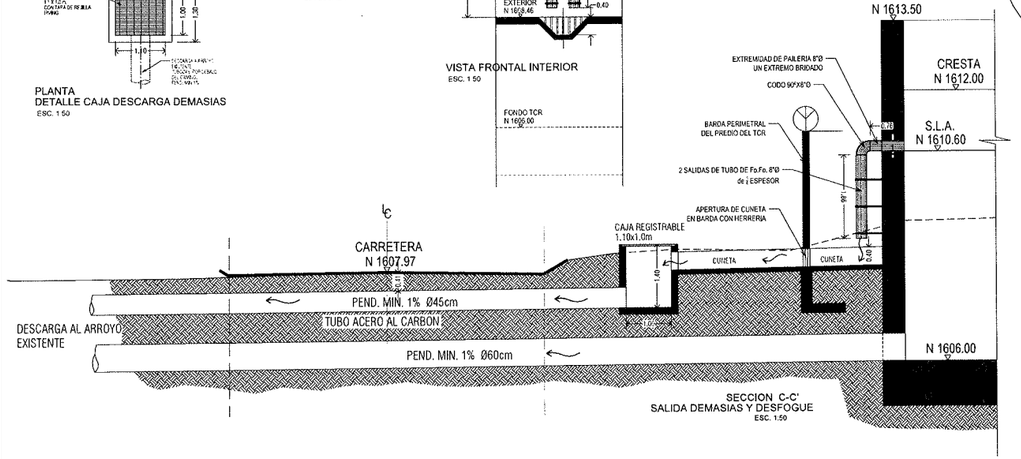
X. CONCLUSIONES	
44	El proyecto Acueducto Sustituto Chapala-Guadalajara representa una inversión estratégica para garantizar el abasto de agua al Área Metropolitana de Guadalajara, la cual cuenta con una población atendida superior a los 5.6 millones de habitantes. El proyecto permitirá eliminar el riesgo de suspensión del servicio de agua potable ante fallas en el acueducto Chapala-Guadalajara, al tiempo que, al mejorar la eficiencia operativa, se aumentará el gasto aportado por el Lago de Chapala conforme a los derechos de extracción existentes, lo que lo vuelve socialmente rentable en tanto los beneficios sociales tienen una valoración superior al flujo de costos durante la vida útil del proyecto (30 años). La ejecución del proyecto permitirá garantizar la seguridad hídrica del Área Metropolitana de Guadalajara y mejorar la confiabilidad del sistema de abastecimiento de agua potable, a la vez que permitirá reducir los programas emergentes de abasto en agua en pipa, lo cual impacta a la población de menores ingresos, pues favorecerá a aquellas familias que no cuentan con sistemas de almacenamiento de mayor escala como son aljibes (cisternas) o tinacos.

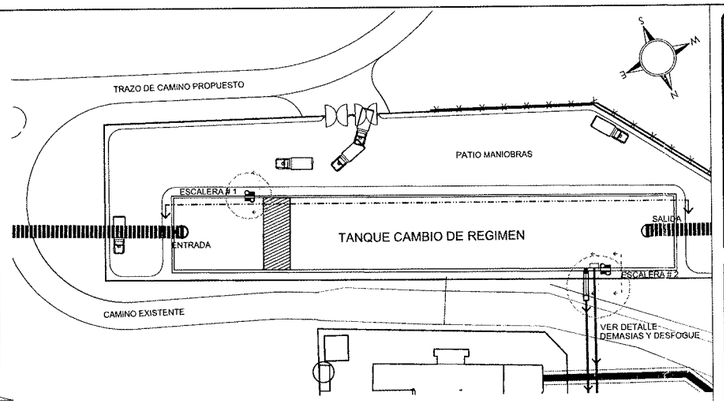

Planta de bombeo
TUBERÍA DE ACERO Ø 10¾" ESPESOR 3/4" L= 3,200 m.
TUBERÍA DE ACERO Ø 106" ESPESOR 5/8" L= 23,706.89 m.
Tanque de cambio de regimen DLI-006
Carretera Guadalajara-Chapala
Carretera Chapala - Mezcala
Carretera San Miguel Cuyutlán - Santa Rosa
Carretera Tlajomulco - Cajititlán
Carretera de la Ciénega Prieta - San Sebastián
Carretera a La Capilla
Ferrocarril Guadalajara - Manzanillo
Libramiento Chapala
Lago de Chapala
CHAPALA
Km 40
Km 39
Km 37
Km 10
Km 15
Km 20
Km 4
Km 3
Km 2
Km 1
Km 25
Calle Hidalgo
Calle Lerdo
Calle Matamoros
Calle Francisco I. Madero
Calle Ignacio Allende
Calle Ignacio Zaragoza
Calle Ignacio Manuel Altamirano
Calle Francisco Javier Mina
Calle Francisco Villa
Calle Emiliano Zapata
Calle Venustiano Carranza
Calle Benito Juárez
Calle Miguel Hidalgo
Calle Vicente Guerrero
Calle Andrés Quintana Roo
Calle Nicolás Bravo
Calle Guadalupe Victoria
Calle Leona Vicario
Calle Josefa Ortiz de Domínguez
Calle Mariano Matamoros
Calle Mariano Escobedo
Calle Ignacio Comonfort
Calle Ignacio Ramírez

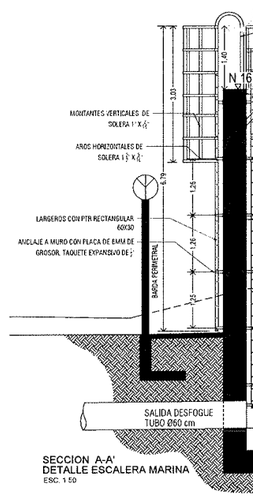

Lago cajititlán
CAJITITLÁN
Km 5
Km 4
Km 2
Km 1
Km 20
Km 25
Km 18
Km 17
Km 16
Km 15
Km 19
Km 21
Tanque de cambio de regimen DLI-006
TUBERÍA DE ACERO Ø 106" ESPESOR 5/8" L= 16,513.11 m.
TUBERÍA DE ACERO Ø 106" ESPESOR 5/8" L= 24,706.89 m.
Carretera Tlajomulco - Cajititlán
Carretera a Tapapa
AERÓPUERTO MIGUEL HIDALGO Y COSTILLA
Calle Hidalgo
Calle Reforma
Calle Progreso
Calle Independencia
Calle Reyes
Carretera Guadalajara-Chapala
Boulevard Paseos del Prado
Av. Adolfo López Mateos
Av. Juan María Morelos
Av. Guadalupe Victoria
Av. Benemérito de las Américas
Anillo Periférico Manuel Gómez Morín
Anillo Periférico Manuel Gómez Morín Sur
Circuito Real de Oriente
Calle Real de Minas
Calle Real de Acueducto
Calle Real de Tesoros
Calle Real de Palacios
Calle Real de Catedrales
Calle Real de Plazas
Calle Real de Fuentes
Calle Real de Jardines
Calle Real de Alcázares
Calle Real de Conventos
Calle Real de Haciendas
Calle Real de Portales
Calle Real de Arcos
Calle Real de Mercados
Calle Real de Templos
Calle Real de Claustros
Calle Real de Alamedas
Calle Real de Monasterios
Calle Real de Glorietas
Calle Real de Pórticos
Calle Real de Columnas
Calle Real de Pilares
Calle Real de Bóvedas
Calle Real de Cúpulas
Calle Real de Arbotantes
Calle Real de Contrafuertes
Calle Real de Naves
Calle Real de Capillas
Calle Real de Retablos
Calle Real de Altares
Calle Real de Sacristías
Calle Real de Coros
Calle Real de Presbiterios
Calle Real de Transeptos
Calle Real de Ábsides
Calle Real de Deambulatorios
Calle Real de Girolas
Calle Real de Capillas Radiales
Calle Real de Capillas Absidales
Calle Real de Capillas Laterales
Calle Real de Capillas Centrales
Calle Real de Capillas Posteriores
Calle Real de Capillas Anteriores
Calle Real de Capillas Intermedias
Calle Real de Capillas Extremas
Calle Real de Capillas Interiores
Calle Real de Capillas Exteriores
Calle Real de Capillas Superiores
Calle Real de Capillas Inferiores

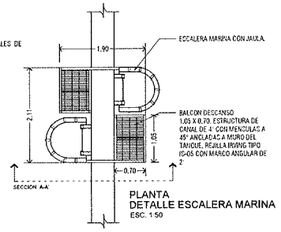


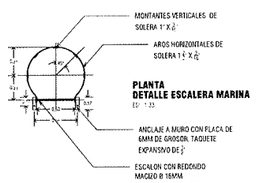


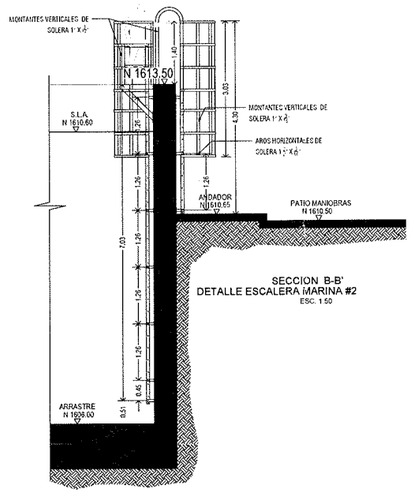












ESCALERA MARINERA FABRICADA EN ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36, COMPUESTA POR LARGUEROS EN PTR 60X30X2.5 MM, PELDAÑOS DE VARILLA REDONDA Ø16 MM @20CM, JAULA DE PROTECCIÓN CON AROS DE SOLERA 1 1/2"X3/16" Y MONTANTES DE SOLERA 1"X3/16", FIJACIÓN MEDIANTE PLACAS DE 100X100X6 MM CON ANCLAJE MECÁNICO DE 1/2".

ACABADO PINTURA ANTICORROSIVA EN EL MODULO EXTERIOR DEL TANQUE.
ACABADO EPOXI PARA EL MODULO AL INTERIOR DEL TANQUE Y BALCONES.

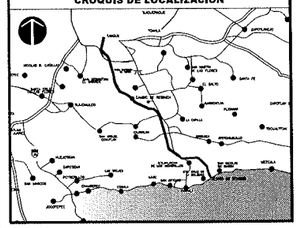
PROYECTOS Y CONSTRUCCIONES DE INGENIERIA HIDRAULICA Y CIVIL S.A. de C.V.
Domicilio: Av. Prof. Valentín No. 2470 Colonia Jardines del Country Municipio: Guadalajara, Jalisco C.P. 44210

FRAIS PROYECTOS Y EDIFICACIONES, S.A. DE C.V.
Domicilio: Miguel Alvarez No. 186 Colonia: El Mirador Municipio: Guadalajara, Jalisco C.P. 44670

Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25
Ing. Miguel Carlos Alvarez Arellos
Representante legal

Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25
Ing. Daniel Enrique Olguin Flores
Supervisor

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



NOTAS Y ESPECIFICACIONES

NOTAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1. Acotaciones en metros, elevaciones en msnm, excepto las indicadas en otra unidad.
2. Los arranques se deberán retirar las bridas de las piezas especiales.
3. La limpieza y el recubrimiento de la tubería y piezas de acero será:
   Exterior: inspección ambiente húmedo con o sin salinidad: limpieza a metal blanco con chorro abrasivo.
   Recubrimiento: primario RP-6 epóxico catalizado aducto amina con una capa de espesor de 2 milesimas de pulgada, capa sella, acabado RA-29 epóxico catalizado adutoamina 2 capas de 2 milesimas de pulgada por capa sella.
4. El maquetado, dimensionamiento y soldadura para los elementos prefabricados de acero en tuberías deberá apegarse a las normas técnicas de AWWA.
5. La soldadura con la aplicación deberá seguir las normas establecidas por el AWWA D-200 y C206-97.
6. La soldadura se hará con electrodos E70, evitando la formación de oquedades así como el depósito excesivo de material de aporte. La soldadura podrá ser manual o semiautomática (se requiere calificación de los soldadores).
7. El método de unión será mediante doble arco sumergido para contar con unión interna y externa en la tubería.
   *Nota: Cualquier cambio debe ser autorizado por la supervisión.

ESPECIFICACIONES DE CONCRETO PARA TANQUE:

1.- Para el armado de refuerzo, la elaboración, colocación, vibrado y curado del concreto el constructor deberá sujetarse a las normas y especificaciones del reglamento de construcciones de concreto reforzado ACI-318 y ACI-350.
2.- La plantilla será de concreto simple f'c=100 Kg/cm².
3.- Concreto f'c= 350 Kg/cm² o el resultante de una relación A/C de 0.35.
4.- Acero de refuerzo fy=4,200 Kg/cm².
5.- Ver detalle de ganchos y traslapes para refuerzo principal.
6.- No se traslapen más del 50% de las varillas de cada lecho dentro de una zona igual a una longitud de traslape.
   El traslapo será igual a 40Ø de varilla como mínimo.
7.- Para mejor comportamiento y durabilidad de la estructura, el concreto deberá tener las siguientes especificaciones:
   7.1 Concreto de baja contracción f'250 Mx.
   7.2 Tener la tecnología de autocurable tipo HIDRATIUM
   7.3 Impermeabilizante integral por cristalización, se recomienda el uso de membrana interna XYPEX, como: en polvo de la marca XYPEX o equivalente en calidad
   7.4 Reductor de agrietamiento plastico (INGENIA).
   7.5 Fibra de polipropileno 200 gr/m3.
8.- En todas las juntas de colado se deberá colocar una banda dulada de PVC para garantizar la impermeabilidad y colocar antes del colado, pegamento epoxico tipo EMDUR o equivalente.
9.- Para evitar la segregación del concreto esta deberá de ser autocompactable o bien alimentar el colado no debera de permitirse una caida libre de más de 1.5 m a través del armado de refuerzo. El concreto deberá depositarse en capas horizontales de 60cm. máximo.
10.- Rodear las aristas y bordes con mortero cementoarena de prop. 1:3 y forjar medias cañas con concreto de calidad mencionada en punto 3.
11.- Se deberá resanar la superficie de losas y muros con un recubrimiento epoxico para proteger y sellar las imperfecciones de colado y evitar problemas ocasionados por la humedad.

ESPECIFICACIONES PARA GANCHOS Y TRASLAPES EN ARMADOS

GANCHO ESTANDAR PARA REFUERZO PRINCIPAL

CALIBRE DE VARILLA	DIAMETRO MINIMO DE DOBLEZ
# 2, #3, #4	6 Diámetros de Varilla
# 5, #6, 8, 11	8 Diámetros de Varilla

Diametro de doblez
12 Diámetros de varilla
Diametro de doblez
4 Diametros de varilla nunca 10 cm.

GANCHO ESTANDAR PARA ESTRIBOS

CALIBRE DE VARILLA	DIAMETRO MINIMO DE DOBLEZ
# 2, #3, #4	4 Diámetros de Varilla
7 cms de varilla como mínimo	

12 Diámetros de varilla
Diametro de doblez
Diametro de doblez
(TODO EL DOBLADO DEBERA HACERSE EN FRIO)

TRASLAPES DE VARILLAS

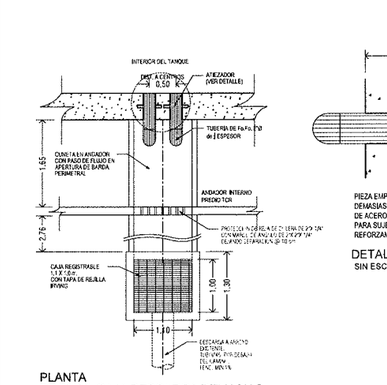
CALIBRE DE VARILLA	LONGITUD DE TRASLAPE PARA VARILLA NORMALES EN TENSIÓN Y COMPRESIÓN	
	EN LECHO SUPERIOR	EN LECHO INFERIOR
No. 2,3	40 cm	30 cm
No. 3	40 cm	30 cm
No. 4	50 cm	40 cm
No. 5	60 cm	50 cm
No. 6	70 cm	60 cm
No. 8	100 cm	175 cm

CONTRATO No. CEA-PRO-EST-LP-016-25
PROYECTO EJECUTIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA

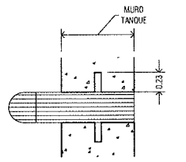
Comisión Estatal del Agua Jalisco

JALISCO

Municipio	
CHAPALA-IXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE	
Localidad	
CHAPALA-IXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE	
Descripción del plano	
ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA	
CONTEXTO TANQUE CAMBIO DE REGIMEN	
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	
Ing. Victor Iván Lira Contreras	
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha: NOVIEMBRE 2025 Escala: Indicada	Código del plano: ELS Plano: 05/

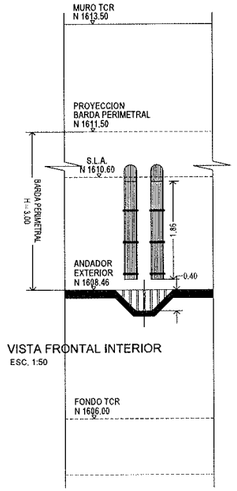


PLANTA
DETALLE CAJA DESCARGA DEMASIAS
ESC. 1:50

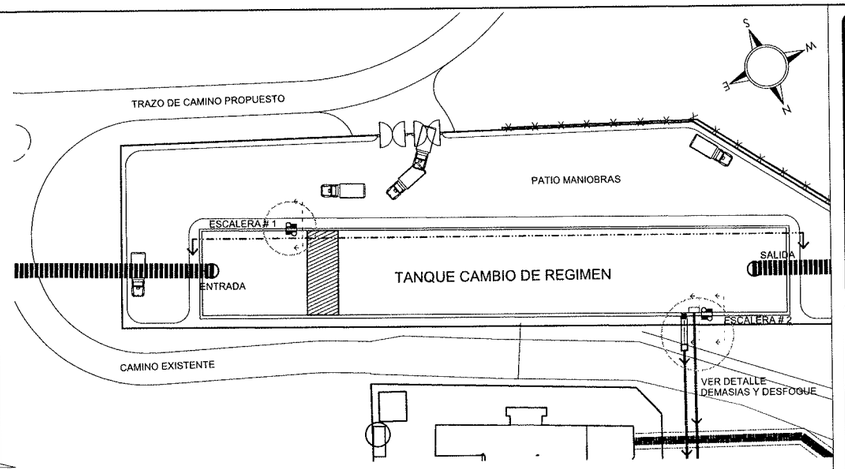


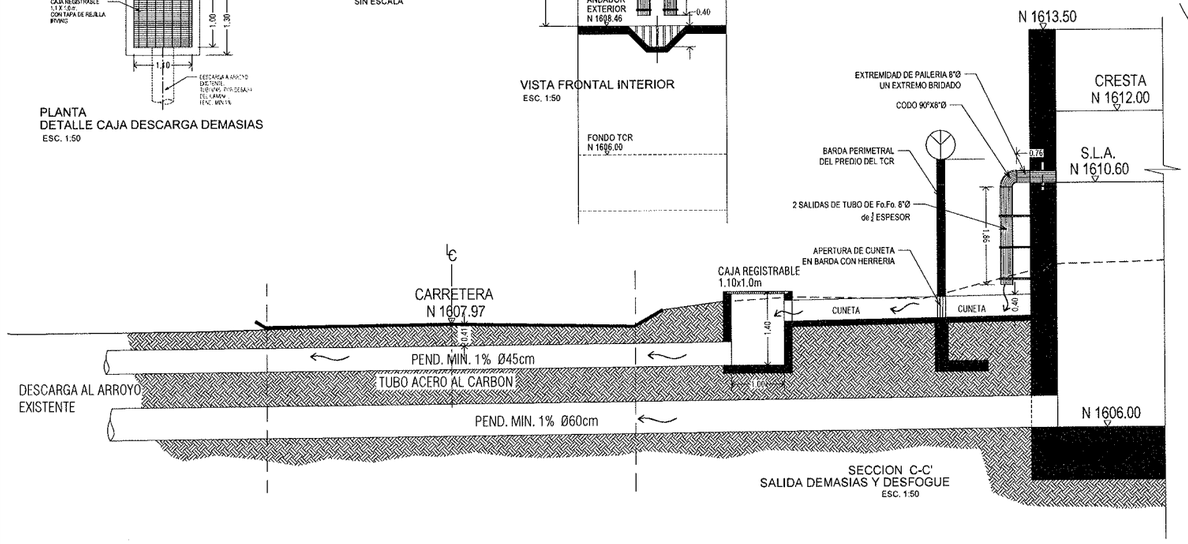
PIEZA EMPOTRADA DE SALIDA PARA DEMASIAS DE ACERO DE 8"Ø CON PLACA DE ACERO DE E=1/4" Y Ø=20" EXTERIOR PARA SUJECION SEGUN DETALLE DE REFORZAMIENTO DE SALIDAS

DETALLE ATIEZADOR
SIN ESCALA

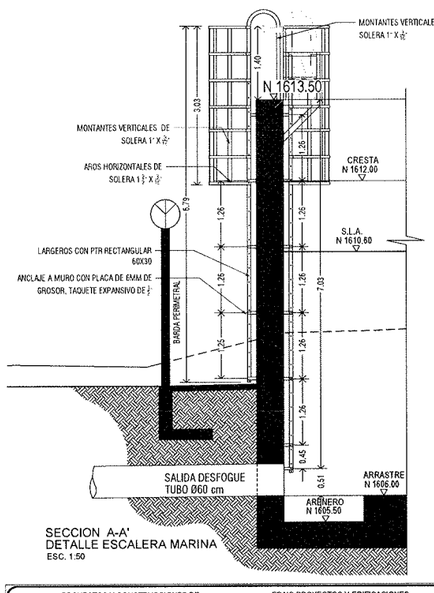


VISTA FRONTAL INTERIOR
ESC. 1:50

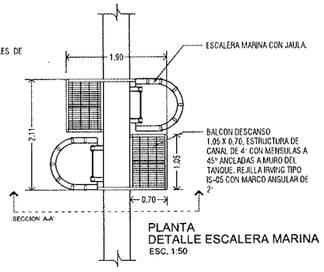




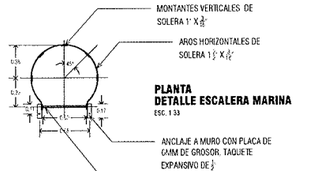
SECCION C-C'
SALIDA DEMASIAS Y DESFOGUE
ESC. 1:50



SECCION A-A'
DETALLE ESCALERA MARINA
ESC. 1:50



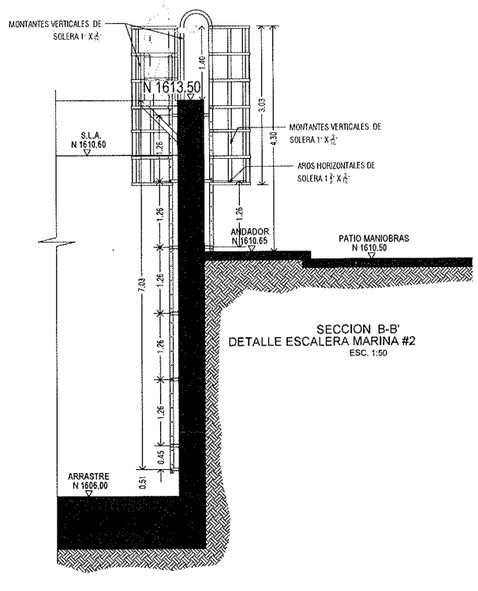
PLANTA
DETALLE ESCALERA MARINA
ESC. 1:50



PLANTA
DETALLE ESCALERA MARINA
ESC. 1:33

ESCALERA MARINERA FABRICADA EN ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36. COMPUESTA POR LARGUEROS EN PTR 60X30X2.5 MM. PELDAÑOS DE VARILLA REDONDA Ø16 MM @27CM. JAULA DE PROTECCIÓN CON AROS DE SOLERA 1 1/2"X3/16" Y MONTANTES DE SOLERA 1"X3/16" , FIJACIÓN MEDIANTE PLACAS DE 100X100X6 MM CON ANCLAJE MECÁNICO DE 1/2".

ACABADO PINTURA ANTICORROSIVA EN EL MODULO EXTERIOR DEL TANQUE. ACABADO EPOXI PARA EL MODULO AL INTERIOR DEL TANQUE Y BALCONES.



SECCION B-B'
DETALLE ESCALERA MARINA #2
ESC. 1:50

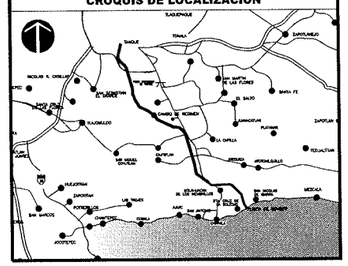
PROYECTOS Y CONSTRUCCIONES DE INGENIERÍA HIDRÁULICA Y CIVIL S.A. de C.V.
Domicilio: Av. Fidel Velazquez No. 2470
Colonia: Jardines del Country
Municipio: Guadalajara, Jalisco
C.P. 44210

FRAIS PROYECTOS Y EDIFICACIONES, S.A. DE C.V.
Domicilio: Miguel Alvarez No. 366
Colonia: 5 de Mayo
Municipio: Guadalajara, Jalisco
C.P. 44360

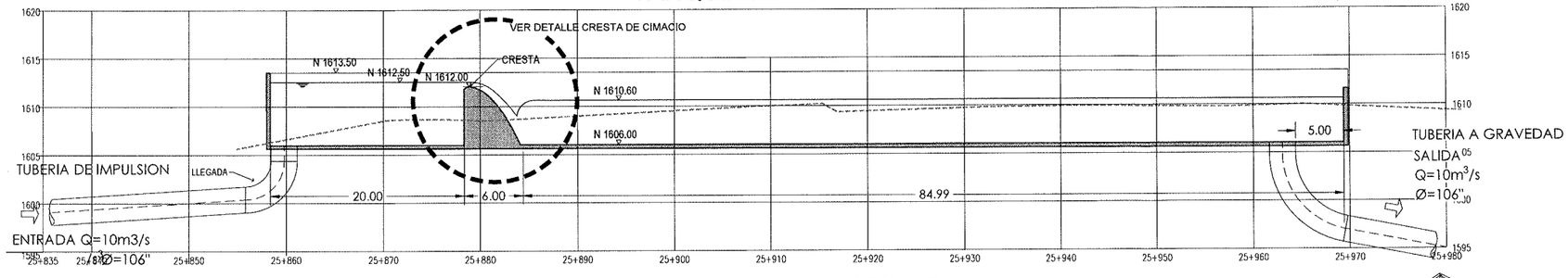
Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25
Ing. Miguel Carlos Aparo Avalos
Representante legal

Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25
Ing. Daniel Enrique Olguin Flores
Supervisor

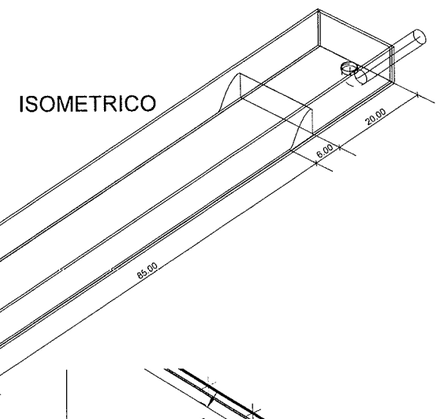
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN


EL SALTO
SAN MIGUEL
EL CHANTE
LA OPALERA
EL CHANTE DE MORENO
LA CAPILLA
LAS VARAS (LAS VARAS)
LA CRUZ DE LOS HORCONES
EL SALTO
LA CRUZ DE ABAJO
EL CHANTE DE LOS FLORES
LA CRUZ DE ARRIBA
LA CRUZ DE LOS HORCONES
EL CHANTE DE MORENO
LA CRUZ DE ARRIBA
LA CRUZ DE ABAJO
LAS VARAS (LAS VARAS)
EL SALTO
EL CHANTE
EL CHANTE DE LOS FLORES
LA CAPILLA
LA CRUZ DE LOS HORCONES

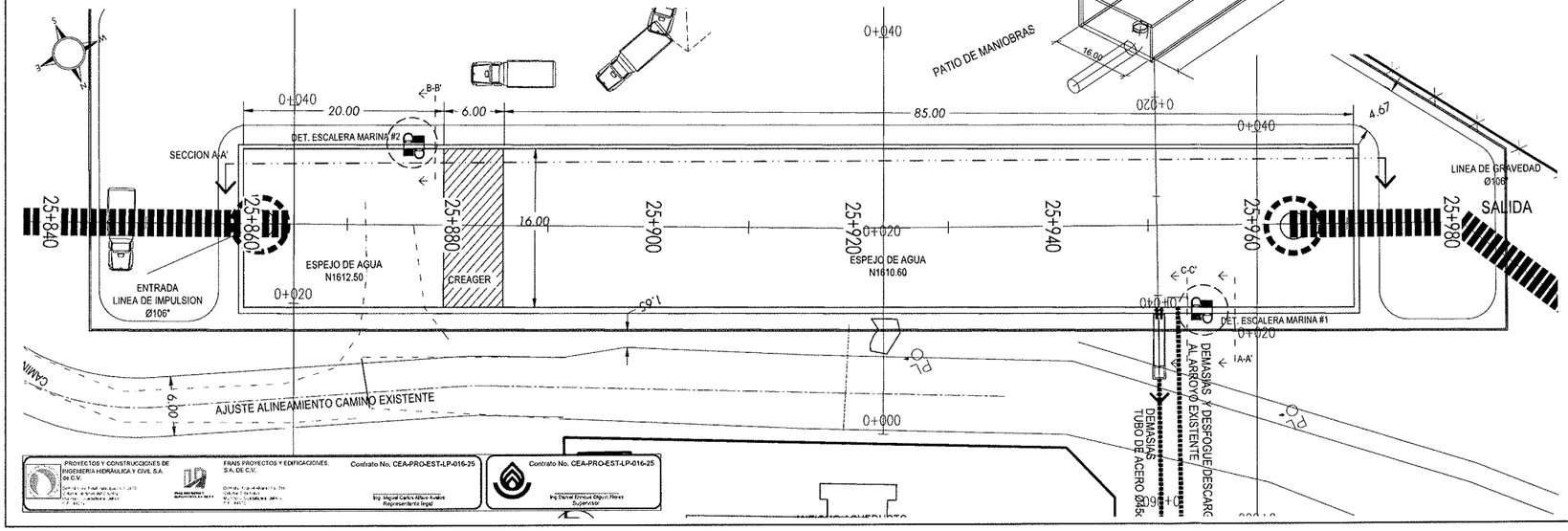
TANQUE CAMBIO DE REGIMEN



ESC 1:200 **SECCION**



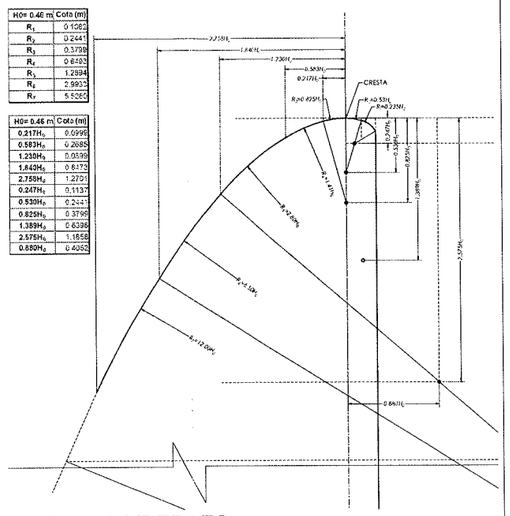
ISOMETRICO



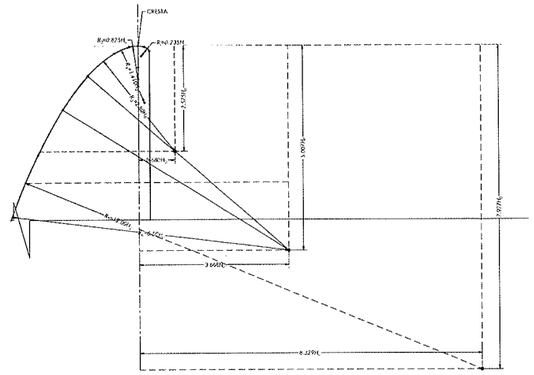
PROYECTOS Y CONSTRUCCIONES DE INGENIERIA HIDRAULICA Y CIVIL S.A. de C.V.	FRAIS PROYECTOS Y EDIFICACIONES, S.A. DE C.V.	Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25	Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25
		Ing. Miguel Carlos Alfaro Arellano Representante legal	Ing. Daniel Enrique Olguin Flores Supervisor

H0= 0.46 m	Cota (m)
R_1	0.1082
R_2	0.2441
R_3	0.3798
R_4	0.6493
R_5	1.2894
R_6	2.9933
R_7	5.5265

H0= 0.46 m	Cota (m)
$0.217H_0$	0.0996
$0.583H_0$	0.2685
$1.230H_0$	0.5659
$1.840H_0$	0.8473
$2.759H_0$	1.2701
$0.247H_0$	0.1137
$0.530H_0$	0.2441
$0.825H_0$	0.3799
$1.389H_0$	0.6396
$2.575H_0$	1.1858
$0.850H_0$	0.4093



DETALLE DE TRAZO ESC 1:40
CRESTA DE CIMACIO - PARTE SUPERIOR

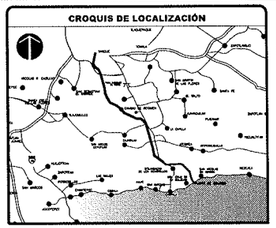


H0= 0.46 m	Cota (m)
R_1	0.1082
R_2	0.2441
R_3	0.3798
R_4	0.6493
R_5	1.2894
R_6	2.9933
R_7	5.5265

H0= 0.46 m	Cota (m)
$2.575H_0$	1.1858
$5.007H_0$	2.3057
$7.297H_0$	3.3603
$0.890H_0$	0.4052
$3.668H_0$	1.6891
$8.329H_0$	3.8355

DETALLE DE TRAZO ESC 1:100
CRESTA DE CIMACIO - PARTE INFERIOR

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



NOTAS Y ESPECIFICACIONES

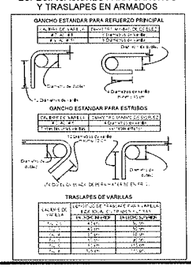
NOTAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1. Acotaciones en metros excepciones en metros, excepto las indicadas en otra unidad.
2. Los atraques no deberán abatirse las bridas de las piezas especiales.
3. La limpieza y el recubrimiento de la tubería y piezas de acero será:
   Exterior: impermeabilizante formado con una solvidad, limpieza a metal blanco con chorro abrasivo.
   Recubrimiento: primario RIN epoxico estabilizado alto sólido y con una capa de espesor de 2 milésimas de pulgada, capa sello: acabado RIN 20 epoxico catalizado aplicado en 2 capas de 3 milésimas de pulgada por cada una.
4. El maquilado, dimensionamiento y soldadura para los elementos prefabricados de acero en tuberías deberán apegarse a las normas técnicas de AWWA.
5. La soldadura para la aplicación deberá seguir las normas establecidas por el AWWA C-200 y C-206-97.
6. La soldadura se hará con electrodos E70 evitando la formación de oquedades, así como el depósito excesivo de material de aporte. La soldadura podrá ser manual o semiautomática (se requiere calificación de los soldadores).
7. El método de unión será mediante bielle para sumergido para contar con unión interna y exterior en la tubería.
   Nota: Cualquier cambio debe ser autorizado por la supervisión.

ESPECIFICACIONES DE CONCRETO PARA TANQUE:

1.- Para el armado de refuerzo, la elaboración, colocación, vibrado y curado del concreto el constructor deberá sujetarse a las normas y especificaciones del reglamento de construcciones de concreto reforzado ACI-318 y ACI-350.
2.- La plantilla será de concreto simple f'c=100 Kg/cm².
3.- Concreto f'c= 350 Kg/cm² el resultante de una relación A/C de 0.35.
4.- Acero de refuerzo fy=4,200 Kg/cm².
5.- Ver detalle de parrillas y traslapes para refuerzo principal.
6.- No se traslapará más del 50% de las varillas de cada lecho dentro de una para igual a una longitud de traslapo.
   El traslapo será igual a 60D de varilla como mínimo.
7.- Para mejor comportamiento y durabilidad de la estructura, el concreto deberá tener las siguientes características:
   7.1 Cemento de baja contracción (350 Mx).
   7.2 Tener la incidencia de autosanable tipo (HIDRATEAN).
   7.3 Impermeabilizante integral por cristalización: se recomienda el uso de membrana externa XYPEX (Dry, en polvo de la marca XYPEX) o equivalente en calidad de impermeabilización.
   7.4 Reductor de agrietamiento plastico (RHSENIN)
   7.5 Fibra de polipropileno 250 gr/m3.
8.- En todas las juntas de colado, se deberá colocar una banda de bilbete de PVC para garantizar la impermeabilidad y sellador entre del colado, preparado exclusivo tipo SIKADUR o equivalente.
9.- Para evitar la segregación del concreto este deberá de ser autocompactable o bien al realizar el colado no deberá de permitirse una caída libre de más de 1.5 m. a través del armado de refuerzo. El concreto deberá depositarse en capas horizontales de 60cm. máximo.
10.- Reforzar aristas y bordes con mortero cemento-arena de prop. 1:3 y fuijar medias cañas con concreto de calidad mencionada en punto 3.
11.- Se deberá recubrir la superficie de losas y muros con un recubrimiento epóxico para proteger y reparar las imperfecciones de colado y evitar problemas ocasionales por la humedad.

ESPECIFICACIONES PARA GANCHOS Y TRASLAPES EN ARMADOS

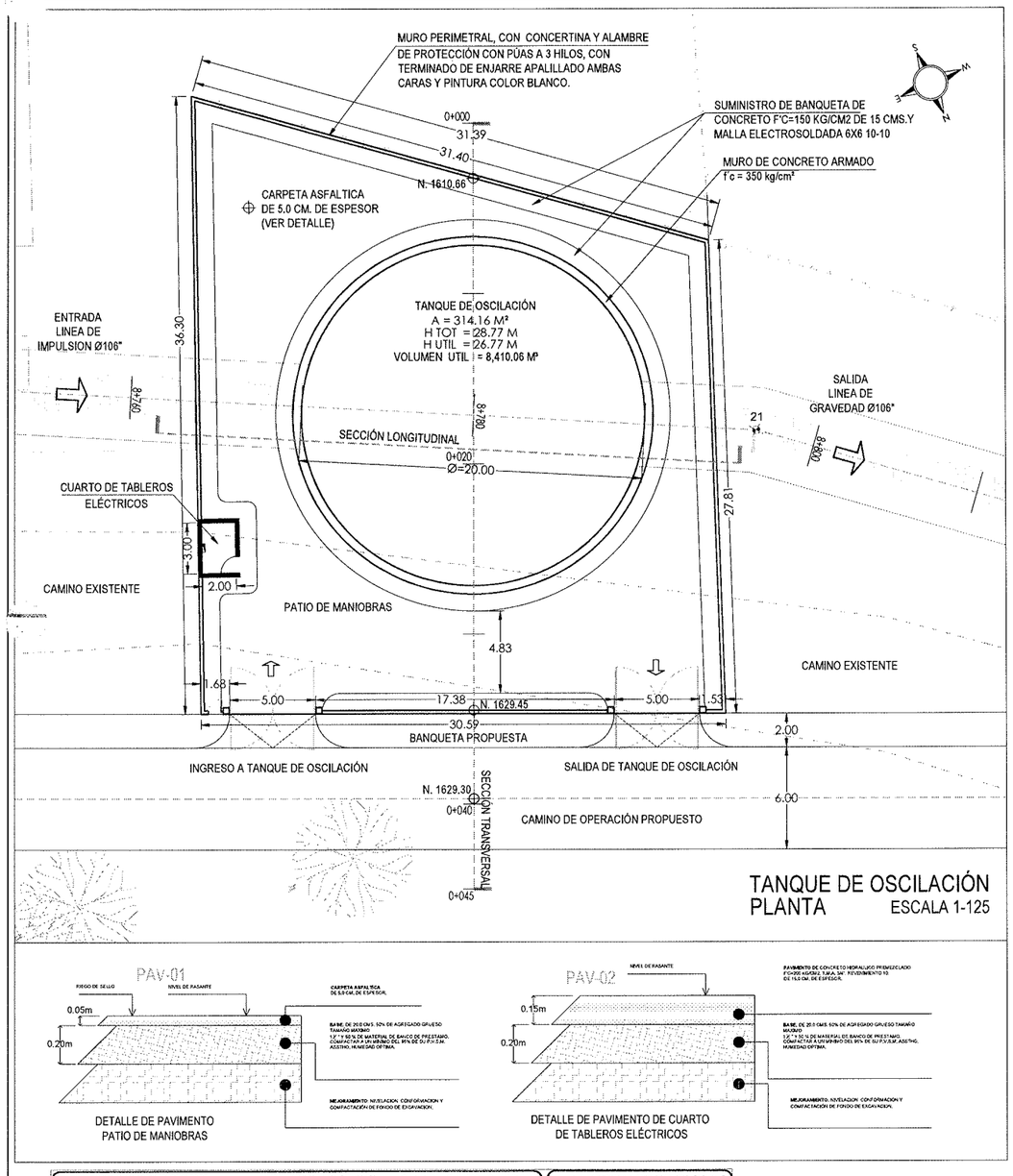


CONTRATO No. CEA-PRO-EST-LP-016-25
PROYECTO EJECUTIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA

Comisión Estatal del Agua Jalisco

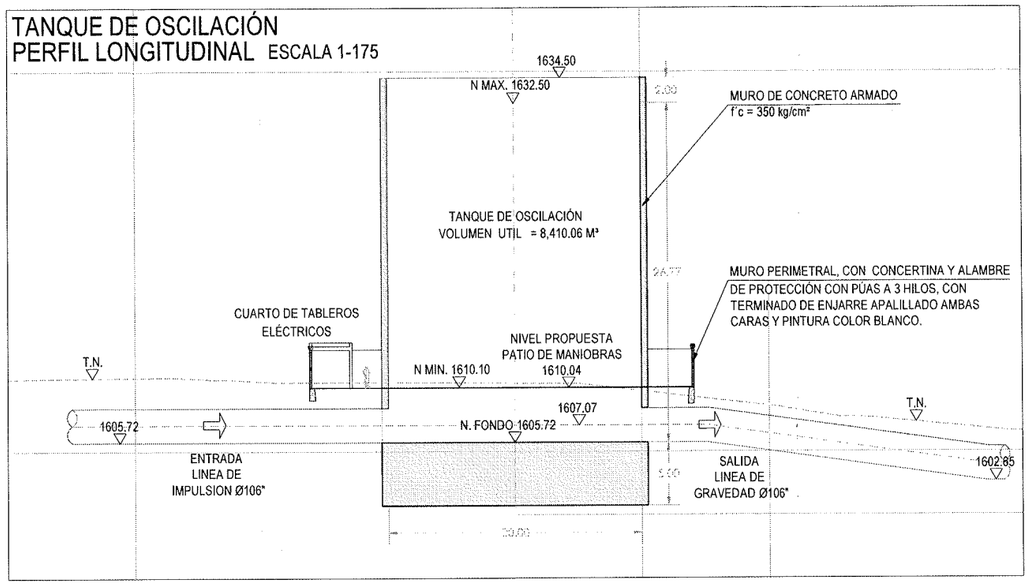
JALISCO GOBIERNO DEL ESTADO

Municipio	CHAPALA-IXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE
Localidad	CHAPALA-IXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE
Descripción del plano	ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA
	DISEÑO FUNCIONAL TANQUE CAMBIO DE REGIMEN
	Direccion de Proyectos y Gestion de Recursos
Ing. Victor Iván Lira Contreras	
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha NOVIEMBRE 2020 Escala Indicada	Código del plano DU2 Plano 0000

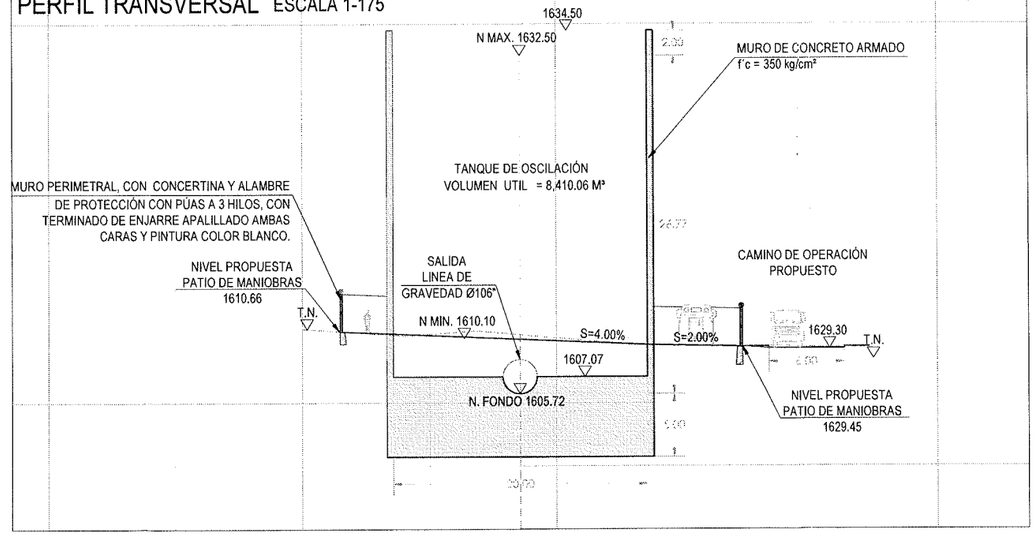


TANQUE DE OSCILACIÓN
PLANTA ESCALA 1-125

TANQUE DE OSCILACIÓN
PERFIL LONGITUDINAL ESCALA 1-175



TANQUE DE OSCILACIÓN
PERFIL TRANSVERSAL ESCALA 1-175



PROYECTOS Y CONSTRUCCIONES DE INGENIERIA HIDRAULICA Y CIVIL, S.A. de C.V.
Domicilio: Av. Patria Huitzapan No. 2470
Colonia: Jardines del Country
Municipio: Guadalajara, Jalisco
C.P.: 44210

FRAES PROYECTOS Y EDIFICACIONES, S.A. DE C.V.
Domicilio: Miguel Alvarez No. 384
Colonia: Ti Alto
Municipio: Guadalajara, Jalisco
C.P.: 44370

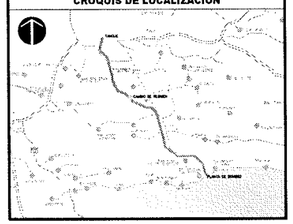
Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25

M. en I. Miguel Carlos Alfaro Avalos
Representante legal

Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25

M. en I. Daniel Enrique Olguin Flores
Residente

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



NOTAS Y ESPECIFICACIONES

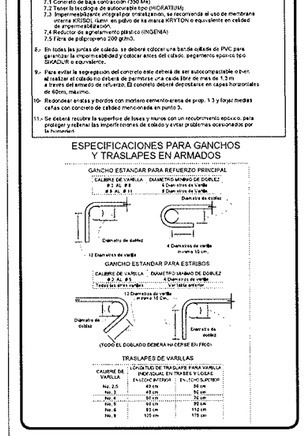
NOTAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1.- Aclaraciones en metros, diferencias en milímetros, excepto las indicadas en otra unidad.
2.- Los arreglos no deberán obstruir las bridas de las piezas especiales.
3.- La limpieza y el recubrimiento de la tubería y piezas de acero será:
Exterior: aplicación anticorrosiva fumeteo con o sin solidad, limpieza a metal blanco con chorro abrasivo.
Recubrimiento: primario RIPHE equivoco catalizado adusto amina con una capa de espesor de 2 milésimas de pulgada, capa base: acabado RA-29 epóxico catalizado adusto amina 2 capas de 3 milésimas de pulgada por capa seca.
4.- El empalme, desmontamiento y soldadura para los elementos prefabricados de acero en tuberías del eje siguiendo las normas de AWWA.
5.- La soldadura con la aplicación deberá seguir las normas establecidas por el AWWA D-000 y C206-97
6.- La soldadura se hará con electrodos E70, evitando la formación de cavidades, así como el excesivo volumen de material de aporte. La soldadura podrá ser manual o semiautomática. Se requerirá calificación de los soldadores.
7.- El método de unión será mediante doble anca sumergido para contar con unión interior y exterior en la tubería.
Nota: Cualquier cambio debe ser autorizado por la supervisión.

ESPECIFICACIONES DE CONCRETO PARA TANQUE:

1.- Para el armado de refuerzo, la elaboración, colocación, vibrado y curado del concreto, el constructor deberá sujetarse a las normas y especificaciones del reglamento de construcciones de concreto reforzado ACI-318 y ASI-305.
2.- La plantilla será de concreto simple f´c=100 Kg/cm².
3.- Concreto f´c= 350 Kg/cm² a el resultante de una relación A/C de 0.35.
4.- Acero de refuerzo f´y=4,200 Kg/cm².
5.- Ver detalle de ganchos y traslapes para refuerzo principal.
6.- No se soldarán más del 50% de los nudos de cada lecho dentro de una zona igual a una longitud de traslapo.
El traslapo será igual a 40D en varilla corrugada.
7.- Para mayor impermeabilidad y durabilidad de la estructura, el concreto deberá tener las siguientes características:
7.1 Concreto de baja contracción (<350 Mk).
7.2 Tener la bondad de autocurado tipo (HYCRETE/IN).
7.3 Impermeabilizante integral por cristalización, se recomienda el uso de membrana interna (KISSIL) (tahn, en polvo de la marca KRYTON o equivalente en calidad de impermeabilización.
7.4 Reductor de agrietamiento plástico (INGENIA).
7.5 Fibra de polipropileno 200 gr/m3.
8.- En todas las juntas de colado, se deberá colocar una banda de cobre de PVC para garantizar la impermeabilidad y colocar antes del colado, pegamento epóxico tipo SIKADUR o equivalente.
9.- Para evitar la segregación del concreto este deberá de ser autocompactable o bien, al vaciar el colado este deberá de permitir una caída libre de más de 1.5 m a través del armado de refuerzo. El concreto deberá depositarse en capas horizontales de 60cm. máximo.
10.- Redondear aristas y bordes con mortero cemento-arena de prop. 1:3 y llenar medias cañas con concreto de calidad mencionada en punto 3.
11.- Se deberá recubrir la superficie de losas y muros con un recubrimiento epóxico, para proteger y sellar las imperfecciones de colado y evitar problemas ocasionados por la humedad.

ESPECIFICACIONES PARA GANCHOS Y TRASLAPES EN ARMADOS



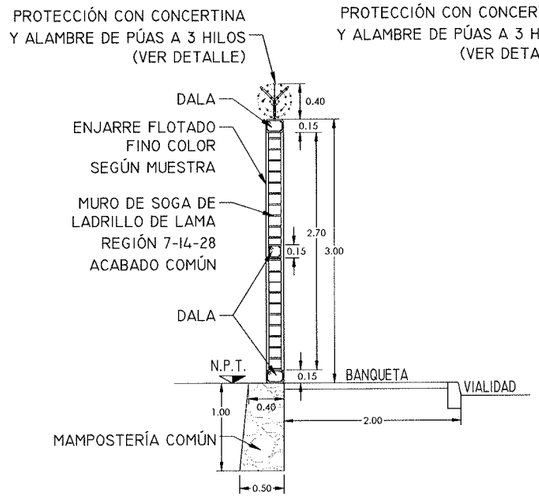
CONTRATO No. CEA-PRO-EST-LP-016-25
PROYECTO EJECUTIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA

Comisión Estatal del Agua Jalisco

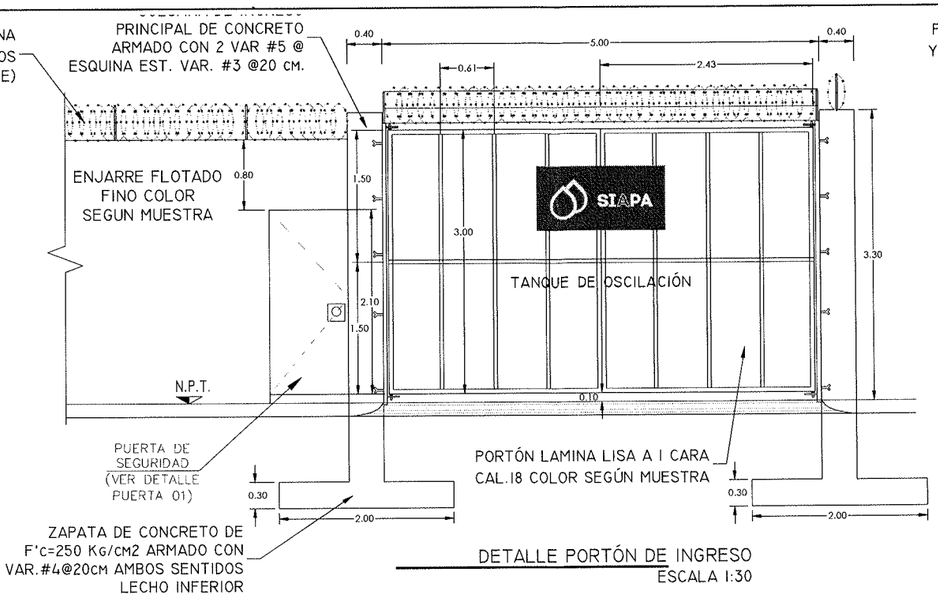
JALISCO gobierno del estado

Municipio
CHAPALA-IXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE
Localidad
CHAPALA-IXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE
Descripción del plano
ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA
TANQUE DE OSCILACION
PLANTA Y PERFILES
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos

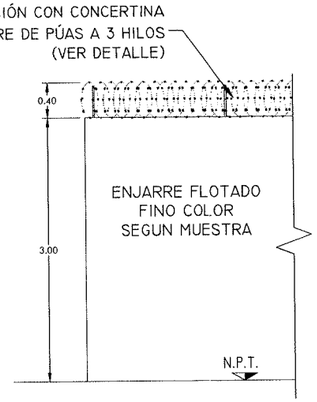
Ing. Victor Iván Lira Contreras
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos | Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha NOVIEMBRE 2025 | Escala Indicadas | Código del plano DLI | Plano 014



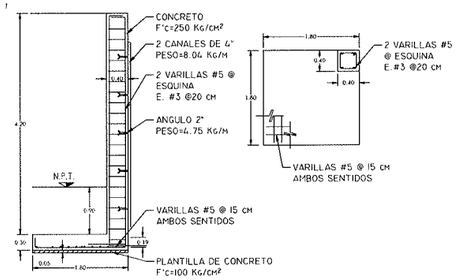
SECCIÓN DE MURO PERIMETRAL
CIMENTACIÓN A BASE DE MAMPOSTERÍA
ESCALA 1:30



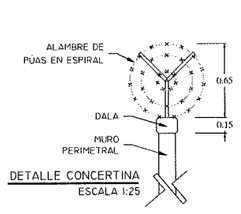
DETALLE PORTÓN DE INGRESO
ESCALA 1:30



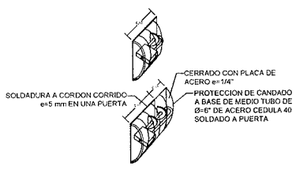
ALZADO TIPO DE MUROS
ESCALA 1:30



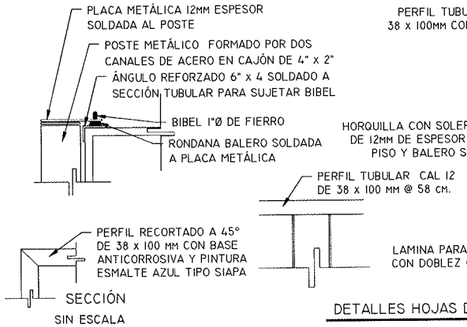
DETALLE DE COLUMNA Y ZAPATA PARA
SOPORTE DE PORTÓN
ESCALA 1:50

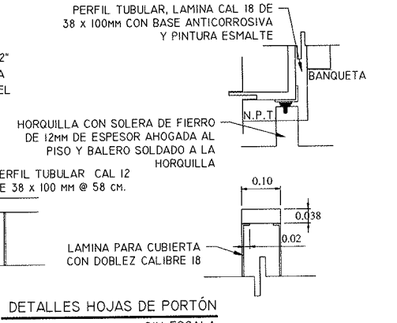


DETALLE CONCERTINA
ESCALA 1:25



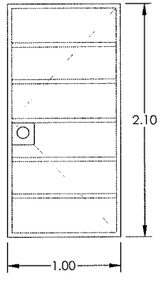
DETALLE PROTECCION
DE CANDADO
ESCALA S/E



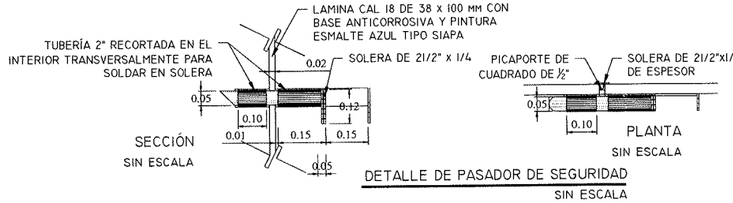


DETALLES HOJAS DE PORTÓN
SIN ESCALA

PUERTA 01



SUMINISTRO DE PUERTAS METALICAS DE ALTA SEGURIDAD ELABORADAS EN PTR DE 1 1/2"X1 1/2"CALIBRE 11 ,LAMINANA COLOR MUESTRA, LISA CALIBRE 16, EN AMBAS CARAS ,CON CINCO TRAVESAÑOS COMO REFUERZO ,TAPA JUNTA EN SOLERA DE 3/16"X 1 1/4",FONDO COMEX GRIS ,CHAPA MASTER LOCK M736XKAD MAGNUM - CANDADO DE GRILLETE OCULTO DE ACERO SÓLIDO RESISTENTE CON LLAVE, CERROJO DE ALTA SEGURIDAD ,JALADERA EN ANGULO ELABORADA EN TALLER ,CON PATAS PARA AHOGAR Y/O RECIBIR EN OBRA CON MORTERO ,COLCHONETA ANTIFUEGO .



DETALLE DE PASADOR DE SEGURIDAD
SIN ESCALA

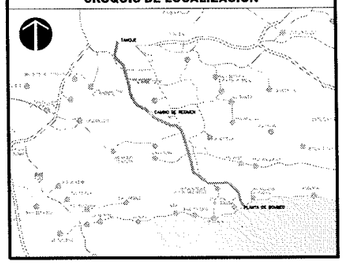
PROYECTOS Y CONSTRUCCIONES DE INGENIERÍA HIDRÁULICA Y CIVIL S.A. de C.V.
Domicilio: Av. Fidel Velazquez No. 2470
Colonia: Jardines del Country
Municipio: Guadalajara, Jalisco
C.P. 44210

FRAIS PROYECTOS Y EDIFICACIONES, S.A. DE C.V.
Domicilio: Miguel Alvarez No. 386
Colonia: 5 de Mayo
Municipio: Guadalajara, Jalisco
C.P. 44370

Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25
M. en I. Miguel Carlos Alfaro Avalos
Representante legal

Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25
M. en I. Daniel Enrique Olguín Flores
Residente

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



NOTAS Y ESPECIFICACIONES

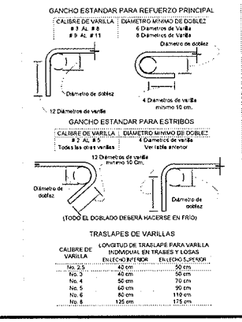
NOTAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1. Acotaciones en metros, elevaciones en msnm, excepto las indicadas en otra unidad.
2. Los atraques no deberán obstruir las bridas de las piezas especiales.
3. La limpieza y el recubrimiento de la tubería y piezas de acero será:
   Exterior: (exposición ambiente húmedo con o sin salinidad). limpieza a metal blanco con chorro abrasivo.
   Recubrimiento: primario RP-6 epóxico catalizado aducto amina con una capa de espesor de 2 milésimas de pulgada, capa seca, acabado RA-29 epóxico catalizado aducto-amina 2 capas de 3 milésimas de pulgada por capa seca.
4. El maquinado, dimensionamiento y soldadura para los elementos prefabricados de acero en tuberías deberá apegarse a las normas técnicas de AWWA.
5. La soldadura como la aplicación deberá seguir las normas establecidas por el AWWA C-200 y C206-97.
6. La soldadura se hará con electrodos E70, evitando la formación de oquedades así como el deposito excesivo de material de aporte. La soldadura podrá ser manual o semiautomática (se requerirá calificación de los soldadores).
7. El método de unión será mediante doble arco sumergido para contar con unión interior y exterior en la tubería.
   *Nota: Cualquier cambio debe ser autorizado por la supervisión.

ESPECIFICACIONES DE CONCRETO PARA TANQUE:

1.- Para el armado de refuerzo, la elaboración, colocación, vibrado y curado del concreto, el constructor deberá sujetarse a las normas y especificaciones del reglamento de construcciones de concreto reforzado ACI-318 y ACI-350.
2.- La plantilla será de concreto simple f'c=100 Kg/cm².
3.- Concreto f'c= 350 Kg/cm² o el resultante de una relación A/C de 0.35.
4.- Acero de refuerzo fy=4,200 Kg/cm².
5.- Ver detalle de ganchos y traslapes para refuerzo principal.
6.- No se traslapará más del 50% de las varillas de cada lecho dentro de una zona igual a una longitud de traslape.
   El traslape será igual a 40D de varilla como mínimo.
7.- Para mejor comportamiento y durabilidad de la estructura, el concreto deberá tener las siguientes especificaciones:
   7.1 Concreto de baja contracción (350 Mr).
   7.2 Tener la tecnología de autocurable tipo (HIDRATIUM)
   7.3 Impermeabilizante integral por cristalización, se recomienda el uso de membrana interna KRISOL (kim) en polvo de la marca KRYTON o equivalente en calidad de impermeabilización.
   7.4 Reductor de agrietamiento plástico (SINGENIA)
   7.5 Fibra de polipropileno 200 gr/m3.
8.- En todas las juntas de colado, se deberá colocar una banda ojillada de PVC para garantizar la impermeabilidad y colocar antes del colado, pegamento epóxico tipo SIKADUR o equivalente.
9.- Para evitar la segregación del concreto este deberá de ser autocompactable o bien al realizar el colado no deberá de permitirse una caída libre de más de 1.3 m a través del armado de refuerzo. El concreto deberá depositarse en capas horizontales de 60cm. máximo.
10.- Redondear aristas y bordes con mortero remediomortero de prop. 1:3 y forjar medias cañas con concreto de calidad mencionada en punto 3.
11.- Se deberá recubrir la superficie de losas y muros con un recubrimiento epóxico, para proteger y rellenar las imperfecciones de colado y evitar problemas ocasionados por la humedad.

ESPECIFICACIONES PARA GANCHOS Y TRASLAPES EN ARMADOS



TRASLAPES DE VARILLAS

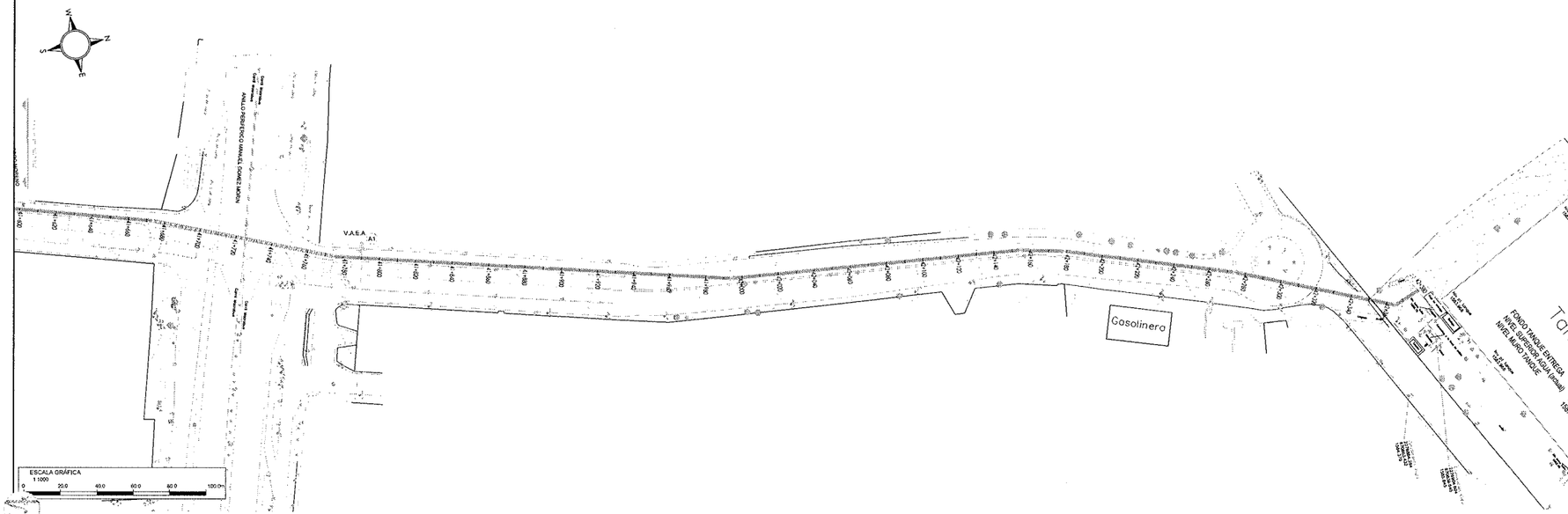
CALIBRE DE VARILLA	LONGITUD DE TRASLAPE PARA VARILLA HORIZONTAL EN TRABES Y LOSAS	
	EN LECHO INFERIOR	EN LECHO SUPERIOR
No. 2.5	40 cm	50 cm
No. 3	40 cm	50 cm
No. 4	50 cm	70 cm
No. 5	60 cm	90 cm
No. 6	80 cm	110 cm
No. 8	120 cm	175 cm

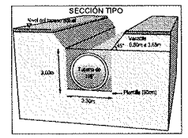
CONTRATO No. CEA-PRO-EST-LP-016-25
PROYECTO EJECUTIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA

Comisión Estatal del Agua Jalisco
JALISCO GOBIERNO DEL ESTADO

Municipio
CHAPALA-IXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE
Localidad
CHAPALA-IXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE
Descripción del plano
ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA
TANQUE DE OSCILACION DETALLES
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos
Ing. Víctor Iván Lira Contreras
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos — Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha: NOVIEMBRE 2025 — Escala: Indicadas — Código del plano: DLI — Plano 015

PLANTA DE LA LÍNEA DE GRAVEDAD.





NOTAS DE EXCAVACIONES

A) DESPLANTE SOBRE MATERIALES INERTES (ARENAS O LIMOS).

a. La profundidad mínima para llevar a cabo el desplante del acueducto será a 3.00 m. respecto al nivel de terreno actual o, brocal de cárcamo; esta profundidad podrá aumentar dependiendo de las condiciones del terreno que se encuentren durante la excavación, como lo indiquen los proyectos, hasta asegurarse de llegar a la roca (bolsas o manto). Una vez llegado la excavación a la roca, colocar material acolchón de tipo base hidráulica (tepetate) de 30 cm de espesor con material de banco inerte (arena limosa + tepetate), debidamente humedecido de roca y compactar (colocar material compactado manual). Posteriormente colocar plantilla de 30 cm de espesor con material de banco inerte (arena limosa + tepetate), compactar al 90% de la prueba estándar (AASHTO).

B) DESPLANTE SOBRE BOLEOS O MANTO DE ROCA.

a. La profundidad mínima para llevar a cabo el desplante del acueducto será a 3.00 m. respecto al nivel de terreno actual o, brocal de cárcamo; esta profundidad podrá aumentar dependiendo de las condiciones del terreno que se encuentren durante la excavación, como lo indiquen los proyectos, hasta asegurarse de llegar a la roca (bolsas o manto). Una vez llegado la excavación a la roca, colocar material acolchón de tipo base hidráulica (tepetate) de 30 cm de espesor con material de banco inerte (arena limosa + tepetate), debidamente humedecido de roca y compactar (colocar material compactado manual). Posteriormente colocar plantilla de 30 cm de espesor con material de banco inerte (arena limosa + tepetate), compactar al 90% de la prueba estándar (AASHTO).

C) DESPLANTE SOBRE MATERIALES COMPRESIBLES Y/O CON PRESENCIA DE AGUA.

a. La profundidad mínima para llevar a cabo el desplante del acueducto será a 3.00 m. respecto al nivel de terreno actual o, brocal de cárcamo; esta profundidad podrá aumentar dependiendo de las condiciones del terreno que se encuentren durante la excavación, como lo indiquen los proyectos, hasta asegurarse de llegar a la roca (debrocos en manto), siempre y cuando los materiales encontrados no sean saturados y/o presenten de materiales compresibles (limosos y/o presencia de agua). Seguir los indicaciones de enseguida

a) Excavar 40 cm adicionales al desplante (en profundidad) en zanja (en cualquiera de sus dimensiones) y rellenar con material de banco inerte (arena limosa + tepetate), compactar al 90% de la prueba estándar (AASHTO).

b) Colocar capa estabilizadora de 30 cm de espesor con material mineral grueso, que podría ser roca de poco de bueno calidad y limpia o bien grava de basalto o tepetate (material de banco inerte) de 3" a 1 ½" compactada al 90% de la prueba estándar (AASHTO), además acomodar el material de capa base o subbase de la misma forma.

c) Colocar geotextil para evitar la contaminación de la capa estabilizadora por parte de granos con finos de la capa tipo base o subrasante.

d) Colocar capa tipo base compactada (plantilla) de 20 cm de espesor mediante material de banco inerte (arena limosa + tepetate) de 3" a 1 ½" compactada al 90% de la prueba estándar (AASHTO), además acomodar el material de capa base o subbase de la misma forma.

D) EN ENCAUZAMIENTO como **NORTE** no se requiere ningún tipo de mejoramiento anteriormente sobre excavaciones mencionados.
EN MEJORAMIENTO como **CENTRO** y según lo requiera excavación adicional de 0.60m para alojar capa de grueso de 40 cm + capa constituida de 20 cm).
EN SUBRASANTE como **SUR** no se requiere ningún tipo de mejoramiento anteriormente sobre excavaciones mencionados.
Además se deberá tener localizar todos y en cada una de las zonas siguiente en el desplante.
EN SONDEOS Será necesario sondeos hasta los 8.00 m de profundidad y/o capa a partir de los 4.0 m. de consistencia media alcanzar hasta los 6.00m., por lo tanto, para poderlo en análisis más detallado, podrán ser de inyecciones en el subsuelo.
Asentamiento Se deberá tener un asentamiento máximo de 1 ½" [; sin embargo si no será necesario en todas con una mayor de la superficie (topo-sondeo) se podrá realizar asentamiento de 2").

NOTAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1. Acotaciones y elevaciones en metros, dimensiones en milímetros, excepción las indicadas en otra unidad.
2. La excavación de la zanja se realizará con las dimensiones, ancho y profundidad indicadas.
3. El material producto de la excavación será depositado a un costado de la zanja.
4. Se deberá instalar una plantilla de material de banco (arenas) y en presencia de agua se utilizará grava limpia máximo de 1" a 1 ½" compactada al 90% de la prueba proctor, en dos capas de 15 cm (prueba de compactación ligera y/o placa vibratoria, según material).
5. El acotillado deberá de realizarse hasta una altura de 30 cm arriba del lomo del tubo con material de banco (arena) y en presencia de agua se utilizará grava tamaño máximo de 1" a 1 ½" compactada al 90% de su peso volumétrico seco obtenido en capas de 15 a 20 cm (equipo de compactación ligero y/o placa vibratoria, según material).
6. El relleno complementario deberá realizarse con material producto de excavación al cual se le retirarán piedras de tamaño mayor a 3" y compactarse al 90% de la prueba proctor o 90% de la prueba PVSA en capas de 25 cm o al que indique la supervisión.
7. El material de la tubería de impulsión será de Acero. El cálculo hidráulico se realizo con las normas técnicas de este material por lo que cualquier cambio debe ser aprobado por la supervisión previa revisión de cálculo hidráulico.
8. La prueba hidrostática deberá de realizarse conforme a la NOM-001-CONAGUA-2011 y será realizada en presencia del personal técnico de la supervisión.
9. En cada deflexión o cambio de sentido del tipo se deberá de instalar un atraque de concreto con un f'c =200 kg/cm², con dimensiones de acuerdo a su diseño estructural (ver planos de detalles).
10. Las piezas especiales serán de Acero debidamente soportar por lo menos la misma presión del diseño donde se instalará (como mínimo según cálculo hidráulico).
11. La construcción de cajas de válvulas se realizará conforme al diseño establecido en los planos constructivos.
12. La profundidad de todas las deflexiones señaladas en el plano podrán variar conforme al detalle de las pruebas (ver planos).
13. Las UNEX en el interior de arroyos de 6 m ancho, en el plano de detalles y especificaciones, para su instalación.
14. Las válvulas de operación serán las indicadas en los planos correspondientes.
15. Todas las obras hidráulicas complementarias se realizaron conforme a las indicaciones de la supervisión.
16. Los atraques no deberán cubrir las bridas de las piezas especiales.
17. La tubería será de Acero de 106"Ø y espesor 15.7% Grado A-36 resistencia mínima.
18. El recubrimiento de la tubería y piezas de acero será:
   - Interior: Fabricados 100% soldado AWWA C-222 (1 capa de 20 milésimas película seca), cumpliendo con NSF/ANSI 61.
   - Exterior: Fabricados 100% soldado AWWA C-222 (1 capa de 25 milésimas película seca), color anaranjado.
19. El empalme, dimensionamiento y soldadura para los elementos prefabricados de acero en la tubería deberá apegarse a las normas técnicas de AWWA.
20. La soldadura como la aplicación deberá seguir las normas establecidas por el AWWA C-200 y C206-97.
21. La soldadura se hará con electrodos E70 o estándar la formación de capacidades, así como el depósito estándar de metal de los apoyo. La soldadura podrá ser manual o semiautomática con respecto calificación de los soldadores.
22. El método de unión será mediante doble anca sumergido para contar con unión interna y exterior en la tubería.
23. El sistema de coordenadas que se utilizó en el plano:

DATUM DE COORDENAC. UTM
ZONA 13 NORTE
DATUM ITRF 2008
EPOCA DE REFERENCIA 2010.0
GEOIDE GGM10

Nota: Cualquier cambio debe ser autorizado por la supervisión.

TIPO DE CRUCERO

Kilometraje	Tipo	Obra a ejecutar
41+760.00	A1	VAEA

Ver detalles en plano DLG-010

DISEÑO DE CRUCEROS

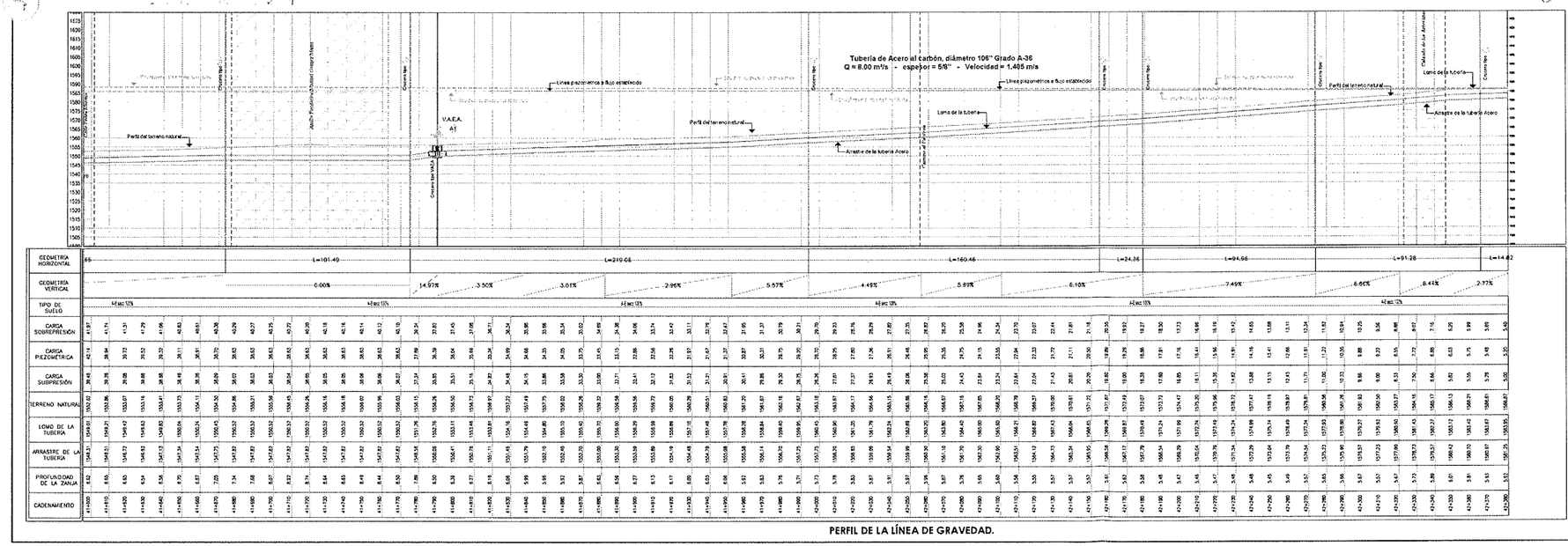
DEFLEXIONES EN TUBERÍA

Kilometraje	Deflexión	Cambio	Tipo
40+673.07	8°18'14"	Horizontal	☐
40+975.06	8°2'51"	Horizontal	☐
41+054.22	8°38'3"	Horizontal	☐
42+034.58	7°37'55"	Horizontal	☐
42+076.84	5°29'18"	Horizontal	☐
42+273.89	4°28'43"	Horizontal	☐

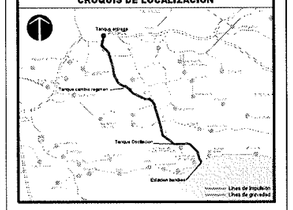
Las deflexiones horizontales y verticales se formaran en paleria de acero ASTM 53B.
Ver detalles en planos DLG-001 y DLG-002.

CUADRO DE TRAZO ACUEDUCTO CHAPALA–GUADALAJARA

LADO		RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS	
EST	PV				Y	X
59	60	N 31°47'34.33" E	101.493	60	2,376,322.9758	670,672.9378
60	61	N 19°02'48.02" E	319.083	61	2,376,534.9361	670,734.1249
61	62	N 05°03'05.16" E	160.456	62	2,376,694.7724	670,738.9063
62	63	N 12°53'50.42" E	24.361	63	2,376,718.5755	670,743.5753
63	64	N 13°47'17.93" E	84.992	64	2,376,801.0743	670,772.4087
64	65	N 22°30'31.24" E	91.281	65	2,376,883.3286	670,807.4214
65	66	N 22°46'36.76" W	14.815	66	2,376,907.1801	670,801.6643



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

- Eje proyecto tubería diámetro 106" ACERO
- Terreno natural
- Arrastre tubería
- Deflexión horizontal
- Deflexión vertical
- Delimitación de carmino
- Delimitación propiedad
- Piezas especiales
- Envolvente de las posiones máximas
- Envolvente de las posiones mínimas
- Línea piezométrica
- VAEA — Válvula admisora expulsora de aire
- DESF. — Desfogue
- Curvas de nivel @ 5m
- Escurrimientos
- Lienzo de piedra
- Cuerpos de agua
- Válvula de seccionamiento

DATOS DE PROYECTO

CONTRATO No. CEA-PRO-EST-LP-016-25

PROYECTO EJECUTIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA

Comisión Estatal del Agua Jalisco — JALISCO GOBIERNO DEL ESTADO

Municipio:	CHAPALA-EXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE
Localidad	CHAPALA-EXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE
Descripción del plano	ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA
PROYECTO LÍNEA DE GRAVEDAD / PLANTA Y PERFIL	KM 41+600 AL 42+380
Dirección de Proyectos y Gestion de Recursos	
Ing. Arq. Victor Ivan Lira Contreras	
Dirección de Proyectos y Gestion de Recursos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha: NOVIEMBRE 2025 Escala: 1:1000	Código del plano: PLG Plano 02/7

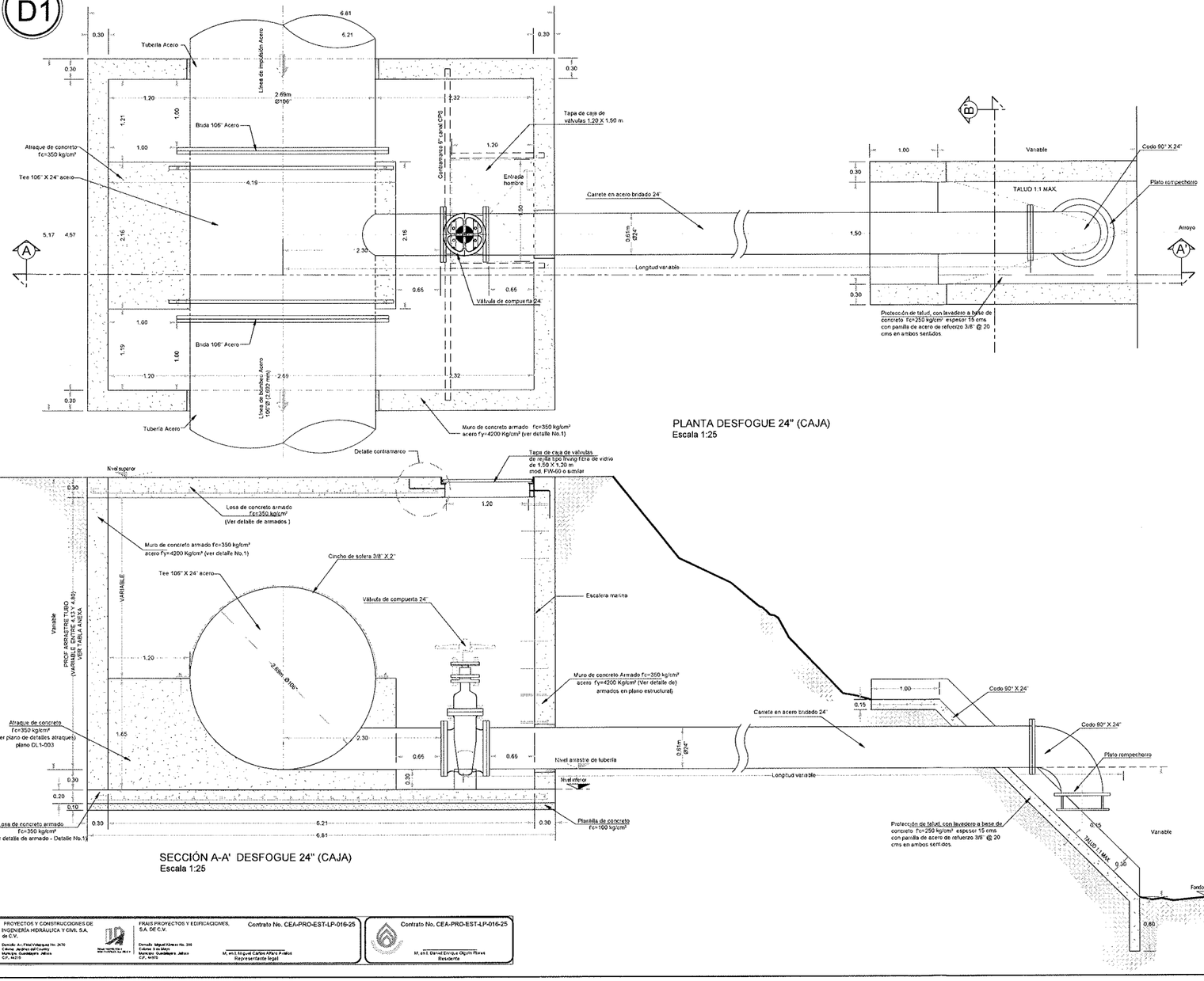
Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25
M. en I. Daniel Enrique Olguín Flores
Residente

PROYECTOS Y CONSTRUCCIONES DE INGENIERÍA HIDRÁULICA Y CIVIL S.A. de C.V.
Director Técnico

FRAZ PROYECTOS Y EDIFICACIONES S.A. DE C.V.
Director Administrativo

Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25
M. en I. Miguel Ángel Alba Ávalos
Representante legal

CAJA TIPO **D1**

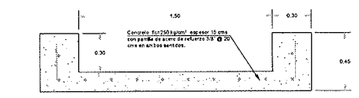


PLANTA DESFOGUE 24" (CAJA)
Escala 1:25

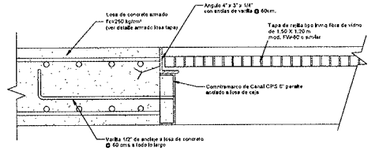
SECCIÓN A-A' DESFOGUE 24" (CAJA)
Escala 1:25

TABLA DE DEFLEXION Y NIVEL DE CAMA DE DESFOGUE

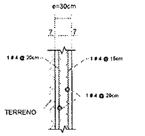
CAD.	X	Y	TERRENO NATURAL	ARRASTRE TUBERIA	PROFUNDIDAD PROYECTO	Deflexion
2+510.00	692678.6393	2249889.069	1,542.74	1,538.00	4.74	
3+730.00	691867.8846	2250660.4576	1,580.58	1,576.37	4.21	
5+780.00	690362.4547	2251885.4205	1,580.29	1,575.98	4.31	
7+940.00	688190.4148	2251615.5680	1,592.63	1,588.31	4.33	
9+430.00	686885.6930	2251963.0950	1,608.56	1,604.30	4.26	
12+495.00	684468.0985	2253777.5573	1,586.06	1,581.73	4.33	
13+580.00	683216.9758	2254834.8507	1,573.66	1,569.47	4.19	DESFOGUE 24"
14+000.00	684132.2643	2255302.6951	1,579.97	1,575.67	4.30	
16+535.00	683454.5901	2257678.8260	1,572.66	1,568.46	4.20	
18+690.00	682840.2948	2259843.9615	1,563.18	1,559.03	4.15	
19+720.00	682507.0634	2260710.2402	1,563.51	1,559.38	4.13	
23+230.00	681645.0041	2263860.4002	1,589.89	1,585.58	4.32	
22+640.00	680209.2593	2262075.0448	1,555.26	1,551.06	4.20	
24+165.00	678882.5830	2262703.6239	1,526.18	1,520.82	5.36	



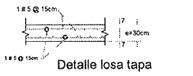
SECCION B-B' lavadero
Sin escala



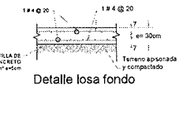
Detalle contramarco y rejilla de tapa de válvulas
Sin escala



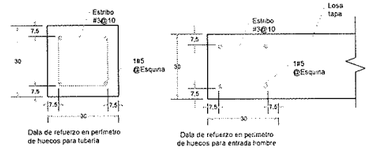
Detalle muro



Detalle losa tapa



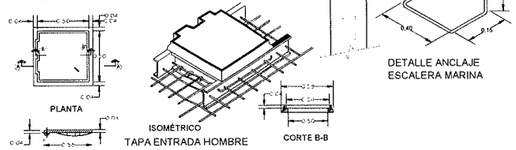
Detalle losa fondo

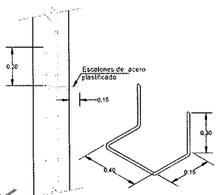


Dala de refuerzo en perimetro de huecos para tuberia

Dala de refuerzo en perimetro de huecos para entrada hombre

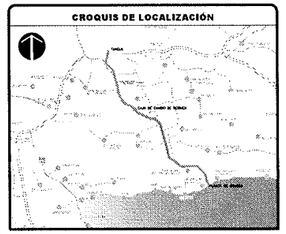
DALA DE REFUERZO EN HUECOS





DETALLE ANCLAJE ESCALERA MARINA

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



NOTAS Y ESPECIFICACIONES

ESPECIFICACIONES PARA GANCHOS Y TRASLAPES EN ARMADOS

GANCHO ESTANDAR PARA REFUERZO PRINCIPAL

CALIBRE DE VARILLA	DIAMETRO MINIMO DE DOBLEZ
# 2, #3, # 4	6 Diametros de Varilla
# 5, #6, # 8	8 Diametros de Varilla
# 10, # 11	10 Diametros de Varilla

GANCHO ESTANDAR PARA ESTRIBOS

CALIBRE DE VARILLA	DIAMETRO MINIMO DE DOBLEZ
# 2, #3, # 4	4 Diametros de varilla
Todas las otras varillas	Una varilla anterior

TRASLAPES DE VARILLAS

CALIBRE DE VARILLA	LONGITUD DE TRASLAPE PARA VARILLA BIDIMENSIONAL EN TRABES Y LOSAS	
	EN ZONA CONFINADA	EN ZONA SUPERIOR
No. 2.5	40 cm	50 cm
No. 3	45 cm	60 cm
No. 4	60 cm	70 cm
No. 5	60 cm	90 cm
No. 6	85 cm	110 cm
No. 8	115 cm	175 cm

NOTAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1. Acotaciones en metros, excepto en diametros, excepto las indicadas en otra unidad.
2. Los alineamientos deberán obtenerse los bordes de las piezas especiales.
3. La limpieza y el recubrimiento de la tubería y piezas de acero será:
   Exterior: preparación ambiente Pumetec con o sin sabulado. Limpieza a metal blanco con chorro abrasivo.
   Recubrimiento: primario RP-6 epoxico catalizado edurio amina con una capa de espesor de 2 milesimas de pulgada, capa seca, acabado RA-29 epoxico catalizado edurio amina 2 capas de 3 milesimas de pulgada por capa seca.
4. El maquinado, dimensionamiento y soldadura para los elementos prefabricados de acero en tuberías deberá apegarse a las normas tecnicas de AWWA.
5. La soldadura para la aplicación deberá seguir las normas establecidas por el AWSA D.200 y D.300.
6. La soldadura se hará con electrodos E70, evitando la formación de cigueñales, así como el descuido excesivo de material de aporte. La soldadura podrá ser manual o semiautomática que requerirá calificación de los soldadores.
7. El traslado de varios tramos debe ser sumergido para cuidar con unión interior y exterior en la tubería.
   Nota: Cualquier cambio debe ser autorizado por la supervisor.

NOTAS Y ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION

1. Para el armado de refuerzo, la vibración, colocación, vibrado y curado del concreto, el constructor deberá sujetarse a normas y especificaciones del reglamento de construcciones de concreto reforzado ACI-318 y ACI-350.
2. La plantilla será de concreto simple f'c = 100 kg/cm2.
3. Utilizar para atraques y cajas, concreto f'c = 350 kg/cm2.
4. Utilizar acero de refuerzo fy = 4,200 kg/cm2.
5. Ver detalle de ganchos y traslapes para refuerzo principal.
6. No se traslapara más del 50% de las varillas de cada lecho dentro de una zona igual a una longitud de traslape. El traslape será igual a 40 diametros de varilla como mínimo.
7. Para mejor comportamiento y durabilidad de la estructura, el concreto deberá tener la tecnología autocurable (Hidrofugo, reductor de agua, retardante plastificante y condiciones de autosellable (Duramesh de CEMEX, o equivalente.
8. En todas las juntas de colado, se deberá colocar una banda tabaco de PVC para garantizar la impermeabilidad.
9. Para evitar la segregación del concreto, este deberá de ser autocompactable o bien al realizar el colado, no deberá de permitirse una caida libre de más de 1.50m a través del armado de refuerzo. El concreto deberá de depositarse en capas horizontales de 60cm máximo.
10. Redondear aristas y bordes con mortero cementoso area de proporción 1:3 y fijar medias cañas con concreto de calidad mencionada en el Punto 3.
11. Se deberá de recubrir la superficie de las losas y muros con un revestimiento asfaltico para proteger y rellenar las imperfecciones de colados y evitar problemas ocasionados por la humedad.

CONTRATO No. CEA-PRO-EST-LP-016-25

PROYECTO EJECUTIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA

Comisión Estatal del Agua Jalisco — JALISCO

Municipio
CHAPALA-IXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE
Localidad
CHAPALA-IXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE
Descripción del plano
ACUEDUCTO CHAPALA-GUADALAJARA LINEA DE IMPULSION CAJA DESFOGUE 24" CAJA TIPO D1
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos
Ing. Arq. Victor Iván Lira Contreras
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos — Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha OCTUBRE 2025 — Escala — Hojas/edes — Código del plano DL1 — Plano 013

PROYECTOS Y CONSTRUCCIONES DE INGENIERÍA HIDRÁULICA Y CIVIL, S.A. de C.V.
Domicilio: Av. Fidel Velázquez No. 2470
Colonia: Jardines del Country
Municipio: Guadalajara Jalisco
C.P.: 44210

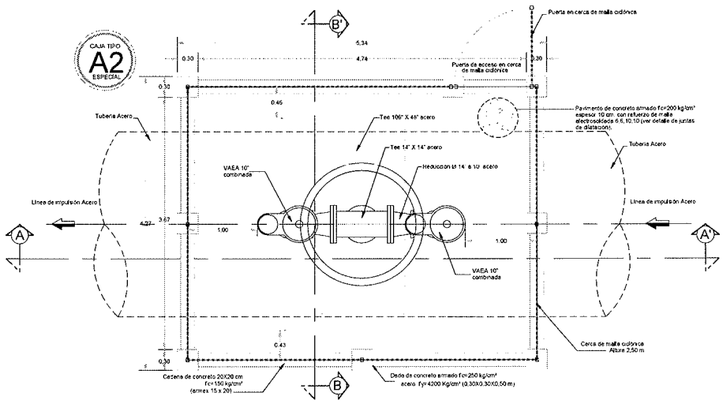
FRAIS PROYECTOS Y EDIFICACIONES, S.A. DE C.V.
Domicilio: Miguel Alemán No. 396
Colonia: 5 de Mayo
Municipio: Guadalajara Jalisco
C.P.: 44100

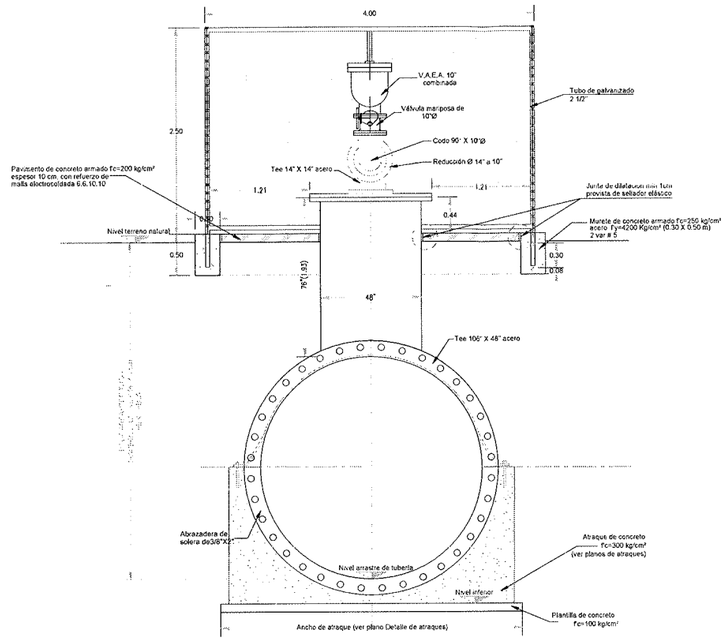
Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25

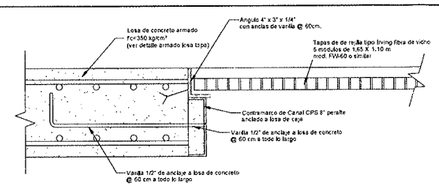
M. en I. Miguel Carlos Alfaro Avalos
Representante legal

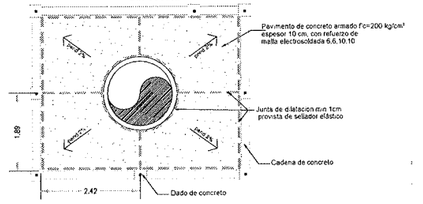
Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25

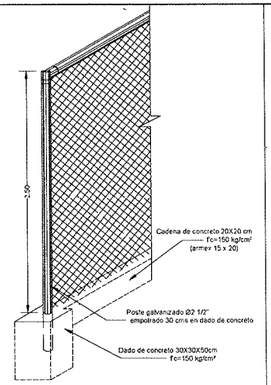
M. en I. Daniel Enrique Olguín Flores
Residente

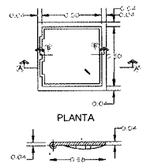


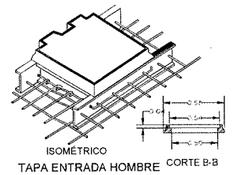


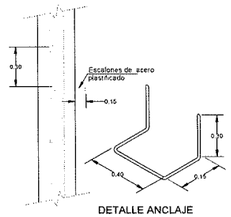


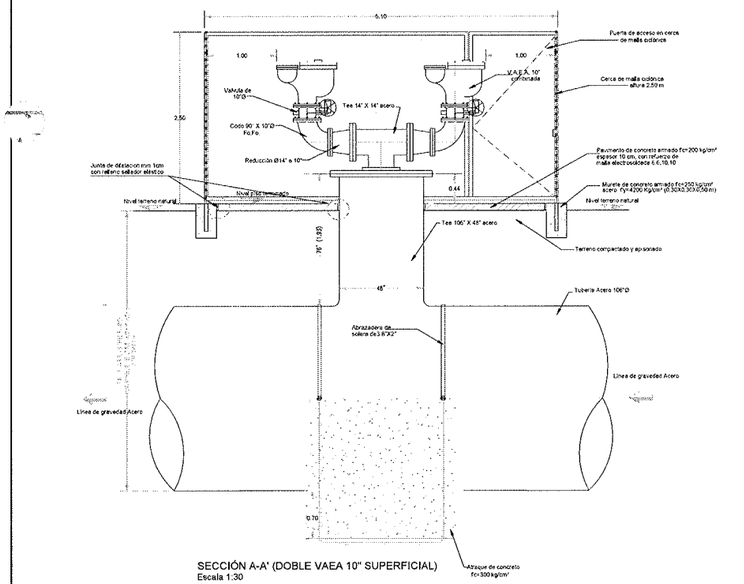


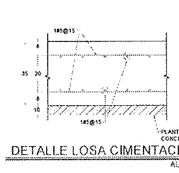


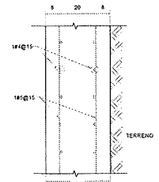


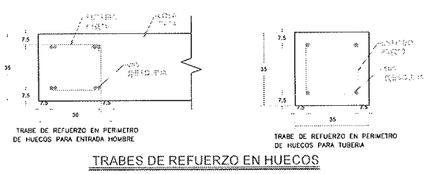


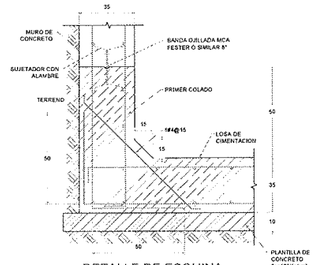


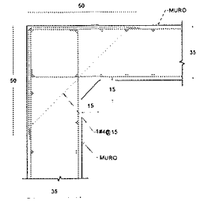






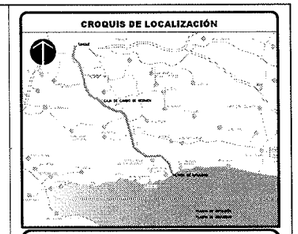






LOCALIZACION DE CAJAS DE VÁLVULAS A2

CAD.	X	Y	TERRENO NATURAL	ARRASTRE TUBERIA	PROFUNDIDAD PROYECTO
0+400.00	693384.7776	2247909.4249	1,535.02	1,530.81	4.21
1+100.00	693073.168	2248629.47	1,537.81	1,533.72	4.09
2+091.30	692803.8461	2249485.5281	1,543.80	1,539.71	4.09
2+810.00	692588.928	2250175.342	1,546.63	1,542.53	4.09
3+530.00	691991.044	2250511.543	1,591.19	1,585.12	6.07
4+207.00	691624.7143	2251076.6172	1,604.03	1,599.83	4.20
5+010.00	690906.0340	2251557.6365	1,591.89	1,587.80	4.09
5+405.00	690472.4395	2251842.8253	1,587.10	1,582.95	4.15
6+420.00	689684.9040	2251765.9979	1,587.42	1,583.27	4.15
7+050.00	685032.9621	2251703.8995	1,580.77	1,585.62	4.15
7+735.00	689382.6309	2251649.3575	1,598.32	1,594.13	4.19
8+270.00	687854.948	2251561.1753	1,597.07	1,592.91	4.16
9+020.00	686907.4048	2251962.3924	1,609.07	1,604.99	4.09
10+060.00	686428.9406	2252416.9153	1,607.38	1,603.28	4.09
10+690.00	685887.2239	2252737.3816	1,609.45	1,605.31	4.14
11+400.00	685270.8026	2253080.6950	1,601.20	1,596.85	4.35
12+110.00	684654.3812	2253442.0084	1,596.44	1,592.29	4.15
12+980.00	684383.127	2254259.8809	1,580.31	1,576.22	4.09
13+800.00	684188.2635	2255107.7768	1,592.86	1,588.62	4.24
14+490.00	684047.1521	2255721.1704	1,608.13	1,603.99	4.14
15+400.00	683792.3864	2256594.8796	1,557.18	1,552.91	4.27
15+950.00	683628.744	2257119.972	1,541.43	1,537.27	4.15
16+510.00	683459.1530	2257664.1583	1,539.09	1,535.00	4.09
17+040.00	683304.4385	2258160.6091	1,545.35	1,540.99	4.15
17+710.00	683105.095	2258800.267	1,542.50	1,538.12	4.38
18+350.00	682914.6768	2259411.2832	1,587.80	1,583.50	4.30
19+220.00	682655.8274	2260241.8836	1,596.80	1,592.45	4.15
20+125.56	682386.3960	2261106.4316	1,585.07	1,580.57	4.50
20+860.00	682899.8255	2261638.2179	1,558.97	1,554.60	4.37
21+590.00	681294.7907	2261992.5192	1,550.67	1,546.18	4.50
22+360.00	680537.3898	2262016.7085	1,548.72	1,544.32	4.40
23+150.00	679805.5183	2262287.2814	1,544.61	1,540.27	4.34
23+600.00	679214.4760	2262557.7781	1,527.41	1,523.07	4.34
24+450.00	678623.434	2262828.277	1,528.23	1,523.73	4.50
25+095.00	678036.9378	2263096.6936	1,555.58	1,551.23	4.34



NOTAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ESPECIFICACIONES PARA GANCHOS Y TRASLAPES EN ARMADOS

GANCHO ESTANDAR PARA REFUERZO PRINCIPAL

GANCHO ESTANDAR PARA ESTRIBOS

TRASLAPES DE VARILLAS

NOTAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1. Acotaciones en metros, elevaciones en msnm, excepto las indicadas en otra unidad.
2. Los atraques no deberán obstruir las bridas de las piezas especiales.
3. La limpieza y el recubrimiento de la tubería y piezas de acero será:
   Exterior (expuesto): ambiente húmedo con o sin salinidad: limpieza a metal blanco con chorro abrasivo.
   Recubrimiento: primario R-P-6 epóxico catalizado aducto amina con una capa de espesor de 2 milésimas de pulgada, capa seca. Acabado R4-25 epóxico catalizado aducto-amina 2 capas de 3 milésimas de pulgada por capa seca.
4. El tipo, dimensionamiento y soldadura para las diferentes preparaciones de acero en tuberías deberá apegarse a las normas técnicas de AWWA.
5. La soldadura como la aplicación deberá seguir las normas establecidas por el AWWA-D.200 y C206-97.
6. La soldadura se hará con electrodos E70, entendiendo la formación de cigarrillos así como el depósito excesivo de metal de aporte. La soldadura podrá ser manual o semiautomática (se requiere calificación de los soldadores).
7. El método de unión será mediante doble tope sumergido para contar con unión interior y exterior en la tubería.
   Nota: Cualquier cambio debe ser autorizado por la supervisor.

NOTAS Y ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN

1. Para el armado de refuerzo: la elaboración, colocación, vibrado y curado del concreto, el constructor deberá sujetarse a normas y especificaciones del reglamento de construcciones de concreto reforzado ACI-318 y ACI-350.
2. La plantilla será de concreto simple f´c = 100 kg/cm2.
3. Utilizar para atraques y cuna concreto f´c = 250 kg/cm2.
4. Utilizar acero de refuerzo fy = 4,200 kg/cm2.
5. Ver detalle de ganchos y traslapes para refuerzo principal.
6. No se trasladará más del 50% de las varillas de cada lecho dentro de una zona igual a una longitud de traslape. El traslape será igual a 60 diámetros de varilla como mínimo.
7. Para mejor comportamiento y durabilidad de la estructura, el concreto deberá tener la tecnología autocurable (hidratum), reductor de agua/aumento plástico dispersante y condiciones de autosellado (Duramix) de CEMEX o equivalente.
8. En todas las juntas de colado se deberá colocar una banda cafilada de PVC para garantizar la impermeabilidad.
9. Para evitar la segregación del concreto, éste deberá de ser autocompactable o bien al vaciar el colado no deberá de permitirse una caída de más de 1.20m a través del armado de refuerzo. El concreto deberá de depositarse en capas horizontales de 60cm máximo.
10. Reducir en estas y juntas con mortero cemento-arena de proporción 1:3 y forjar juntas frías con concreto de calidad mencionada en el Punto 3.
11. Se deberá de resanar la superficie de las losas y muros con un recubrimiento epóxico para proteger y sellar las imperfecciones de colado y evitar problemas ocasionados por la humedad.

CONTRATO No. CEA-PRO-EST-LP-016-25

PROYECTO EJECUTIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA

Comisión Estatal del Agua Jalisco

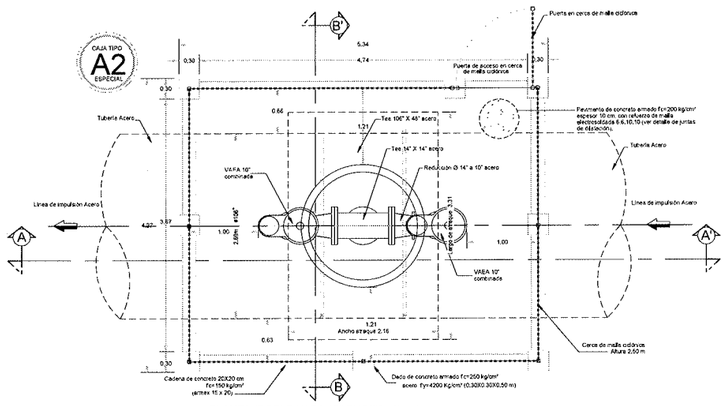
JALISCO GOBIERNO DEL ESTADO

Municipio	
CHAPALA-XTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE	
Localidad	
CHAPALA-XTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE	
Descripción del plano	
ACUEDUCTO CHAPALA-GUADALAJARA	
LINEA DE IMPULSIÓN CAJA VAEA 10" SUPERFICIAL CAJA TIPO A2	
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	
Ing. Alq. Víctor Iván Lira Contreras	
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha NOVIEMBRE 2025	Escala Indicada
Codigo del plano DEI	Plano 009

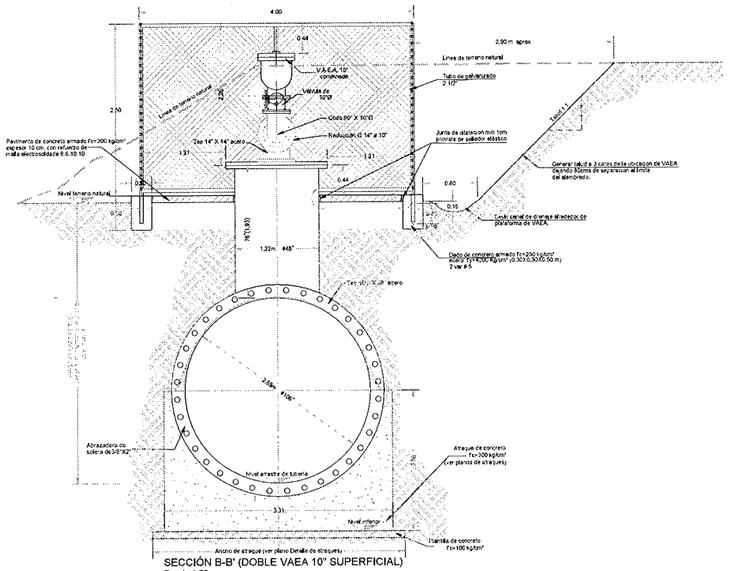
PROYECTOS Y CONSTRUCCIONES DE INGENIERIA HIDRAULICA Y CIVIL S.A. de C.V.
Dirección, Teléfono, correo, etc.
M. en I. Miguel Carlos Alfaro Avalos
Representante legal

FRAIS PROYECTOS Y EDIFICACIONES, S.A. DE C.V.
Dirección, Teléfono, correo, etc.
Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25
M. en I. Daniel Enrique Olguín Flores
Residente

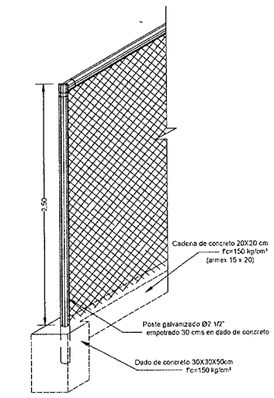
Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25



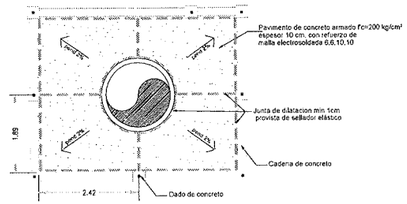
PLANTA (DOBLE VAEA 10" SUPERFICIAL)
Escala 1:30



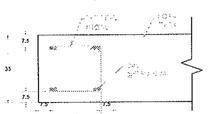
SECCIÓN B-B' (DOBLE VAEA 10" SUPERFICIAL)
Escala 1:30



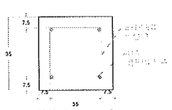
Detalle de poste-dado-cadena
Sin escala



PLANTA PAVIMENTO CONCRETO
Escala 1:50

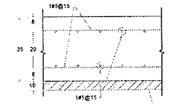


TRABE DE REFUERZO EN PERIMETRO DE HUECOS PARA ENTRADA HOMBRE

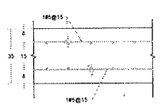


TRABE DE REFUERZO EN PERIMETRO DE HUECOS PARA TUBERIA

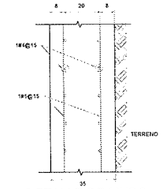
TRABES DE REFUERZO EN HUECOS



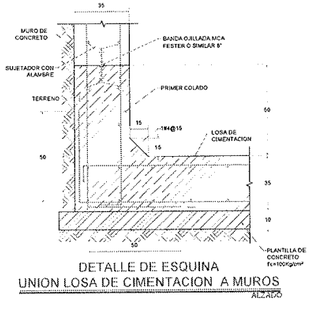
DETALLE LOSA CIMENTACION
ALZADO



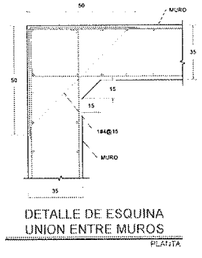
DETALLE DE Llosa TAPA
ALZADO



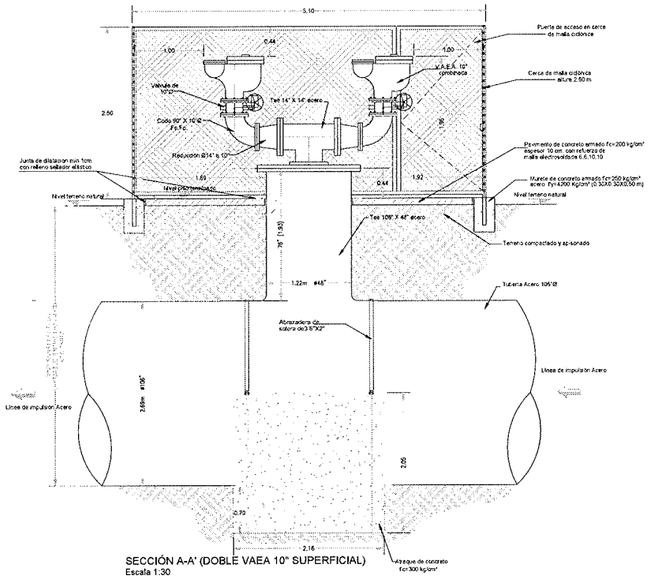
DETALLE DE MURO
ALZADO



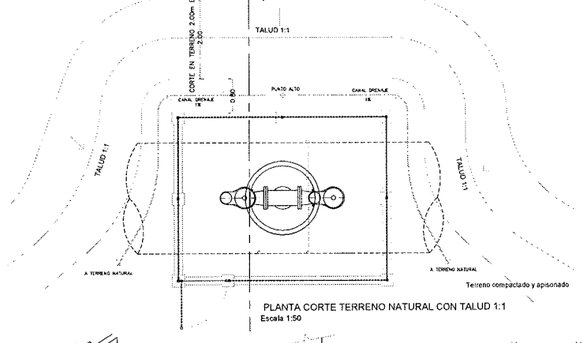
DETALLE DE ESQUINA
UNION LOSA DE CIMENTACION A MUROS
ALZADO



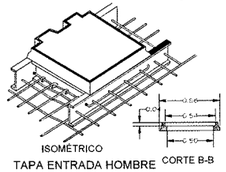
DETALLE DE ESQUINA
UNION ENTRE MUROS
PLANTA

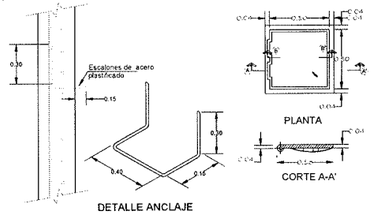


SECCIÓN A-A' (DOBLE VAEA 10" SUPERFICIAL)
Escala 1:30



PLANTA CORTE TERRENO NATURAL CON TALUD 1:1
Escala 1:50





DETALLE ANCLAJE
ESCALERA MARINA

TABLA DE UBICACIÓN Y NIVELES DE LA CAJA DE VÁLVULAS A2 ESPECIAL								
PVI	CAD.	X	Y	TERRENO NATURAL	ARRASTRE TUBERIA	PROF. ARRASTRE TUBO	PROF. NPT LOSA INFERIOR	Deflexion
	3+530.00	691991.0439	2250511.543	1,591.19	1,585.12	6.07	6.77	VAEA

PROYECTOS Y CONSTRUCCIONES DE INGENIERÍA HIDRÁULICA Y CIVIL S.A. de C.V.
Capufe 4 Fraccionamiento 2012 Colonia Jardines del Country Municipio Guadalajara Jalisco C.P. 44210

FRAIS PROYECTOS Y EDIFICACIONES, S.A. DE C.V.
Capufe 4 Guadalajara 44 Colonia Country Municipio Guadalajara Jalisco C.P. 44210

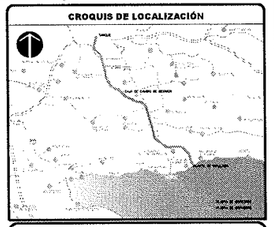
Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25

M. en I. Miguel Carlos Alfaro Arales
Representante legal

Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25

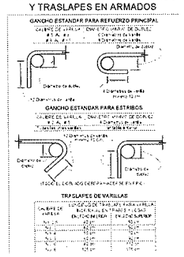
M. en I. Ernesto Hugo Olguín Flores
Residente

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



NOTAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ESPECIFICACIONES PARA GANCHOS Y TRASLAPES EN ARMADOS



NOTAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1. Acotaciones en metros, elevaciones en msnm, excepto las indicadas en otra unidad.
2. Los ataques no deberán obstruir los pozos de las plantas expendedoras.
3. La limpieza y almacenamiento de la tubería y piezas de acero será:
   Exterior: preparación ambiental formado con a con sablo(s), limpieza a metal blanco con chorro abrasivo.
   Recubrimiento: primera RTI-4 epoxico catalizado aplicado previo con una capa de espesor de 2 milésimas de pulgada, capa seca; acabado, RA-29 epoxico catalizado aplicado en 2 capas de 3 milésimas de pulgada por capa seca.
4. El maquinado, almacenamiento y soldadura para los elementos prefabricados de acero en tuberías deberá apegarse a las normas técnicas de AWWA.
5. La soldadura como la aplicación deberá seguir las normas establecidas por el AWWA D-100 y D200-97.
6. La soldadura en hacia con electrodos E70 extendida formacion de cordones en como el despues acceso de material de aporte. La soldadura podrá ser manual o semi-automatica las recubrirá adhesion de los soldados etc.
7. El método de unión será mediante doble anillo corrugado para contar con unión interior y exterior en la tubería.
   Nota: Cualquier cambio debe ser autorizado por la supervisión.

NOTAS Y ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN

1. Para el armado de refuerzo, la elaboración, colocación, vibrado y curado del concreto, el constructor deberá ajustarse a normas y especificaciones del reglamento de construcciones de concreto reforzado ACI-318 y ACI-350.
2. La plantilla será de concreto simple f'c = 100 kg/cm2.
3. Utilizar para ataques y cuas, concreto f'c = 250 kg/cm2.
4. Utilizar acero de refuerzo fy = 4,200 kg/cm2.
5. Ver detalle de ganchos y traslapes para refuerzo principal.
6. No se traslaparán más del 50% de las varillas de cada lecho dentro de una zona igual a una longitud de traslapo. El traslapo será igual a 40 diámetros de varilla como mínimo.
7. Para mejor comportamiento y durabilidad de la estructura, el concreto deberá tener la tecnología antibacterial (microbium) reductor de agrietamiento plástico (higenia), y condiciones de autovellable (Duremas de CEMEX o equivalente).
8. En todas las juntas de colado, se deberá colocar una banda ojillada de PVC para garantizar la impermeabilidad.
9. Para evitar la segregación del concreto, éste deberá de ser autocompactable o bien, el revelado el colado, no deberá de permitirse una caída libre de más de 1.50m a través del armado de refuerzo. El concreto deberá de depositarse en capas horizontales de 40cm máximo.
10. Rellenar grietas y bordes con material cementoresina de proporción 1:3 y forar medias zafas con concreto de calidad mencionada en el Punto 3.
11. Se deberá de resanar la superficie de las losas y muros con un recubrimiento epoxico para proteger y refinar las imperfecciones de colado y evitar problemas ocasionados por la humedad.

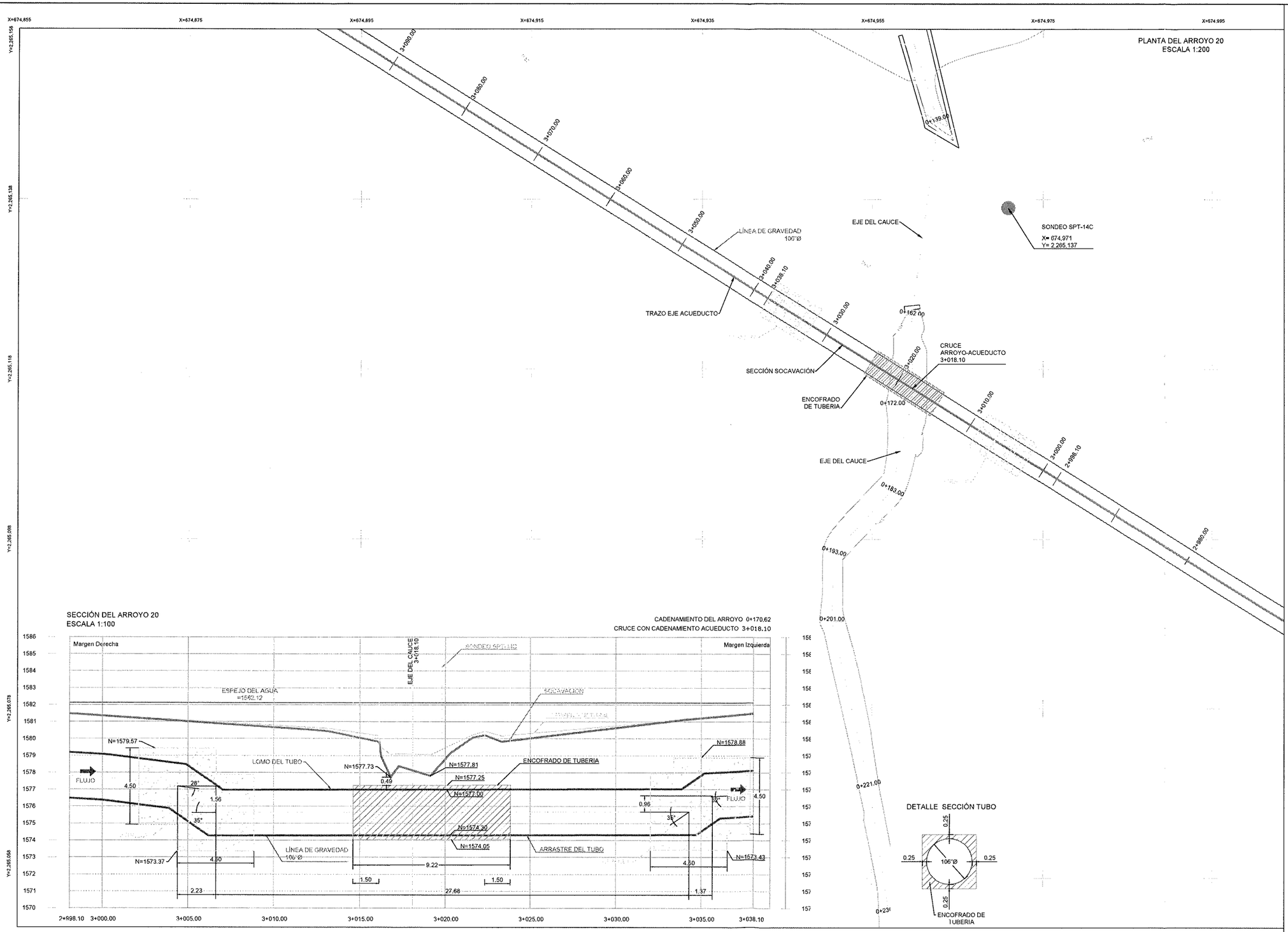
CONTRATO No. CEA-PRO-EST-LP-016-25

PROYECTO EJECUTIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA

Comisión Estatal del Agua Jalisco

JALISCO

Municipio	
CHAPALA-IXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE	
Localidad	
CHAPALA-IXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE	
Descripción del plano	
ACUEDUCTO CHAPALA-GUADALAJARA	
LINEA DE IMPULSIÓN CAJA VAEA 10" SUPERFICIAL CAJA TIPO A2 ESPECIAL	
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	
Ing. Arq. Víctor Iván Lira Contreras	
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha: NOVIEMBRE 2025	Escala: Indicada	Código del plano: DLG	Plano:D12



Sección
Escala gráfica 1 : 100

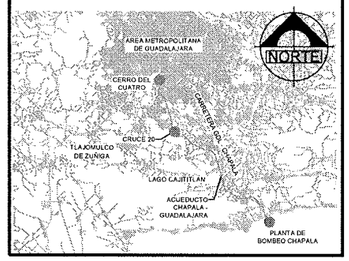
0 1 2.5 5.0 7.5 10 Metros

Planta
Escala gráfica 1 : 200

0 2 5 10 15 20 Metros

Equidistancia entre curvas de nivel 1.0 metro

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

PLANTA

- Curva de Nivel Maestra
- Curva de Nivel Ordinaria
- Eje del Cauce
- Ubicación Sondeo
- Trazo Acueducto
- Sección Socavación
- Tubería

SECCION

- Terreno natural
- Sondeo
- Eje del cauce
- Espejo de agua
- Socavación
- Tubería
- Atraque
- Encofrado

NOTAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS

CONTRATO No. CEA-PRO-EST-LP016-25

PROYECTO EJECUTIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA

Comisión Estatal del Agua Jalisco

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

Municipio	IXTLAHUACAN DE LOS MEMBRILLOS
Localidad	IXTLAHUACAN DE LOS MEMBRILLOS
Descripción del plano	**ACUEDUCTO CHAPALA-GUADALAJARA** CRUCE No. 20 ARROYO PLUVIAL FEDERAL CAD 3+018.10 PROYECTO DE CRUCE
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha NOVIMBRE 2025 · Escala Indicadas	Código del plano DCF-20 · Plano 1 de 1

Contrato No. CEA-PRO-EST-LP016-25

Ing. Daniel Enrique Olguín Flores
Supervisor

PROYECTOS Y CONSTRUCCIONES DE INGENIERIA HIDRÁULICA Y CIVIL S.A. de C.V.
Domicilio Av. Fidel Velazquez No. 2470
Colonia Jardines del Country
Municipio Guadalajara, Jalisco
C.P. 44210

FRAIS PROYECTOS Y EDIFICACIONES, S.A. DE C.V.
Domicilio Miguel Alvarez No. 386
Colonia 5 de Mayo
Municipio Guadalajara, Jalisco
C.P. 44370

Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25

Ing. Miguel Carlos Alfaro Avalos
Representante legal

Ing. Miguel Carlos Alfaro Avalos
Superintendente

SOCAVACION GENERAL METODO LISCHTVAN-LEVEDIEV ARROYO EL CAPULIN			
DATOS GENERALES SECCION			
GASTO DE DISEÑO	Qdi=	45.15	m3/s
NIVEL DE LA SUPERFICIE DEL AGUA		1582.12	msnm
ANCHO SUPERFICIE LIBRE	Bdi=	40.00	m
AREA HIDRAULICA		42.65	m2
VELOCIDAD DE LA SECCION		1.06	m/s
TIRANTE MEDIO	dm=	1.07	m
Separacion entre pilas		40.00	m
PERIODO DE RETORNO		500.00	

$$\alpha = \frac{Qd}{dm^{5/3}\, Be\, \mu}$$

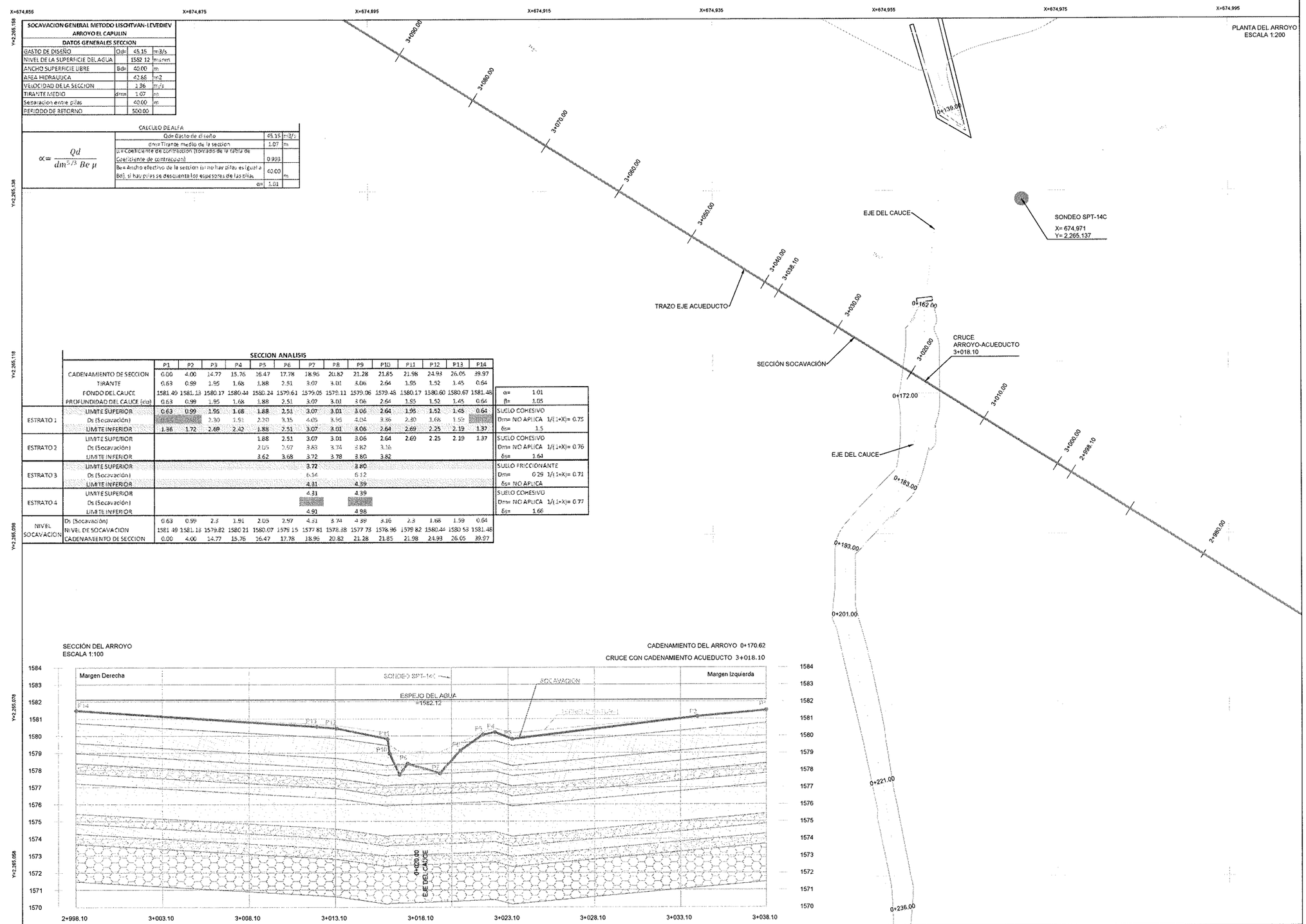
CALCULO DE ALFA			
Qd= Gasto de diseño		45.15	m3/s
dm= Tirante medio de la seccion		1.07	m
μ= coeficiente de contracion (tomado de la tabla de Coeficiente de contraccion)		0.993	
Be= Ancho efectivo de la seccion si no hay pilas es igual a Bdi, si hay pilas se descuentan los espesores de las pilas		40.00	m
	α=	1.01	

SECCION ANALISIS

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
	CADENAMIENTO DE SECCION	0.00	4.00	14.77	15.76	16.47	17.78	18.96	20.82	21.28	21.85	21.98	24.93	26.05	39.97
	TIRANTE	0.63	0.99	1.95	1.68	1.88	2.51	3.07	3.01	3.06	2.64	1.95	1.52	1.45	0.64
	FONDO DEL CAUCE	1581.49	1581.13	1580.17	1580.44	1580.24	1579.61	1579.05	1579.11	1579.06	1579.48	1580.17	1580.60	1580.67	1581.48
	PROFUNDIDAD DEL CAUCE (dq)	0.63	0.99	1.95	1.68	1.88	2.51	3.07	3.01	3.06	2.64	1.95	1.52	1.45	0.64
ESTRATO 1	LIMITE SUPERIOR	0.63	0.99	1.95	1.68	1.88	2.51	3.07	3.01	3.06	2.64	1.95	1.52	1.45	0.64
	Ds (Socavación)			2.30	1.91	2.20	2.35	4.05	3.95	4.04	3.36	2.30	1.68	1.59	
	LIMITE INFERIOR	1.36	1.72	2.69	2.42	1.88	2.51	3.07	3.01	3.06	2.64	2.69	2.25	2.19	1.37
ESTRATO 2	LIMITE SUPERIOR					1.88	2.51	3.07	3.01	3.06	2.64	2.69	2.25	2.19	1.37
	Ds (Socavación)					2.05	2.97	3.83	3.74	3.82	3.16				
	LIMITE INFERIOR					3.62	3.68	3.72	3.78	3.80	3.82				
ESTRATO 3	LIMITE SUPERIOR							3.72		3.80					
	Ds (Socavación)							6.16		6.12					
	LIMITE INFERIOR							4.31		4.39					
ESTRATO 4	LIMITE SUPERIOR							4.31		4.39					
	Ds (Socavación)														
	LIMITE INFERIOR							4.91		4.98					
NIVEL SOCAVACION	Ds (Socavación)	0.63	0.99	2.3	1.91	2.05	2.97	4.31	3.74	4.39	3.16	2.3	1.68	1.59	0.64
	NIVEL DE SOCAVACION	1581.49	1581.13	1579.82	1580.21	1580.07	1579.15	1577.81	1578.88	1577.73	1576.96	1579.82	1580.44	1580.53	1581.48
	CADENAMIENTO DE SECCION	0.00	4.00	14.77	15.76	16.47	17.78	18.96	20.82	21.28	21.85	21.98	24.93	26.05	39.97

α=	1.01
β=	1.05
SUELO COHESIVO	
Dm= NO APLICA	1/(1+X)= 0.75
δs=	1.5
SUELO COHESIVO	
Dm= NO APLICA	1/(1+X)= 0.76
δs=	1.64
SUELO FRICCIONANTE	
Dm=	0.29 1/(1+X)= 0.71
δs= NO APLICA	
SUELO COHESIVO	
Dm= NO APLICA	1/(1+X)= 0.77
δs=	1.66

PLANTA DEL ARROYO
ESCALA 1:200



SECCIÓN DEL ARROYO
ESCALA 1:100

CADENAMIENTO DEL ARROYO 0+170.62
CRUCE CON CADENAMIENTO ACUEDUCTO 3+018.10

Sección
Escala gráfica 1 : 100

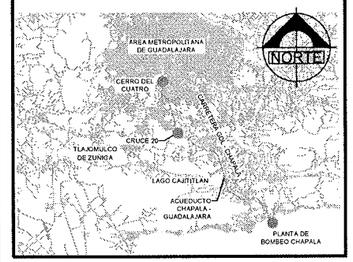
0 1 2.5 5.0 7.5 10 Metros

Planta
Escala gráfica 1 : 200

0 2 5 10 15 20 Metros

Equidistancia entre curvas de nivel 1.0 metro

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

PLANTA

- Curva de Nivel Maestra
- Curva de Nivel Ordinaria
- Eje del Cauce
- Ubicación Sondeo
- Trazo Acueducto
- Sección Socavación

SECCION

- Limo de baja compresibilidad color café oscuro
- Arcilla de baja compresibilidad color café oscuro
- Arena arcillosa color café
- Grava arcillosa color café
- Arena limosa compacidad densa color café
- Grava limosa color café
- Roca ígnea extrusiva (fracturada)
- Terreno natural
- Sondeo
- Eje del cauce
- Espejo de agua
- Socavación

NOTAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS

CONTRATO No. CEA-PRO-EST-LP016-25

PROYECTO EJECUTIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA

Comisión Estatal del Agua Jalisco

JALISCO GOBIERNO DEL ESTADO

Municipio	
IXTLAHUACAN DE LOS MEMBRILLOS	
Localidad	
IXTLAHUACAN DE LOS MEMBRILLOS	
Descripción del plano	
ACUEDUCTO CHAPALA-GUADALAJARA CRUCE No. 20 ARROYO PLUVIAL FEDERAL CAD 3+018.10 PROYECTO DE CRUCE	
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha NOVIEMBRE 2020	Escala Indicadas
Código del plano SO-20	Plano 1 de 1

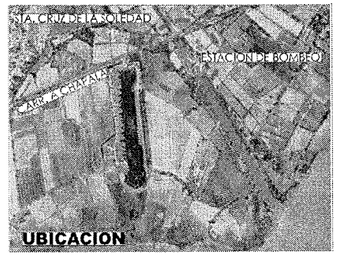
Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25
Ing. Daniel Enrique Olguín Flores
Supervisor

PROYECTOS Y CONSTRUCCIONES DE INGENIERÍA HIDRÁULICA Y CIVIL S.A. de C.V.
Domicilio Av. Fidel Velázquez No. 2470
Colonia Jardines del Country
Municipio Guadalajara, Jalisco
C.P. 44210

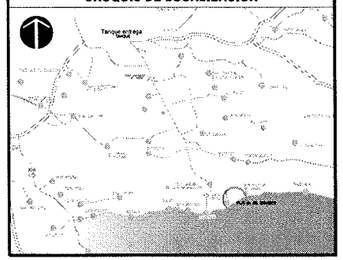
FRAIS PROYECTOS Y EDIFICACIONES, S.A. DE C.V.
Domicilio Miguel Alvarez No. 386
Colonia 1 de Mayo
Municipio Guadalajara, Jalisco
C.P. 44870

Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-016-25
Ing. Miguel Carlos Alfaro Avalos
Representante legal

Ing. Miguel Carlos Alfaro Avalos
Superintendente



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

- LIMITE DE PROPIEDAD ACTUAL
- LIMITE DE PROPIEDAD POR ADQUIRIR
- EJE DE TRAZO TUBERIAS
- PROYECCIONES EDIFICACION
- CERCA PERIMETRAL PROYECTO
- EJE DE VIALIDADES INTERNAS
- NPT 0.00 — NIVEL PISO TERMINADO (PLANTA)
- ESTRUCTURAS DE REFUERZO DE CONCRETO
- ARBOLES A REUBICAR
- ARBOLES EXISTENTES
- CUNETA PLUVIAL

NOTAS GENERALES

1.- TODAS LAS ACOTACIONES ESTAN REPRESTADAS EN METROS, EXCEPTO LAS INDICADAS EN OTRA UNIDAD.
2.- EL PROYECTO SE DESARROLLO A PARTIR DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO ELABORADO POR LA CONTRATISTA Y LOS DATOS DE REFERENCIA TOGRÁFICA INDICADOS.
3.- LA TUBERÍA POR EMPLEAR SERÁ DE ACERO FABRICADA CON COSTURA HELICOIDAL, CON PLACA DE ACERO AL CARBÓN API 5L X42 (DIAMETROS MAYORES O IGUALES A 24")

A.-RECUBRIMIENTO INTERIOR.- POLIURETANO 100% SÓLIDOS NORMA AWWA C222-18 CON ESPESOR DE PELÍCULA SECA DE 20 MILS. (COLOR BLANCO)
B.-RECUBRIMIENTO EXTERIOR.- POLIURETANO 100% SÓLIDOS NORMA AWWA C222-18 CON ESPESOR DE PELÍCULA SECA DE 25 MILS. (COLOR AZUL)
C.-EN TUBERÍAS DE 24" DE Ø O MENORES EL RECUBRIMIENTO EPÓXICO DE ACUERDO A LA NORMA AWWA C210.4.
D.-LOS DISPOSITIVOS CON PROTECCIÓN ANTICORROSIVA INCLUIDA DE FABRICA, SE SUJETARAN AL ESTÁNDAR DEL FABRICANTE

4.- LA UNIÓN DE LA TUBERÍA SERÁ MEDIANTE SOLDADURA A TOPE CON EXTREMOS BISELADOS DE ACUERDO AL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS
5.- SE COLOCARAN LOS ATRAQUES REPRESENTADOS EN PLANTA DE ACUERDO AL PLANO ESTRUCTURAL RESPECTIVO
6.- PARA LLEVAR A CABO LA EJECUCIÓN DE LAS INSTALACIONES, SE DEBEN CONSIDERAR LAS ESPECIFICACIONES PARTICULARES DE CADA UNO DE LOS COMPONENTES QUE FORMAN PARTE DE ESTE PROYECTO INTEGRAL.

SISTEMA DE COORDENADAS:	UTM
ZONA:	13 NORTE
DATUM:	ITRF 2008
EPOCA DE REFERENCIA:	2010.0
GEOIDE:	GGM10

SISTEMA DE COORDENADAS PLANAS O TOPOGRAFICAS CON ORIGEN EN VERTICE GPS 1 (BN1) UBICADO EN PLANTA DE BOMBEO EN CHAPALA SE APLICO:
FACTOR DE ESCALA DEL TERRENO 1.00018239493002

	ESTE (X)	NORTE (Y)	ELEVACION (Z)
BN-1	693,497.634	2,247,671.824	1527.576
E-1	693554.134	2247568.676	1526.793

CONTRATO No. CEA-PRO-EST-LP-018-25

PROYECTO EJECUTIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA

Comisión Estatal del Agua Jalisco — JALISCO GOBIERNO DEL ESTADO

Municipio	CHAPALA-IXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE
Localidad	CHAPALA-IXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE
Descripción del plano	PLANTA DE BOMBEO ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA PROYECTO ESTACION DE BOMBEO DISEÑO FUNCIONAL PLANTA DE CONJUNTO
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Ing. Arq. Víctor Iván Lira Contreras — Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos
	Ing. María del Rosario Martínez Barragán — Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha DICIEMBRE 2025	Escala 1:500 — Código del plano CONJ-DT-001 — Plano 01

PLANTA GENERAL ESC. 1:500

ESCALA GRÁFICA 1:500
0 10.0 20.0 30.0 40.0 50.0m

GRUPO IC INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA — GRUPO IC
LANDER INGENIERIA
Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-018-25
Ing. Cesar David Organista Rosas
Representante legal

Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-018-25
M. en I. Daniel Enrique Olguín Flores
Residente

CUADRO DE CONSTRUCCION DORMITORIOS						
LADO EST	LADO PV	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS Y	COORDENADAS X
				26	2,247,647.9453	693,456.5148
26	27	N 57°36'16.96" E	4.577	27	2,247,650.7691	693,463.3603
27	28	N 33°13'53.04" W	0.975	28	2,247,651.2189	693,462.8583
28	29	N 57°37'53.53" E	6.825	29	2,247,654.8727	693,468.6228
29	30	S 32°22'06.47" E	1.575	30	2,247,653.5425	693,469.4650
30	31	N 57°37'53.53" E	5.000	31	2,247,656.2193	693,473.6861
31	32	S 32°22'06.47" E	10.350	32	2,247,647.4774	693,479.2301
32	33	S 57°37'53.53" W	12.500	33	2,247,640.7854	693,468.6723
33	34	N 32°22'06.47" W	0.950	34	2,247,641.5678	693,468.1837
34	35	S 57°37'53.53" W	3.902	35	2,247,639.4990	693,464.8663
35	25	N 32°22'06.47" W	10.000	25	2,247,647.9453	693,459.5146
SUPERFICIE = 179.546 m2						

CUADRO DE CONSTRUCCION ESTACIONAMIENTO						
LADO EST	LADO PV	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS Y	COORDENADAS X
				78	2,247,591.2953	693,483.0291
76	78	N 73°48'33.33" E CENTRO DE CURVA DELTA = 49°27'51.11" RADIO = 5.000 LONG. CURVA = 4.317 SUB.TAN = 2.303	4.184	78 77	2,247,592.8418 2,247,596.3398	693,487.0469 693,483.7717
76	79	N 48°04'27.77" E	8.119	79	2,247,596.5701	693,491.6705
79	80	S 40°55'32.23" E	18.000	80	2,247,582.4808	693,502.1511
80	81	S 49°04'27.77" W	8.119	81	2,247,580.4724	693,497.5278
81	83	S 24°41'02.87" W CENTRO DE CURVA DELTA = 49°27'51.11" RADIO = 4.500 LONG. CURVA = 4.281 SUB.TAN = 2.274	4.130	83 82	2,247,576.7195 2,247,578.7259	693,495.8029 693,500.7386
83	84	S 00°00'32.69" E	0.059	84	2,247,576.6606	693,495.8079
84	76	N 40°55'32.23" E	18.501	76	2,247,591.2953	693,483.0291
SUPERFICIE = 162.756 m2						

CUADRO DE CONSTRUCCION PATIO DE MANIOBRAS						
LADO EST	LADO PV	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS Y	COORDENADAS X
				59	2,247,620.7244	693,547.8471
59	60	S 77°40'05.23" E	10.336	60	2,247,620.5860	693,557.8444
60	61	S 32°40'05.00" E	14.428	61	2,247,608.3709	693,565.7325
61	62	S 20°36'48.71" W	18.801	62	2,247,590.7738	693,559.1133
62	63	S 69°23'10.29" E	2.000	63	2,247,590.0378	693,561.0699
63	64	S 32°17'34.61" E	11.184	64	2,247,580.5650	693,567.0282
64	65	S 57°19'54.75" W	6.132	65	2,247,577.2650	693,561.8640
65	67	S 55°32'58.93" W CENTRO DE CURVA DELTA = 179°6'27.71" RADIO = 2.673 LONG. CURVA = 8.142 SUB.TAN = 48.263	3.345	67 66	2,247,573.3630 2,247,578.2921	693,558.1060 693,560.5171
67	68	S 32°30'14.61" E	4.283	68	2,247,531.3812	693,561.4073
68	69	S 57°29'45.09" W	7.209	69	2,247,567.9076	693,555.3279
69	70	N 32°30'14.91" W	6.808	70	2,247,573.6484	693,551.6695
70	72	N 77°30'01.53" W CENTRO DE CURVA DELTA = 90°5'33.02" RADIO = 11.500 LONG. CURVA = 18.063 SUB.TAN = 11.519	16.277	72 71	2,247,577.2650 2,247,567.4468	693,533.7758 693,541.8709
72	73	S 57°34'11.87" W	3.240	73	2,247,575.4127	693,533.0457
73	74	N 32°35'11.33" W	7.000	74	2,247,581.3108	693,529.2757
74	75	N 57°24'11.63" E	13.133	75	2,247,588.3655	693,540.3396
75	59	N 12°19'36.62" E	35.150	59	2,247,622.7244	693,547.8471
SUPERFICIE = 1,000.071 m2						

CUADRO DE CONSTRUCCION ESCLUSA LANZADORA						
LADO EST	LADO PV	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS Y	COORDENADAS X
				1	2,247,725.9522	693,471.1308
1	2	N 57°19'54.75" E	8.545	2	2,247,730.8183	693,478.4080
2	3	N 57°19'54.75" E	1.170	3	2,247,731.2496	693,479.3925
3	4	N 57°19'54.75" E	9.879	4	2,247,738.4742	693,487.5408
4	5	S 77°40'05.25" E CENTRO DE CURVA DELTA = 90°0.00" RADIO = 2.000 LONG. CURVA = 3.854 SUB.TAN = 5.000	7.071	5 5	2,247,734.9640 2,247,732.9930	693,493.4457 693,490.2398
6	17	S 32°40'05.25" E	29.893	17	2,247,709.7994	693,510.5843
12	14	S 12°36'40.50" W CENTRO DE CURVA DELTA = 90°17'51.61" RADIO = 5.000 LONG. CURVA = 7.874 SUB.TAN = 5.020	7.085	14 13	2,247,702.8809 2,247,707.1006	693,509.0575 693,506.3752
14	15	S 57°37'35.10" W	9.014	15	2,247,698.9453	693,501.4503
15	16	S 57°37'26.25" W	0.217	16	2,247,697.9291	693,501.2675
16	17	S 57°37'26.25" W	11.348	17	2,247,691.8413	693,491.5904
17	19	S 68°45'33.31" W CENTRO DE CURVA DELTA = 22°20'18.11" RADIO = 2.500 LONG. CURVA = 1.058 SUB.TAN = 0.992	1.946	19 19	2,247,691.1369 2,247,691.0606	693,489.8768 693,489.0082
18	20	N 32°58'58.19" W	9.455	20	2,247,699.0981	693,484.7757
20	21	N 64°53'34.74" W	6.900	21	2,247,702.0980	693,478.5618
21	22	N 25°41'08.26" E	0.328	22	2,247,702.3937	693,478.7044
22	24	N 03°52'24.96" W CENTRO DE CURVA DELTA = 58°25'6.45" RADIO = 7.000 LONG. CURVA = 7.137 SUB.TAN = 3.814	6.832	24 23	2,247,709.2134 2,247,705.4369	693,478.2944 693,472.4005
24	25	N 32°58'58.19" W	14.939	25	2,247,721.8083	693,470.2243
25	1	N 12°00'28.09" E CENTRO DE CURVA DELTA = 89°58'30.94" RADIO = 2.500 LONG. CURVA = 4.711 SUB.TAN = 2.999	4.242	1 1	2,247,725.9522 2,247,723.4268	693,471.1308 693,472.7303
SUPERFICIE = 1,100.170 m2						

CUADRO DE CONSTRUCCION CAMARA DE AIRE						
LADO EST	LADO PV	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS Y	COORDENADAS X
				36	2,247,643.3276	693,489.5382
36	37	N 57°19'54.75" E	38.273	37	2,247,663.9860	693,521.7565
37	38	S 32°40'05.25" E	14.808	38	2,247,651.5219	693,529.7485
38	28	S 12°36'36.82" W	25.614	28	2,247,626.4986	693,524.2178
28	41	S 55°01'11.07" E CENTRO DE CURVA DELTA = 155°05.87" RADIO = 2.000 LONG. CURVA = 4.713 SUB.TAN = 4.826	3.696	41 40	2,247,624.3861 2,247,626.0717	693,527.3113 693,526.2318
41	42	N 57°19'41.15" E	16.698	42	2,247,633.4021	693,541.3670
42	43	S 32°40'05.25" E	12.178	43	2,247,623.1507	693,547.6403
43	44	S 12°36'36.82" W	35.586	44	2,247,588.3855	693,540.3396
44	45	S 57°24'11.87" W	13.133	45	2,247,581.3108	693,529.2757
45	46	N 32°30'22.80" W	5.031	46	2,247,585.5467	693,526.5608
46	47	S 57°07'37.15" W	3.966	47	2,247,583.4067	693,523.2219
47	48	N 32°30'02.89" W	9.522	48	2,247,591.4240	693,518.0646
48	49	N 57°27'47.25" E	3.963	49	2,247,593.5004	693,521.4248
49	50	N 32°30'22.80" W	11.732	50	2,247,603.4375	693,515.0944
50	51	S 57°27'47.25" W	3.987	51	2,247,601.2864	693,511.7359
51	52	N 32°30'12.75" W	7.800	52	2,247,607.6920	693,507.8427
52	53	N 57°27'47.25" E	3.990	53	2,247,609.8363	693,510.8933
53	54	N 32°30'22.80" W	6.983	54	2,247,615.7052	693,507.2255
54	55	S 57°07'37.15" W	3.973	55	2,247,613.5912	693,503.8803
55	56	N 32°30'02.89" W	9.522	56	2,247,621.5885	693,498.7430
56	57	N 57°27'47.25" E	3.972	57	2,247,623.7289	693,502.0884
57	58	N 32°30'22.80" W	15.373	58	2,247,636.3877	693,493.6480
58	36	N 32°35'48.13" W	8.000	36	2,247,643.3276	693,489.5382
SUPERFICIE = 2,383.165 m2						

CUADRO DE CONSTRUCCION SUBESTACIÓN						
LADO EST	LADO PV	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS Y	COORDENADAS X
90	91	S12°49'29"E	23.13	1	2247526.46	693563.26
91	92	S81°19'30"W	25.72	2	2247508.32	693541.53
92	93	N11°49'51"W	2.07	3	2247510.70	693539.64
93	94	N32°49'27"E	18.90	4	2247534.14	693552.91
94	95	N12°29'29"E	2.81	5	2247537.88	693554.73
95	96	N81°19'30"E	25.72	6	2247514.58	693543.35
SUPERFICIE = 639.46 m2						

ESTACION DE BOMBEO									
NUMERO PLATAFORMA	PLATAFORMAS NIVELES PISO TERMINADO	PLATAFORMAS TERRACERIAS CORTE	PLATAFORMAS TERRACERIAS TERRAPLEN	PLATAFORMAS TERRACERIAS AREA PLATAFORMA	VOLUMETRIA DESPLANTE 20 CM	VOLUMETRIA ESCARIFICACION 20 CM	VOLUMETRIA SUB-RASANTE 30 CM	VOLUMETRIA BASE 20 CM	VOLUMETRIA ASFALTO 7 CM
ESCLUSA LANZADORA	1527.40/1527.00	1,593.54 m³	1.08 m³	1,100.70 m²	220.14 m³	220.14 m³	440.28 m³	220.14 m³	77.05 m³
DORMITORIOS	1529.00	0.00 m³	307.33 m³	179.55 m²	35.91 m³	35.91 m³	71.82 m³	35.93 m³	12.57 m³
CCM	1526.50	0.00 m³	11.34 m³	38.25 m²	7.65 m³	7.65 m³	15.30 m³	7.65 m³	2.68 m³
NAVE CCM	1526.25	11.94 m³	11.03 m³	361.47 m²	72.29 m³	72.29 m³	144.59 m³	72.29 m³	25.30 m³
SUBESTACION	1526.25	0.00 m³	191.46 m³	632.00 m²	126.40 m³	126.40 m³	252.80 m³	126.40 m³	44.24 m³
SUBESTACION A	1526.00	16.11 m³	61.42 m³	484.56 m²	90.97 m³	90.97 m³	181.94 m³	90.97 m³	31.84 m³
CAMARA DE AIRE	1527.50-1527.00	2.31 m³	1,619.53 m³	2,383.17 m²	476.63 m³	476.63 m³	953.27 m³	476.63 m³	166.82 m³
ESTACIONAMIENTO	1527.25	0.00 m³	198.53 m³	162.76 m²	32.55 m³	32.55 m³	65.10 m³	32.55 m³	11.39 m³
PATIO DE MANIOBRAS	1526.50/1526.80	29.36 m³	72.44 m³	1,000.07 m²	200.01 m³	200.01 m³	400.03 m³	200.01 m³	70.00 m³
		1,653.760 m³	**2,374.130 m³**	**6,312.816 m²**	**1,262.563 m³**	**1,262.563 m³**	**2,525.126 m³**	**1,262.563 m³**	**441.897 m³**

PLANTA
ESCALA 1:500

GRUPO IC
INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA

LANDER INGENIERIA

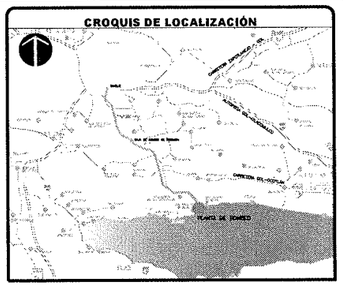
Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-018-25

Ing. Cesar David Organista Rivas
Representante legal

Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-018-25

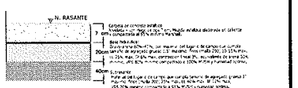
M. en I. Daniel Enrique Olguín Flores
Residente

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

- PUNTO DE REFERENCIA TOPOGRAFICA
- COORDENADA DE TRAZO
- CENTRO DE CURVA
- PLATAFORMA
- NPT PLATAFORMA
- NPT EN VIALIDAD



NOTAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS

1. **Notas Generales y Normatividad**
   - Cumplimiento Normativo: Todos los trabajos deberán ejecutarse conforme a las disposiciones establecidas en el Reglamento de Construcciones para el Estado de Jalisco y sus Municipios, así como en las Normas Técnicas Complementarias aplicables.
   - Alcance: La presente memoria descriptiva corresponde al proyecto ejecutivo para la construcción de la planta de bombeo del acueducto sustituto Chapala-Guadalajara, ubicada en el municipio de Chapala, Jalisco.
   - Control de Calidad: Se realizarán pruebas de laboratorio y de campo a los materiales y concretos empleados, de acuerdo con el programa de control de calidad aprobado por la supervisión.
2. **Especificaciones de Fabricación de CUP-CAS-1 EQ**
   - Especificaciones: Los equipos deberán cumplir con las especificaciones técnicas establecidas en la norma CUP-CAS-1 EQ, incluyendo requisitos de diseño, materiales, fabricación, pruebas y documentación.
   - Materiales: Los materiales utilizados en la fabricación de los equipos deberán ser de calidad comercial y cumplir con las normas aplicables, garantizando su durabilidad y resistencia a las condiciones de operación.
   - Supervisión: El proceso de fabricación será supervisado por personal calificado para verificar el cumplimiento de las especificaciones y normas establecidas.
   - Certificación: El fabricante deberá proporcionar certificados de calidad y pruebas de los materiales y equipos suministrados.
3. **Especificaciones de Subbase y Base Hidráulica (E-CTR-CAS-1 SB)**
   - Materiales: Los materiales para subbase y base hidráulica deberán cumplir con las especificaciones establecidas en la norma E-CTR-CAS-1 SB, garantizando su calidad y resistencia para soportar las cargas de diseño.
   - Compactación: El material deberá compactarse en capas uniformes con un espesor máximo de 20 cm, alcanzando una densidad mínima del 95% de la densidad máxima seca obtenida en el ensaye Proctor estándar.
   - Colocación: El material deberá colocarse sobre una superficie preparada y libre de materiales orgánicos, basura o cualquier otro material que pueda afectar su estabilidad.
4. **Especificaciones de Concreto Hidráulico (E-CTR-CAS-1 C)**
   - Materiales: Los materiales para concreto hidráulico deberán cumplir con las especificaciones establecidas en la norma E-CTR-CAS-1 C, garantizando su calidad y resistencia para soportar las cargas de diseño.
   - Mezclado: El concreto deberá mezclarse en una mezcladora mecánica hasta obtener una mezcla homogénea y uniforme, con una consistencia adecuada para su colocación y compactación.
   - Colocación: El concreto deberá colocarse en capas uniformes con un espesor máximo de 30 cm, compactándose mediante vibración para eliminar el aire atrapado y asegurar una buena adherencia entre capas.
   - Curado: El concreto deberá curarse durante al menos 7 días para garantizar su resistencia y durabilidad, utilizando métodos como el riego de agua o el uso de membranas de curado.
5. **Notas de Concreto y Tolerancias**
   - Resistencia: La resistencia del concreto a la compresión a los 28 días será de 250 kg/cm².
   - Tolerancias: Las tolerancias dimensionales para el concreto hidráulico serán de ±1 cm en elementos estructurales y de ±2 cm en elementos no estructurales.
6. **Señalización y Seguridad (NOM-034-SCT2-2012)**
   - Señalización: Se deberá colocar señalización temporal y permanente durante la construcción y operación de la planta de bombeo, conforme a la norma NOM-034-SCT2-2012.
   - Seguridad: Se deberán implementar medidas de seguridad para proteger a los trabajadores y a la población durante la construcción y operación de la planta de bombeo.

SISTEMA DE COORDENADAS: UTM
ZONA: 13 NORTE
DATUM: ITRF 2008
EPOCA DE REFERENCIA: 2010.0
GEOIDE: GGM10

SISTEMA DE COORDENADAS PLANAS O TOPOGRAFICAS CON ORIGEN EN VERTICE GPS 1 (BN1) UBICADO EN PLANTA DE BOMBEO EN CHAPALA SE APLICÓ:
FACTOR DE ESCALA DEL TERRENO 1.00018239493002

	ESTE (X)	NORTE (Y)	ELEVACION (Z)
BN-1	693,497.634	2,247,671.824	1527.576
E-1	693554.134	2247568.676	1526.793

CONTRATO No. CEA-PRO-EST-LP-018-25

PROYECTO EJECUTIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA
PLANTA DE BOMBEO

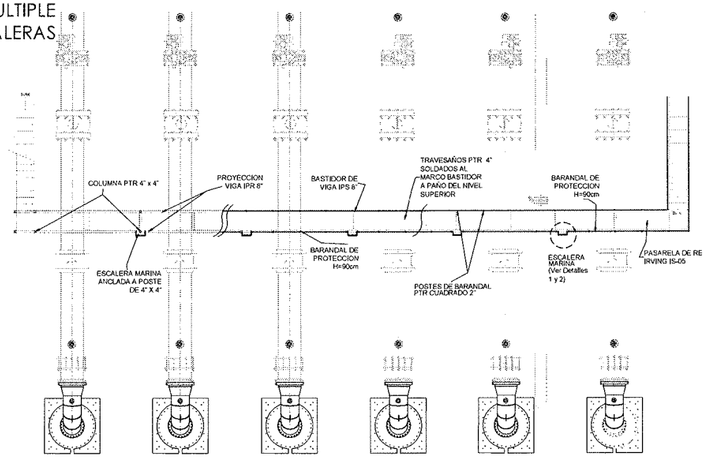
Comisión Estatal del Agua Jalisco
JALISCO GOBIERNO DEL ESTADO

Municipio	CHAPALA-IXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE
Localidad	CHAPALA-IXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE
Descripción del plano	PLANTA DE BOMBEO ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA DISEÑO GEOMETRICO DE PLATAFORMAS Y TRAZO

Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	
Ing. Arq. Víctor Iván Lira Contreras	Ing. María del Rosario Martínez Barragán
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha DIC 2025	Escala INDICADA — Código del plano DT-003 — Plano 003

PLANTA MULTIPLE ESCALERAS

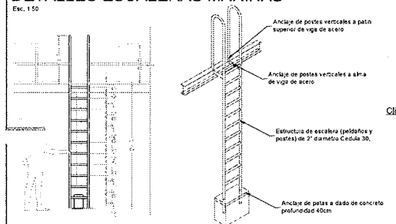
ESC. 1:100



DETALLES ESCALERAS

DETALLES ESCALERAS MARINAS

Esc. 1:50



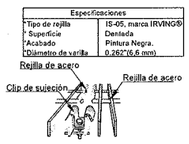
DETALLE 1

Esc. 1:50

DETALLE 2

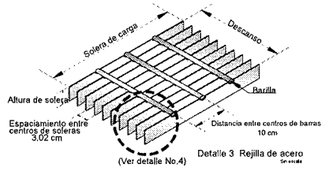
Esc. 1:50

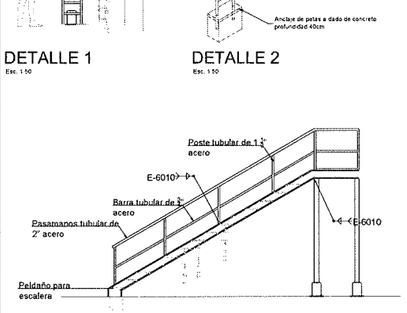
Especificaciones	
*Tipo de rejilla	IS-05, marca IRVING®
*Superficie	Dentada
*Acabado	Pintura Negra.
*Diámetro de varilla	0.262"(6.6 mm)



DETALLE 4 CLIP DE SUJECIÓN

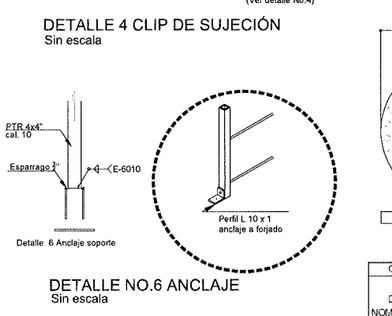
Sin escala





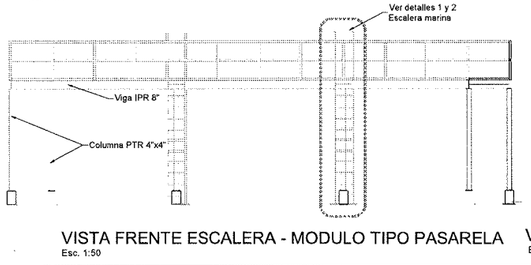
VISTA LATERAL ESCALERA PASARELA

Esc. 1:50



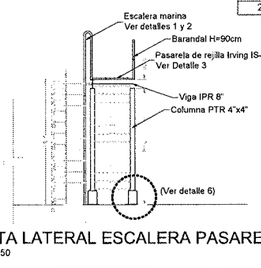
DETALLE NO.6 ANCLAJE

Sin escala



VISTA FRENTE ESCALERA - MODULO TIPO PASARELA

Esc. 1:50

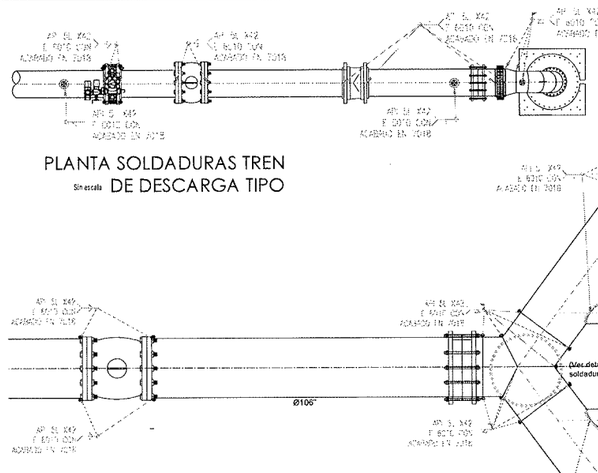


VISTA LATERAL ESCALERA PASARELA

Esc. 1:50

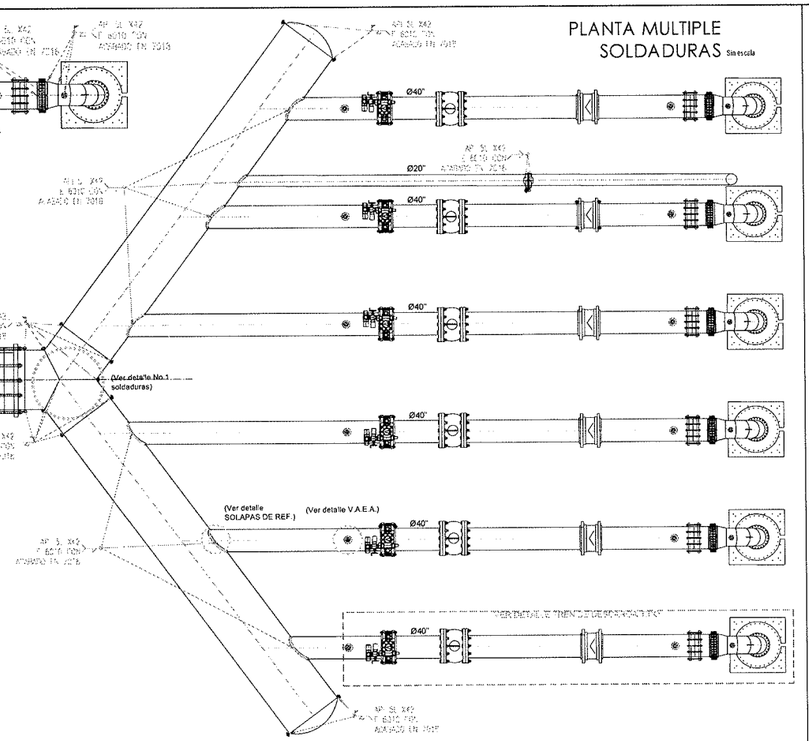
PLANTA SOLDADURAS TREN DE DESCARGA TIPO

Sin escala



PLANTA MULTIPLE SOLDADURAS

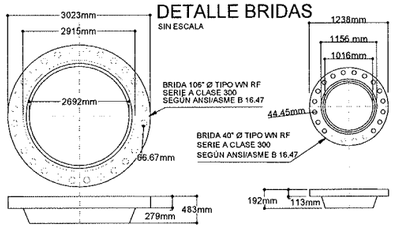
Sin escala



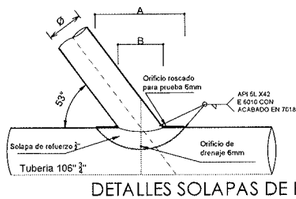
DETALLES SOLDADURAS

DETALLE BRIDAS

SIN ESCALA

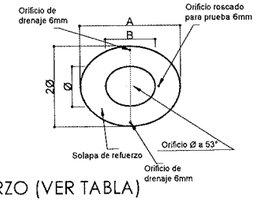


CLASE 300	TALADRO			TORNILLOS	
DIAMETRO NOMINAL TUBERIA	DIAMETRO CIRCULO TALADRO	NUMERO DE TALADROS	DIAMETRO DEL TALADRO	DIAMETRO DEL TORNILLO	LONGITUD DEL PERNO
mm (pig)	mm	unidad	pig	pig	pig
1016(40)	1155.7	32	1 3/4	1 5/8	13 1/4
2692 (106)	2914.6	52	2 3/8	2.5	20 1/2



DETALLES SOLAPAS DE REFUERZO (VER TABLA)

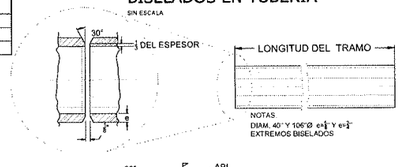
SIN ESCALA



SOLAPAS DE REFUERZO		
DIAMETRO NOMINAL TUBERIA Ø	A	B
mm (pig)	m	m
1016(40")	2.54	1.27
508 (20")	1.27	0.64

DETALLE TIPO EXTREMOS BISELADOS EN TUBERIA

SIN ESCALA

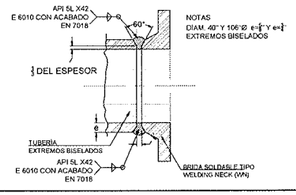


DETALLE SOLDADURA EMPATE DE TUBERIA

EN ESCALA

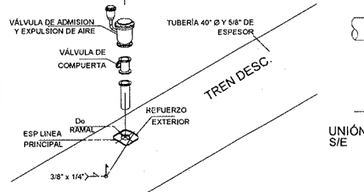
DETALLE TIPO UNION SOLDADA EN BRIDAS

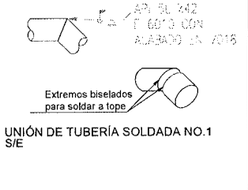
SIN ESCALA



DETALLE V.A.E.A

SIN ESCALA

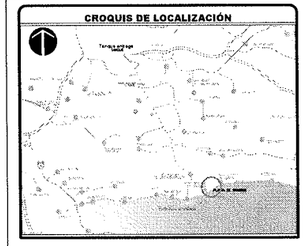


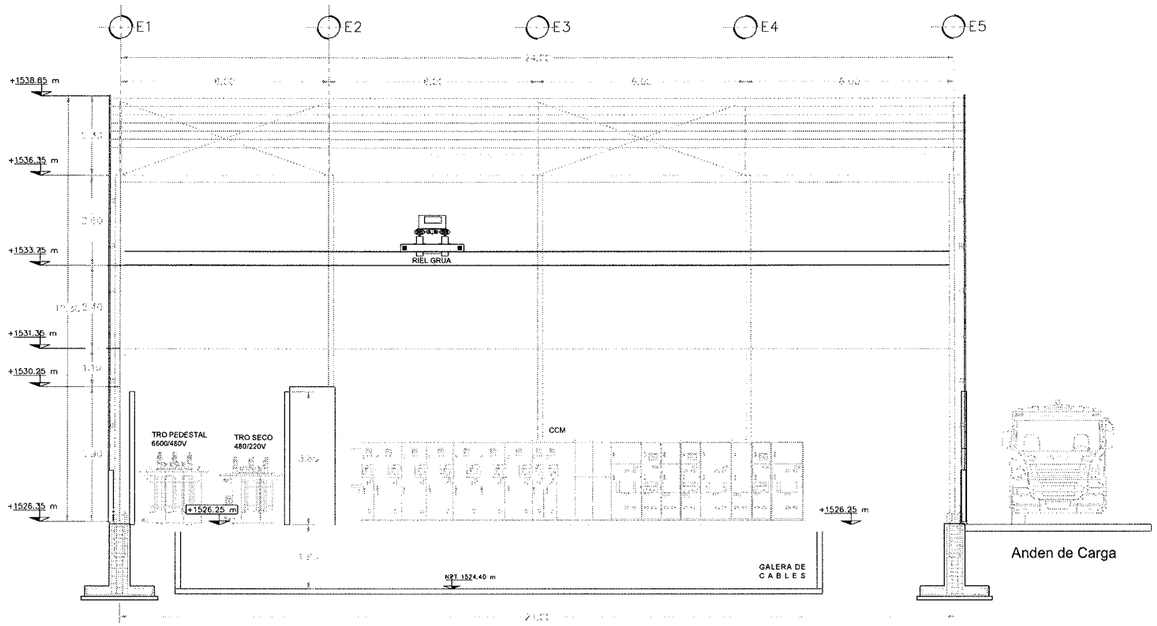


UNIÓN DE TUBERÍA SOLDADA NO.1 S/E

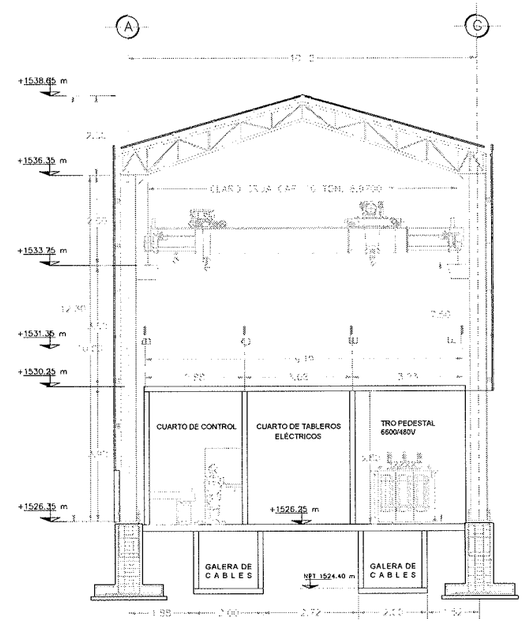
GRUPO IC INFRAESTRUCTURA ELECTRICA	LANDER INGENIERIA	Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-018-25	Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-018-25
		Ing. Oscar David Organista Rivas Representante legal	M. en I. David Enrique Olguín Flores Residente

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

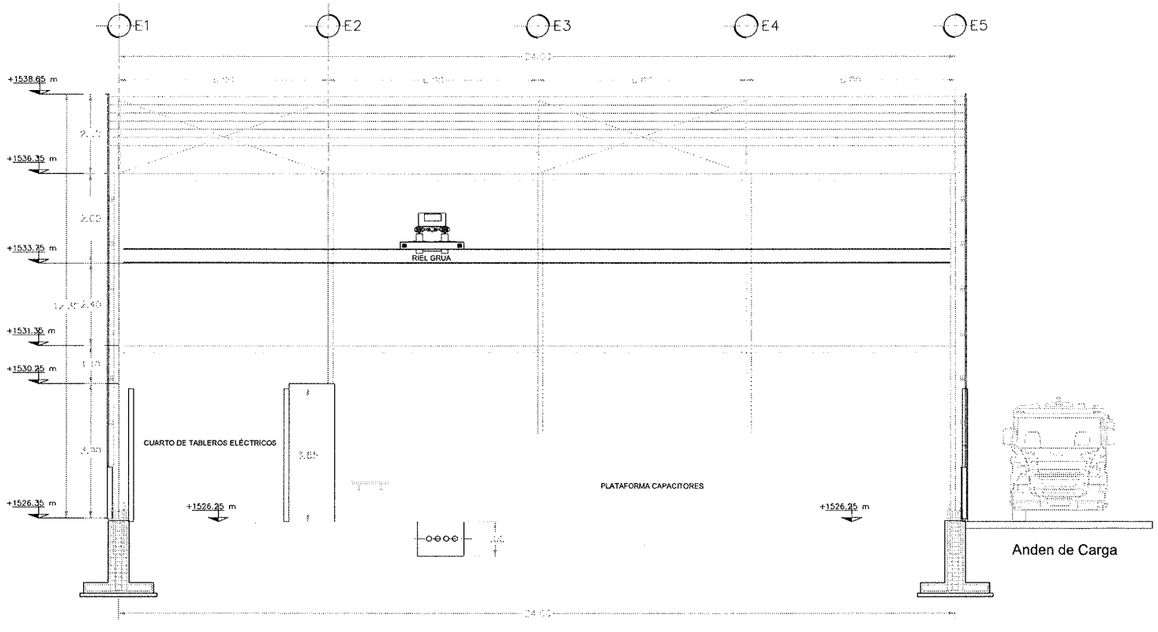

Tanque Las Pilas
Tanque Las Pilas
Tanque Las Pilas



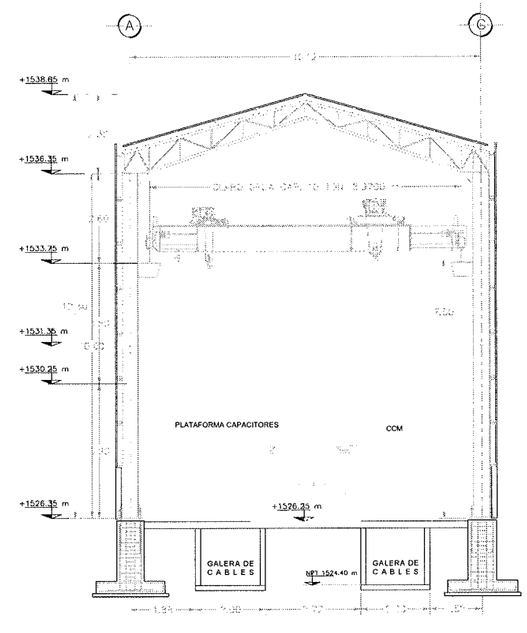
Corte longitudinal A-A'
Acotación: m Escala 1:75



Corte longitudinal C-C'
Acotación: m Escala 1:75



Corte longitudinal B-B'
Acotación: m Escala 1:75



Corte longitudinal D-D'
Acotación: m Escala 1:75

GRUPO IC
INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA

LANDER INGENIERIA

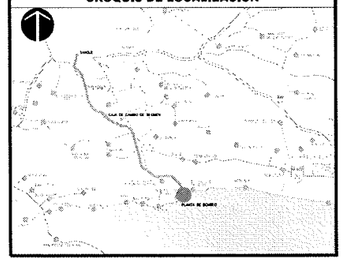
Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-018-25

Ing. Cesar David Organista Rosas
Representante legal

Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-018-25

M. en I. Daniel Enrique Olgoín Flores
Supervisor

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

ARQUITECTÓNICOS	
NPT	INDICA NIVEL DE PISO TERMINADO
3	INDICA EJE
	INDICA NIVEL EN ALZADO/SECCIÓN
	PROYECCIONES
B-B'	INDICA LÍNEA DE CORTE
N.S.	DIBUJO SIN ESCALA

NOTAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS

1.- TODAS LAS ACOTACIONES ESTÁN REPRESENTADAS EN METROS, EXCEPTO LAS INDICADAS EN OTRA UNIDAD.
2.- DIMENSIONES: LAS COTAS RIGEN SOBRE EL DIBUJO, LAS COTAS GENERALES PREVALECEN SOBRE LAS PARTICULARES.
3.- EL PROYECTO SE DESARROLLO A PARTIR DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO Y LOS DATOS DE REFERENCIA TOPOGRAFICA INDICADA.
4.- LOS NIVELES Y COTAS DEBERAN SER VERIFICADOS EN CAMPO ANTES DE INICIAR CUALQUIER TRABAJO DE CONSTRUCCION.
5.- VER PROYECTO ESTRUCTURAL

Verificar en obra niveles, pendientes y dimensiones antes de la colocación de cualquier acabado.
La superficie base deberá estar limpia, nivelada, libre de polvo, grasas o materiales sueltos antes de la instalación.
Los materiales de acabado deberán ser de primera calidad y contar con la aprobación de la supervisión.
Los cambios de acabado deberán ejecutarse con perfiles, cenefas o remates adecuados.
Se deberá proteger el acabado terminado hasta la entrega de la obra para evitar daños.
Se deberan pintar de rojo las orillas de cimientos y equipos que delimiten la "zona caliente", asi como las tapas de los registros electricos.
Se debera pintar de amarillo las orillas de los registros que contengan cableados de señales electricas para control.

SISTEMA DE COORDENADAS: UTM
ZONA: 13 NORTE
DATUM: ITRF 2008
EPOCA DE REFERENCIA: 2010.0
GEOIDE: GGM10

SISTEMA DE COORDENADAS PLANAS O TOPOGRAFICAS CON ORIGEN EN VERTICE GPS 1 (BN1) UBICADO EN PLANTA DE BOMBEO EN CHAPALA SE APLICÓ:
FACTOR DE ESCALA DEL TERRENO 1.000182394930O2

	ESTE (X)	NORTE (Y)	ELEVACION (Z)
BN-1	693,497.634	2,247,671.824	1527.576
E-1	693554.134	2247568.676	1526.793

CONTRATO No. CEA-PRO-EST-LP-018-25

PROYECTO EJECUTIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA
PLANTA DE BOMBEO

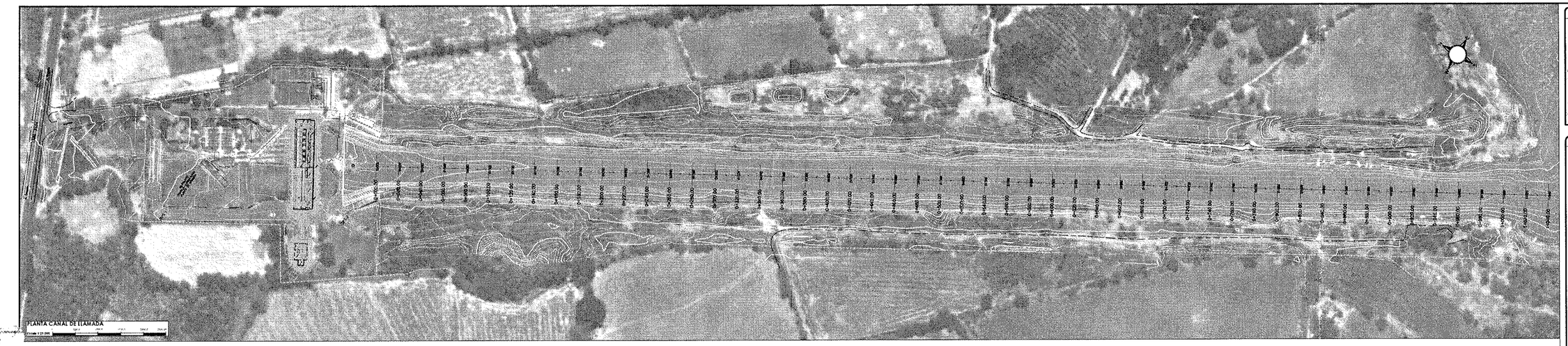
Comisión Estatal del Agua Jalisco

JALISCO

Municipio
CHAPALA-IXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE
Localidad
CHAPALA-IXTLAHUACAN-EL SALTO-TLAJOMULCO-TLAQUEPAQUE
Descripción del plano
PLANTA DE BOMBEO ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA
CCM
PLANTAS ARQUITECTÓNICAS

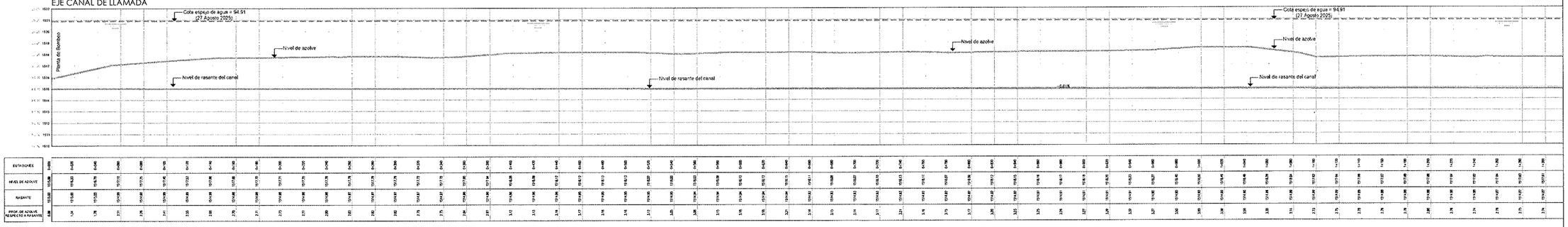
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos

Ing. Arq. Víctor Iván Lira Contreras	Ing. María del Rosario Martínez Barragán
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha DICIEMBRE 2025 Escala 1:75	Código del plano ARQ-CCM-02 Plano 02



VOLUMEN DE AZOLVE DEL KM. 0+000 AL 1+000 = 63,412.70m³

EJE CANAL DE LLAMADA



ESTACIONES		0+000	0+020	0+040	0+060	0+080	0+100	0+120	0+140	0+160	0+180	0+200	0+220	0+240	0+260	0+280	0+300	0+320	0+340	0+360	0+380	0+400	0+420	0+440	0+460	0+480	0+500	0+520	0+540	0+560	0+580	0+600	0+620	0+640	0+660	0+680	0+700	0+720	0+740	0+760	0+780	0+800	0+820	0+840	0+860	0+880	0+900	0+920	0+940	0+960	0+980	1+000	1+020	1+040	1+060	1+080	1+100	1+120	1+140	1+160	1+180	1+200
NIVEL DE AZOLVE	1518.00	1518.63	1518.79	1519.02	1519.25	1519.45	1519.62	1519.68	1519.68	1519.70	1519.71	1519.73	1519.78	1519.78	1519.78	1519.78	1519.78	1519.78	1519.77	1519.77	1519.80	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81	1519.81
RASANTE	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00	1518.00
PROF. DE AZOLVE RESPECTO A LA RASANTE	0.00	1.36	1.79	1.77	1.75	1.61	1.55	1.50	1.50	1.70	1.71	1.73	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.77	1.77	1.80	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81

GRUPO IC INFRAESTRUCTURA ELECTRICA

LIDER INGENIERIA

Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-018-25

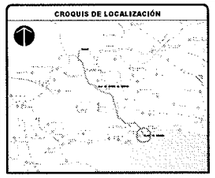
Representante legal

Supervisión

Contrato No. CEA-PRO-EST-LP-018-25

Supervisor

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

Planta

- Curvas de nivel
- Escurrimientos
- Cerca
- Eje canal de llamada

Perfil

- Nivel de azolve
- Rasante de canal
- Espejo de agua al 27 agosto 2025

NOTAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS

NOTAS

1. Acotaciones en metros, excepto en donde se indique en otra unidad.
2. El volumen de azolve que se utilizó en el cálculo es el del 27/08/25 de Datum.

SISTEMA DE COORDENADAS	UTM
ZONA	13 NORTE
DATUM	ITRF 2008
EPOCA DE REFERENCIA	2010.0
GEOIDE	GGM10

SISTEMA DE COORDENADAS PLANAS O TOPOGRAFICAS CON ORIGEN EN VERTICE GPS 1, EN LA UBICACIÓN EN PLANTA DE BOMBEO EN Chapala se ajusto

FACTOR DE ESCALA DEL TERRENO: 1.000 833661072

ESTE (X)	NORTE (Y)	ELEVACIÓN (Z)
661,515.47	2,147,121.46	1,515.76

CONTRATO No. CEA-PRO-EST-LP-018-25

PROYECTO EJECUTIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA PLANTA DE BOMBEO

Comisión Estatal del Agua Jalisco

JALISCO

Municipio
CHAPALA/ETLAJUMULCO/EL SALTO/TLAJOMULCO/TLAQUEPAQUE
Localidad
CHAPALA/ETLAJUMULCO/EL SALTO/TLAJOMULCO/TLAQUEPAQUE
Descripción del Plano
PLANTA DE BOMBEO ACUEDUCTO SUSTITUTO CHAPALA-GUADALAJARA
CANAL DE LLAMADA CAD 0+000 AL 1+000
Dirección de Proyectos y Gestión de Proyectos

Ing. Ana Victoria Lara Cortazar	Ing. María del Rosario Martínez Barragán
Dirección de Proyectos y Gestión de Proyectos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha: 04 de febrero 2026	Plano No. 01