Anexo 8:

Proyecto de reconversión de la Planta Potabilizadora No. 1 Miravalle

Comisión Estatal del Agua Jalisco

Modernización de la Planta Potabilizadora No. 1 Miravalle

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

Av. Fran[illegible]a No. 1726, Col. Moderna,
Guadal[illegible]ara, Jalisco. C.P. 44190
33 303[illegible]9200

Plan maestro de modernización de la planta potabilizadora No. 1 "Miravalle", incluye pretratamiento en "Las pintas", municipio de Guadalajara, Jalisco.
CONTRATO: CEA-PMM-EST-LP-004-25

INFORME FINAL

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y MARCO NORMATIVO 4
2. ANTECEDENTES DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y DE LA PLANTA POTABILIZADORA NO. 1 "MIRAVALLE" 6
3. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA DEL PLAN MAESTRO DE MODERNIZACIÓN 8
4. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS DEL PROYECTO 13
4.2 Objetivos específicos 14
4.2.1 Modernizar la infraestructura de tratamiento 14
4.2.2 Estabilizar y optimizar el proceso químico 16
4.2.3 Restablecer precisión en la medición de caudales 17
4.2.4 Integrar hidráulicamente el tren nuevo 18
4.2.5 Asegurar el cumplimiento normativo 18
4.2.6 Garantizar operación continua durante la modernización 19
5. UBICACIÓN DEL PROYECTO MIRAVALLE–LAS PINTAS 20
5.1 Planta Potabilizadora No. 1 "Miravalle" 21
5.2 Planta de Bombeo No. 2 "Las Pintas" 21
5.3 Zona de Intervención del Ajuste de pH (10 m^3/s) 22
5.5 Líneas de Interconexión 23
6. ALCANCE GENERAL DEL PROYECTO MAESTRO 23
6.1 Alcance del Sistema de Ajuste de pH 24
6.2 Alcance del Sistema de Telemetría y Medición de Caudales 24
6.3 Alcance del Sistema de Control y Dosificación de Productos Químicos 25
6.4 Alcance de las Líneas de Interconexión de Agua Cruda y Agua Potable 26
6.5 Alcance del Tren Nuevo de Potabilización de 2.0 m^3/s 27
7. DESCRIPCIÓN INTEGRADA DE LOS SISTEMAS A MODERNIZAR 28
7.1 Sistema de Ajuste de pH (10 m^3/s): la intervención sobre la química del agua cruda 29

7.2 Sistema de Telemetría y Medición de Caudales: de la planta tradicional a la planta inteligente 34
7.3 Sistema de Control y Dosificación de Productos Químicos: el corazón reactivo del proceso 34
7.4 El Tren Nuevo de Potabilización de 2.0 m³/s: la nueva columna vertebral de la planta 36
8. INTEGRACIÓN HIDRÁULICA PB2 → 37
8.1 El corredor hidráulico como un sistema vivo 38
8.2 La energía hidráulica y la estabilidad del proceso 39
8.3 Importancia del caudal real para el control hidráulico 39
8.4 El papel de las interconexiones en la armonización del sistema 47
8.5 Una hidráulica que ahora se gobierna, no se padece 48
9. INGENIERÍA BÁSICA INTEGRADA (Desarrollo extenso, técnico, sistémico) 48
9.1 Ingeniería de Proceso: el ordenamiento científico del tratamiento 49
9.2 Ingeniería Civil y Estructural: las bases físicas de la modernización 49
9.3 Ingeniería Mecánica: donde el agua se mueve y el proceso ocurre 50
9.4 Ingeniería Eléctrica y de Control: la inteligencia operativa 51
9.5 La ingeniería básica como articulación sistémica 51
10. PROGRAMAS DE OBRA (Estrategia Técnica y Operativa de Ejecución) 51
10.1 Principio 1: Construir en paralelo a la operación sin interferencias 52
10.2 Principio 2: Integración progresiva — del sistema más crítico al menos crítico 52
10.3 Principio 3: Ingeniería de transición 53
10.4 Principio 4: Las pruebas son parte del programa de obra 53
11. VIDA ÚTIL Y ROBUSTEZ DEL SISTEMA MODERNIZADO 54
11.1 Vida útil estructural 54
11.2 Vida útil mecánica 55
11.3 Vida útil eléctrica 55
11.4 Vida útil operativa del sistema modernizado 56
12. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO (El núcleo del aseguramiento técnico) 56
12.1 Filosofía general de pruebas 57
12.2 Pruebas individuales (pre-comisionamiento) 57
12.3 Pruebas integradas (comisionamiento hidráulico y químico) 58
12.4 Pruebas finales: integración al sistema de la ZMG 58
13. PROYECTO EJECUTIVO (La Traducción Técnica del Plan Maestro) 58
13.1 El Proyecto Ejecutivo como arquitectura funcional 59

13.2 Desarrollo del Proyecto Ejecutivo para cada subsistema 59
13.2.1 Ajuste de pH 59
13.2.2 Telemetría y medición de caudales 60
13.2.3 Sistema de dosificación química 60
13.2.4 Líneas de interconexión 61
13.2.5 Tren nuevo de 2.0 m³/s 61
13.3 El Proyecto Ejecutivo como garante de integración 61
14. CRITERIOS DE DISEÑO (La lógica numérica del proyecto) 62
14.1 Criterios Hidráulicos 62
14.2 Criterios Químicos 63
14.3 Criterios Mecánicos 63
14.4 Criterios Eléctricos 63
14.5 Criterios de Control 64
15. NORMATIVA APLICABLE (El marco que gobierna el proyecto) 64
15.1 Normatividad Nacional 65
15.2 Normas Oficiales Mexicanas (NOM) 65
15.3 Normatividad Internacional y Estándares Técnicos 65
16. SEGURIDAD Y GESTIÓN DEL RIESGO (El Sistema de Protección Integral del Proyecto) 66
16.1 Seguridad durante la construcción: operar dentro de una planta viva 66
16.2 Seguridad en el manejo de sustancias químicas 67
16.3 Seguridad eléctrica y de control 68
16.4 Gestión del riesgo hidráulico y estructural 68
17. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA MODERNIZADO (La Sustentabilidad Técnica del Proyecto) 69
17.1 Transición hacia una operación inteligente 69
17.2 Operación del sistema químico 70
17.3 Operación del tren nuevo de 2.0 m³/s 71
17.4 Programa de mantenimiento 71
18. BENEFICIOS TÉCNICOS, OPERATIVOS Y ECONÓMICOS DEL PROYECTO 72
18.1 Beneficios técnicos 72
18.2 Beneficios operativos 73
18.3 Beneficios económicos 74
19. SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (El Nuevo Modelo Ecológico de Miravalle) 75

19.1 Reducción del impacto químico sobre el ambiente 75
19.2 Disminución de lodos residuales 76
19.3 Reducción de subproductos de desinfección (DBPs) 76
19.4 Consumo energético eficiente 77
19.5 Resiliencia climática y variabilidad ambiental 77
20. IMPACTOS A LARGO PLAZO (La Herencia Hidráulica del Proyecto) 78
20.1 Aumento de confiabilidad del sistema metropolitano 78
20.2 Fortalecimiento de la infraestructura existente 78
20.3 Profesionalización técnica de la operación 79
20.4 Capacidad de expansión futura 79
20.5 Impacto socioeconómico 80
21. CONCLUSIONES GENERALES (La Síntesis del Proceso de Modernización) 80
21.1 Una planta que ahora se gobierna a sí misma 80
21.2 El tren nuevo como símbolo de transformación 81
21.3 Un sistema resiliente y adaptable 81
21.4 Un proyecto con impacto estructural en la ZMG 81
21.5 Conclusión final 82

1. INTRODUCCIÓN Y MARCO NORMATIVO

El presente Informe Maestro Integrado forma parte del Plan Maestro de Modernización de la Planta Potabilizadora No. 1 "Miravalle", que incluye el pretratamiento en la Planta de Bombeo No. 2 "Las Pintas", en el municipio de Guadalajara, Jalisco. Este documento tiene por objeto articular, en un solo cuerpo técnico, los alcances, criterios de diseño, justificación y lineamientos de ejecución contenidos en los Términos de Referencia relativos al sistema de ajuste de pH para 10 m^3/s, al sistema de medición y telemetría de caudales, al control de dosificación de productos químicos, a las líneas de interconexión de agua cruda y agua potable, así como al nuevo tren de potabilización de 2.0 m^3/s en la PP1 "Miravalle".

La necesidad de este documento se enmarca en la obligación de las entidades responsables del servicio —la CEA Jalisco y el SIAPA— de garantizar el derecho

humano al agua en cantidad y calidad suficientes, conforme a lo dispuesto en el artículo 4° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y a los criterios establecidos en la Ley de Aguas Nacionales y su reglamento. Adicionalmente, la Ley de Planeación Participativa del Estado de Jalisco y sus Municipios establece que los organismos operadores deben planear y organizar sus recursos mediante instrumentos programáticos formales, entre los cuales se encuentra el Plan Institucional 2018–2024 del SIAPA, citado explícitamente como referencia programática en los TDR que dan origen a este proyecto.

Desde el punto de vista sanitario, la operación y modernización de la PP1 "Miravalle" debe observar estrictamente la NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos de potabilización, que fija parámetros de turbiedad, color, compuestos químicos (incluyendo hierro y manganeso), microorganismos patógenos y subproductos de desinfección. Los sistemas de ajuste de pH, dosificación de coagulantes y polímeros, así como los procesos avanzados de filtración y desinfección por ozono y cloro, se diseñan precisamente para cumplir con dichos límites, bajo condiciones de operación variables y escenarios de caudal que van desde el régimen actual de 5.5 m^3/s hasta el régimen futuro total de 7.5 m^3/s con el nuevo tren de 2.0 m^3/s.

En el ámbito de la infraestructura y la construcción, el proyecto se rige por la Ley de Obra Pública del Estado de Jalisco y sus Municipios, que establece que los contratos se ejecutan bajo modalidades específicas (en este caso, precio alzado) y que los estudios, proyectos y obras deben cumplir con las normas técnicas aplicables. Los Términos de Referencia indican que el desarrollo del proyecto ejecutivo, la construcción, el equipamiento y las pruebas de funcionamiento deberán sujetarse a normas nacionales e internacionales, incluyendo estándares AWWA, ASTM, NFPA, especificaciones eléctricas NOM-001-SEDE, así como manuales de diseño reconocidos (por ejemplo, manuales de CONAGUA y literatura especializada de tratamiento de agua).

Este informe no se limita a reproducir el contenido de los TDR, sino que los integra y amplía desde una perspectiva de ingeniería de sistemas, de manera que el lector pueda entender cómo interactúan entre sí:

El sistema de ajuste de pH que actúa sobre los caudales provenientes del Acueducto Chapala–Guadalajara y de PB2 Las Pintas.
La medición y telemetría que permiten cuantificar con precisión los volúmenes de entrada y salida en PP1.
El control de dosificación de productos químicos que asegura la calidad del agua tratada.
Las líneas de interconexión que vinculan hidráulicamente el tren nuevo con la infraestructura existente.

El nuevo tren de 2.0 m^3/s que incrementa la capacidad de potabilización.

La articulación de estos componentes dentro de un marco normativo claro, una justificación técnica robusta y una visión de largo plazo, es precisamente el propósito de este Informe Maestro Integrado.

2. ANTECEDENTES DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y DE LA PLANTA POTABILIZADORA NO. 1 "MIRAVALLE"

La historia de la PP1 "Miravalle" está estrechamente vinculada al desarrollo urbano e industrial de Guadalajara. Desde los años cincuenta, el sistema de abastecimiento que integra el Lago de Chapala, el canal Atequiza, la Planta de Bombeo 1 "La Calera" y la Planta de Bombeo 2 "Las Pintas" (PB2), se concibió como la columna vertebral para dotar de agua potable a la ciudad en crecimiento. En 1956 inicia operaciones la planta potabilizadora Miravalle con una capacidad inicial de 1,000 LPS, la cual fue ampliándose en sucesivas etapas hasta alcanzar una capacidad instalada de 7.5 m^3/s a mediados de los años setenta.

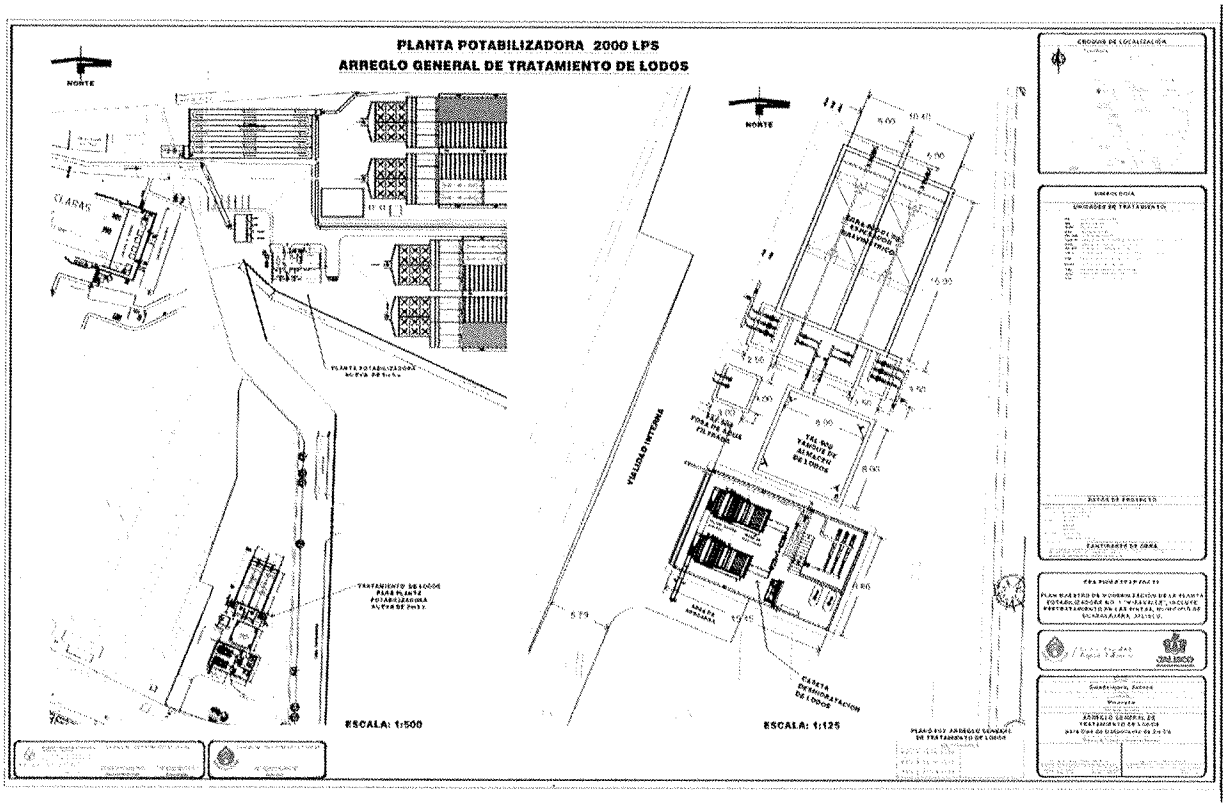


Ilustración 1 PLANO DE ARREGLO GENERAL PP1

Con la construcción del Acueducto Chapala–Guadalajara entre 1984 y 1991, el esquema de abastecimiento adquirió una configuración más robusta: el acueducto de 2.10 m de diámetro y 42.4 km de longitud permitió conducir caudales importantes desde Chapala hasta el tanque Cerro del Cuatro y, de ahí, a la PP1 Miravalle por gravedad. Este esquema se complementó con el denominado Sistema Antiguo Lago de Chapala–Atequiza–Las Pintas, cuya agua cruda, después de ser impulsada y regulada en la presa Las Pintas, llega a PB2 y se deriva también hacia Miravalle. De esta forma, convergen en la PP1 dos grandes ramas de abastecimiento, que se integran hidráulicamente en el reservorio previo al tratamiento.

El crecimiento de la ciudad motivó, a partir de 1991, la incorporación de nuevas fuentes de agua y la construcción de otras plantas potabilizadoras, como PP2 Las Huertas y PP3 San Gaspar, alimentadas por la Presa Calderón y la Presa La Red. Sin embargo, a pesar de esta diversificación, la PP1 Miravalle ha mantenido un papel preponderante: actualmente aporta en promedio 5.0 m^3/s, lo que representa alrededor del 60% del agua potable suministrada al Área Metropolitana de Guadalajara. Esta proporción convierte a Miravalle en un punto neurálgico del sistema, donde cualquier falla relevante se traduce en afectaciones masivas a la población.

Desde su puesta en operación, la planta ha trabajado prácticamente de manera ininterrumpida, con paros parciales y locales pero sin posibilidad de detener trenes

completos de tratamiento por periodos prolongados. Esto ha generado, con el paso de las décadas, una brecha entre la infraestructura originalmente instalada y los estándares tecnológicos y normativos actuales. En la práctica, muchos de los ajustes operativos se han basado en la experiencia del personal y en protocolos internos que buscan compensar las limitaciones instrumentales; por ejemplo, en la dosificación de coagulantes, en el ajuste del pH del agua cruda o en el reparto de caudales entre unidades.

Los Términos de Referencia actuales reconocen explícitamente esta situación: por un lado, señalan que los sistemas de medición de caudal, tanto en el influente como en el efluente, presentan obsolescencia y falta de confiabilidad; por otro, subrayan que la planta carece de un sistema integral de telemetría que permita visualizar y registrar en tiempo real los parámetros críticos de proceso. De igual forma, la dosificación de productos químicos —en especial sulfato de aluminio, polímeros y productos para ajuste de pH— se realiza con equipos antiguos y con un nivel de automatización limitado.

A lo anterior se suma un contexto de creciente variabilidad en la calidad del agua cruda proveniente del Lago de Chapala y otras fuentes, asociada a fenómenos como cambios de uso de suelo en la cuenca, descargas urbanas y agrícolas, variaciones en niveles de almacenamiento y procesos de eutrofización. Esta variabilidad se manifiesta en fluctuaciones del pH, turbiedad, contenidos de manganeso y hierro, así como en la carga de materia orgánica natural, lo cual exige procesos de potabilización más robustos y flexibles. El sistema de ajuste de pH para 10 m^3/s propuesto en los TDR responde precisamente a esta necesidad, al plantear una plataforma de almacenamiento, trasvase, dilución y dosificación de ácido, con obra civil, eléctrica y mecánica asociada, diseñada para operar de manera segura y controlada.

En paralelo, la visión de largo plazo establecida por la CEA Jalisco define como objetivo incrementar la capacidad efectiva de potabilización de Miravalle mediante la construcción de un nuevo tren de 2.0 m^3/s, que complemente y modernice el esquema actual de 5.5 m^3/s. Este tren no solo añade capacidad, sino que introduce procesos de tratamiento más avanzados —sedimentación, filtros de arena, ozono, carbón activado, manejo de lodos y cloración— bajo criterios de diseño actualizados. La integración física e hidráulica de este tren se realiza a través de líneas de interconexión de agua cruda y agua potable, las cuales constituyen un elemento clave del proyecto maestro.

Estos antecedentes permiten comprender que el Plan Maestro de Modernización no surge como un proyecto aislado, sino como la evolución natural de un sistema que, habiendo sido exitoso durante décadas, requiere ahora una intervención profunda para seguir cumpliendo su función bajo condiciones más exigentes de demanda, calidad y confiabilidad.

3. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA DEL PLAN MAESTRO DE MODERNIZACIÓN

La justificación técnica del presente plan no se limita a señalar que la infraestructura es antigua; se fundamenta en una serie de razones estructurales que, integradas, muestran la necesidad de intervenir la PP1 "Miravalle" de forma coordinada en varios frentes: hidráulico, químico, mecánico, eléctrico y de control.

En primer lugar, la continuidad del servicio es un condicionante absoluto. Dado que Miravalle aporta la mayor parte del agua potable para la ZMG, la planta no puede ser sacada de operación para realizar una modernización convencional basada en paros totales o prolongados. Cualquier estrategia que implique vulnerar la continuidad significaría exponer a la población a riesgos sanitarios y sociales inaceptables. Por ello, el proyecto plantea soluciones que se construyen y ponen en servicio en paralelo, como el nuevo tren de 2.0 m^3/s, las líneas de interconexión y los sistemas de dosificación y medición, permitiendo que la planta existente continúe operando mientras se va integrando gradualmente la nueva infraestructura.

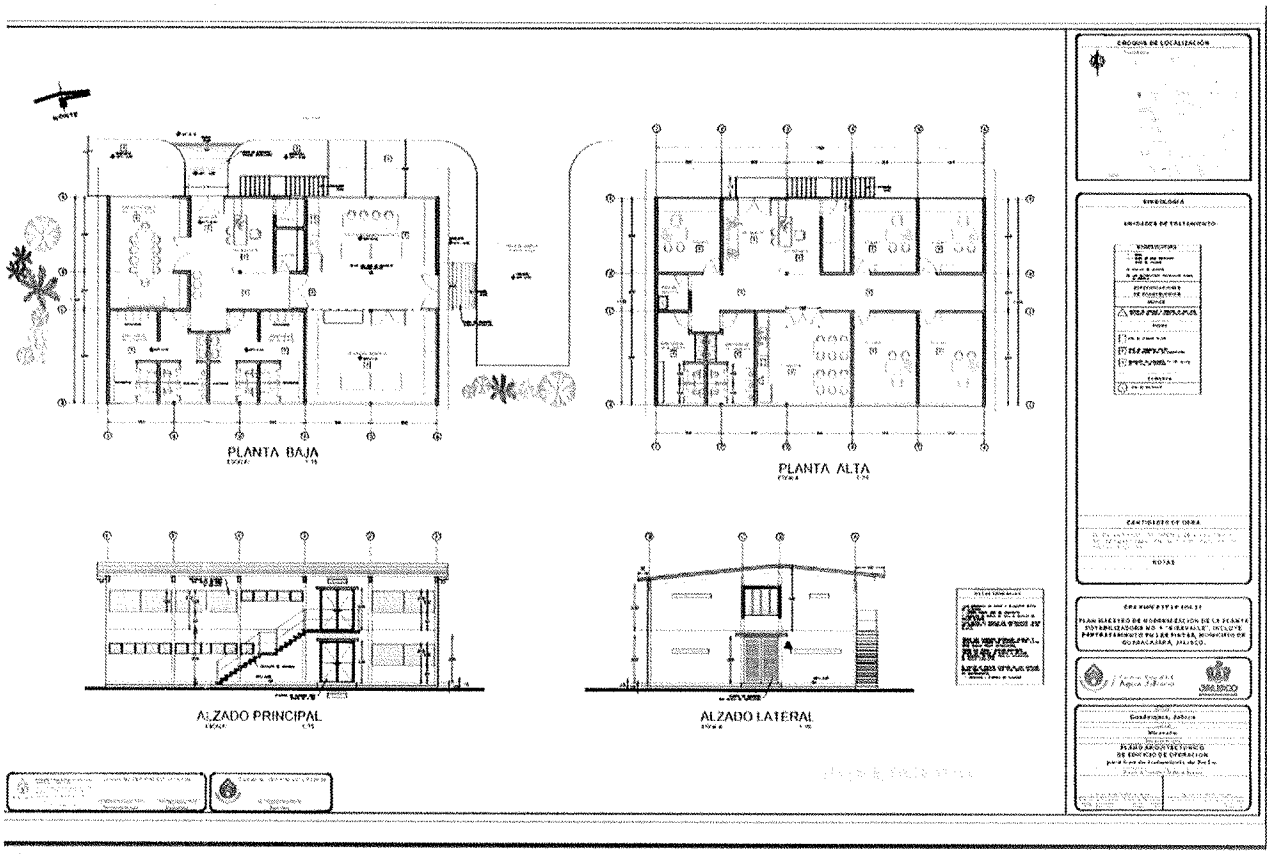


Ilustración 2 PLANO DE NUEVOS EIDIFICIOS PARA OPERACIONES

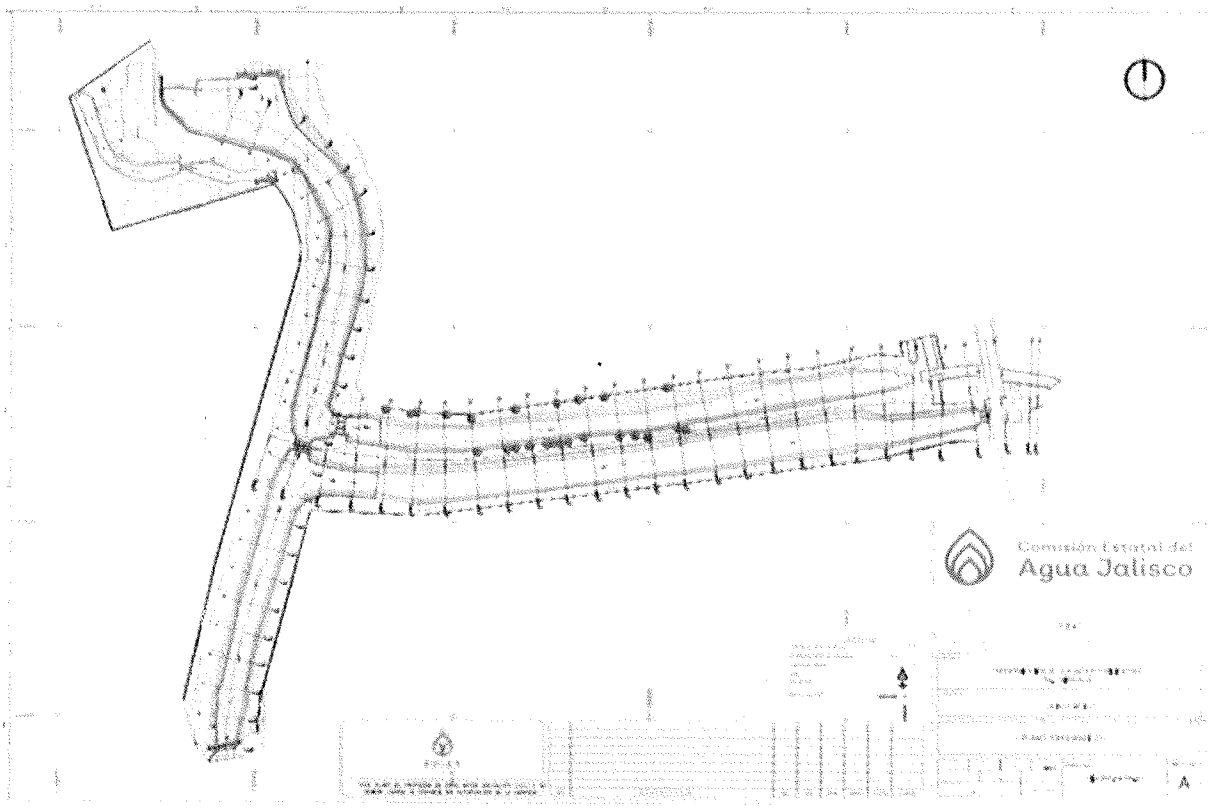
En segundo término, la planta enfrenta un déficit de información confiable sobre caudales y estados de proceso. Los Términos de Referencia del Sistema de Medición y Telemetría señalan que, en la actualidad, el registro de caudales de entrada y salida se basa en equipos desactualizados, con lecturas sujetas a incertidumbre y, en muchos casos, sin registro continuo ni transmisión hacia un centro de control. Esto obliga a que decisiones críticas —por ejemplo, el ajuste de dosis de coagulante o la derivación de caudales hacia determinados módulos— se tomen con base en estimaciones o mediciones puntuales. La instalación de medidores modernos, integrados a un sistema de telemetría, permite cerrar el ciclo de control, es decir, que las variables medidas retroalimenten directamente a los sistemas de dosificación y operación.

Un tercer elemento de justificación se relaciona con la variabilidad en la calidad del agua cruda. La combinación de fuentes (Chapala, Calderón, La Red, aportes al sistema antiguo, etc.) provoca que el pH, la alcalinidad, la turbiedad, la concentración de manganeso y otros parámetros varíen en escalas diarias e incluso horarias. Bajo este escenario, operar con un esquema fijo de dosificación química implica, o bien sobredosificar —incrementando innecesariamente los costos y generando mayor producción de lodos—, o bien correr el riesgo de subdosificar y no alcanzar los niveles de remoción requeridos. El sistema de ajuste de pH, en conjunto con el control de dosificación de químicos para el caudal total influente, responde a este reto al plantear

una plataforma que puede modificar la dosificación de ácido, coagulantes y polímeros de acuerdo con las condiciones particulares del agua en cada momento.

Ilustración 3 PB2 LAS PINTAS

Además, la NOM-127-SSA1-2021 introduce parámetros más estrictos para ciertos contaminantes y subproductos, lo cual hace evidente que la simple "operación tradicional" ya no es suficiente. La incorporación de procesos como ozonización y filtración en carbón activado en el tren nuevo de 2.0 m^3/s no solo incrementa la capacidad de potabilización, sino que también mejora la calidad sensorial y microbiológica del agua, contribuyendo a reducir la formación de subproductos de desinfección y a cumplir con los límites normativos actuales y futuros. De esta manera, el proyecto se adelanta a posibles ajustes regulatorios, dotando al sistema de una mayor resiliencia normativa.



AREA DE LEVANTAMIENTO PB2		
1 =	62,820.33	m2
AREA TOTAL =	**62,820.33**	**m2**

Ilustración 4 AREA DE LEVANTAMIENTO DE PB2 LAS PINTAS

En el ámbito puramente hidráulico, la construcción de líneas de interconexión de agua cruda y agua potable para el tren nuevo de potabilización tiene una justificación doble. Por un lado, permite llevar el caudal de diseño (2.0 m^3/s) desde los puntos de entrega definidos (canales y cajas distribuidoras existentes) hasta las nuevas unidades de tratamiento; por otro, posibilita el retorno del agua potabilizada hacia los tanques y líneas de distribución existentes de manera controlada, minimizando pérdidas de carga, evitando puntos de sobrepresión y garantizando la compatibilidad hidráulica con el resto del sistema. El análisis de diámetros, materiales, espesores y recubrimientos anticorrosivos que plantean los TDR se orienta precisamente a asegurar la durabilidad y confiabilidad de estas interconexiones.

GPS 1
N:2276732.770
E:673442.195
Z:1530.551

- **Croquis de ubicación de puntos de control:**

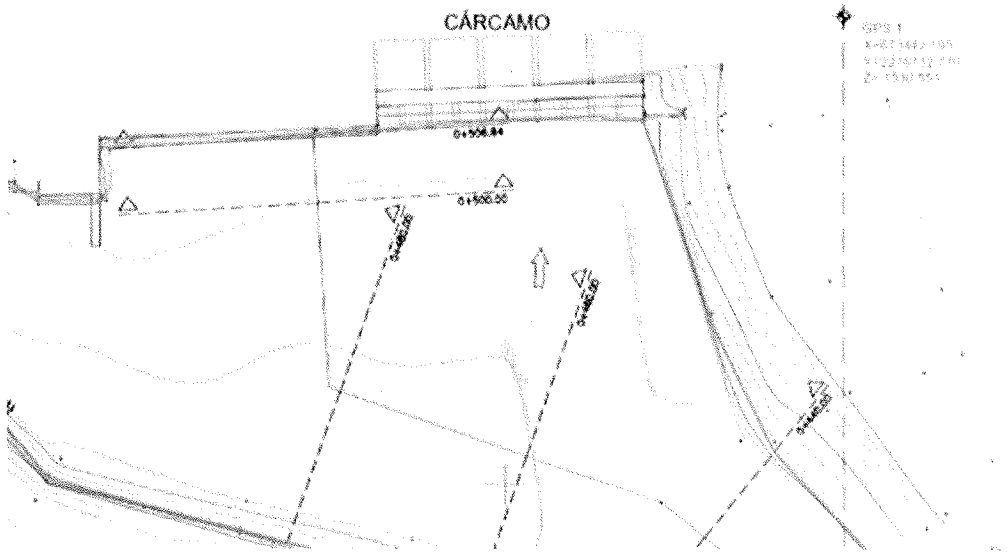


Ilustración 5 PUNTOS DE CONTROL GPS 1

Finalmente, existe una justificación estratégica: el Plan Maestro de Modernización busca no solo corregir deficiencias puntuales, sino reconfigurar la PP1 Miravalle como una planta moderna, adaptable y controlable, capaz de operar bajo distintos escenarios de caudal y calidad de agua. La incorporación de sistemas de telemetría, dosificación automática, ajuste de pH, nuevos procesos de tratamiento y líneas de interconexión constituye una plataforma sobre la cual, en el futuro, se podrán agregar nuevas mejoras sin poner en riesgo la operación global. En síntesis, la justificación técnica del proyecto se basa en garantizar tres elementos que son inseparables: continuidad del servicio, cumplimiento normativo y eficiencia operativa.

GPS 2
N:2276468.270
E:673443.005
Z:1529.377

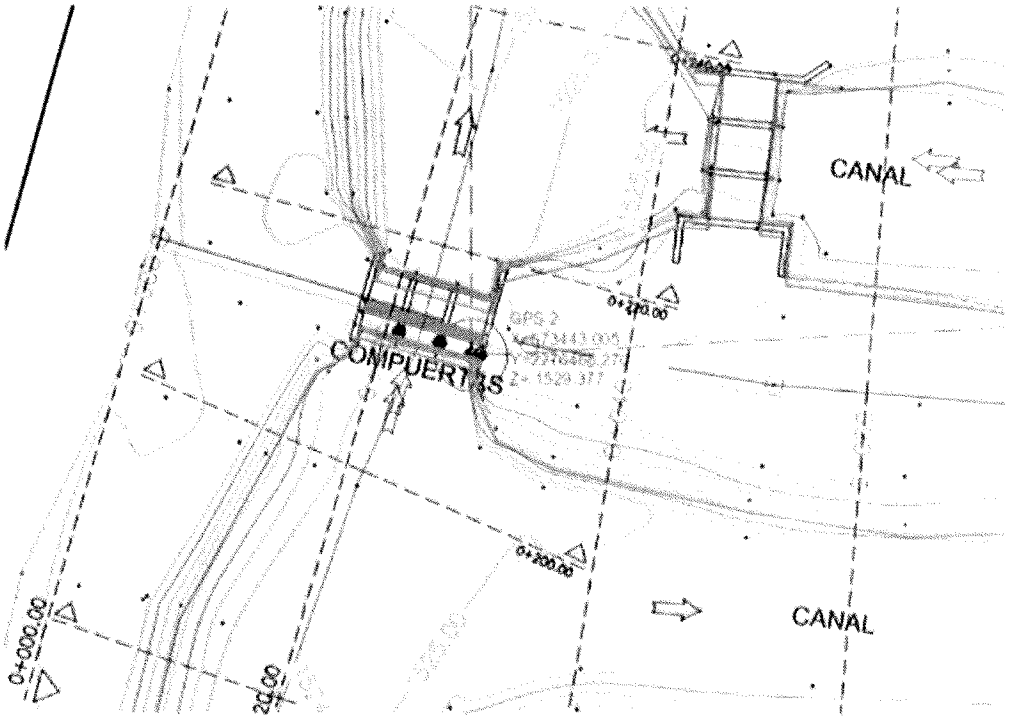


Ilustración 6 PUNTOS DE CONTROL GPS 2

4. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS DEL PROYECTO

El Plan Maestro de Modernización de la Planta Potabilizadora No. 1 Miravalle responde a una necesidad histórica, técnica y operativa: garantizar la continuidad, calidad y suficiencia del suministro de agua potable en el Área Metropolitana de Guadalajara, en un entorno donde la infraestructura existente ha cumplido más de seis décadas de operación continua.

A diferencia de una ampliación puntual o de una sustitución aislada de equipos, este proyecto constituye una intervención sistémica, en la cual cada componente—pH, dosificación, telemetría, interconexiones y tren nuevo—se concibe como parte de una arquitectura integral de modernización.

4.1 Objetivo general

Transformar la PP1 "Miravalle" en una planta de potabilización moderna, confiable y eficiente, mediante la implementación coordinada de sistemas avanzados de tratamiento, medición, control, dosificación química y ampliación de capacidad, garantizando el cumplimiento normativo y la operación continua del servicio durante todo el proceso de modernización.

Este objetivo sintetiza la misión técnica de los cinco TDR integrados: elevar la calidad del agua producida, mejorar la precisión y control de los procesos, reducir riesgos operativos y dotar al sistema de infraestructura resiliente capaz de responder a cambios en la demanda y en la calidad del agua cruda.

4.2 Objetivos específicos

4.2.1 Modernizar la infraestructura de tratamiento

Incorporar un tren nuevo de potabilización de 2.0 m^3/s que permita alcanzar la capacidad total de diseño (7.5 m^3/s), aportando procesos avanzados como ozonización, doble filtración y manejo controlado de lodos. Este tren servirá como infraestructura paralela que permita el mantenimiento de los módulos existentes sin comprometer el suministro a la población.

No.	CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1.0	100100	CAJA DERIVADORA CD-25		
2.0	100101	SUMINISTRO DE COMPUERTA DE VERTEDOR DE 1.22 MTS DE ANCHO PARA UN FLUJO DE 667 LPS	PZA	4.00
3.0	100102	INSTALACIÓN DE COMPUERTA DE VERTEDOR DE 1.22 MTS DE ANCHO PARA UN FLUJO DE 667 LPS	LOTE	1.00
4.0	100103	CONFIGURACIÓN DE COMPUERTA DE VERTEDOR DE 1.22 MTS DE ANCHO PARA UN FLUJO DE 667 LPS	LOTE	1.00
5.0	100104	SUMINISTRO DE TRANSMISOR INDICADOR DE FLUJO ELECTROMAGNETICO PARA MONTAJE EN TUBERÍA DE 36" FABRICADA EN ACERO AL CARBÓN, PARA MEDICIÓN DE AGUA CRUDA PROVENIENTE DE LA CAJA DERIVADORA (CD-25 A MEZCLA RÁPIDA (MR-50-01/02/03/04). - PANTALLA RETROILUMINADA CON CONTROL TÁCTIL - PRINCIPIO DE MEDICIÓN: ELECTROMAGNETICO. - ACCESORIO PARA PORTA ELECTRODO INMERSIÓN POR NIVEL PARA MONTAJE EN BARANDAL. - CONEXIÓN A ELÉCTRICA ROSCA NPT ½". - COMUNICACIÓN 4-20 MA. - PEDESTALES, HERRAJES, Y PLACAS DE IDENTIFICACIÓN EN TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN. - CERTIFICADOS DE FABRICACIÓN. - CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN.	PZA	4.00
6.0	100105	INSTALACIÓN DE TRANSMISOR INDICADOR DE FLUJO ELECTROMAGNETICO PARA MONTAJE ENTUBERÍA DE 36" FABRICADA EN ACERO AL CARBÓN, PARA MEDICIÓN DE AGUA CRUDA PROVENIENTE DE LA CAJA DERIVADORA A MEZCLA RÁPIDA. SE	LOTE	1.00

		DEBERÁ SELECCIONAR, DIMENSIONAR, ESPECIFICAR Y GARANTIZAR EN SU TOTALIDAD LA CORRECTA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DEL TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN BAJO EL PRINCIPIO ADECUADO CUMPLIENDO CON NORMATIVAS INTERNAS Y LAS DESCRITAS EN ANSI-ISA, NOM-001-SEDE, MANUALES DEL FABRICANTE, ETC. ASÍ MISMO DEBERÁ CONSIDERAR LA CORRECTA INSTALACIÓN, FIJACIÓN Y SUJECIÓN DEL ELEMENTO DE MEDICIÓN DE FLUJO ACORDE CON LA APLICACIÓN EL PRECIO INCLUYE: INSUMOS, ESTRUCTURAS PROVISIONALES, ILUMINACIÓN ARTIFICIAL, RESGUARDO Y ACARREO DE MATERIALES, PRUEBAS PRELIMINARES DE LA INSTALACIÓN PARA ASEGURAR LA FUNCIONALIDAD DE LA INSTALACIÓN Y QUE ESTO GARANTICE LA INTEGRIDAD DEL RECURSO Y OPERATIVOS A LA PAR.		
7.0	100106	CONFIGURACIÓN DE TRANSMISOR INDICADOR DE FLUJO ELECTROMAGNETICO PARA MONTAJE EN TUBERÍA DE 36" FABRICADA EN ACERO AL CARBÓN, PARA MEDICIÓN DE AGUA CRUDA PROVENIENTE DE LA CAJA DERIVADORA A MEZCLA RÁPIDA. SE DEBERÁ CONSIDERAR QUE LA CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS SERÁN EN COMÚN ACUERDO CON LAS DISPOSICIONES Y TENDENCIAS REQUERIDAS PARA LA REPETIBILIDAD, DAMPING, ESCALAMIENTOS, SIMULACIONES, ETC. PARA GARANTIZAR EN SU TOTALIDAD LA CORRECTA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DEL TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN, BAJO EL PRINCIPIO ADECUADO CUMPLIENDO CON NORMATIVAS INTERNAS, ASÍ COMO LAS DESCRITAS EN NORMAS APLICADAS, MANUALES DEL FABRICANTE, ETC. ASÍ MISMO, SE DEBERÁ CONSIDERAR Y GARANTIZAR QUE LA CONFIGURACIÓN FUE REALIZADA EN BASE A LAS CONDICIONES ACTUALES DE LA INSTALACIÓN Y PUNTO DE MEDICIÓN DESCRITOS EN EL PROYECTO RESPETANDO UNIDADES DE INGENIERÍA, SIMULACIONES, CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES Y DEL HÍDRICO, PRESIONES, TEMPERATURAS, ETC. ACORDE CON LA APLICACIÓN.	LOTE	1.00
8.0	100200	EQUIPAMIENTO PARA DOSIFICACIÓN DE CLORO (PRECLORACIÓN) A TREN 1, 2, 3 Y 4		
9.0	100201	SUMINISTRO DE SISTEMA CLORADOR AUTOMÁTICO CON ROTÁMETRO DE ALTA VISIBILIDAD DE 10" GRADUADO EN PPD Y KG/H, PARA DOSIFICAR HASTA 3000 LIBRAS/DÍA. EQUIPADO CON POSICIONADOR ELÉCTRICO LINEAL CON SEÑAL DE CONTROL DE 4–20 MA Y CONTROLADOR PARA REGULACIÓN AUTOMÁTICA BASADA EN FLUJO Y CLORO LIBRE RESIDUAL, INCLUYE VÁLVULA DIFERENCIAL PARA MANTENER PRESIÓN CONSTANTE EN EL ORIFICIO DE DOSIFICACIÓN, VÁLVULA PARA AJUSTE FINO DE VACÍO, VÁLVULA DE DRENADO Y VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN. EL POSICIONADOR ELÉCTRICO CUENTA CON RETROALIMENTACIÓN DE POSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO LINEAL DE ALTA PRECISIÓN, CONSTRUIDO EN MATERIALES RESISTENTES A LA CORROSIÓN. EL CONTROLADOR PERMITE CONFIGURACIÓN LOCAL O REMOTA, CON MODOS DE CONTROL PROPORCIONAL AL FLUJO, CONTROL DIRECTO POR RESIDUAL Y CONTROL EN LAZO COMPUESTO, CON INTERFAZ DIGITAL Y SALIDAS ANALÓGICAS PARA INTEGRACIÓN A SISTEMAS SCADA. LA UNIDAD OPERA COMPLETAMENTE BAJO VACÍO, CON COMPONENTES INTERNOS EN VITON, HYPALON Y ACERO INOXIDABLE, Y CUENTA CON PROTECCIÓN CONTRA BAJAS TEMPERATURAS Y FUGAS DE CLORO LÍQUIDO. DIMENSIONES DEL MÓDULO DE PISO: 1734 MM DE ALTO × 699 MM DE ANCHO × 318 MM DE PROFUNDIDAD. ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA: 120 V ±10%, 0.3 A O 240 V ±10%, 0.15 A. SE INCLUYE: EYECTOR DE 2" Y VALVULA REGULADORA DE VACIO.	PZA	4.00
10.0	100202	SERVICIO DE INSTALACIÓN DE SISTEMA CLORADOR AUTOMÁTICO CON ROTÁMETRO DE ALTA VISIBILIDAD DE 10" GRADUADO EN PPD Y KG/H, PARA DOSIFICAR HASTA 3000 LIBRAS/DÍA. EQUIPADO CON POSICIONADOR ELÉCTRICO LINEAL CON SEÑAL DE CONTROL DE 4–20 MA Y CONTROLADOR PARA REGULACIÓN AUTOMÁTICA BASADA EN FLUJO Y CLORO LIBRE RESIDUAL, INCLUYE VÁLVULA DIFERENCIAL PARA MANTENER PRESIÓN CONSTANTE EN EL ORIFICIO DE DOSIFICACIÓN, VÁLVULA PARA AJUSTE FINO DE VACÍO, VÁLVULA DE DRENADO Y VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN. EL POSICIONADOR ELÉCTRICO CUENTA CON RETROALIMENTACIÓN DE POSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO LINEAL DE ALTA PRECISIÓN, CONSTRUIDO EN MATERIALES RESISTENTES A LA CORROSIÓN. EL CONTROLADOR PERMITE CONFIGURACIÓN LOCAL O REMOTA, CON MODOS DE CONTROL PROPORCIONAL AL FLUJO, CONTROL DIRECTO POR RESIDUAL Y CONTROL EN LAZO COMPUESTO, CON INTERFAZ DIGITAL Y SALIDAS ANALÓGICAS PARA INTEGRACIÓN A SISTEMAS SCADA. LA UNIDAD OPERA COMPLETAMENTE BAJO VACÍO, CON COMPONENTES INTERNOS EN VITON, HYPALON Y ACERO INOXIDABLE, Y CUENTA CON PROTECCIÓN CONTRA BAJAS TEMPERATURAS Y FUGAS DE CLORO LÍQUIDO. DIMENSIONES DEL MÓDULO DE PISO: 1734 MM DE ALTO × 699 MM DE ANCHO × 318 MM DE PROFUNDIDAD. ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA: 120 V ±10%, 0.3 A O 240 V ±10%, 0.15 A. SE INCLUYE: EYECTOR DE 2" Y VALVULA REGULADORA DE VACIO. INCLUYE LOTE DE MATERIAL HIDRÁULICO, LOTE DE MATERIAL ELÉCTRICO, MATERIAL DE FIJACIÓN Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	LOTE	1.00

11.0	100203	CONFIGURACIÓN DE SISTEMA CLORADOR AUTOMÁTICO CON ROTÁMETRO DE ALTA VISIBILIDAD DE 10" GRADUADO EN PPD Y KG/H, PARA DOSIFICAR HASTA 3000 LIBRAS/DÍA. EQUIPADO CON POSICIONADOR ELÉCTRICO LINEAL CON SEÑAL DE CONTROL DE 4–20 MA Y CONTROLADOR PARA REGULACIÓN AUTOMÁTICA BASADA EN FLUJO Y CLORO LIBRE RESIDUAL, INCLUYE VÁLVULA DIFERENCIAL PARA MANTENER PRESIÓN CONSTANTE EN EL ORIFICIO DE DOSIFICACIÓN, VÁLVULA PARA AJUSTE FINO DE VACÍO, VÁLVULA DE DRENADO Y VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN. EL POSICIONADOR ELÉCTRICO CUENTA CON RETROALIMENTACIÓN DE POSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO LINEAL DE ALTA PRECISIÓN, CONSTRUIDO EN MATERIALES RESISTENTES A LA CORROSIÓN. EL CONTROLADOR PERMITE CONFIGURACIÓN LOCAL O REMOTA, CON MODOS DE CONTROL PROPORCIONAL AL FLUJO, CONTROL DIRECTO POR RESIDUAL Y CONTROL EN LAZO COMPUESTO, CON INTERFAZ DIGITAL Y SALIDAS ANALÓGICAS PARA INTEGRACIÓN A SISTEMAS SCADA. LA UNIDAD OPERA COMPLETAMENTE BAJO VACÍO, CON COMPONENTES INTERNOS EN VITON, HYPALON Y ACERO INOXIDABLE, Y CUENTA CON PROTECCIÓN CONTRA BAJAS TEMPERATURAS Y FUGAS DE CLORO LÍQUIDO. DIMENSIONES DEL MÓDULO DE PISO: 1734 MM DE ALTO × 699 MM DE ANCHO × 318 MM DE PROFUNDIDAD. ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA: 120 V ±10%, 0.3 A O 240 V ±10%, 0.15 A. SE INCLUYE: EYECTOR DE 2" Y VALVULA REGULADORA DE VACIO.	LOTE	1.00
12.0	100204	SUMINISTRO DE CLORADOR MANUAL (UNIDAD DE CONTROL) DE MONTAJE EN PISO, DE OPERACIÓN MANUAL CON ROTÁMETRO DE ALTA VISIBILIDAD DE 10" GRADUADO EN PPD Y KG/HR PARA DOSIFICAR HASTA 3,000 LB/DÍA, MONTADA EN MÓDULO DE PISO, INCLUYE VÁLVULA DIFERENCIAL PARA MANTENER PRESIÓN CONSTANTE EN EL ORIFICIO DE DOSIFICACIÓN, VÁLVULA TRIMMER PARA AJUSTE FINO DE VACÍO. LA UNIDAD OPERA COMPLETAMENTE BAJO VACÍO, CON COMPONENTES INTERNOS EN VITON, HYPALON Y ACERO INOXIDABLE. DIMENSIONES DEL MÓDULO DE PISO: 1734 MM DE ALTO × 699 MM DE ANCHO × 318 MM DE PROFUNDIDAD. SE INCLUYE: EYECTOR DE 2" DE GARGANTA VARIABLE Y VALVULA REGULADORA DE VACIO.	PZA	4.00
13.0	100205	SERVICIO DE INSTALACIÓN DE CLORADOR MANUAL (UNIDAD DE CONTROL) DE MONTAJE EN PISO, DE OPERACIÓN MANUAL CON ROTÁMETRO DE ALTA VISIBILIDAD DE 10" GRADUADO EN PPD Y KG/HR PARA DOSIFICAR HASTA 3,000 LB/DÍA, MONTADA EN MÓDULO DE PISO, INCLUYE VÁLVULA DIFERENCIAL PARA MANTENER PRESIÓN CONSTANTE EN EL ORIFICIO DE DOSIFICACIÓN, VÁLVULA TRIMMER PARA AJUSTE FINO DE VACÍO. LA UNIDAD OPERA COMPLETAMENTE BAJO VACÍO, CON COMPONENTES INTERNOS EN VITON, HYPALON Y ACERO INOXIDABLE. DIMENSIONES DEL MÓDULO DE PISO: 1734 MM DE ALTO × 699 MM DE ANCHO × 318 MM DE PROFUNDIDAD. SE INCLUYE: EYECTOR DE 2" DE GARGANTA VARIABLE Y VALVULA REGULADORA DE VACIO. INCLUYE LOTE DE MATERIAL HIDRÁULICO, LOTE DE MATERIAL ELÉCTRICO, MATERIAL DE FIJACIÓN Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	LOTE	1.00
14.0	100206	CONFIGURACIÓN DE CLORADOR MANUAL (UNIDAD DE CONTROL) DE MONTAJE EN PISO, DE OPERACIÓN MANUAL CON ROTÁMETRO DE ALTA VISIBILIDAD DE 10" GRADUADO EN PPD Y KG/HR PARA DOSIFICAR HASTA 3,000 LB/DÍA, MONTADA EN MÓDULO DE PISO, INCLUYE VÁLVULA DIFERENCIAL PARA MANTENER PRESIÓN CONSTANTE EN EL ORIFICIO DE DOSIFICACIÓN, VÁLVULA TRIMMER PARA AJUSTE FINO DE VACÍO. LA UNIDAD OPERA COMPLETAMENTE BAJO VACÍO, CON COMPONENTES INTERNOS EN VITON, HYPALON Y ACERO INOXIDABLE. DIMENSIONES DEL MÓDULO DE PISO: 1734 MM DE ALTO × 699 MM DE ANCHO × 318 MM DE PROFUNDIDAD. SE INCLUYE: EYECTOR DE 2" DE GARGANTA VARIABLE Y VALVULA REGULADORA DE VACIO.	LOTE	1.00

4.2.2 Estabilizar y optimizar el proceso químico

Implementar sistemas de ajuste de pH, preparación y dosificación de ácido y coagulantes que respondan dinámicamente a la variabilidad del agua cruda. Con ello, se prevé:

mejorar la eficiencia de coagulación-floculación,
estabilizar el proceso de remoción de manganeso y hierro,
disminuir consumos químicos,

reducir la producción de lodos,
y asegurar condiciones óptimas de sedimentación y filtración.

4.2.3 Restablecer precisión en la medición de caudales

La modernización de PP1 requiere datos confiables y continuos. Por ello, es prioritario instalar un sistema de medición y telemetría que proporcione:

caudales exactos de influente y efluente,
monitoreo constante de niveles,
alarmas, tendencias y diagnósticos,
integración con sistemas existentes del SIAPA,
y la capacidad de tomar decisiones operativas automatizadas.

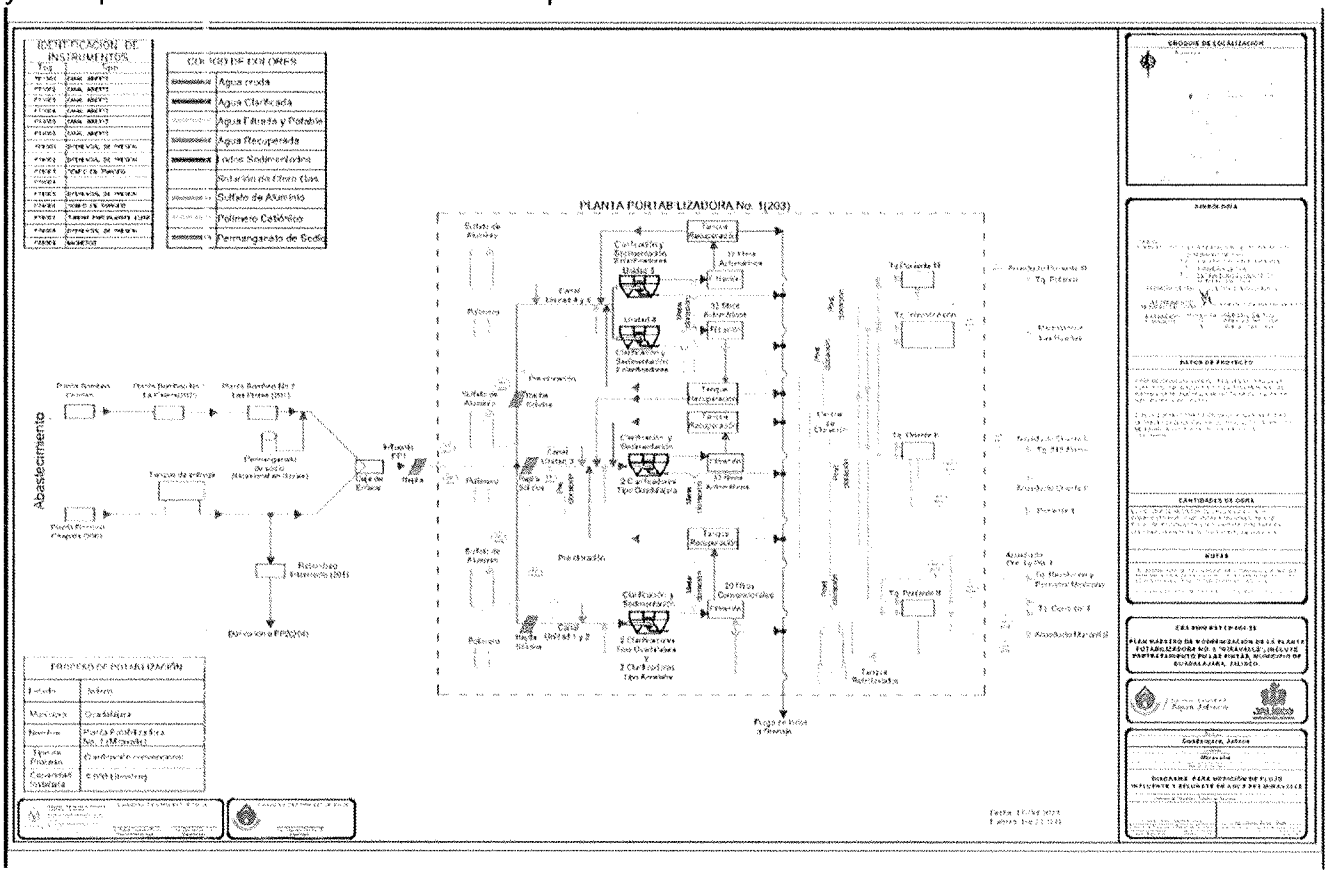


Ilustración 7 DIAGRAMA DE FLUJO CONTROL

- **Dosis de Permanganato de Potasio ($KMnO_4$):** Se realizaron pruebas de oxidación en sitio para determinar el rango de las dosis óptimas. Los resultados fueron los siguientes:

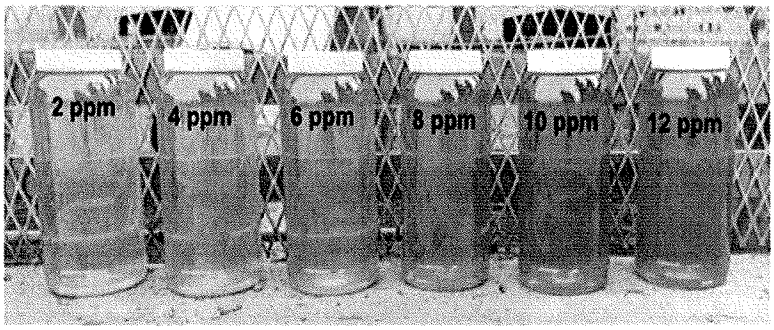


Ilustración 8 PRUEBAS DE TRATABILIDAD PRETRATAMIENTO PB2

La carencia de mediciones precisas ha sido uno de los principales factores de incertidumbre en la operación histórica de PP1.

Número de Muestra	PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PP6
Dosis (mg/L)	1.5	2	4	6	8	10

Ilustración 9 PRUEBAS DE TRATABILIDAD PRETRATAMIENTO LAS PINTAS

4.2.4 Integrar hidráulicamente el tren nuevo

Las líneas de interconexión, tanto de agua cruda como de agua potable, deben garantizar que los volúmenes conducidos hacia y desde el tren nuevo se distribuyan de manera estable, con pérdidas de carga controladas y sin interferir con los módulos actuales en operación.

Esta integración hidráulica es el "puente físico" que permitirá que la nueva infraestructura conviva con la existente.

4.2.5 Asegurar el cumplimiento normativo

Los parámetros de calidad establecidos por la NOM-127-SSA1-2021 exigen condiciones de tratamiento más robustas que las disponibles con la infraestructura actual. Los sistemas integrados buscan:

reducir turbiedad, color y carga orgánica,
controlar manganeso y hierro mediante ajuste de pH,
disminuir subproductos de desinfección,
asegurar la desinfección final con cloro,
y entregar un agua potable estable, segura y uniforme.

4.2.6 Garantizar operación continua durante la modernización

El proyecto se diseña bajo el principio de no interrumpir nunca la potabilización del agua. Por ello, las nuevas instalaciones se desarrollan en paralelo, con:

obras civiles independientes,
sistemas eléctricos nuevos,
acometidas paralelas,
y una estrategia de transición gradual que minimiza riesgos.

Este conjunto de objetivos define el alcance conceptual y técnico del proyecto maestro.

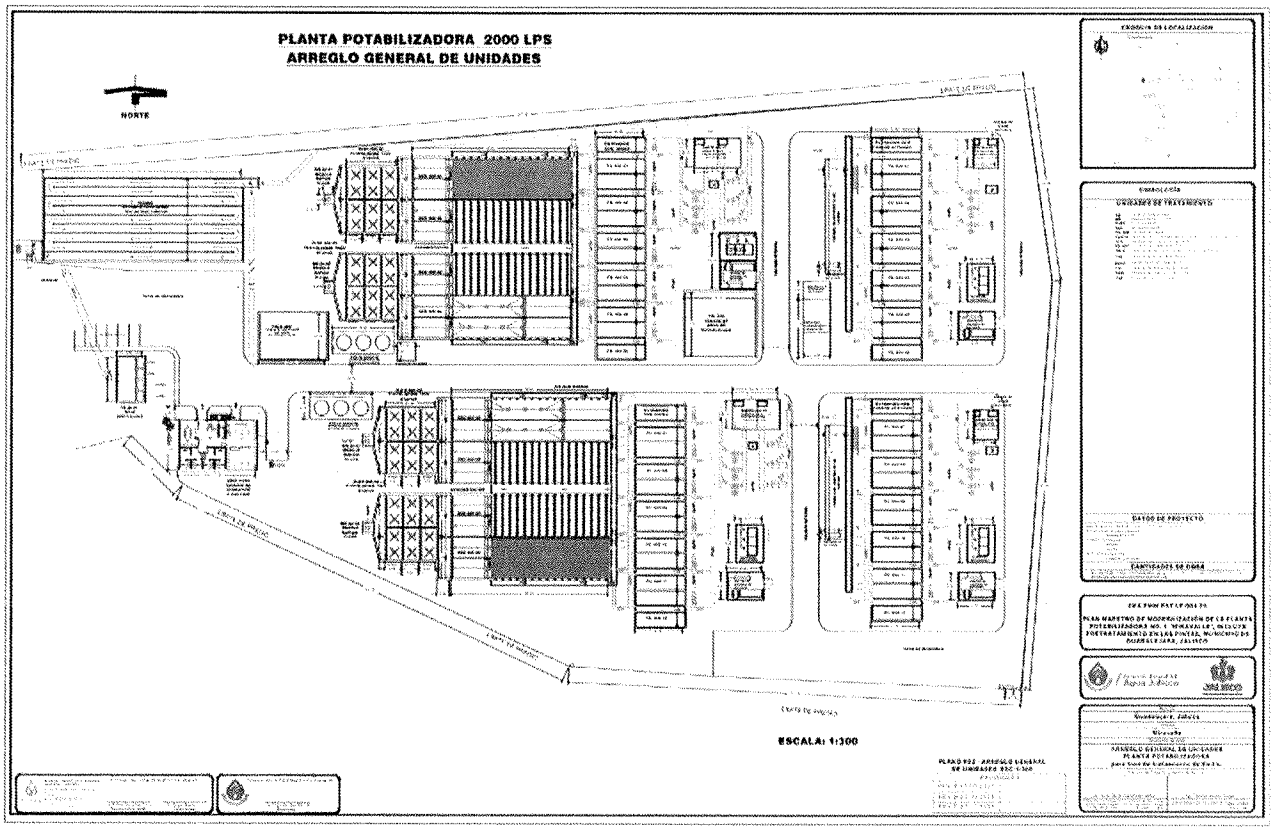


Ilustración 10 ARREGLO GENERAL DE UNIDADES DE POTABILIZACION

5. UBICACIÓN DEL PROYECTO MIRAVALLE–LAS PINTAS

La PP1 "Miravalle" y la PB2 "Las Pintas" conforman un corredor hidráulico que concentra dos de los puntos más críticos del sistema de abastecimiento de la ZMG. La ubicación del proyecto no se limita a un polígono, sino a un sistema territorial y funcional compuesto por infraestructura hidráulica distribuida en dos nodos principales:

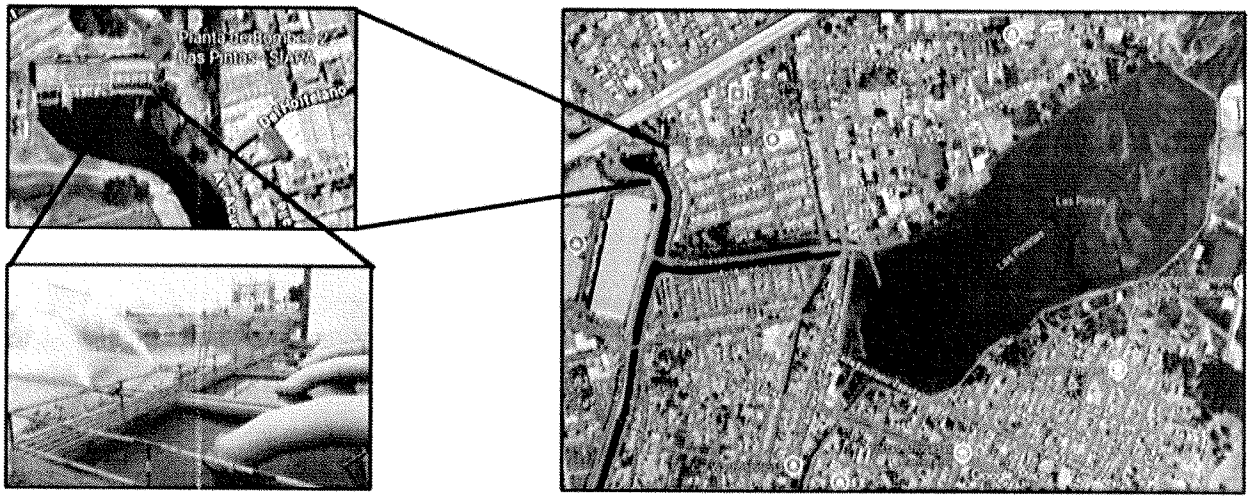


Ilustración 11 UBICACION PB2 LAS PINTAS

5.1 Planta Potabilizadora No. 1 "Miravalle"

Localizada en Av. Gobernador Luis G. Curiel 3573, Col. Miravalle, Guadalajara, Jalisco, la PP1 está asentada sobre una plataforma estratégica en términos topográficos: recibe el agua a través del canal proveniente del tanque Cerro del Cuatro, del Acueducto Chapala–Guadalajara y de la PB2 Las Pintas.

El predio de Miravalle contiene:

cinco módulos de tratamiento existentes,
canales de llegada y estructura de control,
almacenes, talleres y casetas eléctricas,
cárcamos de bombeo internos,
tanque de contacto de cloro,
zonas de descarga y distribución.

La ubicación permite el flujo por gravedad en buena parte del proceso, lo cual ha sido históricamente una ventaja operativa.

5.2 Planta de Bombeo No. 2 "Las Pintas"

Ubicada dentro del sistema antiguo Lago de Chapala – Atequiza – Las Pintas, esta planta constituye el segundo gran nodo del proyecto. Las Pintas recibe agua cruda desde la presa derivadora y desde aportaciones pluviales locales.

	Aireación + ClO2 + KMnO4				Aireación + ClO2				ClO2 + KMnO4			
Número de Muestra	1	20	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Aireación (TRH)	30	30	30	30	30	30	30	30				
Dosis ClO2 (mg/L)	13	18	22	27	13	18	22	27	13	18	22	27
Dosis KMnO4 (mg/L)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Ilustración 12 TABLA EVALUACION DE LOS 3 TRENES PARA PRETRATAMIENTO

Es aquí donde se concentra una parte importante del caudal que finalmente llega a Miravalle. El proyecto considera la infraestructura existente como punto de origen para:

el sistema de medición de caudal,
la caracterización del agua cruda,
y la confirmación de capacidad hidráulica para alimentar los sistemas nuevos.

5.3 Zona de Intervención del Ajuste de pH (10 m^3/s)

El sistema de ajuste de pH se ubicará en el área donde confluyen los caudales provenientes del Acueducto Chapala y de PB2, en el reservorio previo a los procesos de potabilización.

La elección de este punto no es arbitraria: se fundamenta en criterios de ingeniería de proceso que requieren que el pH sea ajustado antes de que el agua entre en las etapas de coagulación-floculación.

5.4 Ubicación del Tren Nuevo de Potabilización de 2.0 m^3/s

El tren nuevo se emplazará dentro del predio de Miravalle, en una zona que permite:

flujo hidráulico continuo,
acceso a líneas eléctricas existentes,
conexión mecánica a tanques, canales y líneas de distribución,
y condiciones topográficas adecuadas para sedimentación y filtración.

El posicionamiento físico debe garantizar que su operación no interfiera con los módulos actuales, especialmente durante las fases constructivas.

5.5 Líneas de Interconexión

Las interconexiones de agua cruda y agua potable se ubican entre los puntos:

CD-25-01 (caja distribuidora existente),
canales de llegada al tren nuevo,
y tanque de contacto y líneas de salida.

Estas interconexiones forman el "sistema circulatorio" que vincula la nueva infraestructura con la planta histórica.

En conjunto, la ubicación del proyecto constituye un sistema hídrico integrado, donde cada componente se sitúa estratégicamente para optimizar trayectorias, minimizar pérdidas de carga y asegurar compatibilidad con la operación existente.

6. ALCANCE GENERAL DEL PROYECTO MAESTRO

El Plan Maestro de Modernización de la PP1 Miravalle no es un proyecto único, sino una constelación de proyectos especializados que se integran para transformar la operación de la planta en su conjunto.

A continuación se presenta una descripción integrada del alcance, no como una lista, sino como una narrativa técnica que muestra cómo las cinco líneas de intervención se articulan para conformar un sistema único.

6.1 Alcance del Sistema de Ajuste de pH

El sistema de ajuste de pH para 10 m^3/s incluye:

infraestructura civil para almacenamiento seguro de ácido,
estaciones de trasvase y preparación de soluciones,
mecanismos de dilución controlada,
equipos de dosificación de alta precisión,
instrumentación de pH en tiempo real,
sistemas eléctricos y de control integrados.

Este sistema constituye el "punto de partida" del tratamiento químico. Su finalidad técnica es doble:

modificar la química del agua cruda para favorecer la remoción de manganeso y hierro, y
optimizar los procesos posteriores de coagulación-floculación.

6.2 Alcance del Sistema de Telemetría y Medición de Caudales

El sistema considera la instalación de:

medidores magnéticos o ultrasónicos en puntos estratégicos,
PLCs dedicados para captura de datos,
un servidor local para almacenamiento,
comunicación SCADA con centros de control del SIAPA,
alarmas, tendencias, registros históricos y diagnósticos.

Más que un simple sistema de medición, se trata de la columna vertebral informativa de la planta, que permitirá a los operadores tomar decisiones basadas en datos precisos.

6.3 Alcance del Sistema de Control y Dosificación de Productos Químicos

Este sistema incorpora:

tanques de preparación,
bombas dosificadoras automatizadas,
mezcladores estáticos y dinámicos,
tableros de control y variadores de frecuencia,
instrumentación de calidad de agua.

Su función es modular la dosificación de productos como:

sulfato de aluminio,
polímero aniónico o catiónico,
auxiliares de coagulación.

El sistema está diseñado para integrarse directamente con la telemetría, logrando un control semi-automatizado del proceso químico.

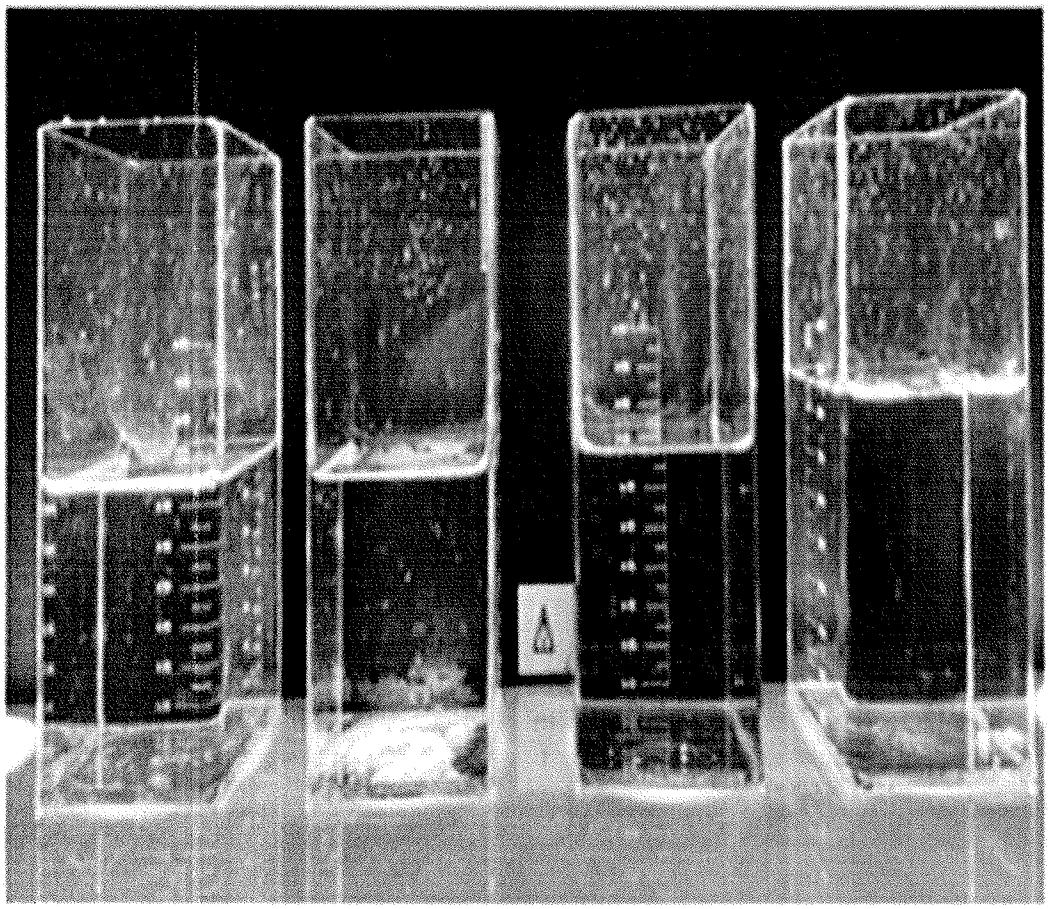


Ilustración 13 AGUA TRATADA CON MICROMEDIA

6.4 Alcance de las Líneas de Interconexión de Agua Cruda y Agua Potable

El alcance incluye:

análisis de diámetros y materiales,
diseño de piezas especiales,
determinación de espesor por corrosión,
recubrimientos anticorrosivos,
pruebas no destructivas en soldadura,
pruebas hidráulicas de presión y estanqueidad.

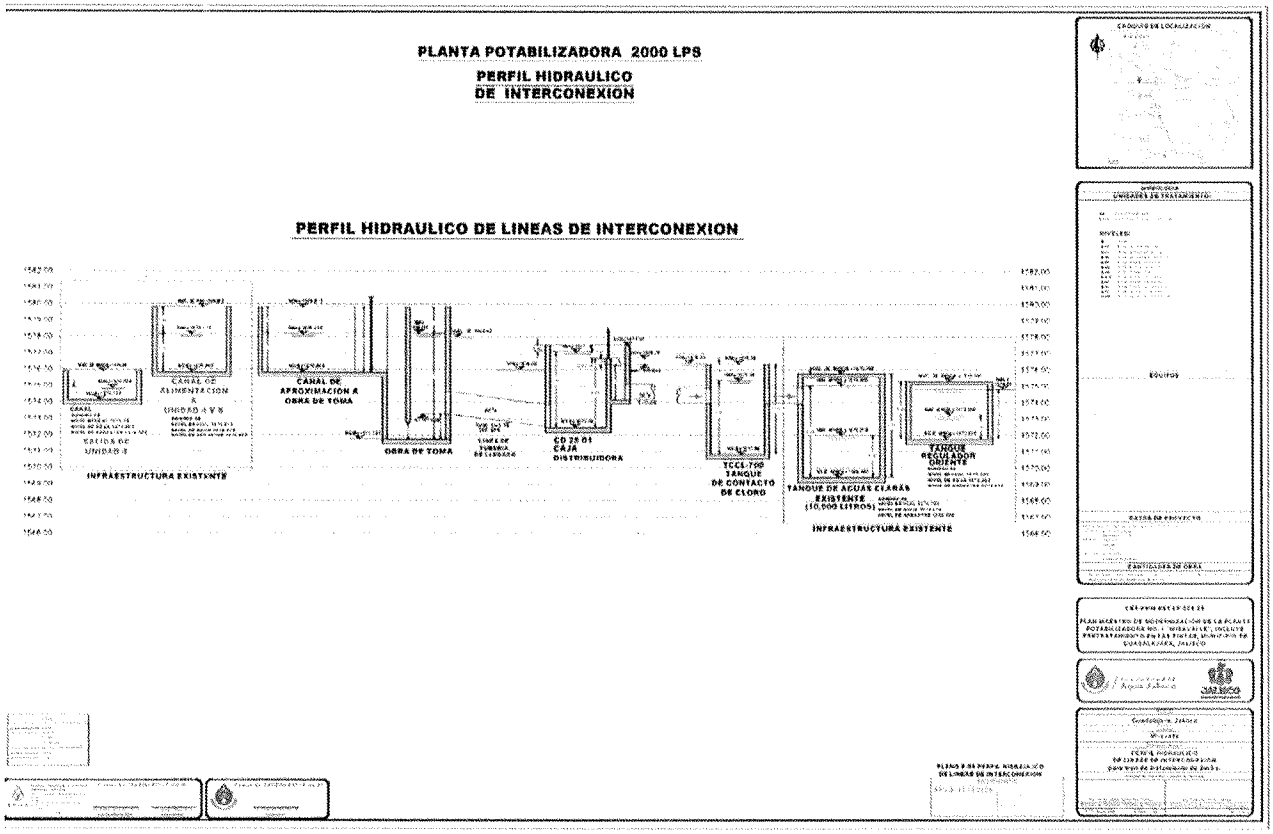


Ilustración 14 PERFIL HIDRAÚLICO

Estas líneas son el "sistema circulatorio" que vincula el tren nuevo con la PP1 existente.

6.5 Alcance del Tren Nuevo de Potabilización de 2.0 m^3/s

El tren nuevo incorpora, entre otros elementos:

cámaras de mezcla rápida,
floculadores,
sedimentadores,
filtros de arena,
ozonización,
filtros de carbón activado,
cloración en tanque de contacto,
sistema de manejo de lodos.

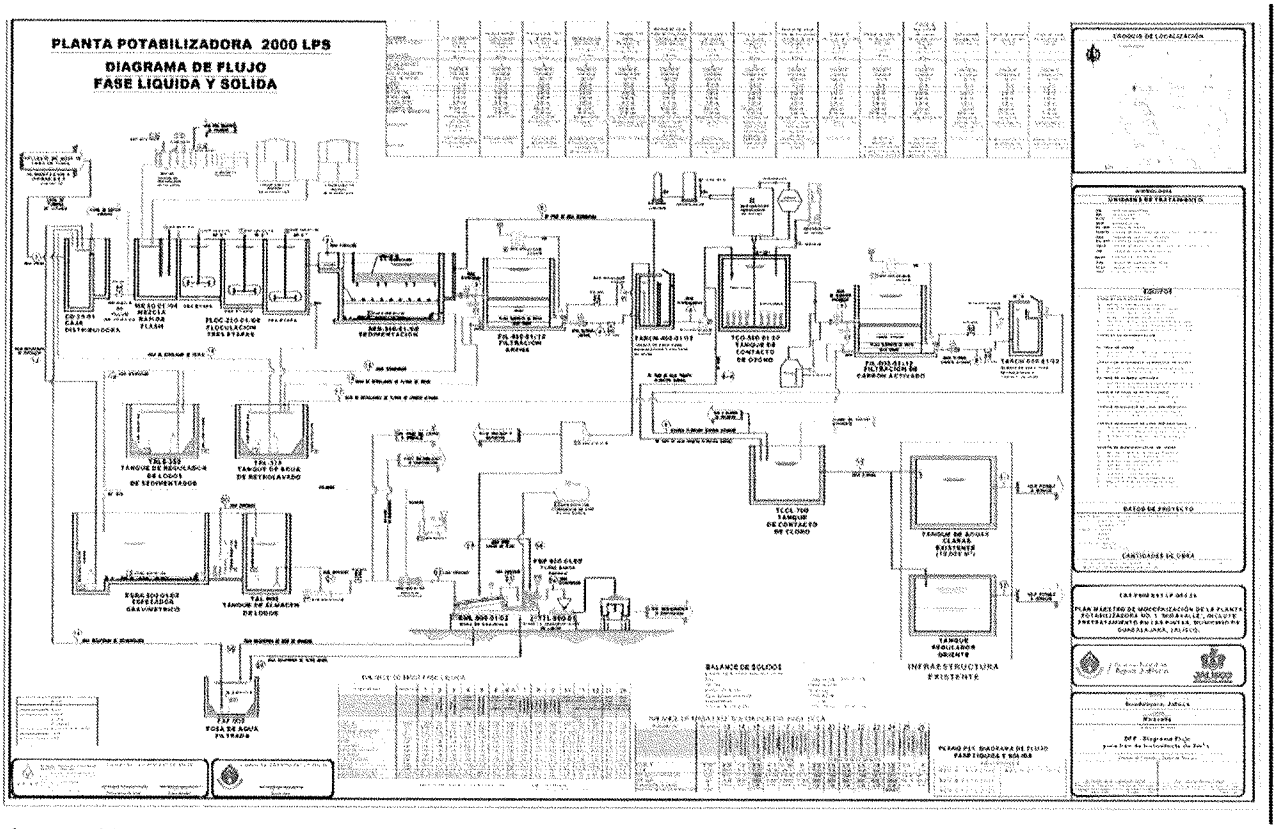


Ilustración 15DIAGRAMA DE FLUJO PP1

Este tren constituye el salto tecnológico que permitirá a Miravalle operar bajo estándares modernos de potabilización.

7. DESCRIPCIÓN INTEGRADA DE LOS SISTEMAS A MODERNIZAR

La modernización de la Planta Potabilizadora No. 1 "Miravalle" no es un proceso de sustitución de equipos, sino la reconstrucción conceptual de una planta que ha operado durante más de seis décadas con una lógica distinta a la que hoy demanda la ingeniería contemporánea. En este capítulo se describe cómo se transforma la planta desde la raíz: la química, la medición, la supervisión operativa y el flujo hidráulico adquieren nuevas dinámicas que antes simplemente no existían.

Hablar de "sistemas" no implica piezas aisladas. Cada subsistema—ajuste de pH, telemetría, dosificación, interconexiones y tren nuevo—funciona como un órgano en un organismo más grande. Si uno no está calibrado, los demás no operarán con eficiencia.

La clave es comprender cómo se relacionan entre sí, cómo influyen en el comportamiento del agua cruda y cómo preparan a la planta para las próximas décadas.

7.1 Sistema de Ajuste de pH (10 m^3/s): la intervención sobre la química del agua cruda

El agua que ingresa a Miravalle, proveniente del Lago de Chapala, del sistema Atequiza y de la PB2 "Las Pintas", presenta un comportamiento químico que ha cambiado sustancialmente en los últimos treinta años. Hoy, la alcalinidad, el pH y la composición iónica reflejan fenómenos de eutrofización, variabilidad pluvial y descargas antrópicas en la cuenca. Esto se traduce en un agua difícil de coagular y con presencia intermitente de manganeso soluble.

El sistema de ajuste de pH se concibe entonces como una intervención directa sobre la química del agua, antes de que entre a cualquier proceso de floculación o sedimentación. No se trata únicamente de "bajar el pH"; se trata de crear las condiciones necesarias para que los coagulantes actúen con su máxima capacidad, garantizando una remoción estable y predecible.

Cuando el pH se corrige a valores entre 6.2 y 6.8, el sulfato de aluminio deja de comportarse como un reactivo parcialmente inhibido y pasa a tener un rendimiento claro: hidrólisis completa, formación de hidróxidos metálicos estables y aglomeración eficiente de partículas coloidales. El resultado no es trivial:

la sedimentación se vuelve más rápida,
la turbiedad residual se reduce,
la remoción de manganeso mejora sustancialmente,
y los filtros posteriores sufren menos fatiga.

No.	CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1.0	1001 00	MEDICIÓN DE FLUJO INFLUENTE A TANQUE DE ENTREGA		
2.0	1001 01	SUMINISTRO DE TRANSMISOR DE FLUJO TECNOLOGÍA POR PRESIÓN DIFERENCIAL, INCLUYE: - TRANSMISOR REMOTO CON GRADO DE PROTECCIÓN IP68, - ELEMENTO PRIMARIO DE ACUERDO A LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MEDIOAMBIENTALES PRESENTES CON GRADO DE PROTECCIÓN IP68, - MATERIALES HÚMEDOS 316L ALLOY C, - VOLTAJE DE OPERACIÓN MULTIVOLTAJE,117VCA/24VCD, - CONEXIÓN A ELÉCTRICA ROSCA NPT ½", - COMUNICACIÓN WIRELESSHART, 4-20 MA, - DISPLAY LCD,	LOTE	1.00

		- PEDESTALES, HERRAJES, Y PLACAS DE IDENTIFICACIÓN EN TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN, - CERTIFICADOS DE FABRICACIÓN, - CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN.		
3.0	1001 02	INSTALACIÓN DE TRANSMISOR DE FLUJO, TECNOLOGÍA POR PRESIÓN DIFERENCIAL, SE DEBERÁ GARANTIZAR EN SU TOTALIDAD LA CORRECTA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DEL TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN BAJO EL PRINCIPIO ADECUADO CUMPLIENDO CON NORMATIVAS INTERNAS, ASÍ COMO LAS DESCRITAS EN ANSI-ISA, NOM-001-SEDE Y MANUALES DEL FABRICANTE.	LOTE	1.00
4.0	1001 03	CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE TRANSMISOR DE FLUJO DE TECNOLOGÍA POR PRESIÓN DIFERENCIAL, SE DEBERÁ CONSIDERAR Y GARANTIZAR QUE LA CONFIGURACIÓN FUE REALIZADA EN BASE A LAS CONDICIONES ACTUALES DE LA INSTALACIÓN Y PUNTO DE MEDICIÓN DESCRITOS EN EL PROYECTO RESPETANDO UNIDADES DE INGENIERÍA, SIMULACIONES, CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES Y DEL HÍDRICO, PRESIONES Y TEMPERATURAS.	LOTE	1.00
5.0	1002 00	MEDICIÓN DE pH INFLUENTE TANQUE DE ENTREGA		
6.0	1002 01	SUMINISTRO DE ANALIZADOR DE PH, RANGO DE MEDICIÓN 0-11, INCLUYE: - SENSOR DE TEMPERATURA PT-100, - TRANSMISOR REMOTO PARA DOS CANALES CON GRADO DE PROTECCIÓN IP68, - ACCESORIO PARA PORTA ELECTRODO INMERSIÓN POR NIVEL PARA MONTAJE EN BARANDAL, - VOLTAJE DE OPERACIÓN MULTIVOLTAJE,117VCA/24VCD, - CONEXIÓN A ELÉCTRICA ROSCA NPT ½", - COMUNICACIÓN WIRELESSHART, 4-20 MA, - DISPLAY LCD, - PEDESTALES, HERRAJES, Y PLACAS DE IDENTIFICACIÓN EN TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN - CERTIFICADOS DE FABRICACIÓN Y CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN.	LOTE	1.00
7.0	1002 02	INSTALACIÓN DE ANALIZADOR DE PH, RANGO DE MEDICIÓN 0-11, SE DEBERÁ GARANTIZAR EN SU TOTALIDAD LA CORRECTA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DEL TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN BAJO EL PRINCIPIO ADECUADO CUMPLIENDO CON NORMATIVAS INTERNAS, ASÍ COMO LAS DESCRITAS EN ANSI-ISA, NOM-001-SEDE Y MANUALES DEL FABRICANTE.	LOTE	1.00
8.0	1002 03	CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE ANALIZADOR DE PH, RANGO DE MEDICIÓN 0-11, SE DEBERÁ CONSIDERAR Y GARANTIZAR QUE LA CONFIGURACIÓN FUE REALIZADA EN BASE A LAS CONDICIONES ACTUALES DE LA INSTALACIÓN Y PUNTO DE MEDICIÓN DESCRITOS EN EL PROYECTO RESPETANDO UNIDADES DE INGENIERÍA, SIMULACIONES, CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES Y DEL HÍDRICO, PRESIONES Y TEMPERATURAS.	LOTE	1.00
9.0	1003 00	MEDICIÓN DE NIVEL TANQUE DE ENTREGA		
10.0	1003 01	SUMINISTRO DE SENSOR DE NIVEL ULTRASÓNICO CON RANGO DE 0-8M, INCLUYE: - TRANSMISOR REMOTO CON GRADO DE PROTECCIÓN IP68, - ACCESORIO PARA MONTAJE DEL SENSOR EN TANQUE, - VOLTAJE DE OPERACIÓN MULTIVOLTAJE,117VCA/24VCD, - CONEXIÓN A ELÉCTRICA ROSCA NPT ½", - COMUNICACIÓN WIRELESSHART, 4-20 MA, - DISPLAY LCD, - PEDESTALES, HERRAJES, Y PLACAS DE IDENTIFICACIÓN EN TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN, - CERTIFICADOS DE FABRICACIÓN Y CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN.	LOTE	1.00
11.0	1003 02	INSTALACIÓN DE SENSOR DE NIVEL ULTRASÓNICO CON RANGO DE 0-8M, SE DEBERÁ GARANTIZAR EN SU TOTALIDAD LA CORRECTA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DEL TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN BAJO EL PRINCIPIO ADECUADO CUMPLIENDO CON NORMATIVAS INTERNAS, ASÍ COMO LAS DESCRITAS EN ANSI-ISA, NOM-001-SEDE Y MANUALES DEL FABRICANTE.	LOTE	1.00
12.0	1003 03	CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE SENSOR DE NIVEL ULTRASÓNICO CON RANGO DE 0-8M, INCLUYE: - CONFIGURACIÓN DE TRANSMISOR REMOTO PARA EL TIPO DE APLICACIÓN, - RANGOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE SALIDA 4-20MA SEGÚN EL RANGO DE MEDICIÓN DEL INSTRUMENTO, - VALIDACIÓN DE CONEXIÓN Y CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL ELEMENTO DE MEDICIÓN,	LOTE	1.00

		- IDENTIFICACIÓN DEL CABLEADO DE CONTROL PARA INTERCOMUNICACIÓN ENTRE ELEMENTO DE MEDICIÓN Y TRANSMISOR, - IDENTIFICACIÓN, ETIQUETADO Y VALIDACIÓN DE LA CONEXIÓN CORRECTA DEL VOLTAJE DE OPERACIÓN MULTIVOLTAJE,117VCA/24VCD, - VALIDACIÓN DE LA INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE COMUNICACIÓN WIRELESSHART, 4-20 MA, - VALIDACIÓN DEL DESPLIEGUE DE VALORES REQUERIDOS EN DISPLAY LCD, - VALIDACIÓN DE LA INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE LOS PLANOS DE TALLER, - ENTREGA DE HOJAS DE CONFIGURACIÓN, - ENTREGA DE HOJAS DE ESCALAMIENTOS CON EQUIPO CERTIFICADO Y DESPLIEGUE DE LOS VALORES MULTIVARIABLE EN HMI (DEBERÁN DEJARSE HABILITADOS EN LA CONFIGURACIÓN).		
13.0	1004 00	MEDICIÓN DE pH EFLUENTE TANQUE DE ENTREGA		
14.0	1004 01	SUMINISTRO DE ANALIZADOR DE PH, CON RANGO DE MEDICIÓN 0-11, INCLUYE: - SENSOR DE TEMPERATURA PT-100, - TRANSMISOR REMOTO PARA DOS CANALES CON GRADO DE PROTECCIÓN IP68, - ACCESORIO PARA PORTA ELECTRODO INMERSIÓN POR NIVEL PARA MONTAJE EN BARANDAL, - VOLTAJE DE OPERACIÓN MULTIVOLTAJE, 117VCA/24VCD, - CONEXIÓN A ELÉCTRICA ROSCA NPT ½", - COMUNICACIÓN WIRELESSHART, 4-20 MA, - DISPLAY LCD, - PEDESTALES, HERRAJES, Y PLACAS DE IDENTIFICACIÓN EN TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN, - CERTIFICADOS DE FABRICACIÓN Y CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN.	LOTE	1.00
15.0	1004 02	INSTALACIÓN DE ANALIZADOR DE PH, CON RANGO DE MEDICIÓN 0-11, SE DEBERÁ GARANTIZAR EN SU TOTALIDAD LA CORRECTA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DEL TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN BAJO EL PRINCIPIO ADECUADO CUMPLIENDO CON NORMATIVAS INTERNAS, ASÍ COMO LAS DESCRITAS EN ANSI-ISA, NOM-001-SEDE Y MANUALES DEL FABRICANTE.	LOTE	1.00
16.0	1004 03	CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA ANALIZADOR DE PH, CON RANGO DE MEDICIÓN 0-11, INCLUYE: - CONFIGURACIÓN DE TRANSMISOR REMOTO PARA EL TIPO DE APLICACIÓN, - RANGOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE SALIDA 4-20MA SEGÚN EL RANGO DE MEDICIÓN DEL INSTRUMENTO, - VALIDACIÓN DE CONEXIÓN Y CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL ELEMENTO DE MEDICIÓN, - IDENTIFICACIÓN DEL CABLEADO DE CONTROL PARA INTERCOMUNICACIÓN ENTRE ELEMENTO DE MEDICIÓN Y TRANSMISOR, - IDENTIFICACIÓN, ETIQUETADO Y VALIDACIÓN DE LA CONEXIÓN CORRECTA DEL VOLTAJE DE OPERACIÓN MULTIVOLTAJE,117VCA/24VCD, - VALIDACIÓN DE LA INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE COMUNICACIÓN WIRELESSHART, 4-20 MA, - VALIDACIÓN DEL DESPLIEGUE DE VALORES REQUERIDOS EN DISPLAY LCD, - VALIDACIÓN DE LA INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE LOS PLANOS DE TALLER, - ENTREGA DE HOJAS DE CONFIGURACIÓN, - ENTREGA DE HOJAS DE ESCALAMIENTOS CON EQUIPO CERTIFICADO Y DESPLIEGUE DE LOS VALORES MULTIVARIABLE EN HMI (DEBERÁN DEJARSE HABILITADOS EN LA CONFIGURACIÓN).	LOTE	1.00
17.0	1005 00	MEDICIÓN DE FLUJO EFLUENTE DE TANQUE DE ENTREGA		
18.0	1005 01	INGENIERÍA PARA DISEÑO DE MEDICIÓN DE FLUJO EFLUENTE DEL TANQUE DE ENTREGA INCLUYE: – ESTUDIOS Y VIABILIDAD. – OBRA CIVIL Y PUNTOS DE ANCLAJES PARA MANTENIMIENTOS. – ADECUACIONES EN TUBERÍA PARA INSTALACIÓN DE INSTRUMENTO DE MEDICIÓN.	LOTE	1.00
19.0	1005 02	SUMINISTRO DE TRANSMISOR DE FLUJO, EN TUBERÍA DE EFLUENTE CON TECNOLOGÍA ADECUADA PARA LA APLICACIÓN, INCLUYE: – TRANSMISOR REMOTO CON GRADO DE PROTECCIÓN IP68. – ELEMENTO PRIMARIO DE ACUERDO A LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MEDIOAMBIENTALES PRESENTES CON GRADO DE PROTECCIÓN IP68. – MATERIALES HÚMEDOS 316L ALLOY C. – VOLTAJE DE OPERACIÓN MULTIVOLTAJE, 117VCA/24VCD. – CONEXIÓN A ELÉCTRICA ROSCA NPT ½".	LOTE	1.00

		– COMUNICACIÓN WIRELESSHART, 4-20 MA. – DISPLAY LCD. – PEDESTALES. – HERRAJES. – PLACAS DE IDENTIFICACIÓN EN TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN. – CERTIFICADOS DE FABRICACIÓN. – CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN.		
20.0	1005 03	INSTALACIÓN DE TRANSMISOR DE FLUJO, EN TUBERÍA DE EFLUENTE CON TECNOLOGÍA ADECUADA PARA LA APLICACIÓN, SE DEBERÁ GARANTIZAR EN SU TOTALIDAD LA CORRECTA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DEL TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN BAJO EL PRINCIPIO ADECUADO CUMPLIENDO CON NORMATIVAS INTERNAS, ASÍ COMO LAS DESCRITAS EN ANSI-ISA, NOM-001-SEDE Y MANUALES DEL FABRICANTE.	LOTE	1.00
21.0	1005 04	CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE TRANSMISOR DE FLUJO, EN TUBERÍA DE EFLUENTE CON TECNOLOGÍA ADECUADA PARA LA APLICACIÓN, INCLUYE: – CONFIGURACIÓN DE TRANSMISOR REMOTO PARA EL TIPO DE APLICACIÓN. – RANGOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE SALIDA 4-20MA SEGÚN EL RANGO DE MEDICIÓN DEL INSTRUMENTO. – VALIDACIÓN DE CONEXIÓN Y CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL ELEMENTO DE MEDICIÓN. – IDENTIFICACIÓN DEL CABLEADO DE CONTROL PARA INTERCOMUNICACIÓN ENTRE ELEMENTO DE MEDICIÓN Y TRANSMISOR. – IDENTIFICACIÓN, ETIQUETADO Y VALIDACIÓN DE LA CONEXIÓN CORRECTA DEL VOLTAJE DE OPERACIÓN MULTIVOLTAJE, 117VCA/24VCD. – VALIDACIÓN DE LA INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE COMUNICACIÓN WIRELESSHART, 4-20 MA. – VALIDACIÓN DEL DESPLIEGUE DE VALORES REQUERIDOS EN DISPLAY LCD. – VALIDACIÓN DE LA INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE LOS PLANOS DE TALLER. – ENTREGA DE HOJAS DE CONFIGURACIÓN. – ENTREGA DE HOJAS DE ESCALAMIENTOS CON EQUIPO CERTIFICADO. – DESPLIEGUE DE LOS VALORES MULTIVARIABLE EN HMI (DEBERÁN DEJARSE HABILITADOS EN LA CONFIGURACIÓN).	LOTE	1.00
22.0	1006.00	SKID DE BOMBEO TRASVASE TANQUE ALMACENAMIENTO ACIDO SULFURICO		
23.0	1006 01	SUMINISTRO DE SKID DE BOMBEO PARA TRASVASE DE PIPAS A TANQUES DE ALMACENAMIENTO, INCLUYE: – 2 BOMBAS NEUMÁTICAS PARA BOMBEO DE 400 L/MIN @ 15 MCA CADA BOMBA. – JUEGO DE VÁLVULAS PARA SECCIONAMIENTO. – ACCESORIO PARA MONTAJE. – ADAPTADOR PARA CONEXIÓN DE PIPA. – LÍNEA NEUMÁTICA PARA OPERACIÓN DE BOMBA. – PEDESTALES. – HERRAJES. – PLACAS DE IDENTIFICACIÓN. – CERTIFICADOS DE FABRICACIÓN. – CURVAS DE OPERACIÓN. – RANGOS DE OPERACIÓN.	LOTE	1.00
24.0	1006 02	INSTALACIÓN DE SKID DE BOMBEO PARA TRASVASE DE PIPAS A TANQUES DE ALMACENAMIENTO, SE DEBERÁ GARANTIZAR EN SU TOTALIDAD LA CORRECTA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DEL TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN BAJO EL PRINCIPIO ADECUADO CUMPLIENDO CON NORMATIVAS INTERNAS, ASÍ COMO LAS DESCRITAS EN ANSI-ISA, NOM-001-SEDE Y MANUALES DEL FABRICANTE.	LOTE	1.00
25.0	1006 03	CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE SKID DE BOMBEO PARA TRASVASE DE PIPAS A TANQUES DE ALMACENAMIENTO, SE DEBERÁ GARANTIZAR LA INTEGRACIÓN AL SISTEMA DE CONTROL PARA OPERACIÓN DE LAS BOMBAS MEDIANTE BOTONERA REMOTA ACCIONAMIENTO MANUAL Y/O AUTOMÁTICO, SEGÚN LÓGICA DE OPERACIÓN.	LOTE	1.00

Desde el punto de vista de diseño, el sistema implica comprender cómo una variación de tan solo 0.3 unidades de pH puede modificar, en varios órdenes de magnitud, la eficiencia del proceso. De ahí que los tanques de almacenamiento, la dilución controlada del ácido, las bombas dosificadoras modulantes y la instrumentación redundante no sean equipamiento accesorio, sino la infraestructura que permite crear un ambiente

químico propicio para que Miravalle deje de "luchar contra la calidad del agua" y comience a dominarla.

Además, el sistema de pH deja de ser un procedimiento manual, como históricamente se ejecutaba, para convertirse en un proceso reactivo-inteligente que se ajusta en función del caudal real, de las variaciones en turbiedad y de los cambios en alcalinidad. Esto exige una interacción estrecha con el sistema de telemetría (sección 7.2), porque un sistema que no conoce el caudal que está tratando, simplemente no puede dosificar correctamente.

Bombas de dosificación de ácido sulfúrico

La inyección es realizada mediante las bombas dosificadoras de ácido sulfúrico (según su selección y el tren que este operando). Su esquema operativo será 2+1 (dos operaciones y una en relevo).

Tren	TAG de Tanque de Almacenamiento	TAG de bomba dosificadora
Tren 1	TD-01 A	BD-3011
		BD-3012
		BD-3013
Tren 2	TD-02 A	BD-3021
		BD-3022
		BD-3023
Tren 3	TD-03 A	BD-3031
		BD-3032
		BD-3033
Tren 4	TD-04 A	BD-3041
		BD-3042
		BD-3043

Ilustración 16 FILOSOFIA DE OPERACION pH

En síntesis, el sistema de pH es la "preparación del escenario"; lo que ocurra después depende directamente de la calidad de esta primera intervención.

7.2 Sistema de Telemetría y Medición de Caudales: de la planta tradicional a la planta inteligente

Si el sistema de ajuste de pH representa la intervención química, la telemetría representa la intervención cognitiva: la planta empieza a "saber lo que hace".

La PP1 ha operado históricamente con un nivel de incertidumbre significativo en cuanto al volumen real que ingresa y el volumen que entrega. Esto no es un asunto menor: cualquier diseño de dosificación, cualquier juicio sobre mezcla rápida, cualquier cálculo de retención hidráulica, y cualquier decisión sobre distribución de caudales en módulos se basa en un solo dato: el caudal.

Cuando el caudal es incierto, todo el proceso lo es.
Cuando el caudal se conoce con precisión, todo el proceso se estabiliza.

La integración de telemetría moderna no se limita a "leer datos". Cambia la forma en que la planta se opera. Donde antes se tenía una "planta que se mira", ahora se tendrá una "planta que se interpreta". La diferencia es crítica:

antes se observaba una turbiedad alta y se ajustaba químico a ojo,
ahora se correlacionarán turbiedad + caudal + pH + absorción UV + demanda química con curvas preestablecidas.

La telemetría convierte la experiencia del operador en un sistema experto, un conjunto de reglas parametrizadas que aprenden del comportamiento de la planta y permiten regular procesos de manera dinámica.

Además, el registro histórico ofrece un insumo que Miravalle nunca ha tenido: información longitudinal, indispensable para evaluar tendencias, patrones de comportamiento estacionales, efectos de la lluvia, y ciclos de arribo del agua del acueducto.

El sistema de telemetría, así, no es un accesorio; es el mecanismo que convierte a la planta en una infraestructura capaz de tomar decisiones, corregirse y anticipar problemas.

7.3 Sistema de Control y Dosificación de Productos Químicos: el corazón reactivo del proceso

El sistema de dosificación química representa la capacidad de la planta para modificar la materia: coagular, flocular, precipitar y generar condiciones de separación sólido–líquido estables. La modernización busca eliminar la dependencia del operador como "único regulador", sustituyendo el criterio subjetivo por un sistema que responde a mediciones reales.

Desde una perspectiva de ingeniería de procesos, la dosificación debe entenderse como una ecuación dinámica donde intervienen:

el caudal real,
la calidad del agua cruda,
el pH ajustado,
la alcalinidad,
la distribución granulométrica,
y la carga orgánica natural.

Cada una de estas variables modifica la curva de dosis óptima. Por ello, el sistema se diseña para que la dosificación esté directamente vinculada a los valores que entrega la telemetría, evitando la sobredosificación histórica de Miravalle, que provocaba aumentos innecesarios en producción de lodos y costos operativos.

La modernización implica que los tanques de preparación, las bombas dosificadoras, los mezcladores y los variadores de frecuencia dejen de ser mecanismos aislados para convertirse en un sistema autónomo, donde la planta "entiende" cuántos mg/L necesita para cada condición del agua.

Coagulante y floculante utilizado durante las pruebas: Los reactivos para las pruebas se solicitaron al Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA), sus características fueron las siguientes:

Propiedades	Coagulante	Floculante
Nombre	Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$	Polímero
Concentración	36.24 % como base seca	100 % (2 mg/L preparado en laboratorio para prueba de jarras)
Densidad	1.28 g/cm³	1.08 g/cm³ @ 2 mg/L

Condiciones fijas de operación para prueba de jarras: Las condiciones de operación que a continuación se describen fueron utilizadas para todas las pruebas.

Condiciones	Coagulación	Floculación	Sedimentación
Tiempo (min)	0.7	20 min	10 min
RPM	300	40 s-1 durante 6.66 minutos 30 s-1 durante 6.66 minutos 20 s-1 durante 6.66 minutos	

Volumen de la muestra en prueba de jarras: Se utilizaron jarras de 0.7 L de volumen para todas las pruebas.

Ilustración 17 TABLA DE REACTIVOS

El beneficio real no es solo químico, sino operativo:

con dosificación optimizada, los sedimentadores reciben una carga más uniforme,
los filtros profundos retienen menos sólidos y requieren menos retrolavados,
el ozono opera de forma más eficiente porque la carga orgánica residual es menor,
y el carbón activado alcanza mayor vida útil.

Es decir: un buen sistema de dosificación mejora todos los procesos posteriores.

7.4 El Tren Nuevo de Potabilización de 2.0 m^3/s: la nueva columna vertebral de la planta

El tren nuevo debe entenderse como una infraestructura que no sustituye a la planta existente, sino que la expande y la estabiliza. Su diseño no replica los módulos antiguos: incorpora tecnologías que responden a los desafíos actuales del agua en la cuenca de Chapala—especialmente la presencia de compuestos orgánicos, color, olores y variabilidad de turbiedad.

Un proceso concebido como una cadena de eficiencias

Cada unidad del tren nuevo tiene un rol táctico:

La mezcla rápida genera una dispersión homogénea para que la química trabaje en todo el volumen.
La floculación establece gradientes controlados, evitando cizalla excesiva.
La sedimentación moderna permite mayor claridad en tiempos más cortos.
Los filtros de arena funcionan como barreras profundas y no solo superficiales.
El ozono abate compuestos orgánicos complejos, oxidando material que antes llegaba intacto a la distribución.
El carbón activado captura compuestos que influyen en sabor, olor y subproductos de desinfección.

El tren nuevo no solo aumenta capacidad: eleva la calidad del agua tratada más allá de lo que el proceso histórico de Miravalle podía lograr.

Es la primera vez que la PP1 contará con ozonización y doble filtración como parte integral del proceso, lo cual representa una transformación radical en la calidad final del agua.

8. INTEGRACIÓN HIDRÁULICA PB2 →

La relación hidráulica entre la Planta de Bombeo No. 2 “Las Pintas” (PB2) y la Planta Potabilizadora No. 1 “Miravalle” es el eje histórico y funcional del sistema de abastecimiento. Aunque los TDR no incluyen físicamente el plano P-06, sí contienen información suficiente para reconstruir conceptualmente el comportamiento del corredor hidráulico que alimenta la planta. Este capítulo desarrolla esa integración desde los principios de ingeniería hidráulica moderna aplicados a un sistema que fue diseñado en condiciones completamente distintas a las actuales.

8.1 El corredor hidráulico como un sistema vivo

El flujo que llega a PP1 desde PB2 no es un valor estático, sino un organismo dinámico que responde a múltiples factores:

niveles de la presa Las Pintas,
impulsión variable de PB2,
operación del acueducto Chapala–Guadalajara,
aportaciones pluviales,
condiciones de sedimentación en canales,
pérdidas de carga por rugosidad interna acumulada durante décadas.

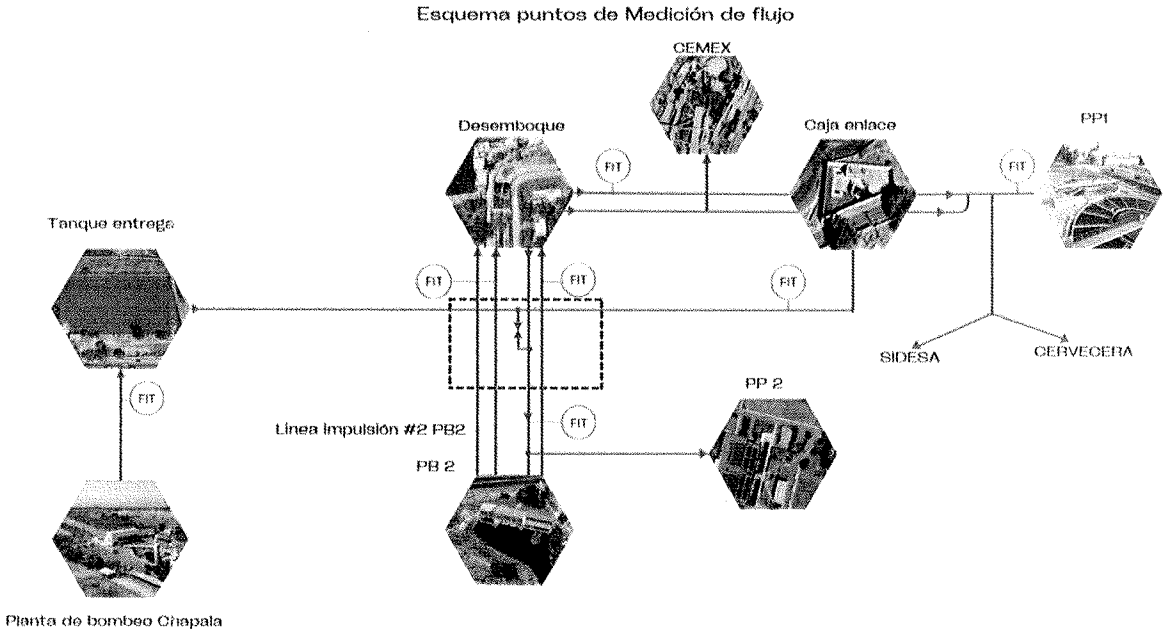


Ilustración 18 ESQUEMA DE PUNTOS DE MEDICION

Este comportamiento variable implica que el agua arriba a Miravalle con oscilaciones tanto de caudal como de energía hidráulica. Durante muchos años, la planta operó bajo la premisa de "lo que llega, se trata", sin capacidad real para modular o redirigir flujos. El Plan Maestro cambia esta lógica: ahora Miravalle debe ser capaz de gobernar el agua que recibe, no solo de aceptarla.

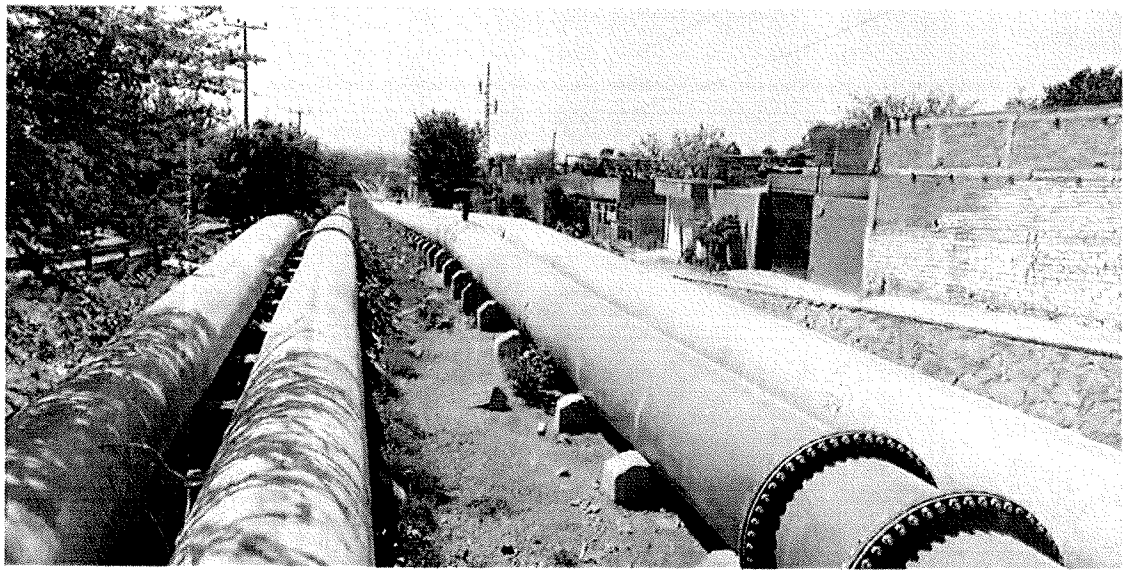


Ilustración 19 LINEAS DE IMPULSION

8.2 La energía hidráulica y la estabilidad del proceso

La interacción PB2–PP1 afecta directamente la estabilidad de los procesos de tratamiento. Por ejemplo:

Si PB2 incrementa momentáneamente el caudal de entrega, la turbidez puede llegar más rápida e intensamente a los sedimentadores.
Si el nivel de agua en los canales de llegada oscila, el tiempo de retención hidráulica se altera.
Si el acueducto Chapala entra en régimen de variación por operación del tanque Cerro del Cuatro, el pH y la alcalinidad cambian abruptamente.

Estos efectos deben amortiguarse con infraestructura que pueda absorber estas variaciones sin comprometer el proceso químico o hidráulico. Las líneas de interconexión y el tren nuevo actúan precisamente como cámaras reguladoras distribuidas, donde la hidráulica se estabiliza antes de entrar a procesos sensibles como la floculación y filtración.

8.3 Importancia del caudal real para el control hidráulico

Sin medición precisa de caudal en el influente, cualquier intento de gestionar la integración PB2–PP1 es insuficiente. De hecho, la ausencia histórica de telemetría ha provocado que los operadores "interpreten" el comportamiento del agua basándose en señales indirectas, como:

cambios en niveles,
alarmas por desbordamiento,
comportamiento de sedimentadores,
respuestas tardías en filtros y turbiedad.

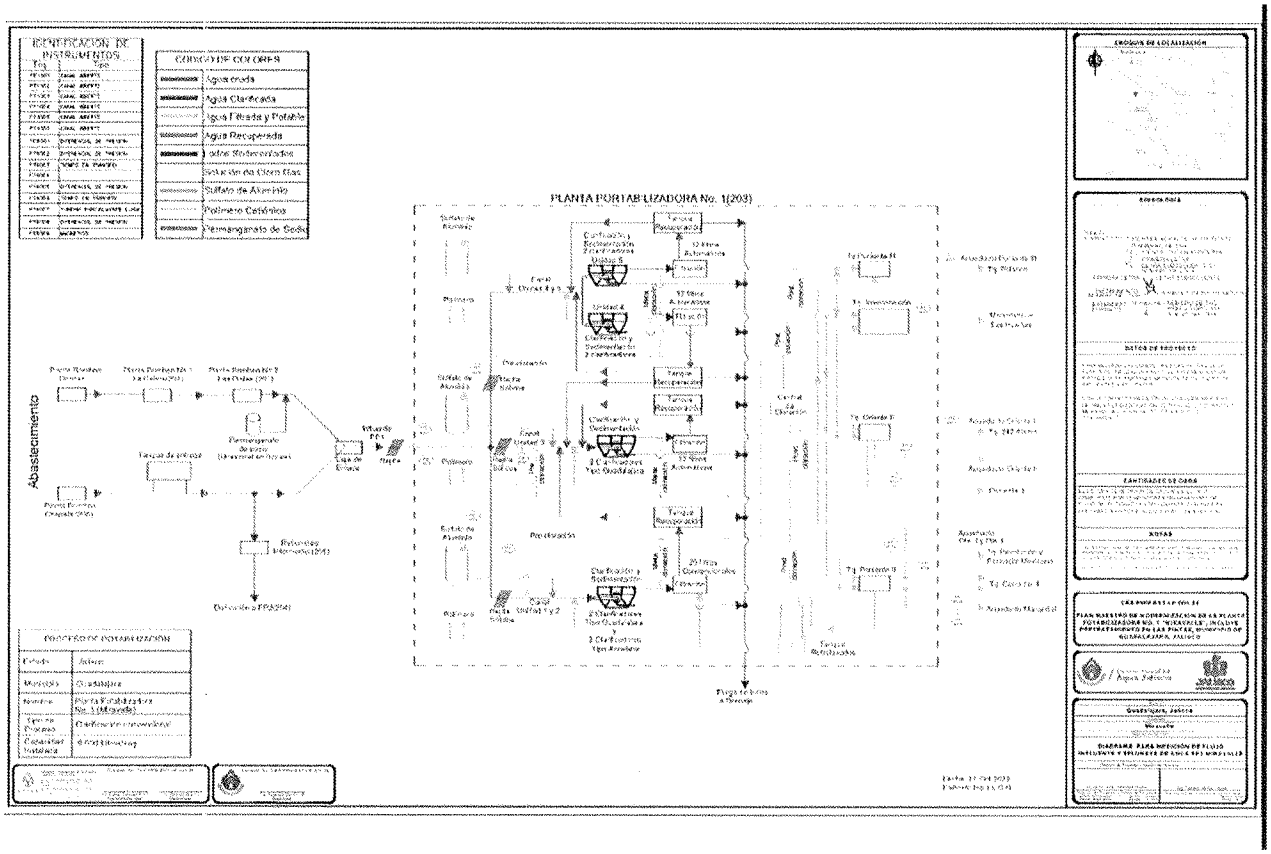


Ilustración 20 DIAGRAMA DE FLUJO TELEMETRIA

El nuevo sistema de medición permitirá construir un modelo hidráulico operativo en tiempo real, donde cada variación de PB2 será registrada y compensada mediante ajustes en:

dosificación química,
apertura de válvulas,
distribución del caudal al tren nuevo o a los módulos existentes.

La integración pasa entonces de ser reactiva a ser predictiva.

No.	CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1.0	1001 00	FITR-01 PARA MEDICION DE FLUJO EN CANAL DE INFLUENTE DERECHO		
2.0	1001 01	1.0.1 SUMINISTRO DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA CANAL ABIERTO EL CUAL DEBE CONTENER:MEDIDOR ULTRASÓNICO DE FLUJO DE ALTA PRECISIÓN INTEGRADO POR UN CONTROLADOR DE NIVEL ULTRASÓNICO, UN TRANSDUCTOR ULTRASONIDO Y UN SENSOR DE TEMPERATURA EXTERNO. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO SERÁ PARA MEDICIÓN CONTINUA Y SIN CONTACTO DE FLUJO EN CANAL ABIERTO, EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ MEDIR EL FLUJO VOLUMÉTRICO BASÁNDOSE EN LA ALTURA DEL LÍQUIDO EN EL ELEMENTO PRIMARIO DE MEDICIÓN. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ SER COMPATIBLE CON UNA AMPLIA GAMA DE DISPOSITIVOS PRIMARIOS DE MEDICIÓN ESTÁNDAR, ASÍ COMO VARIOS TIPOS DE CANALES Y VERTEDEROS, ADEMÁS DE DISPOSITIVOS EXPONENCIALES COMO EL CANAL PARSHALL. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ SER SUMINISTRADO CON UN TRANSDUCTOR DE NIVEL TIPO ULTRASÓNICO DE CUERPO DE COPOLÍMERO PVDF Y SUPERFICIE EMISORA DE CAUCHO CSM INSENSIBLE A PRODUCTOS QUÍMICOS HABITUALMENTE PRESENTES EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, DEBERÁ TENER UN RANGO DE NIVEL DE HASTA 8 M Y PROTECCIÓN IP68, CONEXIÓN A PROCESO DE 1" NTP Y CABLE DE CUANDO MENOS 10 METROS DE LARGO, CUMPLIMIENTO CON FM CLASE I, ZONA 1, AEX M IIC, T6. PARA GARANTIZAR LA PRECISIÓN DE LA MEDICIÓN, EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ COMPENSAR LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA, ENTRE LA CARA DEL TRANSDUCTOR Y LA ALTURA MÁXIMA ESPERADA DEL LÍQUIDO EN EL ELEMENTO PRIMARIO, A TRAVÉS DE UN SENSOR DE TEMPERATURA EXTERNO, ESTE SENSOR DE TEMPERATURA EXTERNO DEBERÁ SER DE MEDICIÓN CONTINUA DE NO CONTACTO, CON CONEXIÓN A PROCESO DE 3/4" NPT, Y CABLE DE 10M DE LARGO. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ CONTAR CON PANTALLA Y BOTONERA LOCAL, ALIMENTADO EN UN RANGO DE 12 A 30 V DC, 4 ENTRADAS DE CABLES, 4 GLÁNDULAS DE PLÁSTICO M20, SEÑAL DE SALIDA DE 4 A 20 MA + HART, Y 3 SALIDAS DE RELEVADOR, CUMPLIMIENTO CON CSA CLASS I, DIV. 2, GROUP A, B, C AND D. DEBERÁ TENER UNA PRECISIÓN DE 0.1 % DEL RANGO MÁXIMO MEDIDO Y UNA RESOLUCIÓN DE 0.025% DEL RANGO MÁXIMO, PODRÁ SER INSTALADO EN INTERIORES O EXTERIORES TENIENDO UNA PROTECCIÓN IP65/TIPO 4X, TEMPERATURA AMBIENTE ENTRE -20 ... +50 °C. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA SEGÚN IEC/EN 61326-1, EN 55011 (CLASE A). PROGRAMA Y PARÁMETROS ALMACENADOS EN UNA MEMORIA FLASH NO VOLÁTIL. ADEMÁS, DEBERÁ CONTAR CON UNA TARJETA MICROSD INSTALADA PARA EL REGISTRO DE DATOS, LA TRAZABILIDAD (AUDIT TRAIL), LA GESTIÓN DE CONFIGURACIONES (COPIA DE SEGURIDAD, RESTAURACIÓN, COPIA ENTRE DISPOSITIVOS) Y LAS ACTUALIZACIONES DE SOFTWARE (FIRMWARE) DEL MISMO MEDIDOR ULTRASÓNICO.	LOTE	1.00
3.0	1001 02	1.1.1 INSTALACIÓN DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA CANA ABIERTO EL CUAL DEBE CONTENER: 1.1.1.1-ELECTRONICA REMOTA CON GRADO DE PROTECCIÓN IP68. 1.1.1.2 ELEMETO PRIMARIO DE MEDICIÓN DE ACUERDO A LAS CARACTERISTICS FISICAS Y MEDIOAMBIENTALES PRESENTES CON GRADO DE PROTECCIÓN IP68. 1.1.1.3 CABLEADO DE CONTROL PARA INTERCOMUNICACIÓN ENTRE ELEMENTO DE MEDICIÓN Y TRANSMISOR 1.1.1.4 IDENTIFICACIÓN Y CONEXIÓN CORRECTA DEL VOLTAJE DE OPERACIÓN MULTIVOLTAJE,117VCA/24VCD. 1.1.1.5 INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE COMUNICACIÓN WIRELES-HART, 4-20 MA. 1.1.1.6 VALIDCIÓN DEL ENCENDIDO DEL DISPLAY LCD. 1.1.1.7 ANCLAJES, PINTURA, PLACAS BASE, TORNILLERÍA, GLANDULAS IP68, PARA INSTALACIÓN DE PEDESTALES, HERRAJES, SOPORTERÍA EN PERFILES RESISTENTES A LA CORROSIÓN, IMPACTOS MECANICOS, ESFUERZOS, DEFLEXIONES, POSIBLES SINIESTROS Y PLACAS DE IDENTIFICACIÓN EN TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN. 1.1.1.8 ENTREGA DE PLANOS QUE INDIQUE LOCALIZACIÓN DE EQUIPOS VISTA PLANTA. 1.1.1.9	LOTE	1.00

		ENTREGA DE MANUALES, CERTIFICADOS DE FABRICACIÓN Y CALIBRACIÓN EN FORMATO IMPRESO/ DIGITAL.		
4.0	1001 03	1.2.1 CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA CANAL ABIERTO EL CUAL DEBE CONTENER: 1.2.1.1-CONFIGUARACIÓN DE ELECTRONICA REMOTA BAJO UNIDADES DE INGENIERÍA DESCRITAS EN ALCANCE, MEMORIA TECNICO DESCRIPTIVA Y DTI. 1.2.1.2 VALIDACIÓN DE CONEXIÓN Y CORRECTO FUNCIONAIENTO DEL ELEMETO DE MEDICIÓN DE ACUERDO A LAS CARACTERISTICS FISICAS Y MEDIOAMBIENTALES CON QUE FUERON DESCRITOS EN EL ALCANCE Y RESTO DE DOCUMENTOS DEL PROYECTO. 1.2.1.3 IDENTIFICACIÓN DEL CABLEADO DE CONTROL PARA INTERCOMUNICACIÓN ENTRE ELEMENTO DE MEDICIÓN Y TRANSMISOR 1.2.1.4 IDENTIFICACIÓN, ETIQUETADO Y VALIDACIÓN DE LA CONEXIÓN CORRECTA DEL VOLTAJE DE OPERACIÓN MULTIVOLTAJE,117VCA/24VCD. 1.2.1.4 VALIDACIÓN DE LA INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE COMUNICACIÓN WIRELES-HART, 4-20 MA. 1.2.1.5 VALIDCIÓN DEL DESPLIEGUE DE VALORES REQUERIDOS EN DISPLAY LCD. 1.2.1.6 VALIDACIÓN DE ANCLAJES, PINTURA, PLACAS BASE, TORNILLERÍA, GLANDULAS IP68, PARA INSTALACIÓN DE PEDESTALES, HERRAJES, SOPORTERÍA EN PERFILES RESISTENTES A LA CORROSIÓN, IMPACTOS MECANICOS, ESFUERZOS, DEFLEXIONES, POSIBLES SINIESTROS Y PLACAS DE IDENTIFICACIÓN EN TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN. 1.2.1.7 ENTREGA DE HOJAS DE CONFIGURACIÓN. 1.2.1.8 ENTREGA DE HOJAS DE ESCALAMIENTOS CON EQUIPO CERTIFICADO. 1.2.1.9 DESPLIEGUE DE LOS VALORES MULTIVARIABLE EN HMI (DEBERAN DEJARSE HABILITADOS EN LA CONFIGURACIÓN).	LOTE	1.00
5.0	1002 00	FITR 02 PARA MEDICIÓN DE FLUJO EN CANAL DE INFLUENTE IZQUIERDO		
6.0	1002 01	2.0.1 SUMINISTRO DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA CANAL ABIERTO EL CUAL DEBE CONTENER: MEDIDOR ULTRASÓNICO DE FLUJO DE ALTA PRECISIÓN INTEGRADO POR UN CONTROLADOR DE NIVEL ULTRASÓNICO, UN TRANSDUCTOR ULTRASONIDO Y UN SENSOR DE TEMPERATURA EXTERNO. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO SERÁ PARA MEDICIÓN CONTINUA Y SIN CONTACTO DE FLUJO EN CANAL ABIERTO, EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ MEDIR EL FLUJO VOLUMÉTRICO BASÁNDOSE EN LA ALTURA DEL LÍQUIDO EN EL ELEMENTO PRIMARIO DE MEDICIÓN. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ SER COMPATIBLE CON UNA AMPLIA GAMA DE DISPOSITIVOS PRIMARIOS DE MEDICIÓN ESTÁNDAR, ASÍ COMO VARIOS TIPOS DE CANALES Y VERTEDEROS, ADEMÁS DE DISPOSITIVOS EXPONENCIALES COMO EL CANAL PARSHALL. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ SER SUMINISTRADO CON UN TRANSDUCTOR DE NIVEL TIPO ULTRASÓNICO DE CUERPO DE COPOLÍMERO PVDF Y SUPERFICIE EMISORA DE CAUCHO CSM INSENSIBLE A PRODUCTOS QUÍMICOS HABITUALMENTE PRESENTES EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, DEBERÁ TENER UN RANGO DE NIVEL DE HASTA 8 M Y PROTECCIÓN IP68, CONEXIÓN A PROCESO DE 1" NTP Y CABLE DE CUANDO MENOS 10 METROS DE LARGO, CUMPLIMIENTO CON FM CLASE I, ZONA 1, AEX M IIC, T6. PARA GARANTIZAR LA PRECISIÓN DE LA MEDICIÓN, EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ COMPENSAR LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA, ENTRE LA CARA DEL TRANSDUCTOR Y LA ALTURA MÁXIMA ESPERADA DEL LÍQUIDO EN EL ELEMENTO PRIMARIO, A TRAVÉS DE UN SENSOR DE TEMPERATURA EXTERNO, ESTE SENSOR DE TEMPERATURA EXTERNO DEBERÁ SER DE MEDICIÓN CONTINUA DE NO CONTACTO, CON CONEXIÓN A PROCESO DE 3/4" NPT, Y CABLE DE 10M DE LARGO. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ CONTAR CON PANTALLA Y BOTONERA LOCAL, ALIMENTADO EN UN RANGO DE 12 A 30 V DC, 4 ENTRADAS DE CABLES, 4 GLÁNDULAS DE PLÁSTICO M20, SEÑAL DE SALIDA DE 4 A 20 MA + HART, Y 3 SALIDAS DE RELEVADOR, CUMPLIMIENTO CON CSA CLASS I, DIV. 2, GROUP A, B, C AND D. DEBERÁ TENER UNA PRECISIÓN DE 0.1 % DEL RANGO MÁXIMO MEDIDO Y UNA RESOLUCIÓN DE 0.025% DEL RANGO MÁXIMO, PODRÁ SER INSTALADO EN INTERIORES O EXTERIORES TENIENDO UNA PROTECCIÓN IP65/TIPO 4X, TEMPERATURA AMBIENTE ENTRE -20 ... +50 °C. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA SEGÚN IEC/EN 61326-1, EN 55011 (CLASE A). PROGRAMA Y PARÁMETROS ALMACENADOS EN UNA MEMORIA FLASH NO VOLÁTIL. ADEMÁS, DEBERÁ CONTAR CON UNA TARJETA MICROSD INSTALADA PARA EL REGISTRO DE DATOS, LA TRAZABILIDAD (AUDIT TRAIL), LA GESTIÓN DE CONFIGURACIONES (COPIA DE SEGURIDAD, RESTAURACIÓN, COPIA ENTRE DISPOSITIVOS) Y LAS ACTUALIZACIONES DE SOFTWARE (FIRMWARE) DEL MISMO MEDIDOR ULTRASÓNICO.	LOTE	1.00
7.0	1002 02	2.1.1 INSTALACIÓN DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA ACAL ABIERTO EL CUAL DEBE CONTENER: 2.1.1.1-ELECTRONICA REMOTA CON GRADO DE PROTECCIÓN IP68. 2.1.1.2 ELEMETO PRIMARIO DE ACUERDO A LAS CARACTERISTICS FISICAS	LOTE	1.00

		Y MEDIOAMBIENTALES PRESENTES CON GRADO DE PROTECCIÓN IP68. 2.1.1.3 CABLEADO DE CONTROL PARA INTERCOMUNICACIÓN ENTRE ELEMENTO DE MEDICIÓN Y TRANSMISOR 2.1.1.4 IDENTIFICACIÓN Y CONEXIÓN CORRECTA DEL VOLTAJE DE OPERACIÓN MULTIVOLTAJE,117VCA/24VCD. 2.1.1.5 INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE COMUNICACIÓN WIRELES-HART, 4-20 MA. 2.1.1.6 VALIDCIÓN DEL ENCENDIDO DEL DISPLAY LCD. 2.1.1.7 ANCLAJES, PINTURA, PLACAS BASE, TORNILLERÍA, GLANDULAS IP68, PARA INSTALACIÓN DE PEDESTALES, HERRAJES, SOPORTERÍA EN PERFILES RESISTENTES A LA CORROSIÓN, IMPACTOS MECANICOS, ESFUERZOS, DEFLEXIONES, POSIBLES SINIESTROS Y PLACAS DE IDENTIFICACIÓN EN TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN. 2.1.1.8 ENTREGA DE REPORTES FOTOGRAFICOS, GESTIONES Y ENTREGA FINAL DE LA INSTALACIÓN AL USUARIO FINAL. 2.1.1.9 ENTREGA DE PLANOS QUE INDIQUE LOCALIZACIÓN DE EQUIPOS VISTA PLANTA. 2.1.1.10 ENTREGA DE MANUALES, CERTIFICADOS DE FABRICACIÓN Y CALIBRACIÓN EN FORMATO IMPRESO Y DIGITAL.		
8.0	1002 03	2.2.1 CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE TRANSMISOR DE FLUJOPARA CANAL ABIERTO EL CUAL DEBE CONTENER: 2.2.1.1-CONFIGUARACIÓN DE ELECTRONICA REMOTA BAJO UNIDADES DE INGENIERÍA DESCRITAS EN ALCANCE, MEMORIA TECNICO DESCRIPTIVA Y DTI. 2.2.1.2 VALIDACIÓN DE CONEXIÓN Y CORRECTO FUNCIONAIENTO DEL ELEMETO DE MEDICIÓN DE ACUERDO A LAS CARACTERISTICS FISICAS Y MEDIOAMBIENTALES CON QUE FUERON DESCRITOS EN EL ALCANCE Y RESTO DE DOCUMENTOS DEL PROYECTO. 2.2.1.3 IDENTIFICACIÓN DEL CABLEADO DE CONTROL PARA INTERCOMUNICACIÓN ENTRE ELEMENTO DE MEDICIÓN Y TRANSMISOR 2.2.1.4 IDENTIFICACIÓN, ETIQUETADO Y VALIDACIÓN DE LA CONEXIÓN CORRECTA DEL VOLTAJE DE OPERACIÓN MULTIVOLTAJE,117VCA/24VCD. 2.2.1.4 VALIDACIÓN DE LA INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE COMUNICACIÓN WIRELES-HART, 4-20 MA. 2.2.1.5 VALIDCIÓN DEL DESPLIEGUE DE VALORES REQUERIDOS EN DISPLAY LCD. 2.2.1.6 VALIDACIÓN DE ANCLAJES, PINTURA, PLACAS BASE, TORNILLERÍA, GLANDULAS IP68, PARA INSTALACIÓN DE PEDESTALES, HERRAJES, SOPORTERÍA EN PERFILES RESISTENTES A LA CORROSIÓN, IMPACTOS MECANICOS, ESFUERZOS, DEFLEXIONES, POSIBLES SINIESTROS Y PLACAS DE IDENTIFICACIÓN EN TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN. 2.2.1.7 VALIDACIÓN DEL CORRECTO USO DE MATERIALES DESCRITOS Y UTILIZADOS POR EL PROVEEDOR ASIGNADO. 2.2.1.8 ENTREGA DE REPORTES FOTOGRAFICOS, GESTIONES Y ENTREGA FINAL DE LA INSTALACIÓN AL USUARIO FINAL. 2.2.1.9 ENTREGA DE HOJAS DE CONFIGURACIÓN. 21.2.1.13 ENTREGA DE HOJAS DE ESCALAMIENTOS CON EQUIPO CERTIFICADO. 2.2.1.14 DESPLIEGUE DE LOS VALORES MULTIVARIABLE EN HMI (DEBERAN DEJARSE HABILITADOS EN LA CONFIGURACIÓN).	LOTE	1.00
9.0	1003 00	*FITR 03 PARA MEDICIÓN DE FLUJO EN INGRESO UNIDAD #4*		
10.0	1003 01	3.0.1 SUMINISTRO DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA CANAL ABIERTO EL CUAL DEBE CONTENER: MEDIDOR ULTRASÓNICO DE FLUJO DE ALTA PRECISIÓN INTEGRADO POR UN CONTROLADOR DE NIVEL ULTRASÓNICO, UN TRANSDUCTOR ULTRASONIDO Y UN SENSOR DE TEMPERATURA EXTERNO. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO SERÁ PARA MEDICIÓN CONTINUA Y SIN CONTACTO DE FLUJO EN CANAL ABIERTO, EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ MEDIR EL FLUJO VOLUMÉTRICO BASÁNDOSE EN LA ALTURA DEL LÍQUIDO EN EL ELEMENTO PRIMARIO DE MEDICIÓN. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ SER COMPATIBLE CON UNA AMPLIA GAMA DE DISPOSITIVOS PRIMARIOS DE MEDICIÓN ESTÁNDAR, ASÍ COMO VARIOS TIPOS DE CANALES Y VERTEDEROS, ADEMÁS DE DISPOSITIVOS EXPONENCIALES COMO EL CANAL PARSHALL. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ SER SUMINISTRADO CON UN TRANSDUCTOR DE NIVEL TIPO ULTRASÓNICO DE CUERPO DE COPOLÍMERO PVDF Y SUPERFICIE EMISORA DE CAUCHO CSM INSENSIBLE A PRODUCTOS QUÍMICOS HABITUALMENTE PRESENTES EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, DEBERÁ TENER UN RANGO DE NIVEL DE HASTA 8 M Y PROTECCIÓN IP68, CONEXIÓN A PROCESO DE 1" NTP Y CABLE DE CUANDO MENOS 10 METROS DE LARGO, CUMPLIMIENTO CON FM CLASE I, ZONA 1, AEX M IIC, T6. PARA GARANTIZAR LA PRECISIÓN DE LA MEDICIÓN, EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ COMPENSAR LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA, ENTRE LA CARA DEL TRANSDUCTOR Y LA ALTURA MÁXIMA ESPERADA DEL LÍQUIDO EN EL ELEMENTO PRIMARIO, A TRAVÉS DE UN SENSOR DE TEMPERATURA EXTERNO, ESTE SENSOR DE TEMPERATURA EXTERNO DEBERÁ SER DE MEDICIÓN CONTINUA DE NO CONTACTO, CON CONEXIÓN A PROCESO DE 3/4" NPT, Y CABLE DE 10M DE LARGO. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ CONTAR CON PANTALLA Y BOTONERA LOCAL, ALIMENTADO EN UN RANGO DE 12 A 30 V DC, 4 ENTRADAS DE CABLES, 4	LOTE	1.00

		GLÁNDULAS DE PLÁSTICO M20, SEÑAL DE SALIDA DE 4 A 20 MA + HART, Y 3 SALIDAS DE RELEVADOR, CUMPLIMIENTO CON CSA CLASS I, DIV. 2, GROUP A, B, C AND D. DEBERÁ TENER UNA PRECISIÓN DE 0.1 % DEL RANGO MÁXIMO MEDIDO Y UNA RESOLUCIÓN DE 0.025% DEL RANGO MÁXIMO, PODRÁ SER INSTALADO EN INTERIORES O EXTERIORES TENIENDO UNA PROTECCIÓN IP65/TIPO 4X, TEMPERATURA AMBIENTE ENTRE -20 ... +50 °C. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA SEGÚN IEC/EN 61326-1, EN 55011 (CLASE A). PROGRAMA Y PARÁMETROS ALMACENADOS EN UNA MEMORIA FLASH NO VOLÁTIL. ADEMÁS, DEBERÁ CONTAR CON UNA TARJETA MICROSD INSTALADA PARA EL REGISTRO DE DATOS, LA TRAZABILIDAD (AUDIT TRAIL), LA GESTIÓN DE CONFIGURACIONES (COPIA DE SEGURIDAD, RESTAURACIÓN, COPIA ENTRE DISPOSITIVOS) Y LAS ACTUALIZACIONES DE SOFTWARE (FIRMWARE) DEL MISMO MEDIDOR ULTRASÓNICO.		
11.0	1003 02	3.1.1 INSTALACIÓN DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA CANAL ABIERTO EL CUAL DEBE CONTENER: 3.1.1.1-ELECTRONICA REMOTA CON GRADO DE PROTECCIÓN IP68. 2.1.1.2 ELEMETO PRIMARIO DE ACUERDO A LAS CARACTERISTICS FISICAS Y MEDIOAMBIENTALES PRESENTES CON GRADO DE PROTECCIÓN IP68. 3.1.1.3 CABLEADO DE CONTROL PARA INTERCOMUNICACIÓN ENTRE ELEMENTO DE MEDICIÓN Y TRANSMISOR 3.1.1.4 IDENTIFICACIÓN Y CONEXIÓN CORRECTA DEL VOLTAJE DE OPERACIÓN MULTIVOLTAJE,117VCA/24VCD. 3.1.1.5 INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE COMUNICACIÓN WIRELES-HART, 4-20 MA. 3.1.1.6 VALIDCIÓN DEL ENCENDIDO DEL DISPLAY LCD. 3.1.1.7 ANCLAJES, PINTURA, PLACAS BASE, TORNILLERÍA, GLANDULAS IP68, PARA INSTALACIÓN DE PEDESTALES, HERRAJES, SOPORTERÍA EN PERFILES RESISTENTES A LA CORROSIÓN, IMPACTOS MECANICOS, ESFUERZOS, DEFLEXIONES, POSIBLES SINIESTROS Y PLACAS DE IDENTIFICACIÓN EN TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN. 3.1.1.8 ENTREGA DE PLANOS QUE INDIQUE LOCALIZACIÓN DE EQUIPOS VISTA PLANTA. 3.1.1.9 ENTREGA DE MANUALES, CERTIFICADOS DE FABRICACIÓN Y CALIBRACIÓN EN FORMATO IMPRESO Y DIGITAL.	LOTE	1.00
12.0	1003 03	3.2.1 CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA CANAL ABIERTO EL CUAL DEBE CONTENER: 3.2.1.1-CONFIGUARACIÓN DE ELECTRONICA REMOTA BAJO UNIDADES DE INGENIERÍA DESCRITAS EN ALCANCE, MEMORIA TECNICO DESCRIPTIVA Y DTI. 3.2.1.2 VALIDACIÓN DE CONEXIÓN Y CORRECTO FUNCIONAIENTO DEL ELEMETO DE MEDICIÓN DE ACUERDO A LAS CARACTERISTICS FISICAS Y MEDIOAMBIENTALES CON QUE FUERON DESCRITOS EN EL ALCANCE Y RESTO DE DOCUMENTOS DEL PROYECTO. 3.2.1.3 IDENTIFICACIÓN DEL CABLEADO DE CONTROL PARA INTERCOMUNICACIÓN ENTRE ELEMENTO DE MEDICIÓN Y TRANSMISOR 3.2.1.4 IDENTIFICACIÓN, ETIQUETADO Y VALIDACIÓN DE LA CONEXIÓN CORRECTA DEL VOLTAJE DE OPERACIÓN MULTIVOLTAJE,117VCA/24VCD. 3.2.1.4 VALIDACIÓN DE LA INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE COMUNICACIÓN WIRELES-HART, 4-20 MA. 3.2.1.5 VALIDCIÓN DEL DESPLIEGUE DE VALORES REQUERIDOS EN DISPLAY LCD. 3.2.1.6 VALIDACIÓN DE ANCLAJES, PINTURA, PLACAS BASE, TORNILLERÍA, GLANDULAS IP68, PARA INSTALACIÓN DE PEDESTALES, HERRAJES, SOPORTERÍA EN PERFILES RESISTENTES A LA CORROSIÓN, IMPACTOS MECANICOS, ESFUERZOS, DEFLEXIONES, POSIBLES SINIESTROS Y PLACAS DE IDENTIFICACIÓN EN TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN. 3.2.1.7 ENTREGA DE HOJAS DE CONFIGURACIÓN. 3.2.1.8 ENTREGA DE HOJAS DE ESCALAMIENTOS CON EQUIPO CERTIFICADO. 3.2.1.9 DESPLIEGUE DE LOS VALORES MULTIVARIABLE EN HMI (DEBERAN DEJARSE HABILITADOS EN LA CONFIGURACIÓN).	LOTE	1.00
13.0	1004 00	*FITP-04 PARA MEDICIÓN DE FLUJO EN INGRESO UNIDAD #3*		
14.0	1004 01	4.0.1 SUMINISTRO DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA CANAL ABIERTO EL CUAL DEBE CONTENER: MEDIDOR ULTRASÓNICO DE FLUJO DE ALTA PRECISIÓN INTEGRADO POR UN CONTROLADOR DE NIVEL ULTRASÓNICO, UN TRANSDUCTOR ULTRASONIDO Y UN SENSOR DE TEMPERATURA EXTERNO.	LOTE	1.00

		EL MEDIDOR ULTRASÓNICO SERÁ PARA MEDICIÓN CONTINUA Y SIN CONTACTO DE FLUJO EN CANAL ABIERTO, EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ MEDIR EL FLUJO VOLUMÉTRICO BASÁNDOSE EN LA ALTURA DEL LÍQUIDO EN EL ELEMENTO PRIMARIO DE MEDICIÓN. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ SER COMPATIBLE CON UNA AMPLIA GAMA DE DISPOSITIVOS PRIMARIOS DE MEDICIÓN ESTÁNDAR, ASÍ COMO VARIOS TIPOS DE CANALES Y VERTEDEROS, ADEMÁS DE DISPOSITIVOS EXPONENCIALES COMO EL CANAL PARSHALL. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ SER SUMINISTRADO CON UN TRANSDUCTOR DE NIVEL TIPO ULTRASÓNICO DE CUERPO DE COPOLÍMERO PVDF Y SUPERFICIE EMISORA DE CAUCHO CSM INSENSIBLE A PRODUCTOS QUÍMICOS HABITUALMENTE PRESENTES EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, DEBERÁ TENER UN RANGO DE NIVEL DE HASTA 8 M Y PROTECCIÓN IP68, CONEXIÓN A PROCESO DE 1" NTP Y CABLE DE CUANDO MENOS 10 METROS DE LARGO, CUMPLIMIENTO CON FM CLASE I, ZONA 1, AEX M IIC, T6. PARA GARANTIZAR LA PRECISIÓN DE LA MEDICIÓN, EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ COMPENSAR LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA, ENTRE LA CARA DEL TRANSDUCTOR Y LA ALTURA MÁXIMA ESPERADA DEL LÍQUIDO EN EL ELEMENTO PRIMARIO, A TRAVÉS DE UN SENSOR DE TEMPERATURA EXTERNO, ESTE SENSOR DE TEMPERATURA EXTERNO DEBERÁ SER DE MEDICIÓN CONTINUA DE NO CONTACTO, CON CONEXIÓN A PROCESO DE 3/4" NPT, Y CABLE DE 10M DE LARGO. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ CONTAR CON PANTALLA Y BOTONERA LOCAL, ALIMENTADO EN UN RANGO DE 12 A 30 V DC, 4 ENTRADAS DE CABLES, 4 GLÁNDULAS DE PLÁSTICO M20, SEÑAL DE SALIDA DE 4 A 20 MA + HART, Y 3 SALIDAS DE RELEVADOR, CUMPLIMIENTO CON CSA CLASS I, DIV. 2, GROUP A, B, C AND D. DEBERÁ TENER UNA PRECISIÓN DE 0.1 % DEL RANGO MÁXIMO MEDIDO Y UNA RESOLUCIÓN DE 0.025% DEL RANGO MÁXIMO, PODRÁ SER INSTALADO EN INTERIORES O EXTERIORES TENIENDO UNA PROTECCIÓN IP65/TIPO 4X, TEMPERATURA AMBIENTE ENTRE -20 ... +50 °C. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA SEGÚN IEC/EN 61326-1, EN 55011 (CLASE A). PROGRAMA Y PARÁMETROS ALMACENADOS EN UNA MEMORIA FLASH NO VOLÁTIL. ADEMÁS, DEBERÁ CONTAR CON UNA TARJETA MICROSD INSTALADA PARA EL REGISTRO DE DATOS, LA TRAZABILIDAD (AUDIT TRAIL), LA GESTIÓN DE CONFIGURACIONES (COPIA DE SEGURIDAD, RESTAURACIÓN, COPIA ENTRE DISPOSITIVOS) Y LAS ACTUALIZACIONES DE SOFTWARE (FIRMWARE) DEL MISMO MEDIDOR ULTRASÓNICO.		
15.0	1004 02	4.1.1 INSTALACIÓN DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA CANAL ABIERTO EL CUAL DEBE CONTENER: 4.1.1.1-ELECTRONICA REMOTA CON GRADO DE PROTECCIÓN IP68. 4.1.1.2 ELEMETO PRIMARIO DE ACUERDO A LAS CARACTERISTICS FISICAS Y MEDIOAMBIENTALES PRESENTES CON GRADO DE PROTECCIÓN IP68. 4.1.1.3 CABLEADO DE CONTROL PARA INTERCOMUNICACIÓN ENTRE ELEMENTO DE MEDICIÓN Y TRANSMISOR 4.1.1.4 IDENTIFICACIÓN Y CONEXIÓN CORRECTA DEL VOLTAJE DE OPERACIÓN MULTIVOLTAJE,117VCA/24VCD. 4.1.1.5 INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE COMUNICACIÓN WIRELES-HART, 4-20 MA. 4.1.1.6 VALIDCIÓN DEL ENCENDIDO DEL DISPLAY LCD. 4.1.1.7 ANCLAJES, PINTURA, PLACAS BASE, TORNILLERÍA, GLANDULAS IP68, PARA INSTALACIÓN DE PEDESTALES, HERRAJES, SOPORTERÍA EN PERFILES RESISTENTES A LA CORROSIÓN, IMPACTOS MECANICOS, ESFUERZOS, DEFLEXIONES, POSIBLES SINIESTROS Y PLACAS DE IDENTIFICACIÓN EN TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN. 4.1.1.8 ENTREGA DE PLANOS QUE INDIQUE LOCALIZACIÓN DE EQUIPOS VISTA PLANTA. 4.1.1.9 ENTREGA DE MANUALES, CERTIFICADOS DE FABRICACIÓN Y CALIBRACIÓN EN FORMATO IMPRESO Y DIGITAL.	LOTE	1.00
16.0	1004 03	4.2.1 CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA CANAL ABIERTO EL CUAL DEBE CONTENER: 4.2.1.1-CONFIGUARACIÓN DE ELECTRONICA REMOTA BAJO UNIDADES DE	LOTE	1.00

		INGENIERÍA DESCRITAS EN ALCANCE, MEMORIA TECNICO DESCRIPTIVA Y DTI. 3.2.1.2 VALIDACIÓN DE CONEXIÓN Y CORRECTO FUNCIONAIENTO DEL ELEMETO DE MEDICIÓN DE ACUERDO A LAS CARACTERISTICS FISICAS Y MEDIOAMBIENTALES CON QUE FUERON DESCRITOS EN EL ALCANCE Y RESTO DE DOCUMENTOS DEL PROYECTO. 4.2.1.3 IDENTIFICACIÓN DEL CABLEADO DE CONTROL PARA INTERCOMUNICACIÓN ENTRE ELEMENTO DE MEDICIÓN Y TRANSMISOR 4.2.1.4 IDENTIFICACIÓN, ETIQUETADO Y VALIDACIÓN DE LA CONEXIÓN CORRECTA DEL VOLTAJE DE OPERACIÓN MULTIVOLTAJE,117VCA/24VCD. 4.2.1.4 VALIDACIÓN DE LA INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE COMUNICACIÓN WIRELES-HART, 4-20 MA. 4.2.1.5 VALIDCIÓN DEL DESPLIEGUE DE VALORES REQUERIDOS EN DISPLAY LCD. 4.2.1.6 VALIDACIÓN DE ANCLAJES, PINTURA, PLACAS BASE, TORNILLERÍA, GLANDULAS IP68, PARA INSTALACIÓN DE PEDESTALES, HERRAJES, SOPORTERÍA EN PERFILES RESISTENTES A LA CORROSIÓN, IMPACTOS MECANICOS, ESFUERZOS, DEFLEXIONES, POSIBLES SINIESTROS Y PLACAS DE IDENTIFICACIÓN EN TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN. 4.2.1.7 ENTREGA DE HOJAS DE CONFIGURACIÓN. 4.2.1.8 ENTREGA DE HOJAS DE ESCALAMIENTOS CON EQUIPO CERTIFICADO. 4.2.1.9 DESPLIEGUE DE LOS VALORES MULTIVARIABLE EN HMI (DEBERAN DEJARSE HABILITADOS EN LA CONFIGURACIÓN).		
17.0	1005 00	*FITR 05 PARA MEDICIÓN DE FLUJO EN INGRESO UNIDAD #1*		
18.0	1005 01	5.0.1 SUMINISTRO DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA PARA CANAL ABIERTO EL CUAL DEBE CONTENER: MEDIDOR ULTRASÓNICO DE FLUJO DE ALTA PRECISIÓN INTEGRADO POR UN CONTROLADOR DE NIVEL ULTRASÓNICO, UN TRANSDUCTOR ULTRASONIDO Y UN SENSOR DE TEMPERATURA EXTERNO. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO SERÁ PARA MEDICIÓN CONTINUA Y SIN CONTACTO DE FLUJO EN CANAL ABIERTO, EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ MEDIR EL FLUJO VOLUMÉTRICO BASÁNDOSE EN LA ALTURA DEL LÍQUIDO EN EL ELEMENTO PRIMARIO DE MEDICIÓN. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ SER COMPATIBLE CON UNA AMPLIA GAMA DE DISPOSITIVOS PRIMARIOS DE MEDICIÓN ESTÁNDAR, ASÍ COMO VARIOS TIPOS DE CANALES Y VERTEDEROS, ADEMÁS DE DISPOSITIVOS EXPONENCIALES COMO EL CANAL PARSHALL. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ SER SUMINISTRADO CON UN TRANSDUCTOR DE NIVEL TIPO ULTRASÓNICO DE CUERPO DE COPOLÍMERO PVDF Y SUPERFICIE EMISORA DE CAUCHO CSM INSENSIBLE A PRODUCTOS QUÍMICOS HABITUALMENTE PRESENTES EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, DEBERÁ TENER UN RANGO DE NIVEL DE HASTA 8 M Y PROTECCIÓN IP68, CONEXIÓN A PROCESO DE 1" NTP Y CABLE DE CUANDO MENOS 10 METROS DE LARGO, CUMPLIMIENTO CON FM CLASE I, ZONA 1, AEX M IIC, T6. PARA GARANTIZAR LA PRECISIÓN DE LA MEDICIÓN, EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ COMPENSAR LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA, ENTRE LA CARA DEL TRANSDUCTOR Y LA ALTURA MÁXIMA ESPERADA DEL LÍQUIDO EN EL ELEMENTO PRIMARIO, A TRAVÉS DE UN SENSOR DE TEMPERATURA EXTERNO, ESTE SENSOR DE TEMPERATURA EXTERNO DEBERÁ SER DE MEDICIÓN CONTINUA DE NO CONTACTO, CON CONEXIÓN A PROCESO DE 3/4" NPT, Y CABLE DE 10M DE LARGO. EL MEDIDOR ULTRASÓNICO DEBERÁ CONTAR CON PANTALLA Y BOTONERA LOCAL, ALIMENTADO EN UN RANGO DE 12 A 30 V DC, 4 ENTRADAS DE CABLES, 4 GLÁNDULAS DE PLÁSTICO M20, SEÑAL DE SALIDA DE 4 A 20 MA + HART, Y 3 SALIDAS DE RELEVADOR, CUMPLIMIENTO CON CSA CLASS I, DIV. 2, GROUP A, B, C AND D. DEBERÁ TENER UNA PRECISIÓN DE 0.1 % DEL RANGO MÁXIMO MEDIDO Y UNA RESOLUCIÓN DE 0.025% DEL RANGO MÁXIMO, PODRÁ SER INSTALADO EN INTERIORES O EXTERIORES TENIENDO UNA PROTECCIÓN IP65/TIPO 4X, TEMPERATURA AMBIENTE ENTRE -20 ... +50 °C. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA SEGÚN IEC/EN 61326-1, EN 55011 (CLASE A). PROGRAMA Y PARÁMETROS ALMACENADOS EN UNA MEMORIA FLASH NO VOLÁTIL. ADEMÁS, DEBERÁ CONTAR CON UNA TARJETA MICROSD INSTALADA PARA EL REGISTRO DE DATOS, LA TRAZABILIDAD (AUDIT TRAIL), LA GESTIÓN DE CONFIGURACIONES (COPIA DE SEGURIDAD, RESTAURACIÓN, COPIA ENTRE DISPOSITIVOS) Y LAS ACTUALIZACIONES DE SOFTWARE (FIRMWARE) DEL MISMO MEDIDOR ULTRASÓNICO.	LOTE	1.00
19.0	1005 02	5.1.1 INSTALACIÓN DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA MEDICIÓN EN CANAL ABIERTO EL CUAL DEBE CONTENER: 5.1.1.1-ELECTRONICA	LOTE	1.00

		REMOTA CON GRADO DE PROTECCIÓN IP68. 5.1.1.2 ELEMETO PRIMARIO DE ACUERDO A LAS CARACTERISTICS FISICAS Y MEDIOAMBIENTALES PRESENTES CON GRADO DE PROTECCIÓN IP68. 5.1.1.3 CABLEADO DE CONTROL PARA INTERCOMUNICACIÓN ENTRE ELEMENTO DE MEDICIÓN Y TRANSMISOR 5.1.1.4 IDENTIFICACIÓN Y CONEXIÓN CORRECTA DEL VOLTAJE DE OPERACIÓN MULTIVOLTAJE,117VCA/24VCD. 5.1.1.5 INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE COMUNICACIÓN WIRELES-HART, 4-20 MA. 5.1.1.6 VALIDCIÓN DEL ENCENDIDO DEL DISPLAY LCD. 5.1.1.7 ANCLAJES, PINTURA, PLACAS BASE, TORNILLERÍA, GLANDULAS IP68, PARA INSTALACIÓN DE PEDESTALES, HERRAJES, SOPORTERÍA EN PERFILES RESISTENTES A LA CORROSIÓN, IMPACTOS MECANICOS, ESFUERZOS, DEFLEXIONES, POSIBLES SINIESTROS Y PLACAS DE IDENTIFICACIÓN EN TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN. 5.1.1.8 ENTREGA DE PLANOS QUE INDIQUE LOCALIZACIÓN DE EQUIPOS VISTA PLANTA. 5.1.1.9 ENTREGA DE MANUALES, CERTIFICADOS DE FABRICACIÓN Y CALIBRACIÓN EN FORMATO IMPRESO Y DIGITAL.		
20.0	1005 03	5.2.1 CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE TRANSMISOR DE FLUJO PARA CANAL ABIERTO EL CUAL DEBE CONTENER: 5.2.1.1-CONFIGUARACIÓN DE ELECTRONICA REMOTA BAJO UNIDADES DE INGENIERÍA DESCRITAS EN ALCANCE, MEMORIA TECNICO DESCRIPTIVA Y DTI. 5.2.1.2 VALIDACIÓN DE CONEXIÓN Y CORRECTO FUNCIONAIENTO DEL ELEMETO DE MEDICIÓN DE ACUERDO A LAS CARACTERISTICS FISICAS Y MEDIOAMBIENTALES CON QUE FUERON DESCRITOS EN EL ALCANCE Y RESTO DE DOCUMENTOS DEL PROYECTO. 5.2.1.3 IDENTIFICACIÓN DEL CABLEADO DE CONTROL PARA INTERCOMUNICACIÓN ENTRE ELEMENTO DE MEDICIÓN Y TRANSMISOR 5.2.1.4 IDENTIFICACIÓN, ETIQUETADO Y VALIDACIÓN DE LA CONEXIÓN CORRECTA DEL VOLTAJE DE OPERACIÓN MULTIVOLTAJE,117VCA/24VCD. 5.2.1.4 VALIDACIÓN DE LA INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE COMUNICACIÓN WIRELES-HART, 4-20 MA. 5.2.1.5 VALIDCIÓN DEL DESPLIEGUE DE VALORES REQUERIDOS EN DISPLAY LCD. 5.2.1.6 VALIDACIÓN DE ANCLAJES, PINTURA, PLACAS BASE, TORNILLERÍA, GLANDULAS IP68, PARA INSTALACIÓN DE PEDESTALES, HERRAJES, SOPORTERÍA EN PERFILES RESISTENTES A LA CORROSIÓN, IMPACTOS MECANICOS, ESFUERZOS, DEFLEXIONES, POSIBLES SINIESTROS Y PLACAS DE IDENTIFICACIÓN EN TRANSMISOR Y ELEMENTO DE MEDICIÓN. 5.2.1.7 ENTREGA DE HOJAS DE CONFIGURACIÓN. 5.2.1.8 ENTREGA DE HOJAS DE ESCALAMIENTOS CON EQUIPO CERTIFICADO. 5.2.1.9 DESPLIEGUE DE LOS VALORES MULTIVARIABLE EN HMI (DEBERAN DEJARSE HABILITADOS EN LA CONFIGURACIÓN).	LOTE	1.00

8.4 El papel de las interconexiones en la armonización del sistema

Las líneas de interconexión —aunque físicamente son tuberías, válvulas y piezas especiales— cumplen una función conceptual: vinculan dos infraestructuras diseñadas con 50 años de diferencia.

Sin estas interconexiones, el tren nuevo sería un ente aislado que no podría recibir agua cruda ni entregar agua tratada al sistema de Miravalle.
Con ellas, el tren nuevo se vuelve parte orgánica de la planta, integrándose al flujo hidráulico general.

Desde la ingeniería, estas líneas deben:

minimizar pérdidas de carga,
evitar sobrevelocidades que generen erosión,
impedir cavitación en transiciones,
ajustarse a los niveles existentes en canales y tanques,
permitir operación dual: paralela y mezclada.

La integración PB2–Miravalle, combinada con el tren nuevo y las interconexiones, constituye la columna vertebral hidráulica de la modernización.

8.5 Una hidráulica que ahora se gobierna, no se padece

La intervención no busca "domesticar" un sistema antiguo, sino dotarlo de herramientas para que funcione con estabilidad en un ambiente de alta variabilidad.

Por primera vez, PP1 contará con:

medición precisa,
telemetría continua,
control de derivaciones,
y capacidad de modular la energía hidráulica interna.

La integración PB2–Miravalle se convierte así en un sistema gobernable, no en una fuente de incertidumbre operativa como ocurrió durante décadas.

9. INGENIERÍA BÁSICA INTEGRADA (Desarrollo extenso, técnico, sistémico)

La ingeniería básica del Plan Maestro representa el "esqueleto técnico" sobre el cual se construirá la infraestructura. No se limita a definir equipos, unidades o tuberías; establece la lógica operativa del sistema, los criterios que determinan el éxito del proceso y el modo en que las nuevas instalaciones conviven con la planta existente.

En términos profesionales, la ingeniería básica es el punto donde se alinean tres mundos:

La hidráulica, que define cómo se mueve el agua.
La química, que determina cómo reacciona el agua.
La energía y control, que establecen cómo se gobierna la planta.

La modernización de Miravalle exige un equilibrio fino entre estos tres dominios.

9.1 Ingeniería de Proceso: el ordenamiento científico del tratamiento

El proceso de potabilización deja de ser una secuencia lineal y pasa a ser un sistema con retroalimentación permanente. La ingeniería de proceso define:

cómo se comporta el agua cruda,
qué reacciones químicas deben inducirse,
cuánto tiempo debe permanecer en cada unidad,
cómo se distribuyen los gradientes de mezcla,
qué carga hidráulica puede soportar cada etapa,
qué calidad debe tener el efluente de cada proceso.

La interacción entre el ajuste de pH, la dosificación química y la floculación es crítica. Por ejemplo:

Un pH incorrecto puede generar flóculos débiles que se desintegran en los sedimentadores.
Una dosificación insuficiente genera turbiedades residuales elevadas en los filtros.
Una carga hidráulica mal repartida puede saturar un módulo y dejar subutilizado otro.

La ingeniería de proceso busca coordinar todas estas variables para que el agua circule no con "flujo libre", sino con flujo inteligente.

9.2 Ingeniería Civil y Estructural: las bases físicas de la modernización

El éxito del tratamiento no depende solo de equipos y reactivos. La ingeniería civil garantiza que:

los tanques mantengan su integridad estructural bajo cargas hidrostáticas,
los floculadores distribuyan el gradiente de velocidad sin generar puntos muertos,
los sedimentadores sostengan cargas y vibraciones,
las plataformas de tanques químicos cumplan normas de contención,
los módulos de filtración tengan accesos seguros para mantenimiento,
las líneas de interconexión se asienten sobre cimentaciones adecuadas.

Además, la convivencia entre infraestructura antigua y nueva implica desafíos adicionales:
alineación de cotas, compatibilidad de materiales, rehabilitación de elementos existentes, y corredores de obra sin interrumpir la operación.

9.3 Ingeniería Mecánica: donde el agua se mueve y el proceso ocurre

La ingeniería mecánica define la selección de:

bombas de trasvase,
sistemas de dosificación,
válvulas automáticas,
actuadores,
mezcladores,
aireación de filtros en retrolavado,
sistemas de ozono,
equipos de manejo de lodos.

Cada pieza debe ser compatible con:

el régimen hidráulico,
la corrosión esperada,
las presiones de operación,
los ciclos de operación continua,
y la integración con variadores y control.

Un sobredimensionamiento o subdimensionamiento mecánico puede comprometer seriamente el proceso.

9.4 Ingeniería Eléctrica y de Control: la inteligencia operativa

La transición hacia una planta semi-automatizada exige:

tableros de media y baja tensión con selectividad adecuada,
variadores con protección para operación continua,
alimentación redundante,
canalización segregada según cargas críticas,
integración en un SCADA moderno,
arquitectura de control distribuido con PLCs locales,
comunicación segura entre nodos PB2–Miravalle–tren nuevo.

La planta pasa de depender del ojo humano a depender de un sistema cognitivo, donde cada variable medida tiene un efecto directo en la operación.

9.5 La ingeniería básica como articulación sistémica

La ingeniería básica del proyecto no diseña una obra, sino un sistema de obras que deben operar con sinergia. Su misión es ordenar:

la física del agua,
la química del tratamiento,
la mecánica de los equipos,
la electricidad que los alimenta,
y el control que gobierna todo.

Por primera vez en su historia, Miravalle tendrá una ingeniería que no solo describe qué se construirá, sino cómo debe funcionar el sistema en conjunto.

10. PROGRAMAS DE OBRA (Estrategia Técnica y Operativa de Ejecución)

La modernización de la PP1 "Miravalle" no puede abordarse como un proyecto convencional donde se aísla una zona, se ejecuta obra y posteriormente se realiza el arranque. Aquí, la obra se ejecuta en un entorno vivo, con equipos en operación continua, con caudales fluctuantes y con una dependencia absoluta del suministro hacia millones de usuarios.

Esto obliga a diseñar un programa de obra con lógica operativa, no solo cronológica. La secuencia de construcción debe respetar la hidráulica, las zonas sensibles de la planta y los espacios disponibles, mientras se garantiza que nada interfiera con la continuidad del servicio.

Por ello, el programa se estructura siguiendo cuatro principios rectores de ingeniería de obra:

10.1 Principio 1: Construir en paralelo a la operación sin interferencias

Cada sistema nuevo—pH, dosificación, telemetría, interconexiones y tren nuevo—debe levantarse fuera de la infraestructura actual, en zonas donde la obra civil pueda avanzar sin comprometer la operación.

Este principio reconoce la fragilidad operativa de la PP1:
no existe un margen para redirigir 5.0–5.5 m^3/s hacia otro punto si un módulo queda inhabilitado.

Por lo tanto:

Las cimentaciones del tren nuevo se desarrollan en área libre del predio.
El sistema de pH se levanta junto al reservorio, pero con accesos independientes.
Los sistemas eléctricos nuevos se construyen en casetas externas antes de integrarse.
Las líneas de interconexión se preparan en tramos preensamblados para minimizar el tiempo de empalme real.

10.2 Principio 2: Integración progresiva — del sistema más crítico al menos crítico

La secuencia lógica del programa pone primero en operación las instalaciones que mejoran la operación existente sin alterar la hidráulica global, y deja para etapas finales aquellas que requieren empalmes o maniobras en la infraestructura actual.

Primero: Telemetría y medición de caudales
Porque proveen datos y permiten controlar el sistema durante el resto del proyecto.
Después: Sistema de ajuste de pH
Su implementación modifica la química del agua sin interferir con estructuras mayores.
Posteriormente: Sistema de dosificación química
El control químico optimizado reduce el riesgo operativo mientras se construye el tren nuevo.
En paralelo: Construcción del tren nuevo de 2.0 m^3/s
Al estar físicamente separado, puede levantarse sin afectar la planta.
Finalmente: Líneas de interconexión y empalmes hidráulicos
Estos empalmes requieren maniobras programadas, respaldadas por datos reales y con módulos alternos listos para compensar caudales.

10.3 Principio 3: Ingeniería de transición

Durante la ejecución, la planta debe operar bajo una "ingeniería de transición", en la que:

Se monitorea continuamente el caudal y la turbiedad para anticipar riesgos.
Se mantiene redundancia eléctrica.
Se evita intervenir simultáneamente en más de un punto crítico.
Se programan empalmes solo cuando las condiciones hidráulicas sean estables.

Esto exige una coordinación diaria entre obra civil, obra mecánica, operación de planta, dirección de proyectos y supervisión de CEA.

10.4 Principio 4: Las pruebas son parte del programa de obra

El proyecto incorpora un esquema de pruebas por etapas:

Pruebas hidráulicas de tuberías antes de instalar equipos.
Pruebas eléctricas antes de alimentar bombas o tableros.
Pruebas en vacío de floculadores, sedimentadores y filtros.
Pruebas en húmedo del tren nuevo sin integrarlo aún al sistema.
Pruebas de dosificación con agua clara para calibrar bombas.
Pruebas de funcionamiento integradas con el sistema existente.

El programa de obra no culmina cuando "se termina de construir", sino cuando la planta opera con los sistemas nuevos integrados sin comprometer la calidad del agua.

11. VIDA ÚTIL Y ROBUSTEZ DEL SISTEMA MODERNIZADO

La vida útil del proyecto no debe entenderse como una cifra aislada. En ingeniería, la vida útil expresa la convergencia entre:

durabilidad física,
resiliencia operativa,
capacidad de adaptación a condiciones cambiantes,
mantenimiento programado,
flexibilidad ante fallas.

En Miravalle, esto significa diseñar una planta capaz de funcionar bajo condiciones que van más allá de la simple "longevidad".

11.1 Vida útil estructural

Las estructuras del tren nuevo—sedimentadores, floculadores, filtros, casetas, plataformas de tanques químicos—se diseñan con una vida útil mínima de 30 a 50 años, considerando:

refuerzos de acero en zonas donde la corrosión es probable;
recubrimientos epóxicos en zonas de contacto permanente con agua;
concreto con baja permeabilidad;
juntas de control con sellos apropiados;
diseño sísmico conforme a la normativa del estado de Jalisco.

La vida útil se amplía cuando la estructura se prevé para cargas hidroestáticas fluctuantes, asentamientos diferenciales mínimos y ciclos operativos diarios.

11.2 Vida útil mecánica

Las bombas, sopladores, válvulas y actuadores del sistema químico y del tren nuevo se diseñan para un ciclo continuo, con mantenimiento preventivo anual y predictivo semestral.

La vida útil mecánica se concentra en tres factores:

Calidad del fluido manejado
El agua tratada en Miravalle es químicamente compleja; el pH y la alcalinidad pueden afectar componentes metálicos.
Por ello, se seleccionan materiales resistentes (aceros inoxidables, bridas epóxicas, válvulas comisionadas para agua de alta variabilidad).
Condiciones de operación
Las bombas de dosificación operan bajo condiciones pulsantes; los floculadores bajo cargas dinámicas constantes.
Esta mecánica obliga a considerar factores de servicio amplios.
Redundancia
Por primera vez, la planta contará con redundancias mecánicas reales, lo que evita el colapso operativo ante la falla de un equipo crítico.

11.3 Vida útil eléctrica

Los TDR del tren nuevo y los sistemas de telemetría mencionan explícitamente la necesidad de tableros de media y baja tensión con estándares modernos de protección.

Esto implica:

interruptores con curvas de disparo selectivas,
variadores con protección térmica y armónica,
barras de conexión certificadas,
acometidas separadas para cargas críticas y no críticas,
canales de cableado con separación física para evitar interferencias.

Con estos elementos, la vida útil eléctrica de la planta se estabiliza por encima de los 20 años, siempre que se implemente un programa estricto de mantenimiento.

11.4 Vida útil operativa del sistema modernizado

La vida útil operativa es la más compleja de definir, porque abarca no solo la durabilidad física, sino la capacidad del sistema para seguir siendo útil aunque las condiciones externas cambien.

La modernización garantiza una vida operativa mínima de 20 años, basada en:

telemetría adaptable a nuevas tecnologías,
líneas de interconexión con diámetros suficientes para futuras expansiones,
tren nuevo modular y replicable,
sistemas químicos escalables,
integración eléctrica con capacidad de ampliación.

Miravalle deja de ser una planta rígida para convertirse en una planta adaptable.

12. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO (El núcleo del aseguramiento técnico)

Las pruebas de funcionamiento representan el momento crítico en el que la infraestructura nueva deja de ser obra y se convierte en planta. En este punto, la ingeniería se enfrenta a la realidad: cada unidad debe operar como fue concebida, y la interacción entre sistemas debe demostrar que el proyecto no solo se construyó, sino que funciona con precisión.

12.1 Filosofía general de pruebas

Las pruebas no deben ejecutarse como ceremonias formales para "validar una obra", sino como procesos de verificación científica, donde cada componente se somete a condiciones reales, controladas y extremas.

El enfoque incluye:

reproducir distintos escenarios de caudal,
simular variaciones abruptas del pH,
probar dosificación desde valores mínimos a máximos,
validar el retrolavado de filtros sin afectar módulos en operación,
operar ozono con distintas cargas orgánicas,
observar la reacción de los controles ante eventos no programados.

Las pruebas deben confirmar que cada subsistema opera de manera autónoma y también que el sistema completo se comporta de manera coherente.

12.2 Pruebas individuales (pre-comisionamiento)

Antes de conectar cualquier unidad al sistema existente, se debe validar:

estanqueidad de tanques y cámaras,
funcionamiento de agitadores y floculadores,
patrones de distribución en sedimentadores,
velocidades reales en filtros,
respuesta de válvulas automáticas,
funcionamiento silencioso de bombas químicas,
exactitud de medidores de caudal,
comunicación PLC–SCADA en tiempo real.

Estas pruebas se realizan sin riesgo para la planta existente, con agua clara o con agua tratada.

12.3 Pruebas integradas (comisionamiento hidráulico y químico)

Una vez validados los subsistemas, se prueba el tren completo:

Se alimenta con agua cruda real.
Se ajusta el pH dinámicamente según variaciones naturales.
Se calibra la curva química en función del caudal real.
Se observa la formación de flóculos y la velocidad de sedimentación.
Se mide turbiedad en filtros y efluente.
Se evalúa la eficiencia de ozono ante distintas cargas orgánicas.
Se valida el carbón activado como pulido final.

En esta fase, Miravalle opera con doble tecnología: su planta histórica y el tren nuevo. Esto permite comparar desempeño y ajustar parámetros de diseño.

12.4 Pruebas finales: integración al sistema de la ZMG

El último nivel de pruebas consiste en:

Integrar la telemetría del tren nuevo con el sistema de control del SIAPA,
Validar la continuidad del suministro de 7.5 m^3/s combinados,
Monitorear la calidad del agua enviada a la red,
Asegurar que no existan desviaciones en cloro residual, turbiedad o pH,
Establecer protocolos de operación para transiciones entre módulos.

Solo cuando estas pruebas se superan sin inconsistencias, el sistema se considera "en estado operativo estable".

13. PROYECTO EJECUTIVO (La Traducción Técnica del Plan Maestro)

El Proyecto Ejecutivo constituye la síntesis operativa de todo el proceso de modernización. Es el punto donde las ideas, los criterios técnicos y los fundamentos de ingeniería se transforman en planos, memorias, especificaciones y presupuestos que permiten construir una planta real, funcional y segura.

En el caso de la PP1 "Miravalle", el Proyecto Ejecutivo no es un simple conjunto de documentos; es la materialización del nuevo modelo de operación que regulará la potabilización durante las próximas décadas.

13.1 El Proyecto Ejecutivo como arquitectura funcional

La elaboración del Proyecto Ejecutivo para Miravalle requiere integrar cinco grandes líneas de diseño:

La química del agua (pH, alcalinidad, oxidación, dosificación).
La hidráulica y su variabilidad natural.
Los procesos de tratamiento y su secuencia.
Las estructuras que deben sostener y encauzar el proceso.
El sistema eléctrico y de control como cerebro del funcionamiento.

Cada uno de estos componentes no se desarrolla de forma independiente; la ingeniería del proyecto los entrelaza para formar un sistema. Por ejemplo, la geometría de los floculadores no se define únicamente con base en caudales, sino también considerando gradiente de mezcla, tiempos de retención, cambios de pH, turbiedades estacionales y resiliencia ante interrupciones.

El Proyecto Ejecutivo se convierte así en el documento que ordena la complejidad.

13.2 Desarrollo del Proyecto Ejecutivo para cada subsistema

13.2.1 Ajuste de pH

El Proyecto Ejecutivo del sistema de ajuste de pH debe construir las condiciones necesarias para que el agua cruda pueda ser tratada con alta eficiencia. Esto implica:

definir la ubicación estratégica de tanques,
considerar rutas seguras de abastecimiento químico,
diseñar sistemas de dilución controlada,
proteger la estructura mediante materiales resistentes a corrosión,
y garantizar que la instrumentación esté alojada en condiciones que eviten deriva en mediciones.

Pero, sobre todo, debe prever las condiciones de seguridad operativa, ya que el manejo de ácido en volúmenes industriales requiere un protocolo de diseño riguroso: contención secundaria, sensores de derrame, ventilación forzada, sistemas de lavado de emergencia y enclavamientos eléctricos.

13.2.2 Telemetría y medición de caudales

El Proyecto Ejecutivo del sistema de medición integra la variable crítica del diseño operativo: el caudal.
Se deben incorporar:

cámaras de medición adecuadas,
infraestructura para alojar medidores electromagnéticos,
registros que permitan mantenimiento,
rutas de cableado ordenadas,
gabinetes de control con ventilación adecuada,
enlaces seguros hacia el SCADA maestro.

Aquí, la precisión depende tanto del instrumento como de cómo se instale. Un medidor mal alineado puede generar errores sistemáticos irreversibles.

13.2.3 Sistema de dosificación química

El Proyecto Ejecutivo debe garantizar:

homogeneidad en la preparación de soluciones,
seguridad en el manejo de reactivos,
continuidad operacional aunque falle un equipo,
distribución uniforme del reactivo en la línea hidráulica,
acceso seguro para operadores.

Se diseñan plataformas de servicio, rutas de acceso, líneas de impulsión resistentes a químicos, y soportes mecánicos que eviten vibración y fatiga.

13.2.4 Líneas de interconexión

El Proyecto Ejecutivo define:

diámetros adecuados,
pérdidas de carga tolerables,
piezas especiales capaces de operar bajo presiones variables,
uniones mecánicas controladas,
válvulas que permitan aislamiento, despresurización y derivación.

Se deben considerar restricciones del predio, pendientes, interferencias con infraestructura antigua, zonas de seguridad y accesos de mantenimiento.

13.2.5 Tren nuevo de 2.0 m^3/s

El Proyecto Ejecutivo del tren nuevo se convierte en la obra más compleja del conjunto:

fundamento estructural y geotécnico,
cálculo hidráulico interno de floculadores,
diseño de placas de recolección en sedimentación,
selección de medios filtrantes,
cálculo de retrolavado,
selección de ozonizadores y difusores,

diseño de tanques de contacto y carbón activado,
diseño del cuarto eléctrico,
integración SCADA.

Su propósito es construir un proceso tecnológico de última generación dentro de un sistema que nació en 1956.

13.3 El Proyecto Ejecutivo como garante de integración

El Proyecto Ejecutivo garantiza que cada subsistema se comunique y funcione con los demás.
Esto significa que:

el ajuste de pH no cause sobrecarga en sedimentadores,
la dosificación responda al caudal real,
el tren nuevo reciba una hidráulica estable,
el control permita gobernar el sistema completo,
y el efluente cumpla la NOM-127 consistentemente.

14. CRITERIOS DE DISEÑO (La lógica numérica del proyecto)

Los criterios de diseño son las reglas numéricas que permiten traducir el comportamiento real del agua en dimensiones, equipos y estructuras. No definen solamente "qué se debe construir", sino cómo debe operar y bajo qué condiciones.

En la modernización de Miravalle, los criterios de diseño responden a tres grandes dominios: hidráulico, químico y de control.

14.1 Criterios Hidráulicos

Los criterios hidráulicos se derivan de las características del agua cruda y de la necesidad de operar sin interrupciones.
Los principales son:

Variabilidad de caudal: el flujo puede variar entre 5.0 y 7.5 m^3/s en la planta completa; el diseño debe absorber estos cambios sin inestabilidad.
Velocidades controladas: evitar zonas de alta turbulencia en canales que deshagan flóculos.
Transiciones suaves: piezas especiales diseñadas para prevenir cavitación.
Distribución uniforme: evitar que un módulo reciba más caudal que otro.
Tiempo de retención hidráulica suficiente: cada unidad debe cumplir con TRH establecidos para su función.

La hidráulica se convierte en la base sobre la cual descansa toda la calidad final del agua.

14.2 Criterios Químicos

Los criterios químicos responden al comportamiento del agua cruda que llega desde PB2 y el acueducto Chapala:

pH óptimo para coagulación: 6.2–6.8
Alcalinidad necesaria para reacciones controladas
Gradiente de mezcla G en cámara rápida: 700–900 s^{-1}
Gradiente en floculación: 25–40 s^{-1}
Dosis de aluminio ajustada según turbiedad: modulación continua.
Criterios de ozonización: CT, transferencia de masa, concentración residual.

Los criterios químicos no solo buscan remover sólidos, sino también controlar reacciones colaterales que pueden afectar sabor, olor y subproductos.

14.3 Criterios Mecánicos

Los criterios mecánicos definen la selección de equipos:

Bombas químicas: rango dinámico amplio, materiales resistentes.
Válvulas: soportar operaciones continuas y transiciones frecuentes.
Floculadores: rotación constante, torque adecuado.
Filtros: capacidad de retrolavado sin afectar producción.
Ozonizadores: redundancia, eficiencia energética, seguridad.

14.4 Criterios Eléctricos

La planta exige una arquitectura eléctrica moderna:

tableros con factor de protección contra armónicos,
variadores de frecuencia seleccionados para cargas fluctuantes,
sistemas de puesta a tierra unificados,
interruptores con curva de disparo coordinada,
alimentación redundante,
protección contra sobrecargas químicas.

14.5 Criterios de Control

Los criterios de control representan el nuevo modelo operativo:

Integración SCADA con PB2 y tanque Cerro del Cuatro.
Curvas de dosificación automáticas según caudal real.

Alarmas racionalizadas según criticidad.
Adquisición de datos con registro histórico.
Protocolos de enclavamiento para prevenir errores humanos.

Estos criterios garantizan un sistema que no solo funciona, sino que se anticipa a fallas.

15. NORMATIVA APLICABLE (El marco que gobierna el proyecto)

La modernización de Miravalle se desarrolla en un marco normativo amplio que regula:

la calidad del agua,
la ejecución de la obra,
la seguridad operativa,
la protección ambiental,
y la integridad estructural.

Este capítulo unifica las normas más relevantes para el proyecto.

15.1 Normatividad Nacional

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos – Derecho humano al agua.
Ley de Aguas Nacionales – Dominio público, uso, control.
Ley de Obra Pública del Estado de Jalisco – Ejecución y supervisión.
Ley de Responsabilidades Administrativas del Estado – Integridad en obra.
Ley de Planeación Participativa del Estado de Jalisco – Marco rector.
Ley de Equilibrio Ecológico – Protección ambiental.

15.2 Normas Oficiales Mexicanas (NOM)

NOM-127-SSA1-2021 – Calidad del agua potable.
NOM-001-SEDE – Instalaciones eléctricas.
NOM-002-STPS – Seguridad contra incendios.
NOM-018-STPS – Identificación de sustancias peligrosas.
NOM-004-CONAGUA – Descargas.
NOM-026-STPS – Señalización.
NOM-083-SEMARNAT – Lodos.

15.3 Normatividad Internacional y Estándares Técnicos

AWWA – Tratamiento, filtración, ozono, medidores.
ASTM – Materiales para obra hidráulica.
NFPA – Seguridad eléctrica.
Manual JICA – Sistemas de potabilización.
Metcalf & Eddy – Principios de proceso.
ISO 5667 – Toma de muestras.
ISO 9001/14001 – Gestión y ambiente.

16. SEGURIDAD Y GESTIÓN DEL RIESGO (El Sistema de Protección Integral del Proyecto)

La modernización de la planta Miravalle implica introducir nueva infraestructura, sustancias químicas, sistemas eléctricos de media tensión, equipos mecánicos en operación continua y procesos que combinan presiones hidráulicas, reacciones químicas y sistemas automatizados. Esta convergencia técnica hace indispensable diseñar un sistema de seguridad y gestión del riesgo capaz de anticipar, mitigar y controlar eventos no deseados, tanto durante la construcción como durante la operación.

Aquí, la seguridad deja de ser un requisito administrativo y se convierte en un componente técnico del proceso, porque sin seguridad no hay continuidad operativa, y sin continuidad operativa la planta no puede cumplir su función esencial: garantizar agua potable para el Área Metropolitana de Guadalajara.

16.1 Seguridad durante la construcción: operar dentro de una planta viva

Construir dentro de la PP1 implica convivir con:

canales en operación continua,
caudales elevados,
reactivos químicos activos,
infraestructura eléctrica energizada,
equipos mecánicos en movimiento,
espacios confinados,
y operadores trabajando en turnos permanentes.

La obra no puede detener la operación, por lo que la seguridad no solo protege a los trabajadores: protege a la ciudad entera, porque un error en obra puede comprometer el suministro.

La gestión del riesgo en esta fase exige:

zonas estrictamente delimitadas,
rutas segregadas para tránsito de maquinaria,
coordinaciones diarias entre operación y construcción,
suspensión de maniobras en condiciones de riesgo hidráulico,
monitoreo constante de canales activos,
prohibición de intervención simultánea en dos puntos críticos,
y resguardo de líneas eléctricas activas.

La prioridad es mantener la integridad del sistema existente mientras se construye el nuevo.

16.2 Seguridad en el manejo de sustancias químicas

Con la incorporación del sistema de ajuste de pH, dosificación de coagulantes, polímeros y sistemas avanzados, el manejo de sustancias químicas adquiere un peso crucial dentro de la gestión del riesgo.

Aquí, la seguridad se basa en tres pilares:

a) Diseño seguro

— Contención secundaria.
— Diques perimetrales.
— Sensores de fuga.
— Ventilación forzada.
— Duchas de emergencia.
— Compatibilidad química de materiales.
— Accesos restringidos.

b) Operación segura

— Recetas automáticas para preparación de soluciones.
— Rutas internas sin puntos de obstrucción.
— Manipulación solo por personal certificado.
— Enclavamientos entre bombas químicas y líneas hidráulicas.

c) Respuesta a emergencias

— Procedimientos de neutralización.
— Control de vapores ácidos.
— Equipos autónomos de respiración.
— Sistemas de contención pasiva.

El objetivo es simple: ninguna falla química debe convertirse en un evento mayor.

16.3 Seguridad eléctrica y de control

El tren nuevo y la modernización incorporan tableros de media y baja tensión, variadores, PLCs y SCADA. Las fallas eléctricas aquí pueden tener consecuencias graves:

interrupción del suministro,
sobrecargas en bombas,
fallas en ozonizadores,
liberación no controlada de reactivos,
pérdida de registro histórico de datos,
y riesgos para la integridad física del personal.

Por ello, la seguridad eléctrica se basa en:

sistemas de puesta a tierra unificados,
tableros con protección selectiva,
redundancia en circuitos críticos,
canalización segregada,
monitoreo térmico continuo,
PLCs con protección contra sobretensiones,
protocolo de bloqueo y etiquetado (LOTO).

16.4 Gestión del riesgo hidráulico y estructural

Las fallas hidráulicas tienen un impacto inmediato:

desbordamientos de canales,
pérdida de control en sedimentación,

daño en filtros,
interrupción de la producción.

Por ello, la gestión del riesgo hidráulico incluye:

compuertas con enclavamiento,
válvulas de cierre rápido,
sistemas de drenaje de emergencia,
control preciso de niveles,
alarmas anticipadas por telemetría.

En cuanto a riesgos estructurales:

el concreto debe resistir esfuerzos repetidos,
los floculadores deben soportar cargas dinámicas,
los tanques químicos requieren independencia estructural,
las casetas deben resistir vibraciones.

Miravalle deja de operar en modo "reactivo" y adopta una cultura de riesgo plenamente integrada a la ingeniería.

17. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA MODERNIZADO (La Sustentabilidad Técnica del Proyecto)

La operación de la PP1 modernizada exige un nuevo modelo operativo. El personal ya no solo abrirá válvulas y dosificará reactivos manualmente; ahora deberá interpretar datos, gestionar curvas, ajustar parámetros y monitorear sistemas automatizados que interactúan entre sí.

Este capítulo define cómo debe operar y mantenerse la planta para conservar su rendimiento óptimo durante décadas.

17.1 Transición hacia una operación inteligente

La planta evoluciona de un modelo empírico a un modelo basado en datos.
La telemetría proporciona:

caudales precisos,
pH en tiempo real,
turbiedad,
niveles,
estados de válvulas,
consumo químico,
absorción UV,
curvas de funcionamiento.

El operador deja de trabajar "a ciegas". Ahora puede:

anticipar déficits de coagulante,
observar tendencias de entrada,
correlacionar fenómenos pluviales con turbiedades,
ajustar el pH en tiempo real,
equilibrar módulos con precisión.

La operación se vuelve una actividad estratégica, no solo rutinaria.

17.2 Operación del sistema químico

La modernización exige dos tipos de decisiones simultáneas:

Decisiones automáticas – ejecutadas por PLCs basados en caudal, pH y turbiedad.
Decisiones humanas – ajustes finos basados en experiencia, análisis de tendencias y condiciones externas.

Las bombas deben calibrarse periódicamente; los tanques deben limpiarse bajo protocolos; las líneas químicas deben inspeccionarse regularmente para evitar cristalización o corrosión.

Además, con el sistema de ajuste de pH, las operaciones deben monitorear:

consumo de ácido,
patrones de variabilidad en pH natural,
correlación con turbiedad,
tiempos de reacción en mezcla rápida.

17.3 Operación del tren nuevo de 2.0 m^3/s

El tren nuevo implica un proceso de mayor complejidad técnica:

Los floculadores requieren ajustes de velocidad según temporada.
Los sedimentadores deben monitorear flóculo, interface y velocidad ascensional.
Los filtros deben seguir ciclos de retrolavado basados en pérdida de carga.
El ozono exige monitoreo de CT, transferencia y seguridad.
El carbón activado requiere reinterpretación periódica de su capacidad adsortiva.

Para operar el tren nuevo, el personal necesita capacitación especializada en:

oxidación avanzada,
mecánica de floculación,
fenomenología de transferencia de masa,
bioadsorción superficial en filtros,
dinámica del carbón activado.

17.4 Programa de mantenimiento

El mantenimiento se divide en tres niveles:

a) Mantenimiento preventivo

Se realiza con calendario fijo:

engrase,
calibración de bombas,
revisión de dosificadores,
limpieza de placas de sedimentación,
inspección de válvulas,
prueba de motores.

b) Mantenimiento predictivo

Depende de datos de telemetría:

vibraciones,
consumo eléctrico,
ciclos de operación,
tendencias de desgaste.

c) Mantenimiento correctivo

Actúa ante fallas emergentes, pero ahora con respaldo de redundancias.

La planta deja de sufrir "paros imprevistos" porque se anticipa a ellos.

18. BENEFICIOS TÉCNICOS, OPERATIVOS Y ECONÓMICOS DEL PROYECTO

La modernización de la PP1 no es solo una renovación: es una transformación completa del modelo de potabilización del Área Metropolitana de Guadalajara.

Sus beneficios pueden agruparse en tres niveles: técnicos, operativos y económicos.

18.1 Beneficios técnicos

a) Aumento de la eficiencia del tratamiento

El pH óptimo, la dosificación inteligente y el tren nuevo garantizan una remoción más eficiente de:

turbiedad,
manganeso,
color,
materia orgánica,
compuestos de olor y sabor.

b) Reducción de subproductos de desinfección

La ozonización previa disminuye la necesidad de cloro y reduce THMs.

c) Estabilidad del proceso

La telemetría, al registrar y anticipar tendencias, convierte la operación en un proceso estable.

18.2 Beneficios operativos

a) Reducción del consumo químico

Gracias a la dosificación basada en datos reales.

b) Menor desgaste de filtros

El flóculo mejor formado reduce carga sobre filtración.

c) Tiempos de retrolavado más eficientes

La hidráulica del tren nuevo distribuye mejor los caudales.

d) Menos fallas operativas

La redundancia eléctrica y mecánica disminuye interrupciones.

e) Mejor calidad final del agua

El agua cumple más holgadamente la NOM-127, incluso en condiciones adversas.

18.3 Beneficios económicos

a) Disminución del costo por m^3 tratado

Menor consumo de químico, menor desgaste, menor energía.

b) Extensión de vida útil de equipos

Procesos más suaves reducen fatiga mecánica.

c) Reducción de pérdidas en red

Gracias a la medición precisa y la integración con SIAPA.

d) Mayor confiabilidad del suministro

Reduce costos sociales asociados a interrupciones.

19. SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (El Nuevo Modelo Ecológico de Miravalle)

La sostenibilidad ambiental del proyecto no es un componente auxiliar ni una sección añadida para cumplir normativas; es el corazón filosófico y técnico que define cómo la planta Miravalle participará en la conservación de los recursos hídricos de la región durante las próximas décadas.

Con la modernización, PP1 deja de ser un eslabón aislado entre captación y distribución para convertirse en un agente activo dentro del equilibrio ecológico del lago, la cuenca y el sistema urbano.

19.1 Reducción del impacto químico sobre el ambiente

Uno de los mayores impactos ambientales de una planta potabilizadora proviene del uso excesivo de coagulantes y reactivos. La actual operación de Miravalle, basada parcialmente en dosificación manual o empírica, ha conducido durante décadas a períodos de sobredosificación que aumentan:

la generación de lodos,
el consumo energético,
el impacto en descargas controladas,
la huella ambiental indirecta.

La modernización cambia este paradigma a través de:

control fino de pH,
dosificación basada en caudal real,
sistemas de medición con precisión industrial,
mezcla hidráulica optimizada.

Estos elementos permiten alcanzar el objetivo técnico de reducir entre 15% y 30% el consumo de sulfato de aluminio de forma sostenida, lo que disminuye significativamente la huella ecológica de la planta.

19.2 Disminución de lodos residuales

Los lodos generados en potabilización no son meros subproductos; son una carga ambiental que debe manejarse, espesarse y disponer adecuadamente.

Cuando el proceso químico es ineficiente, los lodos crecen; cuando es óptimo, los lodos disminuyen.

Gracias al ajuste de pH, la dosificación inteligente y la floculación adecuada, el sistema reducirá la generación de lodos hasta un nivel en que:

disminuye el volumen de transporte,
se reduce la necesidad de polímeros auxiliares,
la traza química del lodo baja,
mejora la estabilidad del lodo para su disposición final.

Esto convierte la planta en un centro de tratamiento más limpio, eficiente y sostenible.

19.3 Reducción de subproductos de desinfección (DBPs)

El uso intensivo de cloro en la planta histórica ha generado retos constantes en:

THMs,
HAA5,
compuestos orgánicos volátiles,
y subproductos no regulados.

La integración del ozono como proceso intermedio cambia radicalmente la química del agua tratada: oxida compuestos precursores y reduce la carga orgánica que reacciona con el cloro.

Esto no solo mejora el perfil sensorial del agua —olor, sabor, color—, sino que reduce la exposición de la población a subproductos potencialmente dañinos.

La sostenibilidad aquí se expresa como salud pública.

19.4 Consumo energético eficiente

La planta actual opera con equipos sin variadores de frecuencia, con motores susceptibles a sobrecarga y con procesos que requieren más energía de la necesaria.

El nuevo diseño introduce:

variadores de velocidad,
bombas de última generación,
retrolavados más eficientes,
ozonizadores con eficiencia energética,
control de aireación optimizado.

La telemetría permite identificar patrones de consumo energético y ajustarlos, reduciendo el costo por m^3 tratado y disminuyendo la huella de carbono asociada a la operación.

19.5 Resiliencia climática y variabilidad ambiental

El lago de Chapala ha experimentado fluctuaciones extremas en las últimas décadas. La modernización dota a Miravalle de resiliencia técnica, permitiéndole operar bajo:

variaciones extremas de turbiedad,
cambios abruptos de pH natural,
aumentos de materia orgánica por lluvias,
disminución de calidad por arrastre de sedimentos.

La resiliencia climática no se logra con equipos modernos; se consigue mediante procesos capaces de adaptarse químicamente, hidráulicamente y eléctricamente a lo inesperado.

Miravalle queda preparada para el clima del futuro.

20. IMPACTOS A LARGO PLAZO (La Herencia Hidráulica del Proyecto)

La modernización de la PP1 Miravalle no debe evaluarse únicamente por la obra que se construye, sino por los impactos que produce en el sistema hidráulico metropolitano durante las próximas décadas.

Aquí no se trata de producir agua; se trata de producir seguridad hidráulica.

20.1 Aumento de confiabilidad del sistema metropolitano

Con el tren nuevo y las interconexiones, Miravalle recupera capacidad operativa:

Se incrementa su margen de producción.
Se reducen riesgos de fallas masivas.
Puede absorber la variabilidad estacional.
El sistema completo obtiene redundancia parcial.

Este aumento de confiabilidad se traduce directamente en seguridad hídrica para millones de habitantes.

20.2 Fortalecimiento de la infraestructura existente

El proyecto no sustituye a la planta histórica; la rescata, la estabiliza y la integra a un sistema más robusto.
Infraestructura concebida en los años cincuenta recibe:

nuevas mediciones,
control moderno,
procesos optimizados,

capacidad para adaptarse.

La planta deja de ser "vieja" y se convierte en "actualizable".

20.3 Profesionalización técnica de la operación

La telemetría, los procesos avanzados y los sistemas de control elevan el perfil técnico del personal de operación.

El impacto a largo plazo es un cuerpo operativo más especializado, con capacidad para:

diagnosticar fallas,
interpretar datos,
modular procesos,
tomar decisiones con base científica,
gestionar escenarios complejos.

Esto profesionaliza no solo a la planta, sino al sistema de agua potable de la ZMG.

20.4 Capacidad de expansión futura

Las líneas de interconexión y el tren nuevo no solo atienden la necesidad actual; dejan bases para:

expandir módulos de filtración,
agregar nuevos trenes,
incorporar tecnologías emergentes (UV, nanofiltración),
integrar nuevos sistemas de monitoreo,
modernizar más infraestructura existente.

La longevidad del proyecto está asegurada porque su diseño admite crecimiento.

20.5 Impacto socioeconómico

Un sistema confiable reduce:

fallas en suministro,
costos de reparación,
impacto económico de interrupciones,
presión social sobre organismos operadores.

El impacto del proyecto se extiende mucho más allá de la planta:
contribuye a la estabilidad urbana y al desarrollo económico regional.

21. CONCLUSIONES GENERALES (La Síntesis del Proceso de Modernización)

La modernización de la Planta Potabilizadora No. 1 Miravalle representa uno de los proyectos de ingeniería hidráulica más relevantes de la historia reciente de Jalisco. No se trata de renovar equipos obsoletos, sino de construir una planta del siglo XXI dentro de un sistema construido en el siglo XX.

21.1 Una planta que ahora se gobierna a sí misma

Con la incorporación de telemetría, medición, control químico y automatización parcial, Miravalle deja de operar bajo intuición y pasa a operar bajo ciencia, datos y modelación.

Por primera vez:

el caudal se conoce en tiempo real,
la dosificación se ajusta sola,
el pH se controla con precisión,
el sistema prevé fallas,
el operador interpreta procesos, no síntomas.

Miravalle se convierte en una planta inteligente.

21.2 El tren nuevo como símbolo de transformación

El tren de 2.0 m^3/s no es una ampliación; es una reconfiguración conceptual del proceso. Con floculación moderna, sedimentación optimizada, filtración profunda, ozono y carbón activado, la planta obtiene una calidad de agua que nunca había podido lograr.

Este tren sienta el estándar de potabilización para las próximas décadas.

21.3 Un sistema resiliente y adaptable

La modernización prepara a la planta para:

variabilidad climática extrema,
picos de turbiedad,
oscilaciones de caudal,
cambios en calidad del agua natural,
nuevas exigencias normativas.

La resiliencia deja de ser un deseo y se convierte en una propiedad del diseño.

21.4 Un proyecto con impacto estructural en la ZMG

La modernización no solo transforma Miravalle, sino que:

estabiliza la red del SIAPA,
fortalece la operación del acueducto Chapala–Guadalajara,
incrementa el margen de seguridad hidráulica,
garantiza agua para millones de habitantes.

Es un proyecto que determina la seguridad hídrica de la metrópoli.

21.5 Conclusión final

Miravalle deja, finalmente, de ser una planta que opera por inercia histórica y se convierte en una infraestructura moderna, robusta, inteligente, sostenible y preparada para el futuro.

La modernización no es una obra:
es una nueva era para el sistema de agua potable de Jalisco.

MEMORIA DESCRIPTIVA

PARA EL NUEVO TREN DE TRATAMIENTO DE 2 m^3/s EN LA PLANTA POTABILIZADORA No. 1 MIRAVALLE EN GUADALAJARA, JALISCO

Descripción del proceso

El proceso de tratamiento propuesto para el nuevo tren de tratamiento de 2 m3/s para la planta no. 1 de SIAPA, consiste en: Mezcla rápida / coagulación, floculación, sedimentación, filtración con arena, oxidación intermedia, filtración con carbón activado y desinfección.

Se propone dividir el flujo de la planta en dos módulos de 1000 LPS y a su vez dividir cada módulo en 2 trenes de 500 LPS.

En el plano P-01 Diagrama de Flujo Fase Liquida y Sólida se pueden observar las diferentes etapas del proceso de potabilización a la que se someterá el agua, así como, la generación y tratamiento de los lodos subproducto del tratamiento.

El tratamiento de sólidos se lleva a cabo solo en el lodo extraído de los sedimentadores para la recuperación de agua; este proceso incluye: Regulación de flujo, espesado y deshidratación por mesa de gravedad y filtro banda prensa.

Así mismo, se integran los planos P-02 Arreglo General de Unidades, P-04 Perfil Hidráulico y P-05 Arreglo de Tuberías donde se plasman los detalles de trayectoria de tuberías principales, niveles de cada unidad de proceso y el acomodo de las unidades dentro de área de terreno disponible.

Coagulación, Mezcla rápida y Dosificación de Productos Químicos MR-50-01//04

Debido a la división del flujo de la planta en 4 trenes de 500 LPS, se propone una unidad de Coagulación por tren.

La coagulación se define como la desestabilización de cargas en coloides y solidos suspendidos, incluyendo bacterias y virus por medio de coagulantes, la mezcla rápida es parte integral de la coagulación. De acuerdo con la calidad del agua a tratar y a sus características fisicoquímicas se considera la aplicación de Sulfato de Aluminio, Polímero, así como, Cloro en precloración y desinfección. El mezclado de los productos químicos con el agua a tratar será mediante la utilización de una unidad mecánica de flujo vertical, con una velocidad de 1.23 m/s y un tiempo de mezclado de 1 segundo, ubicada a la entrada de los floculadores.

En el plano F – 01 Arreglo Funcional de Mezcla rápida se muestran los detalles de las dimensiones principales de cada unidad y las tuberías de interconexión.

Floculación FLOC-200-01//08

Seguido de la unidad de coagulación los floculadores se dividen en 2 unidades de 250 LPS, cada floculador cuenta con 3 cámaras de floculación, cada una con un tiempo de retención de 20 min. (1200 segundos), los gradientes que se pretenden serán descendentes en secuencia de: 40 s^{-1}, 30 s^{-1} y 20 s^{-1}.

Cada Floculador tiene las siguientes dimensiones: 4.50 mt de altura útil, 5.00 mt de altura total, 7.00 mt de ancho y 10.50 mt de largo para producir los gradientes hidráulicos se utilizan floculadores mecánicos de paletas planas equipados con motorreductores de velocidad variable de alta eficiencia (Premium).

En el plano F – 02 Arreglo Funcional de Floculadores se muestran los detalles de las dimensiones principales de cada unidad y las tuberías de interconexión.

Sedimentación SED-300-01//08

En el plano F-03 Arreglo Funcional de Sedimentadores se muestran detalles de los tanques que integran esta operación unitaria del proceso de potabilización.

La sedimentación será del tipo acelerada, mediante módulos tubulares, la tasa superficial equivalente con la que se diseño fue de 120 m3/m2/día, lo cual queda dentro de las recomendaciones de la literatura especializada, Kawamura especifica de 120-211 m3/m2/d y además es lo que recomiendan los fabricantes de los módulos.

El módulo de 1000 LPS tendrá 4 sedimentadores para 250 LPS cada uno, con un ancho de 9.00 mt y una longitud de 35.6 mt incluyendo la zona de aquietamiento (25%).

Cada sedimentador estará equipado con dos mecanismos de extracción de lodo de 4.5 mts de ancho conectados a un cabezal de descarga de 8" de diámetro.

Los módulos de sedimentación de alta tasa de 1 x 2 x 4 pies, están soportados sobre una estructura que cubre un área de 180 m^2.

Para asegurar una adecuada distribución de flujo en el área de sedimentación se instalan canaletas de colección fabricadas en acero inoxidable de 0.3 x 0.4 x 9.00 mts

Filtración con arena FIL-400-01//12

La siguiente operación de tratamiento es la filtración con arena, el agua proveniente de los sedimentadores es captada en el canal recolector / distribuidor, los filtros están equipados con un arreglo de válvulas actuadas eléctricamente y operadas de

manera automática por medio de un tablero de control local con PLC que permiten independizar el funcionamiento de cada filtro

para las etapas de retrolavado y operación, el parámetro de control para dar inicio al proceso de retrolavado es "Nivel alto" detectado por un sensor/transmisor de nivel ubicado en la parte

superior de cada filtro, por medio de este dispositivo se establece el nivel máximo de operación del filtro una vez que este se ha saturado de sólidos y la tasa de filtración "declina"

aumentando el nivel del agua en el interior del filtro, la señal del sensor de nivel inicia la etapa de retrolavado con el sistema Aire/Agua.

El módulo de 1000 LPS tendrá 6 filtros para un caudal promedio de 167 LPS cada uno, se verifica el diseño para tener 5 filtros en operación y un filtro en retrolavado y finalmente se comprueba que la filtración sea eficiente cuando se tenga la condición de 4 filtros en operación a un flujo de 250 LPS, un filtro en retrolavado y un filtro fuera por mantenimiento.

En el plano F-04 aparecen los detalles del sistema de filtración propuesto.

Cada filtro está formado por una cámara con dos secciones y un canal central tipo H de retrolavado con canaletas de recolección de agua de retrolavado. Los filtros son de tasa declinante y el fondo utilizado es de bloques plástico de flujo dual paralelo para retrolavado aire agua, equipado con placa "S-Plate" como sustituto de gravas y sujetos con el anclaje central de acero inoxidable, así como, con una placa de orificio de acero inoxidable que hace más eficiente la conexión las hileras de bloques al túnel central de colección.

Tanque para agua de retrolavado y control de nivel TARCN-450-01/02

El cabezal de descarga de los filtros de arena conecta a una estructura de concreto llamada caja de control de nivel, por medio de un vertedor mantiene el nivel mínimo de operación de los filtros, esto permite que, al reiniciar la etapa de filtrado, la entrada del agua caiga sobre 20 cms de agua sobre el lecho filtrante lo que evita que se desacomode la arena.

En esta estructura también se conecta la succión de las bombas de retrolavado, así como, las bombas que alimentan al tanque de contacto de ozono.

Tanque de contacto de ozono TCO-500-01/02 Oxidación intermedia

La dosificación de ozono es un proceso de desinfección que elimina microorganismos que son retenidos en un proceso de filtración posterior, también por oxidación controla los compuestos orgánicos como trihalometanos, compuestos orgánicos volátiles, control de algas y compuestos que causan olor y color en el agua, así como la oxidación de fierro y manganeso.

El tanque de contacto de ozono debe ser diseñado para promover una efectiva zona de mezcla debido a la baja solubilidad del ozono en el agua, para ello el tanque de contacto se ha diseñado con 8 cámaras de contacto con las burbujas de gas O3 a contracorriente con un tiempo de contacto de 10 minutos.

Se espera que el 90 al 95% del ozono sea transferido al agua, ya que el tanque de contacto es cerrado debe colectarse el ozono restante para ser enviado a un equipo especial para su destrucción, evitando que escape a la atmosfera.

Filtración con carbón activado FIL-600-01//12

Los filtros de carbón activado se comportan de manera similar a los procesos de filtración convencional en la remoción de materia suspendida, pero, además remueve compuestos orgánicos por el proceso de "adsorción" y precedido de una preozonación, como es nuestro diseño, remueven eficazmente el color, sabor y olor del agua, así como, trazas de compuestos orgánicos y carbón orgánico total, la retención de los microorganismos que han sido eliminados en el tanque de contacto de ozono, los precipitados de sales de fierro y manganeso, así como, en general solidos suspendidos, son retirados del medio filtrante en el proceso de retrolavado con mezcla de aire y agua. Por lo cual, para su diseño serán tratados como filtros de tasa declinante.

Con los parámetros de diseño de tasa de filtración y profundidad de lecho, descritos en la memoria de cálculo, se asegura un tiempo de residencia de 8 a 12 minutos.

La salida del agua del tanque de contacto de ozono se conecta a los filtros de carbón a través de un canal recolector / distribuidor, de manera similar a los filtros de arena, por lo tanto, están equipados con un arreglo de válvulas actuadas eléctricamente y operadas de manera automática por medio de un tablero de control local con PLC que permiten independizar el funcionamiento de cada filtro para las etapas de retrolavado y operación, el parámetro de control para dar inicio al proceso de retrolavado es "Nivel alto" detectado por un sensor/transmisor de nivel ubicado en la parte superior de cada filtro, por medio de este dispositivo se establece el nivel máximo de operación del filtro una vez que este se ha saturado de sólidos y la tasa

de filtración "declina" aumentando el nivel del agua en el interior del filtro, la señal del sensor de nivel da inicio a la etapa de retrolavado con el sistema Aire/Agua.

El módulo de 1000 LPS tendrá 6 filtros para un caudal promedio de 167 LPS cada uno, se verifica el diseño para tener 5 filtros en operación y un filtro en retrolavado y finalmente se comprueba que la filtración sea eficiente cuando se tenga la condición de 4 filtros en operación a un flujo de 250 LPS, un filtro en retrolavado y un filtro fuera por mantenimiento.

En el plano F-07 aparecen los detalles del sistema de filtración propuesto.

Cada filtro está formado por una cámara con dos secciones y un canal central tipo H para la recolección del retrolavado. Los filtros son de tasa declinante y el fondo utilizado es de bloques plásticos de flujo dual paralelo para retrolavado aire agua, equipado con placa "S-Plate" como sustituto de gravas y sujetos con el anclaje central de acero inoxidable, así como, con una placa de orificio de acero inoxidable que hace más eficiente la conexión las hileras de bloques al túnel central de colección.

Tanque para agua de retrolavado y control de nivel de filtros de carbón TARCN-650-01/02

El cabezal de descarga de los filtros de carbón activado conecta a una estructura de concreto llamada caja de control de nivel, por medio de un vertedor mantiene el nivel mínimo de operación de los filtros, esto permite que, al reiniciar la etapa de filtrado, la entrada del agua caiga sobre 20 cms de agua sobre el lecho filtrante lo que evita que se desacomode carbón.

En esta estructura también se conecta la succión de las bombas de retrolavado.

La salida de esta unidad alimenta al Tanque de Contacto de Cloro a través de una tubería de acero a gravedad de 42" de diámetro.

Tanque de contacto de cloro TCCL-700

El Tanque de Contacto de Cloro se diseña para el flujo total de planta 2 m3/s, el tanque es cerrado a flujo pistón con 8 muros deflectores para formar 9 canales de 2.00 mts de ancho y 4.50 mts de altura útil.

La entrada del tanque tiene una doble entrada, una para recibir 1000 LPS de un tren de tratamiento mediante una tubería de 42" y la segunda recibe los 1000 LPS del segundo tren de tratamiento, así como, la tubería del By-Pass de la primera filtración.

La salida del tanque de contacto de cloro conecta con la cisterna de 10,000 m3 (existente) mediante una tubería de acero de 60", también tiene una salida adicional de 36" para alimentar con agua tratada al tanque regulador Oriente (existente).

TANQUE DE RETROLAVADO TRTL-375

El diseño de las instalaciones de recuperación de agua de lavado de filtros se basa en la secuencia de lavado que se proponga para el lavado de los filtros y su frecuencia.

Para el cálculo se establece la carrera de filtración de 24 hrs, este tiempo varía de acuerdo con las condiciones de operación del sistema de filtrado, y el tiempo de retrolavado se estima en 10 minutos, con estos datos se calcula el volumen útil del tanque de regulación y transferencia de lodos.

Nos referimos a los 6 filtros de arena de tasa declinante, lavados con agua y aire, así como a los 6 filtros de carbón activado, el agua de lavado se envía desde las cajas de control de nivel y el aire desde los sopladores de desplazamiento positivo localizados en la galería de operación de los filtros.

El volumen calculado de agua para retro lavado por filtro es 325 m3, el tanque tendrá capacidad para recibir el volumen de 3 descargas de retrolavado con el objetivo de regular el flujo de transferencia del agua a la cabeza de la planta, este bombeo se hará de manera controlada para no impactar con variaciones de flujo el volumen de agua en el influente.

El volumen útil del tanque regulador y transferencia de lodos es 1008 m3, el equipo de bombeo instalado tiene una capacidad de 60 LPS que, de acuerdo con el balance de masa, es el flujo promedio de agua de retrolavado de filtros que sea regresada a la cabeza de la planta.

El tanque está equipado con 4 agitadores mecánicos sumergibles para mantener los sólidos en suspensión, estos agitadores están montados en las 4 esquinas del tanque y la dirección de operación puede ser ajustada, así como, la profundidad del agitador.

TANQUE DE REGULADOR DE LODOS DE SEDIMENTADOS TRLS-350

El proceso de tratamiento de lodos inicia en este tanque regulador, se colecta el lodo de sedimentadores por medio de los equipos mecánicos de extracción, estos equipos se programan por periodos de tiempo de acuerdo a las condiciones de operación, también se pueden programar por horario de arranque, estos operan de

manera secuencial, es decir, un sedimentador a la vez, se calcula que el volumen de lodo producido por sedimentador al día es 219.61 m3/día.

El tanque regulador de lodo sedimentado tiene un volumen útil para contener 3 descargas de sedimentador, Volumen Útil 658.82 m3 desde este tanque se alimenta por bombeo al espesador gravimétrico que costa de dos celdas para operar por cargas. La capacidad de bombeo es de 100 LPS para llenar una celda de espesado.

El tanque está equipado con 4 agitadores mecánicos sumergibles para mantener los sólidos en suspensión, estos agitadores están montados en las 4 esquinas del tanque y la dirección de operación puede ser ajustada, así como, la profundidad del agitador.

ESPESADOR GRAVIMETRICO EGRA-800-1/2

El espesador gravimétrico está diseñado para operar por cargas, desde el tanque regulador de lodo sedimentado se llena la celda A del espesador y cuando se ha llegado al nivel seleccionado se da tiempo para la sedimentación del lodo que previamente ha sido acondicionado con polímero catiónico para favorecer el tiempo de sedimentación, así como, para aumentar la concentración del lodo separado, entre tanto, la celda B está siendo llenada. Cuando el lodo está listo para ser retirado del espesador se arranca el equipo mecánico de extracción y es enviado al tanque de almacenamiento de lodo TAL- 900 donde se mantiene en suspensión por medio de agitadores mecánicos sumergibles en espera de ser enviado al a equipo de deshidratación de lodo.

Una vez que ha sido retirado el lodo del fondo del espesador, el agua de sobrenadante que ha sido separada del lodo se bombea directamente a la cabeza de la planta para su recuperación por medio del equipo de bombeo instalado con capacidad de 100 LPS.

Cada celda de espesado tiene un volumen útil de 320 m^3 suficiente para tratar una descarga de sedimentador por carga (Batch).

Caseta Deshidratación de Lodos

El proceso de tratamiento de lodos consiste en un espesador gravimétrico cuya función es la de espesar el lodo a una concentración de 3% bases sólidos, que es extraído del fondo por medio de equipos mecánicos, el lodo generado se capta en el tanque TAL – 700 Tanque almacén de lodos, el cual se encuentra equipado con un agitador mecánico sumergible cuya función es la mantener la mezcla homogénea de lodo.

Bombas de cavidad progresiva envían el lodo desde el TAL-700 a un tanque floculador ubicado en el interior de la caseta de deshidratación, donde es acondicionado con polímero para mejorar la separación de sólidos, el sistema integral consiste en un sistema de preparación / aplicación de polímero en polvo el cual es alimentado al influente del floculador y a una mesa de gravedad que aumenta la concentración del lodo a 4.5 -5% y descarga directamente al filtro banda prensa de donde se espera que la torta de lodo alcance una concentración de 20 a 22% con esa concentración el lodo tiene una consistencia lo suficientemente sólida para ser manejado por medio de un transportador de tornillo, el cual lo eleva hasta un camión de volteo que lo transporte para su disposición final.

El agua separada de los sólidos es captada en un tanque de almacenamiento FAF-900 desde donde es bombeada a la cabeza de la planta.

Por otro lado, en la línea que alimenta el lodo al sistema de deshidratación, se instala un bypass de tubería que permita desalojar el lodo en forma líquida por medio de un camión cisterna o ser enviado directamente al drenaje general de la planta 1 Miravalle/SIAPA.

Los detalles del sistema de deshidratación se encuentran plasmados en el plano F-14

Área Eléctrica

El conjunto de planos del área eléctrica se encuentra el Diagrama Unifilar, Instalación eléctrica Distribución de Fuerza, Alumbrado Interior y Alumbrado Exterior, Sistema de Tierras y Sistema de Pararrayos. Planos M-01 /M02.

En ellos se detallan los puntos importantes considerados en el diseño definitivo de las instalaciones eléctricas. Por ejemplo, se ubican los equipos para el tratamiento del tren de lodos, que por necesidad de espacio se encuentran ubicados en un terreno adjunto a la planta de tratamiento del nuevo tren de 2000LPS.

Instrumentación y Control

En los planos de tuberías e instrumentación M - 03 / M – 04 / M-05 / M06 / M07 se puede observar el nivel de instrumentación de las instalaciones del módulo adicional, así como la ubicación de estos dentro del proceso.

Memoria Técnico-Descriptiva

PARA LA ELABORACIÓN DEL:

Sistema de ajuste de pH con ácido sulfúrico al 98%, en tanque de entrega, para 10 m^3/s, dividido en 4 trenes de 2.5 m^3/s cada uno (incluye obra civil, mecánica, eléctrica, control, instrumentación y comunicación centralizada del sistema de medición y control).

Guadalajara, Jalisco, a 29 de mayo del 2025

Contenido

1. Introducción 3
2. Justificación del proyecto 3
3. Determinación de dosis y almacenamiento de ácido sulfúrico (H3
4. Selección de materiales de conducción y almacenamiento de Ácido Sulfúrico 5
5. Determinación de la capacidad de diques de contención para el sistema de ajuste de pH 7
6. Determinación del Número de Reynolds 8
7. Consideraciones Generales 8
8. Bibliografía 9

1. Introducción

Este documento presenta información técnica básica para tener una visión del Proyecto Ejecutivo, en el cual se está considerando el suministro, instalación y puesta en marcha del "Sistema de ajuste de pH con ácido sulfúrico al 98%, en tanque de entrega, para 10 m3/s, dividido en 4 trenes de 2.5 m3/s cada uno (incluye obra civil, mecánica, eléctrica, control, instrumentación y comunicación centralizada del sistema de medición y control)".

Este proyecto surge con el objetivo de disminuir la dosis requerida de coagulante en la etapa de coagulación del tren tratamiento de la Planta Potabilizadora No. 1 "Miravalle" y a su vez mejorar la calidad del agua producto. El proceso de coagulación depende en gran medida de las condiciones fisicoquímicas del agua, siendo el pH uno de los parámetros más críticos para garantizar la eficacia del coagulante y la formación de flóculos estables.

Según Kawamura (2000), el pH no sólo influye en la especiación del coagulante metálico, sino también en la carga superficial de las partículas coloidales presentes en el agua, que deben ser desestabilizadas para permitir la agregación. En ese sentido, el ajuste de pH previo a la coagulación permite optimizar la formación de especies hidroxiladas del coagulante, que son responsables del arrastre de partículas y compuestos orgánicos mediante el mecanismo de "sweep floc". Además, el pH influye en la carga residual del agua tratada y en la estabilidad del pH en procesos posteriores como la floculación, sedimentación y desinfección.

2. Justificación del proyecto

El ajuste de pH previo a la coagulación es una práctica ampliamente respaldada por la literatura técnica (Kawamura, 2000; MWH, 2012), ya que permite optimizar la especiación del coagulante y promover la formación eficiente de hidróxidos metálicos responsables de la remoción de turbidez, coloides y materia orgánica.

En el caso particular de la Planta Potabilizadora No. 1 "Miravalle", el agua cruda que recibe presenta un pH de aproximadamente 8.4; sin embargo, estudios de tratabilidad realizados han demostrado que la eficiencia en la remoción de contaminantes mejora significativamente cuando el pH se ajusta a valores

cercanos a 7.5. Esta condición favorece la formación de flóculos más densos y estables, lo cual incrementa el rendimiento del proceso de sedimentación.

Dado que el tanque de entrega alimenta tanto a la PP1 como a otros usuarios finales, realizar el ajuste de pH en ese punto estratégico del sistema permitirá extender los beneficios del tratamiento, mejorando la calidad del agua no solo en la planta, sino también en los demás sistemas que dependen de esa línea de conducción. Esta medida resulta técnica y operativamente conveniente, ya que promueve la uniformidad del tratamiento químico y reduce la variabilidad de calidad en la red.

3. Determinación de dosis y almacenamiento de ácido sulfúrico (H_2SO_4) para ajuste de pH

Para la determinación de la dosis de H_2SO_4 al 98%, para ajustar el pH a 7.5, se llevaron a cabo pruebas durante tres días, muestreando en la mañana y en la tarde, agua proveniente del tanque de entrega, ubicado en Calle Acueducto 565, San Pedro Tlaquepaque, Jal.

Como resultado de las pruebas de ajuste de pH, se generaron las curvas que se muestran a continuación:

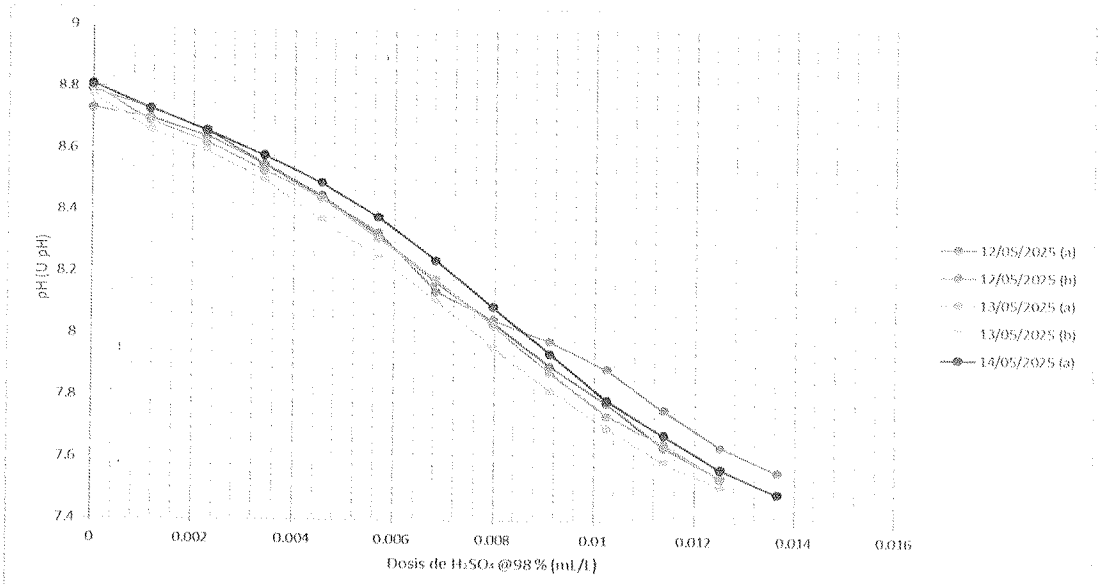


Fig. 1 Grafica de Ajuste de pH

De acuerdo con los datos obtenidos durante las pruebas de ajuste de pH en laboratorio, se concluye lo siguiente:

Dosis de H_2SO_4 [98 %] utilizada para llegar a pH 7.5	24.22	mg/L
	0.0137	mL/L
	0.025	g/L

Estos datos se utilizan para el cálculo de la capacidad de almacenamiento y para el cálculo de la capacidad de las bombas dosificadoras que se deberán contemplar por tren (2.5 m^3/s).

a) Consumo de ácido sulfúrico durante 15 días, por lo tanto, obtenemos lo siguientes dados:

Consumo x m^3	0.025	kg/m^3
Consumo x día	5400	kg/día
Consumo x mes	162000.00	kg/mes
Consumo x mes	90	m^3/mes
Consumo x 15 días	45	m3/15 días
Consumo de ácido con sobre diseño	56.25	m3/15 días
Capacidad de almacenamiento redondeada al inmediato superior	60	m3

De acuerdo con los cálculos, para el almacenamiento del ácido sulfúrico para un consumo de 15 días se necesitan dos tanques de 30 m3, se considera que el tanque será tipo horizontal con tapas toriesfericas para garantizar el adecuado mantenimiento preventivo y correctivo del tanque.
El tanque de día deberá tener una capacidad de 3 m3 de almacenamiento y será tipo vertical con tapas toriesfericas debido a que el tanque es más

pequeño y se puede garantizar que el mantenimiento se realizará de forma segura.

b) Capacidad de la bomba dosificadora:

Flujo másico	224.10	kg/h
Flujo volumétrico	124.50	L/h
Capacidad dosificación	249	L/h
Capacidad de la bomba dosificadora	124.50	L/h

De acuerdo con los cálculos, para la dosificación se consideran 3 bombas dosificadoras de al menos 124.5 LPH de capacidad de flujo (se mantendrán 2 bombas en operación + 1 en reserva).

4. Selección de materiales de conducción y almacenamiento de Ácido Sulfúrico

El ácido sulfúrico al 98% es uno de los reactivos más usados en la industria, pero debido a sus características de alta reactividad, es necesario asegurar el manejo adecuado del mismo, implementando los controles necesarios, así como seleccionando los materiales óptimos.

En el mercado actual de tanques de almacenamiento, existe una gran variedad de materiales sugeridos directamente por los propios fabricantes, que ostentan brindar seguridad para el manejo del ácido sulfúrico al 98%. Algunos de los materiales sugeridos son:

- Acero al carbón
- Acero inoxidable 316 L
- Polietileno reforzado con fibra de vidrio
- Polietileno
- Teflón
- Acero al carbón con recubrimiento interno
- Polipropileno

Sin embargo, existe una norma que brinda lineamientos claros sobre las consideraciones a tener en cuenta para el manejo seguro del ácido sulfúrico al 98%:

La norma **NACE SP0204 (antes RP0294)**, titulada "Standard Practice: Design, Fabrication, and Materials for Insulated and Uninsulated Vessels and Equipment for Sulfuric Acid Service", es la principal referencia de NACE International para el almacenamiento y manejo seguro de ácido sulfúrico.

Esta norma recomienda el acero al carbono para el almacenamiento de ácido sulfúrico concentrado, incluyendo el 98%, debido al fenómeno denominado pasivación, el cual consiste en la formación de una capa protectora de sulfato de hierro ($FeSO_4$) sobre la superficie del acero al carbono cuando está en contacto con ácido sulfúrico concentrado. Esta capa es insoluble y relativamente densa, inhibiendo una mayor corrosión del metal base.

Puntos clave de la NACE SP0204 sobre el acero al carbono para ácido sulfúrico al 98%:

- **Acero al Carbono (Carbon Steel):** Es el material preferido y más económico para el almacenamiento y transporte de ácido sulfúrico a concentraciones superiores a aproximadamente el 93% (aunque algunos límites se extienden hasta el 65-70% dependiendo de las condiciones de servicio) y temperaturas de hasta alrededor de 50-60°C (120-140°F).
- **Mecanismo de Protección:** La norma detalla que la resistencia a la corrosión del acero al carbono en ácido sulfúrico concentrado se debe a la formación de una capa protectora de sulfato de hierro insoluble ($FeSO_4$) en la superficie del metal. Esta capa, si es continua y estable, reduce drásticamente la tasa de corrosión.
- **Consideraciones Críticas:**
  - **Concentración:** La pasivación es efectiva solo a altas concentraciones. La norma establece rangos seguros y advierte sobre el riesgo de corrosión severa si el ácido se diluye por debajo de un umbral crítico.
  - **Temperatura:** La temperatura es un factor crucial. A medida que la temperatura aumenta, la solubilidad de la capa pasivante aumenta y su estabilidad disminuye, lo que lleva a tasas de corrosión más altas.

La NACE SP0204 proporciona curvas de corrosión que relacionan la concentración y la temperatura con la tasa de corrosión para diferentes materiales, lo que permite seleccionar el material adecuado para condiciones específicas.

- **Velocidad de Flujo/Agitación:** La erosión-corrosión puede ocurrir si la capa pasivante se rompe debido a altas velocidades de flujo o turbulencias. La norma proporciona directrices para el diseño de tuberías y equipos para minimizar este riesgo.
- **Contaminantes:** La presencia de ciertos contaminantes en el ácido sulfúrico (como iones oxidantes o halógenos) puede afectar la capa pasivante y aumentar la corrosión.
- **Diseño y Fabricación:** La norma también aborda aspectos de diseño y fabricación, como la soldadura, las uniones y la necesidad de evitar trampas de humedad, que pueden conducir a la dilución del ácido y, por lo tanto, a la corrosión localizada.
- **Drenaje Completo:** La importancia de un buen drenaje para evitar la acumulación de condensado o humedad, que podría diluir el ácido y causar corrosión, es un aspecto clave.

En resumen, la **NACE SP0204 respalda el uso de acero al carbono para el almacenamiento de ácido sulfúrico al 98%**, pero enfatiza la necesidad de un diseño cuidadoso y el cumplimiento de las condiciones de operación (principalmente temperatura y evitar la dilución) para asegurar la integridad del material. Es una norma fundamental para cualquiera que diseñe o gestione instalaciones de almacenamiento de ácido sulfúrico.

5. Determinación de la capacidad de diques de contención para el sistema de ajuste de pH

Los cálculos de la capacidad del dique de contención para los tanques de almacenamiento se basan en los lineamientos establecidos por la normatividad vigente en materia de seguridad ambiental e industrial (al menos 1.3 veces el volumen si se tienen más de un tanque en el mismo dique). Esta medida busca garantizar que, en caso de fuga, derrame o falla estructural, el dique contenga completamente el volumen liberado sin riesgo de desborde, incluso bajo condiciones de lluvia o eventos imprevistos. Por lo tanto, las

dimensiones del dique de contención para los tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico se han determinado considerando esta relación mínima de capacidad, así como un margen adicional de seguridad para efectos de evaporación, asentamiento del terreno y tolerancias constructivas.

a) Dique de contención para 2 Tanques de Almacenamiento de 30 m^3

Dimensión	Valor	Unidad
Ancho	9.50	m
Largo	10.50	m
Alto	0.80	m
Volumen	79.80	m^3

b) Dique de contención para 1 tanque de día de 3 m^3

Dimensión	Valor	Unidad
Ancho	5.50	m
Largo	5.50	m
Alto	0.20	m
Volumen	6.05	m^3

c) Dique de contención para bombas de trasvase de ácido sulfúrico

Dimensión	Valor	Unidad
Ancho	5.00	m
Largo	5.50	m
Alto	0.20	m
Volumen	5.50	m^3

El diseño de los diques es aislado con la finalidad de garantizar que se les pueda realizar un mantenimiento preventivo o correcto de forma eficiente y segura. Sin embargo, se considera que estos compartirán pared con la finalidad de que

los sistemas se encuentren lo más cercano posible, manteniendo un arreglo tal como se muestra en el documento del arreglo general del sistema.

6. Determinación del Número de Reynolds

Con el objetivo de verificar la condición del régimen hidráulico en la caja de llegada del tanque de entrega, se calculó el número de Reynolds (Re) a partir de los parámetros característicos del flujo. Se consideró un radio hidráulico (R) de 1.84 m y una velocidad media de 0.0714 m/s, resultado en un valor de:

$$Re = 131{,}376\ (Re > 4{,}000)$$

Este resultado confirma que el flujo es claramente turbulento, de acuerdo con los criterios definidos en la literatura técnica (Crane TP-410 y Metcalf & Eddy), donde se establece que para valores de Re>4,000, el régimen es completamente turbulento.

Al ingresar al tanque, el agua forma un chorro libre a alta velocidad, que a medida que avanza entrena agua circundante, lo que provoca un aumento en la sección transversal del flujo y una consecuente disminución de la velocidad. Al alcanzar la superficie libre, el chorro experimenta una alteración en su dirección y momento, generando una región de mezcla turbulenta caracterizada por alta disipación de energía cinética.

Esta condición puede ser estratégicamente aprovechada como zona de contacto para el ajuste de pH, ya que la mezcla turbulenta favorece la dispersión rápida y homogénea del reactivo químico (ej. ácido o álcali), sin necesidad de un equipo adicional de agitación. La turbulencia inducida por el chorro contribuye así a una mejor eficiencia en el consumo de reactivos y uniformidad del tratamiento químico.

7. Consideraciones Generales

a) Los cálculos presentados son para el tratamiento de 2.5 m^3/s que equivalen a un solo tren, por lo tanto, se requieren 4 trenes similares para el tratamiento de 10 m^3/s.

b) Para el almacenamiento y conducción de ácido sulfúrico al 98%, se seguirá la recomendación de la noma NACE SP0204 y se utilizará acero al carbón para el manejo seguro de dicho reactivo. Las líneas de conducción serán de Acero al Carbón Ced 40 y serán montadas sobre un rack fabricado en acero al carbón con recubrimiento epoxico. Las tuberías fueron calculadas y se encuentran en la Memoria de Cálculo Hidráulica de acuerdo a las recomendaciones del libro Crane Co. (2018).

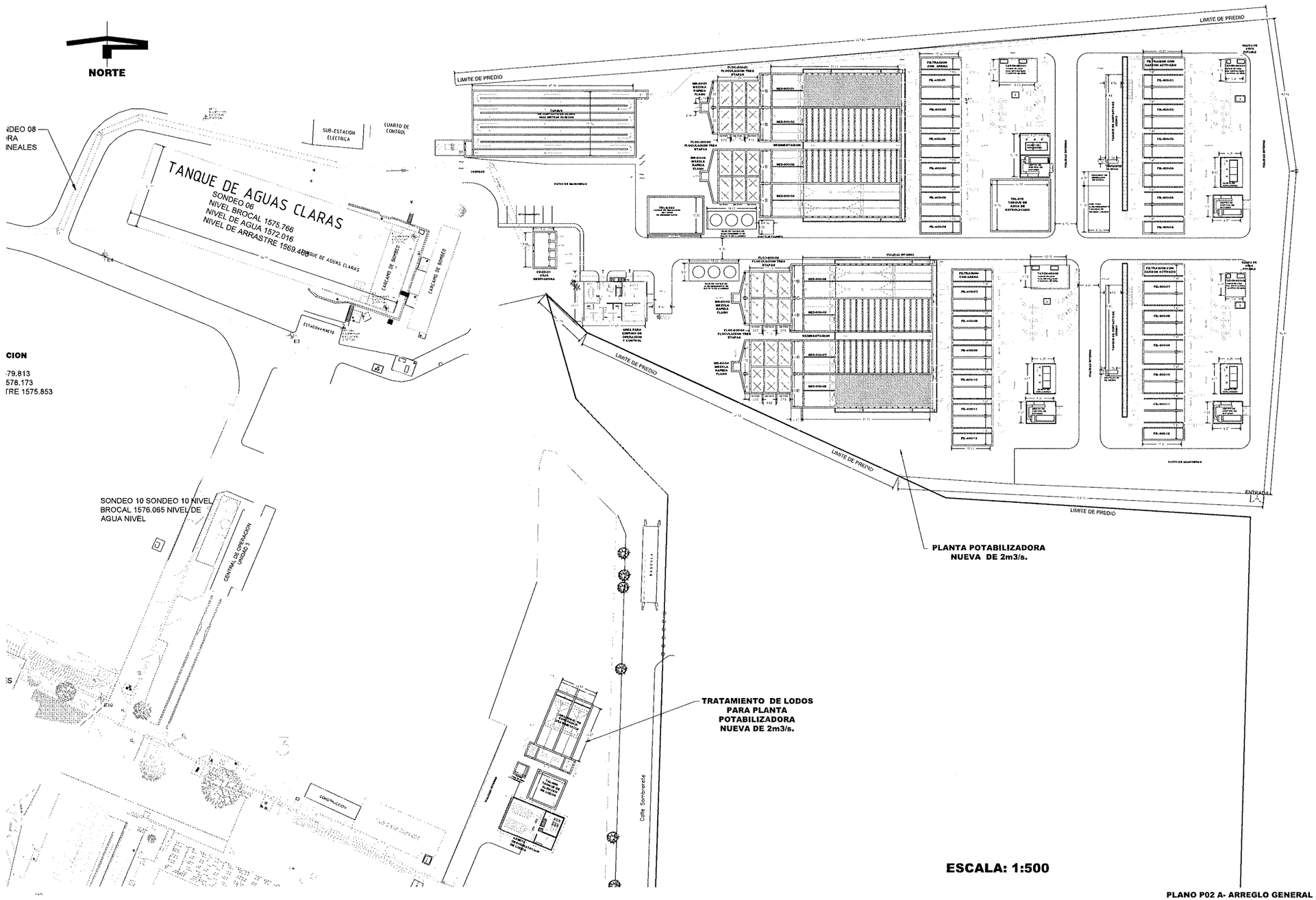
8. Bibliografía

- Crane Co. (2018). Flow of Fluids Through Valves, Fittings, and Pipe (Technical Paper No. 410). Crane Engineering.
- Kawamura, S. (2000). Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2014). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (5th ed.). McGraw-Hill Education
- National Association of Corrosion Engineers (NACE). (2004). NACE SP0204-2004: Standard Practice – Design, Fabrication, and Materials for Insulated and Uninsulated Vessels and Equipment in Sulfuric Acid Service (formerly RP0294). NACE International.
- Davies, M. (2005). Materials selection for sulfuric acid. Materials Technology Institute of the Chemical Process Industries, Inc. ISBN 1-57698-035-9.
- Korb, L. J., & Davis, J. R. (Eds.). (1987). ASM Handbook, Volume 13: Corrosion. ASM International.
- Dillon, C. P., &Pollock, W. I. (1999). Materials selector for Hazardous Chemicals. (end ed.) Materials technology Institute of the Chemicals Process Industries.
- National Association of Corrosion Engineers (NACE). (2001). NACE RP0391-2001: Materials for the handling and storage of commercial concentrated (90-100%) sulfuric acid at ambient temperatures. NACE International.

fin del documento

000100

PLANTA POTABILIZADORA 2000 LPS
ARREGLO GENERAL DE UNIDADES

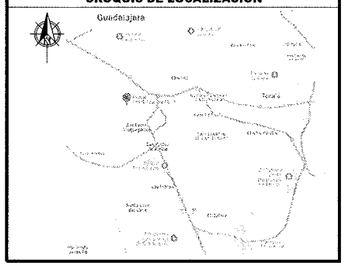


ESCALA: 1:500

PLANO P02 A- ARREGLO GENERAL DE UNIDADES ESC:1:500

REVISIONES
REV-A 15/08/2025
REV-B 23/09/2025
REV-C 27/10/2025

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

UNIDADES DE TRATAMIENTO:

CD	CAJA DISTRIBUIDORA
MR	MEZCLA RAPIDA FLASH
FLOC	FLOCULADOR
SED	SEDIMENTADOR
FIL-400	FILTROS DE ARENA
TARCN	TANQUE DE AGUA PARA RETROLAVADO Y CONTROL DE NIVEL
TCO	TANQUE DE CONTACTO DE OZONO
FIL-600	FILTROS DE CARBON ACTIVADO
TRLS	TANQUE DE REGULADOR DE LODOS DE SEDIMENTADOS
TRL	TANQUE DE AGUA DE RETROLAVADO
EGRA	ESPESADOR GRAVIMETRICO
TAL	TANQUE DE ALMACEN DE LODOS
TCCL	TANQUE DE CONTACTO DE CLORO
FAF	FOSA DE AGUA FILTRADA

DATOS DE PROYECTO

PARA EL NUEVO TREN DE 2 m3/s QUE SE INSTALARA EN PP1
-SEPARACION SÓLIDO-LIQUIDO
- SEDIMENTADOR
-PRIMER FILTRACIÓN
- ARENA
- OZONO
-SEGUNDA FILTRACIÓN
- CARBÓN ACTIVADO

CANTIDADES DE OBRA

- EL SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE 2 m3/s PARA PP1 SE DESARROLLARA EN MODULOS CAPACES DE PRODUCIR 500 LPS.

CEA-PMM-EST-LP-004-25

PLAN MAESTRO DE MODERNIZACIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA NO. 1 "MIRAVALLE", INCLUYE PRETRATAMIENTO EN LAS PINTAS, MUNICIPIO DE GUADALAJARA, JALISCO.

Comisión Estatal del Agua Jalisco

JALISCO GOBIERNO DEL ESTADO

Municipio
Guadalajara, Jalisco
Localidad
Miravalle
Descripción del plano
ARREGLO GENERAL DE UNIDADES PLANTA POTABILIZADORA para tren de tratamiento de 2m3/s.

Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos

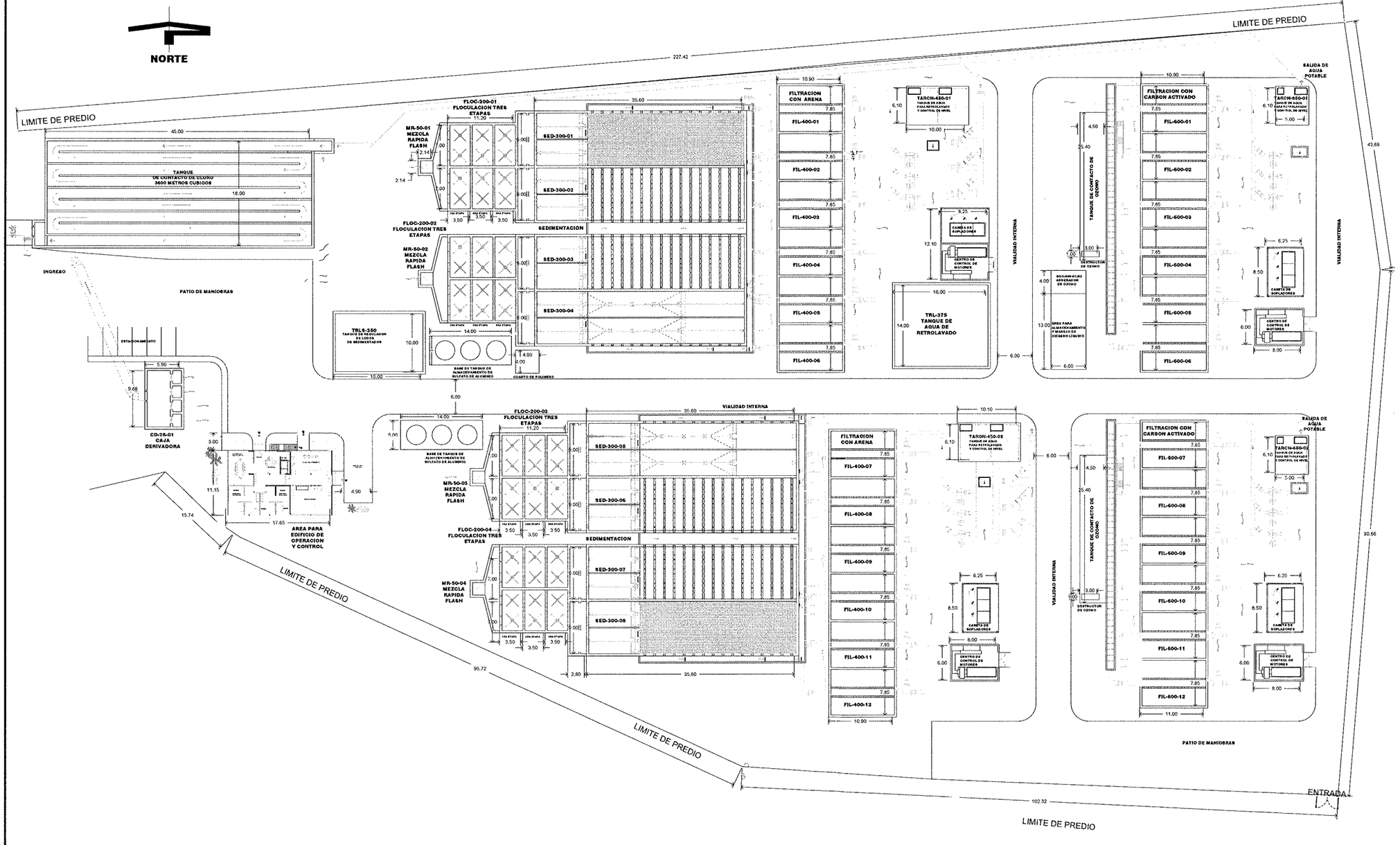
Lic. Hector Javier Castañeda Nañez	Ing. Fidelmar Medios Villegas
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha Mayo 2025 Escala 1:500	Plano 1 de 1

ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
Domicilio: AV. MANUEL GOMEZ MORIN No. INT. 2, No. EXT. 171, ENTRE CALLE MANUEL DORADO Y FLORAL
Colonia: CIUDAD SATELITE DE MORELOS CENTRO
Municipio: GUADALAJARA Estado: JALISCO
C.P. 47460
Correo electrónico: epias@prodigy.net.mx
EPIAS

Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25
Ing. Rafael Gonzalez Perez — Representante legal
IQ. Sergio Mayorquin — Especialidad

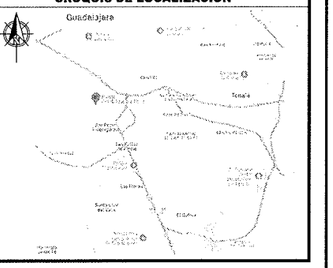
Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25
Ing. Alejandro Santillan B. — Supervisor

PLANTA POTABILIZADORA 2000 LPS
ARREGLO GENERAL DE UNIDADES



ESCALA: 1:300

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

UNIDADES DE TRATAMIENTO:

CD	CAJA DISTRIBUIDORA
MR	MEZCLA RAPIDA FLASH
FLOC	FLOCULADOR
SED	SEDIMENTADOR
FIL-400	FILTROS DE ARENA
TARCN	TANQUE DE AGUA PARA RETROLAVADO Y CONTROL DE NIVEL
TCO	TANQUE DE CONTACTO DE OZONO
FIL-600	FILTROS DE CARBON ACTIVADO
TRLS	TANQUE DE REGULADOR DE LODOS DE SEDIMENTADOS
TRL	TANQUE DE AGUA DE RETROLAVADO
EGRA	ESPESADOR GRAVIMETRICO
TAL	TANQUE DE ALMACEN DE LODOS
TCCL	TANQUE DE CONTACTO DE CLORO
FAF	FOSA DE AGUA FILTRADA

DATOS DE PROYECTO

PARA EL NUEVO TREN DE 2 m3/s QUE SE INSTALARA EN PP1
•SEPARACION SÓLIDO-LÍQUIDO
*SEDIMENTADOR
•PRIMER FILTRACIÓN
*ARENA
*OZONO
•SEGUNDA FILTRACIÓN
*CARBÓN ACTIVADO

CANTIDADES DE OBRA

- EL SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE 2 m3/s PARA PP1 SE DESARROLLARA EN MODULOS CAPACES DE PRODUCIR 500 LPS.

CEA-PMM-EST-LP-004-25

PLAN MAESTRO DE MODERNIZACIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA NO. 1 "MIRAVALLE", INCLUYE PRETRATAMIENTO EN LAS PINTAS, MUNICIPIO DE GUADALAJARA, JALISCO.

Comisión Estatal del Agua Jalisco

JALISCO GOBIERNO DEL ESTADO

Municipio	Guadalajara, Jalisco
Localidad	Miravalle
Descripción del plano	ARREGLO GENERAL DE UNIDADES PLANTA POTABILIZADORA para tren de tratamiento de 2m3/s.
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	
Lic. Hector Javier Castañeda Nañez	Ing. Fidelmar Merlos Villegas
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha Mayo 2025	Escala 1:300 — Plano 1 de 1

PLANO P02 - ARREGLO GENERAL DE UNIDADES ESC:1:300

REVISIONES
REV-A 15/08/2025
REV-B 23/09/2025
REV-C 27/10/2025

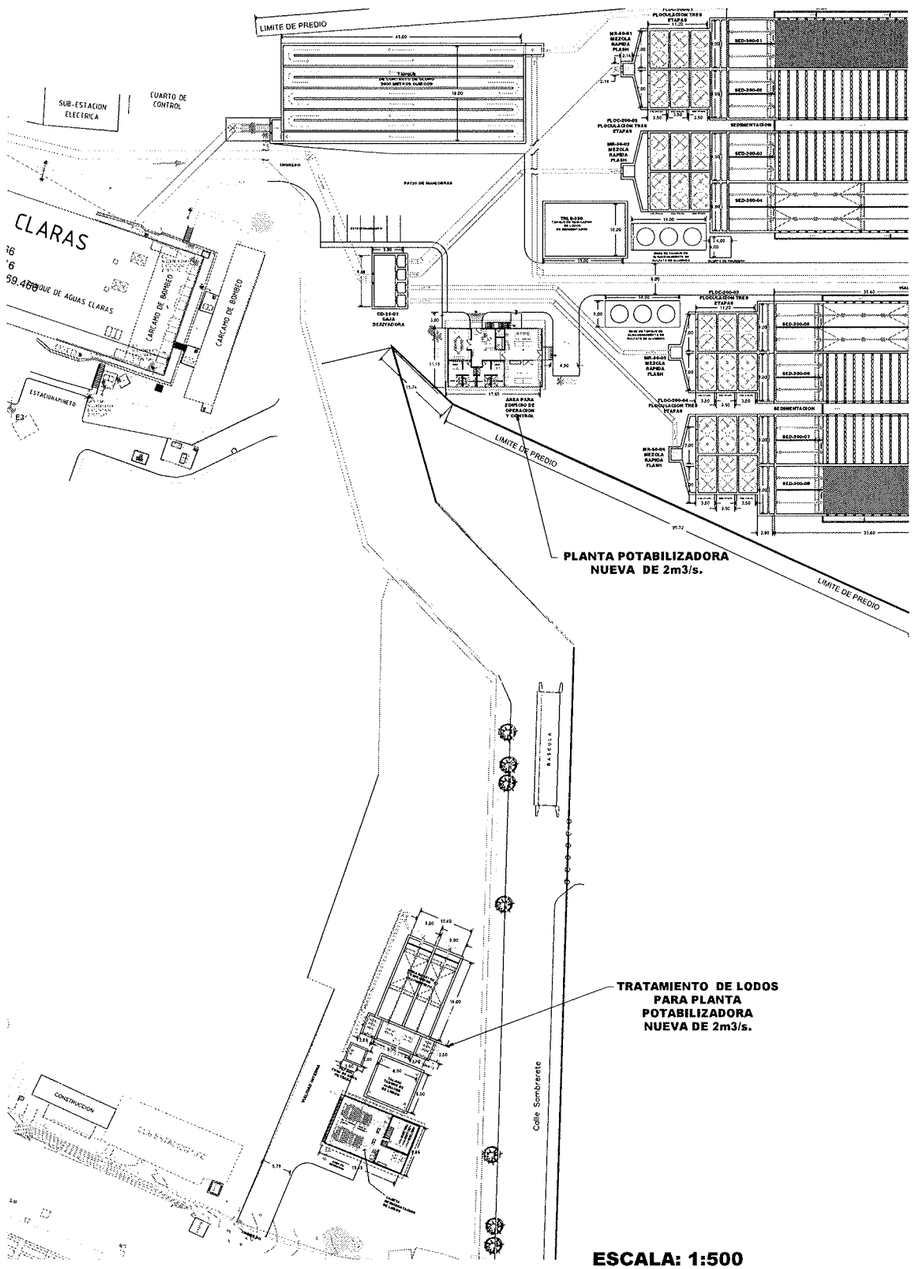
ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
Domicilio: AV. MANUEL GÓMEZ MORÍN No 845, 2, No. 521, Cl. ENTRE CALLE MANUEL DUBLÁN Y AZÚMBO
Colonia: TEPATITLAN DE MORELOS CENTRO
Municipio: GUADALAJARA JALISCO
C.P.: 47360
Correo electrónico: epias@yahoo.com
EPIAS

Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25
Ing. Rafael Gonzalez Perez — Representante legal
IQ. Sergio Mayorquin — Especialidad

Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25
Ing. Alejandro Sanchez B. — Supervisor

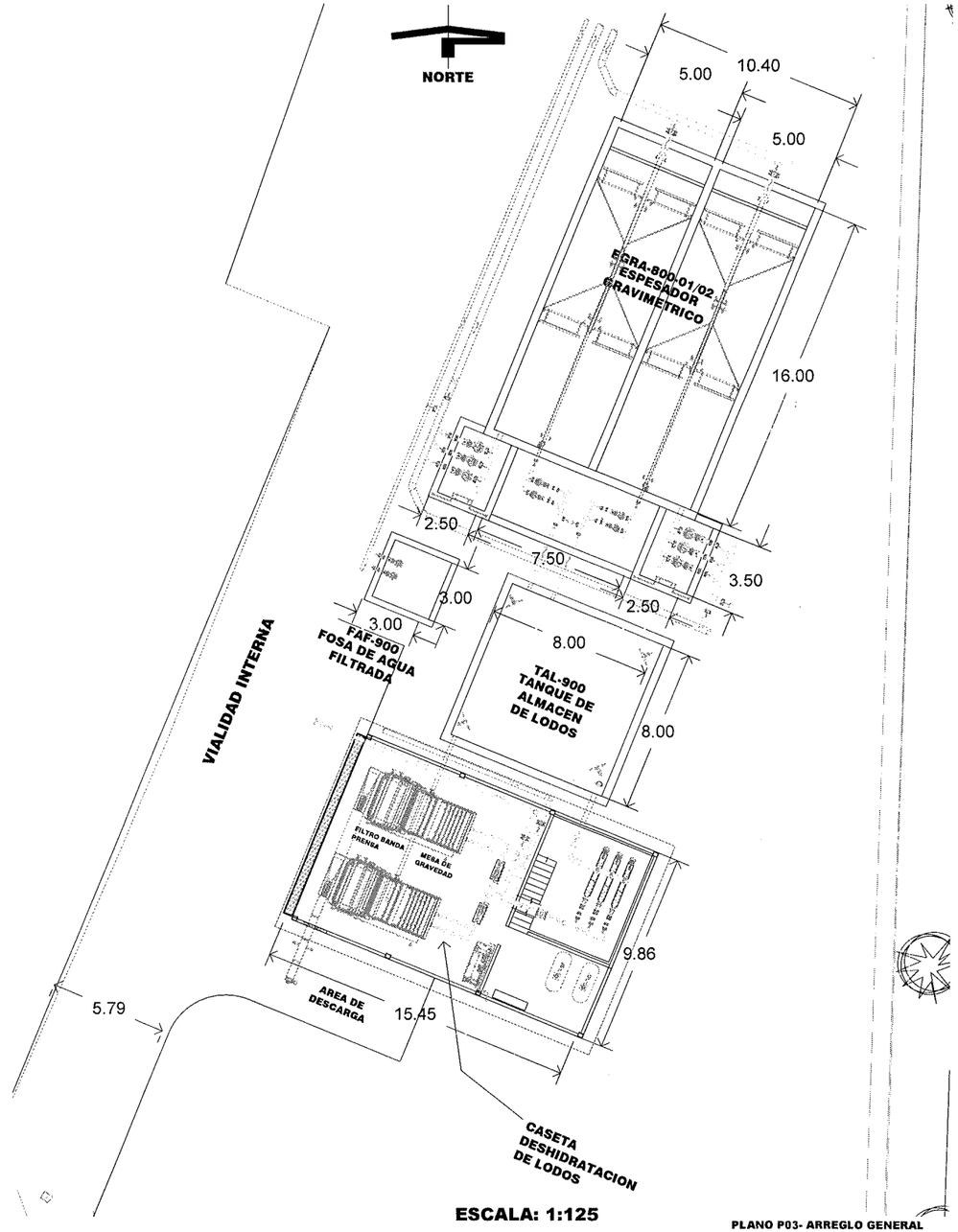
PLANTA POTABILIZADORA 2000 LPS
ARREGLO GENERAL DE TRATAMIENTO DE LODOS

NORTE



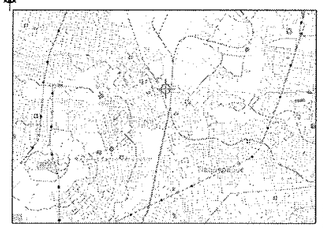
ESCALA: 1:500

NORTE



ESCALA: 1:125

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

UNIDADES DE TRATAMIENTO:

CD	CAJA DISTRIBUIDORA
MR	MEZCLA RAPIDA FLASH
FLOC	FLOCULADOR
SED	SEDIMENTADOR
FIL-400	FILTROS DE ARENA
TARCM	TANQUE DE AGUA PARA RETROLAVADO Y CONTROL DE NIVEL
TCO	TANQUE DE CONTACTO DE OZONO
FIL-600	FILTROS DE CARBON ACTIVADO
TRLS	TANQUE DE REGULADOR DE LODOS DE SEDIMENTADOS
TRL	TANQUE DE AGUA DE RETROLAVADO
EGRA	ESPESADOR GRAVIMETRICO
TAL	TANQUE DE ALMACEN DE LODOS
TCCL	TANQUE DE CONTACTO DE CLORO
FAF	FOSA DE AGUA FILTRADA

DATOS DE PROYECTO

PARA EL NUEVO TREN DE 2 m3/s QUE SE INSTALARA EN PP1
-SEPARACION SÓLIDO-LIQUIDO
*SEDIMENTADOR
-PRIMER FILTRACIÓN
*ARENA
*OZONO
-SEGUNDA FILTRACIÓN
*CARBÓN ACTIVADO

CANTIDADES DE OBRA

EL SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE 2 m3/s PARA PP1 SE DESARROLLARA EN MODULOS CAPACES DE PRODUCIR 500 LPS.

CEA-PMM-EST-LP-004-25

PLAN MAESTRO DE MODERNIZACIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA NO. 1 "MIRAVALLE", INCLUYE PRETRATAMIENTO EN LAS PINTAS, MUNICIPIO DE GUADALAJARA, JALISCO.

Comisión Estatal del Agua Jalisco

JALISCO Gobierno del Estado

Municipio	**Guadalajara, Jalisco**
Localidad	**Miravalle**
Descripción del plano	**ARREGLO GENERAL DE TRATAMIENTO DE LODOS para tren de tratamiento de 2m3/s.**
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	
Ing. Victor Iván Lira Contreras — Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Ing. Fidelmar Merlos Villegas — Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha Mayo 2025 — Escala VARIAS	Plano 1 de 1

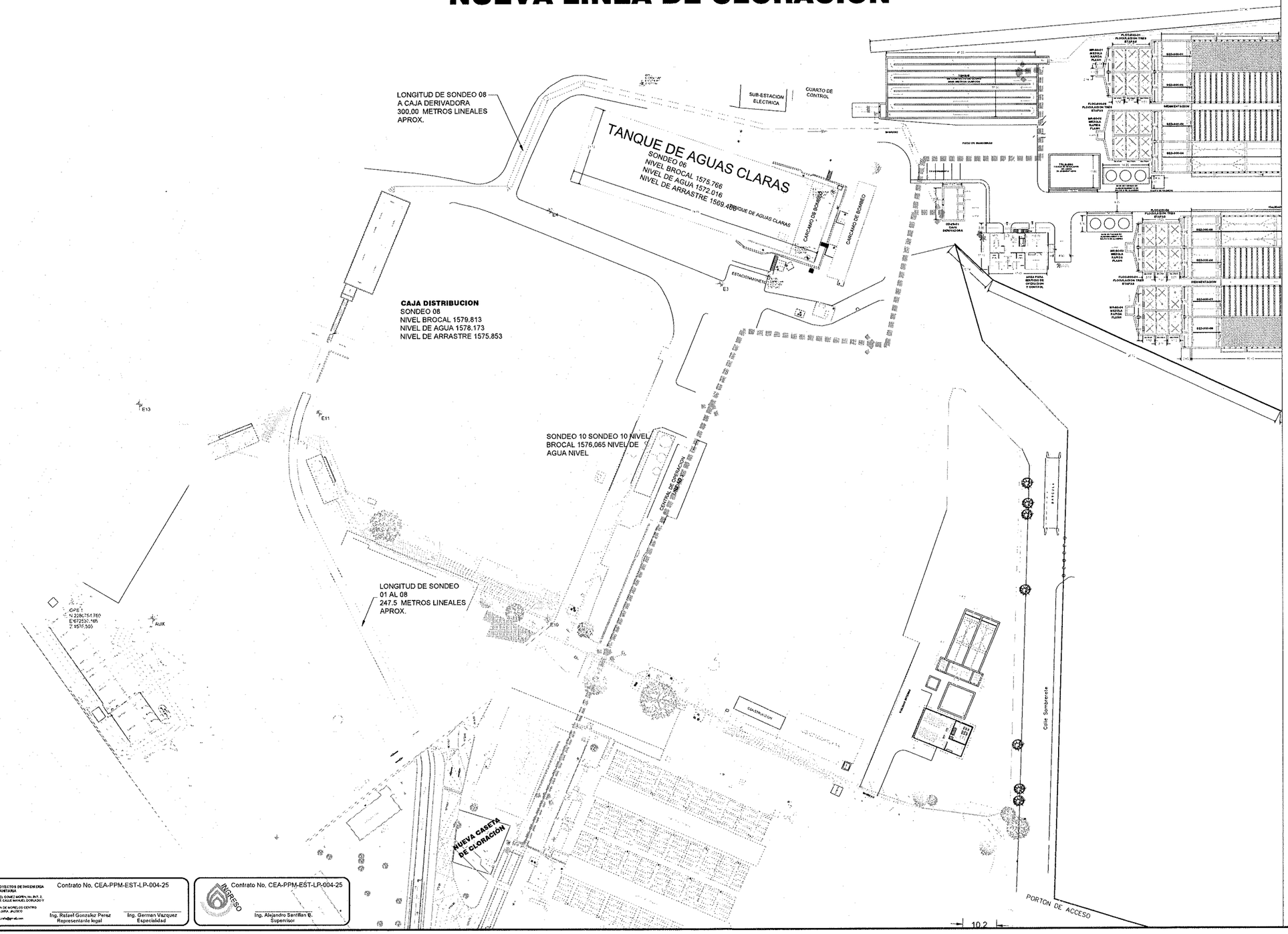
PLANO P03- ARREGLO GENERAL DE TRATAMIENTO DE LODOS

REVISIONES
REV-A 12/08/2025
REV-B 15/08/2025

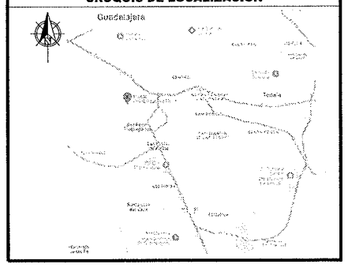
ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25
Dr. Rafael Gonzalez Perez
Representante legal

Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25
Ing. Alejandro Santillan B.
Supervisor

NUEVA LÍNEA DE CLORACIÓN



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

- VÁLVULA MANUAL
- BOMBA CENTRÍFUGA
- AGITADOR
- DIRECCIÓN DE FLUJO DE AGUA
- DIRECCIÓN DE LODO

DATOS DE PROYECTO

PARA EL NUEVO TREN DE 2 m3/s QUE SE INSTALARA EN PP1 SE PRESENTA LA LÍNEA DE CLORACIÓN CORRESPONDIENTE

- LÍNEA DE CLORO
- LÍNEA DE AGUA POTABILIZADA
- LÍNEA DE AGUA INFLUENTE

CANTIDADES DE OBRA

- EL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA 2 m3/s PARA PP1 SE DESARROLLARA EN MODULOS CAPACES DE PRODUCIR 500 LPS.

NOTAS

-Se considera una nueva caseta de cloración, ubicada en el área designada, que brindará servicio únicamente al nuevo tren de tratamiento de 2000 LPS y contempla una línea destinada a la precloración y una segunda a la desinfección.

Comisión Estatal del Agua Jalisco

JALISCO

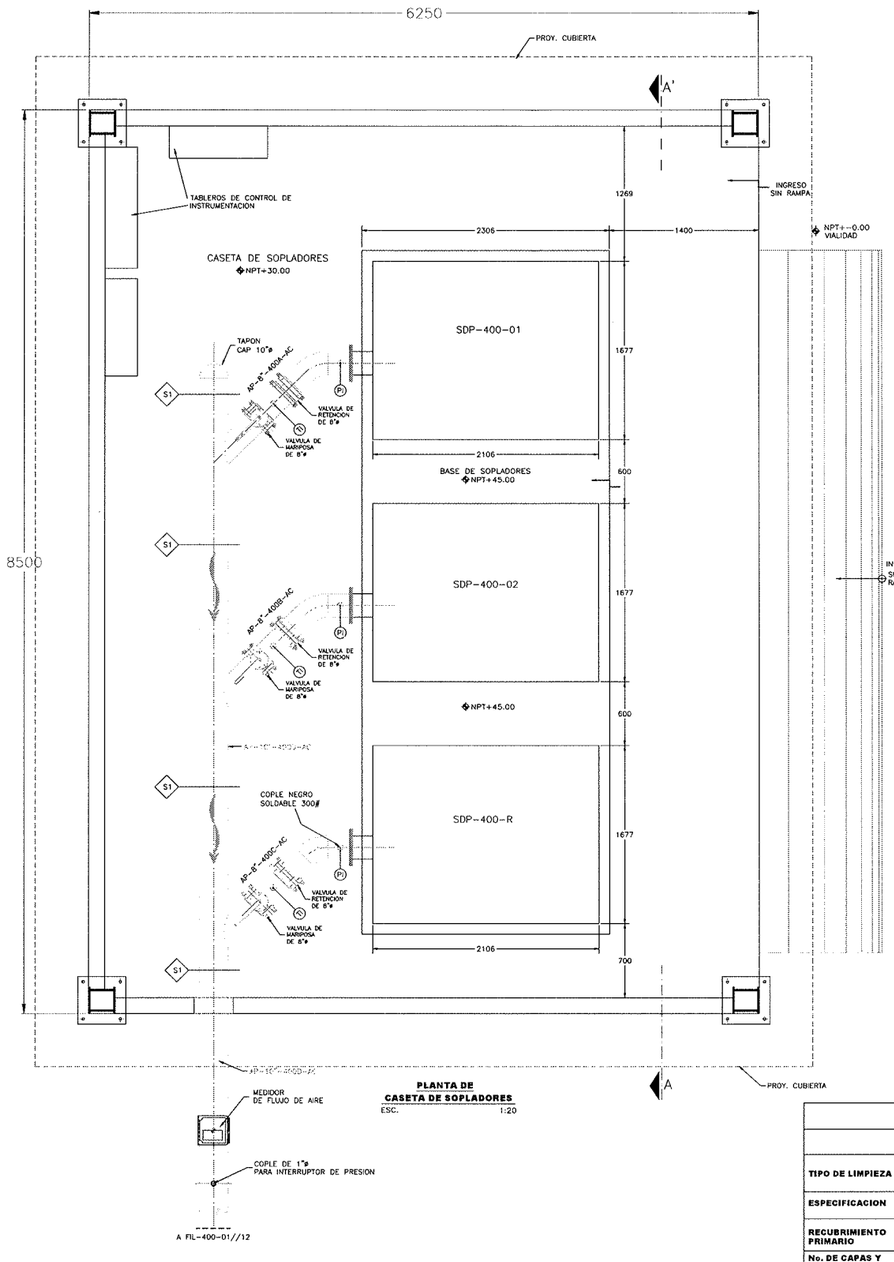
Municipio	**Guadalajara, Jalisco**
Localidad	**Miravalle**
Descripción del plano	**Arreglo general - Nueva línea de cloración para el proceso de tratamiento seleccionado para el tren nuevo de proceso para 2 m3/s**
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	
Lic. Hector Javier Castañeda Nañez Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Ing. Fidelmar Merlos Villegas Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha Septiembre 2025 Escala 1:1000	Plano 1 de 1

ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
Domicilio: Av. MANUEL GOMEZ MORIN No. 8121, No. EXT. 121, ENTRE CALLE MANUEL DORADO Y ALDAMA,
Colonia: TEPATITLAN DE MORELOS CENTRO
C.P. 47600, GUADALAJARA, JALISCO
Tel.: 33 3742 0...
Correo electrónico: epias@gmail.com
EPIAS

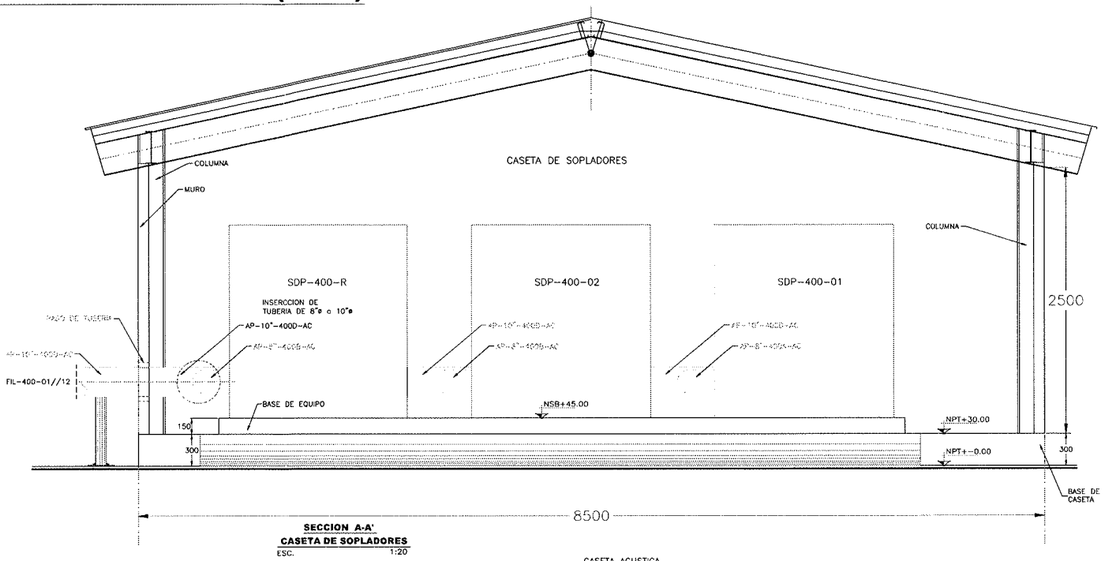
Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25
Ing. Rafael Gonzalez Perez
Representante legal
Ing. German Vazquez
Especialidad

INGRESO
Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25
Ing. Alejandro Santillan G.
Supervisor

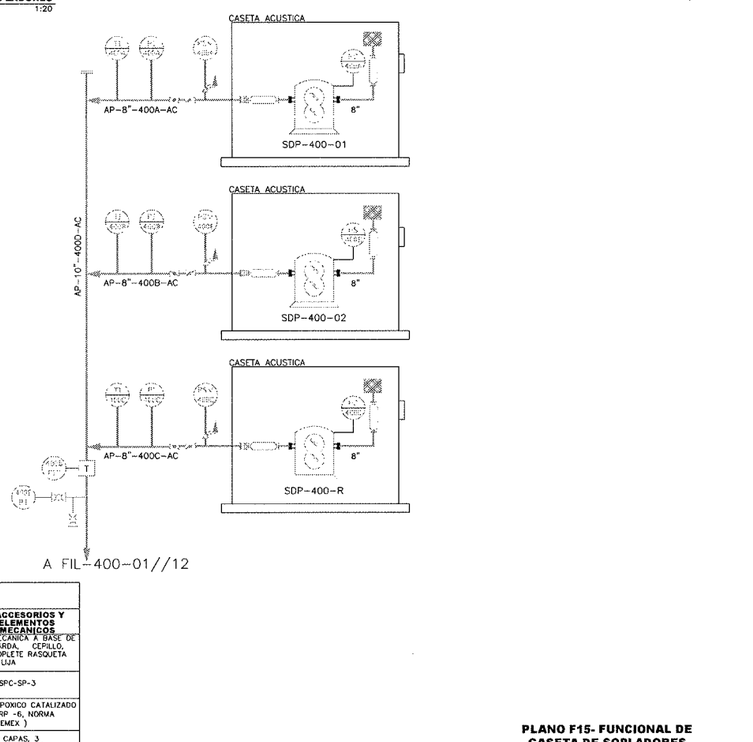
PLANTA POTABILIZADORA 2000 LPS
CASETA DE SOPLADORES (TIPO)



PLANTA DE CASETA DE SOPLADORES
ESC. 1:20



SECCION A-A'
CASETA DE SOPLADORES
ESC. 1:20



ESPECIFICACIONES DE PROTECCION ANTICORROSIVA EN FUNCION DE LA CALIDAD AMBIENTAL PREVALECIENTE

	INTERIOR	EXTERIOR	INMERSION	ENTERRADO O AHOGADO EN CONCRETO	ACCESORIOS Y ELEMENTOS MECANICOS
TIPO DE LIMPIEZA	CHORRO DE ARENA ACABADO COMERCIAL	CHORRO DE ARENA ACABADO CASI METAL BLANCO.	CHORRO DE ARENA ACABADO METAL BLANCO.	CHORRO DE ARENA ACABADO COMERCIAL.	MECANICA A BASE DE CARDA, CEPILLO, SOPLETE RASQUETA Y LIJA
ESPECIFICACION	SSPC-SP-6-NACE No. 3	SSPC-SP-10-NACE No. 2	SSPC-SP-5-NACE No. 1	SSPC-SP-6-NACE No. 3	SSPC-SP-3
RECUBRIMIENTO PRIMARIO	EPOXICO CATALIZADO (RP -6, NORMA PEMEX)	EPOXICO CATALIZADO (RP -6, NORMA PEMEX)	EPOXICO ALQUITRAN DE HULLA TIPO B (EH_B)	EPOXICO ALQUITRAN DE HULLA TIPO B (EH_B)	EPOXICO CATALIZADO (RP -6, NORMA PEMEX)
No. DE CAPAS Y ESPESOR MINIMO SECO.	2 CAPAS, 5 MILESIMAS DE PULGADA C/U.	2 CAPAS, 5 MILESIMAS DE PULGADA C/U.	2 CAPAS, 6 MILESIMAS DE PULGADA C/U.	2 CAPAS, 6 MILESIMAS DE PULGADA C/U.	2 CAPAS, 3 MILESIMAS DE PULGADA C/U.
RECUBRIMIENTO DE ACABADO.	EPOXIMO DE ALTOS SOLIDOS (RA-26, NORMA PEMEX).	EPOXIMO DE ALTOS SOLIDOS (RA-26, NORMA PEMEX).	EPOXICO ALQUITRAN DE HULLA TIPO B (EH_B)	EPOXICO ALQUITRAN DE HULLA TIPO B (EH_B)	EPOXICO DE ALTOS SOLIDOS (RA-26, NORMA PEMEX).
No. DE CAPAS Y ESPESOR MINIMO SECO EN PULG.	2 CAPAS, 5 MILESIMAS C/U.	2 CAPAS, 5 MILESIMAS C/U.	2 CAPAS, 6 MILESIMAS C/U.	2 CAPAS, 6 MILESIMAS C/U.	2 CAPAS, 3 MILESIMAS C/U.

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

SIMBOLOGÍA

UNIDADES DE TRATAMIENTO:

CASETA DE SOPLADORES
FIL FILTROS

EQUIPOS:
SOP SOPLADOR DESPLAZAMIENTO POSITIVO

FILTROS DE MICROMEDIA
6 SDP-400-01/R/02/R- Soplador desplazomiento positivo

FILTROS DE CARBON ACTIVADO
10 SDP-600-01/R/02/R- Soplador desplazomiento positivo

SERVICIO DE TUBERIAS:
AP AIRE A PRESION

ESPECIFICACIONES DE TUBERIA:
AC ACERO AL CARBON A-53B, CON COSTURA
PEAD POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD
PVC CLORURO DE POLIVINILO

NIVELES:
NCT NIVEL CENTRO DE TUBO
NAT NIVEL ARRASTRE DE TUBO
NTN NIVEL DE TERRENO NATURAL
NSV NIVEL SOBRE VERTEDOR
NAME NIVEL MAXIMO DE AGUA
NSM NIVEL SOBRE MURO
NSLB NIVEL SOBRE LOSA BASE
N NIVEL
NSC NIVEL SOBRE CANALETA
NFC NIVEL FONDO DE CANALETA
NPT NIVEL DE PISO TERMINADO
NST NIVEL SOBRE TUBO

SIMBOLOGIA

TUBO SUBE
TUBO BAJA
TIPO DE SOPORTE

AC - 8" - 001 - AC
- ESPECIFICACION DE TUBERIA
- CONSECUTIVO DE TUBERIA
- DIAMETRO DE TUBERIA
- SERVICIO

DATOS DE PROYECTO

PARA EL NUEVO TREN DE 2 m3/s QUE SE INSTALARA EN PP1
-SEPARACION SÓLIDO-LIQUIDO
*SEDIMENTADOR
-PRIMER FILTRACIÓN
*ARENA
*OZONO
-SEGUNDA FILTRACIÓN
*CARBÓN ACTIVADO

CANTIDADES DE OBRA

- EL SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE 2 m3/s PARA PP1 SE DESARROLLARA EN MODULOS CAPACES DE PRODUCIR 500 LPS.

CEA-PMM-EST-LP-004-25

PLAN MAESTRO DE MODERNIZACIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA NO. 1 "MIRAVALLE", INCLUYE PRETRATAMIENTO EN LAS PINTAS, MUNICIPIO DE GUADALAJARA, JALISCO.

Comisión Estatal del Agua Jalisco
JALISCO GOBIERNO DEL ESTADO

Municipio
Guadalajara, Jalisco
Localidad
Miravalle
Descripción del plano
ARREGLO FUNCIONAL DE CASETA DE SOPLADORES para tren de tratamiento de 2m3/s.
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos

Ing. Victor Iván Lira Contreras	Ing. Fidelmar Merlos Villegas
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha Mayo 2025	Escala INDICADAS	Plano 1 de 1

PLANO F15- FUNCIONAL DE CASETA DE SOPLADORES

REVISIONES	
REV-A 15/08/2025	

ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
Domicilio: Av. Manuel Gómez Morín No. 1319-3, Colonia: La Gloria C.P. 47470
Municipio: Tepatitlán de Morelos, Jalisco.
Correo electrónico: epias.ing@gmail.com
EPIAS

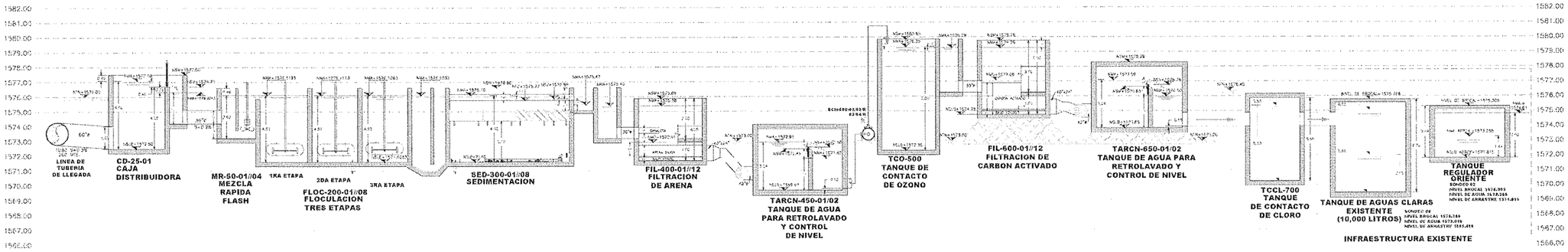
Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25
Dr. Rafael González Perez
Representante legal

Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25
Ing. Alejandro Sanillan B.
Supervisor

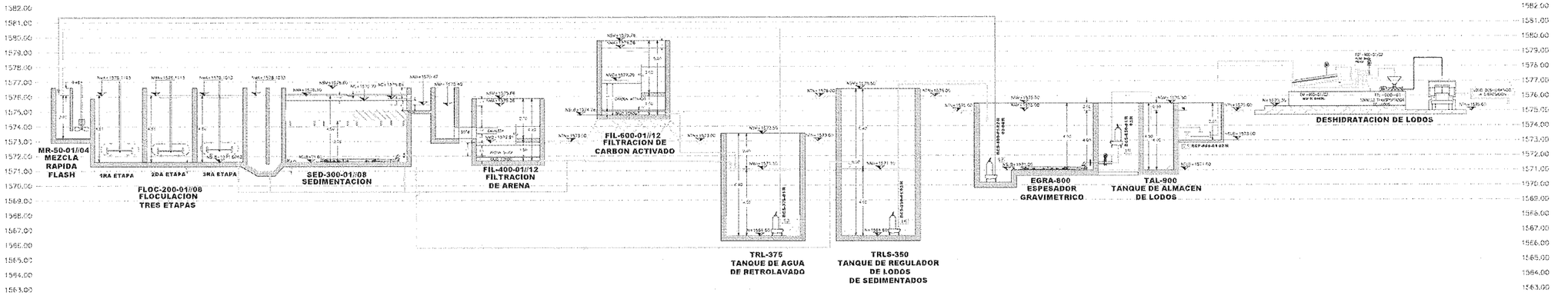
PLANTA POTABILIZADORA 2000 LPS

PERFIL HIDRAULICO
FASE LIQUIDA Y SOLIDA

PERFIL HIDRAULICO FASE LIQUIDA

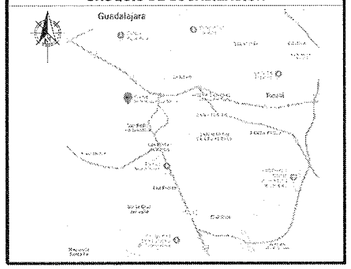


PERFIL HIDRAULICO FASE SOLIDA



AGUA
- AGUA
- LODOS
- CLORO
- POLIMERO
- SUELTO DE ALUMBRE
- OZONO
- AIRE

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

UNIDADES DE TRATAMIENTO:

CD	CAJA DISTRIBUIDORA
MR	MEZCLA RAPIDA FLASH
FLOC	FLOCULADOR
SED	SEDIMENTADOR
FIL-400	FILTROS DE ARENA
TARCN	TANQUE DE AGUA PARA RETROLAVADO Y CONTROL DE NIVEL
TCO	TANQUE DE CONTACTO DE OZONO
FIL-600	FILTROS DE CARBON ACTIVADO
TRLS	TANQUE DE REGULACION DE LODOS DE SEDIMENTADOS
TRL	TANQUE DE AGUA DE RETROLAVADO
EGRA	ESPESADOR GRAVIMETRICO
TAL	TANQUE DE ALMACEN DE LODOS
TCCL	TANQUE DE CONTACTO DE CLORO
FAF	FOSA DE AGUA FILTRADA

NIVELES:

N	NIVEL
NCT	NIVEL CENTRO DE TUBO
NAT	NIVEL APROX. A RAS DE TUBO
NTN	NIVEL DE TERRENO NATURAL
NSV	NIVEL SOBRE VERTEDOR
NMA	NIVEL MAXIMO DE AGUA
NSM	NIVEL SOBRE MURO
NSLB	NIVEL SOBRE LOSA BASE
NSC	NIVEL SOBRE CANALETA
NFC	NIVEL FONDO DE CANALETA
NPT	NIVEL DE PISO TERMINADO
NMO	NIVEL MINIMO DE OPERACION

EQUIPOS

DATOS DE PROYECTO

PARA EL NUEVO TREN DE 2 m3/s QUE SE INSTALARA EN PM
- SEPARACION SOLIDO-LIQUIDO
  - SEDIMENTADOR
- PRIMERA FILTRACION
  - ARENA
  - OZONO
- SEGUNDA FILTRACION
  - CARBON ACTIVADO

CANTIDADES DE OBRA

EL SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE 2 m3/s PARA PP1 DE DESARENADORA EN MODULOS CUYAS CAPACIDADES SON 1000 LPS

CEA-PMM-EST-LP-004-25

PLAN MAESTRO DE MODERNIZACIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA NO. 1 "MIRAVALLE", INCLUYE PRETRATAMIENTO EN LAS PINTAS, MUNICIPIO DE GUADALAJARA, JALISCO.

Comisión Estatal del Agua Jalisco

JALISCO GOBIERNO DEL ESTADO

Municipio	**Guadalajara, Jalisco**
Localidad	**Miravalle**
Descripción del plano	**PERFIL HIDRAULICO FASE LIQUIDA Y SOLIDA para tren de tratamiento de 2m3/s.**
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	
Lic. Hector Javier Castañeda Nuñez — Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Ing. Fidelman Merlos Villegas — Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha: Mayo 2025	Escala: S/E — Plano 1 de 1

PLANO P04- PERFIL HIDRAULICO FASE LIQUIDA Y SOLIDA

REVISIONES

REV-A 26/09/2025

REV-B 27/10/2025

ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25

Ing. Rafael Gonzalez Perez — Representante legal

M.I. Sergio Mayorquin — Especialidad

Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25

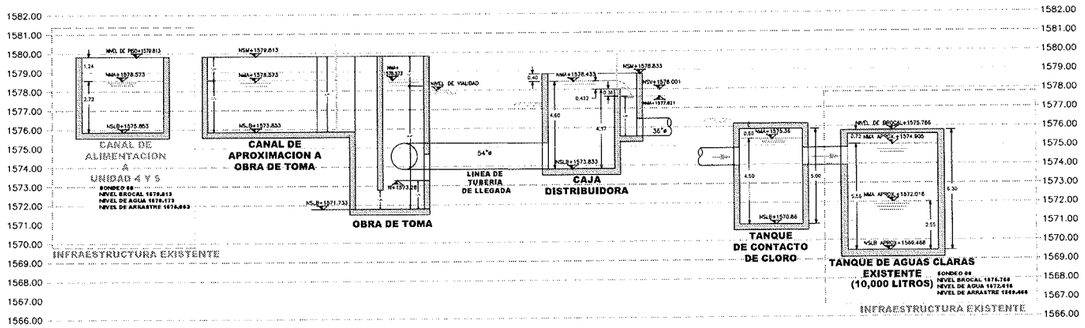
Ing. Alejandro Sandiel E. — Supervisor

PLANTA POTABILIZADORA

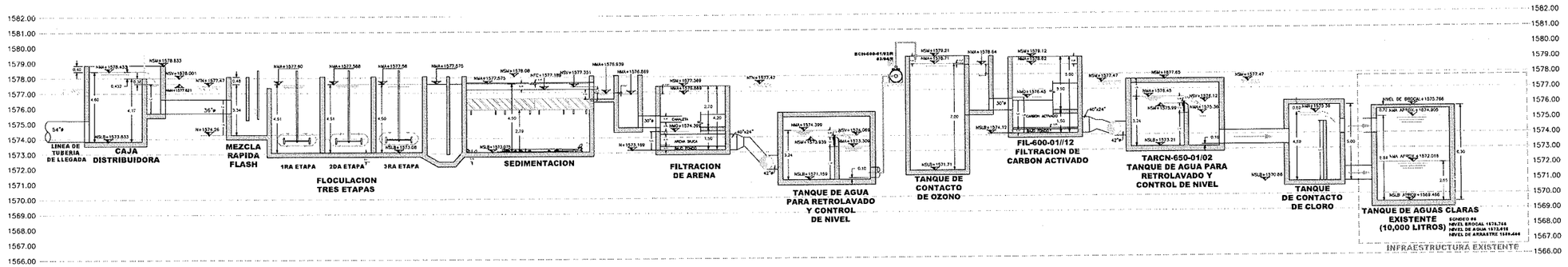
PERFIL HIDRAULICO FASE LIQUIDA

MODULO # 4 CAPACIDAD 1500 LPS

PERFIL HIDRAULICO DE LINEAS DE INTERCONEXION

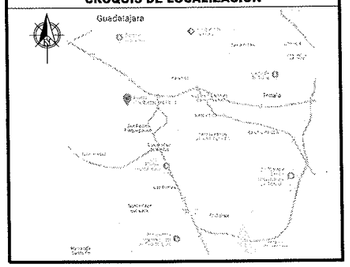


PERFIL HIDRAULICO FASE LIQUIDA



PRELIMINAR
09/12/2025

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

UNIDADES DE TRATAMIENTO:

EQUIPOS

DATOS DE PROYECTO

CANTIDADES DE OBRA

CEA-PMM-EST-LP-004-25

PLAN MAESTRO DE MODERNIZACIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA NO. 1 "MIRAVALLE", INCLUYE PRETRATAMIENTO EN LAS PINTAS, MUNICIPIO DE GUADALAJARA, JALISCO.

Comisión Estatal del Agua Jalisco

JALISCO GOBIERNO DEL ESTADO

Municipio	
Guadalajara, Jalisco	
Localidad	
Miravalle	
Descripción del plano	
PERFIL HIDRAULICO FASE LIQUIDA	
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	
Lic. Hector Javier Castañeda Nuñez	Ing. Fidelmar Merlos Villegas
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha Mayo 2025	Escala S/N
	Plano 1 de 1

ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
Domicilio: Av. MANUEL GOMEZ MORIN No. 931, 2 No. 931, 101, ENTRE CALLE MANUEL DOBLADO Y ALDAMA
Colonia: SIN TITULAR DE MOMENTO CENTRO
C.P. 47400
Correo electrónico: ing.rgp@gmail.com
EPIAS

Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25

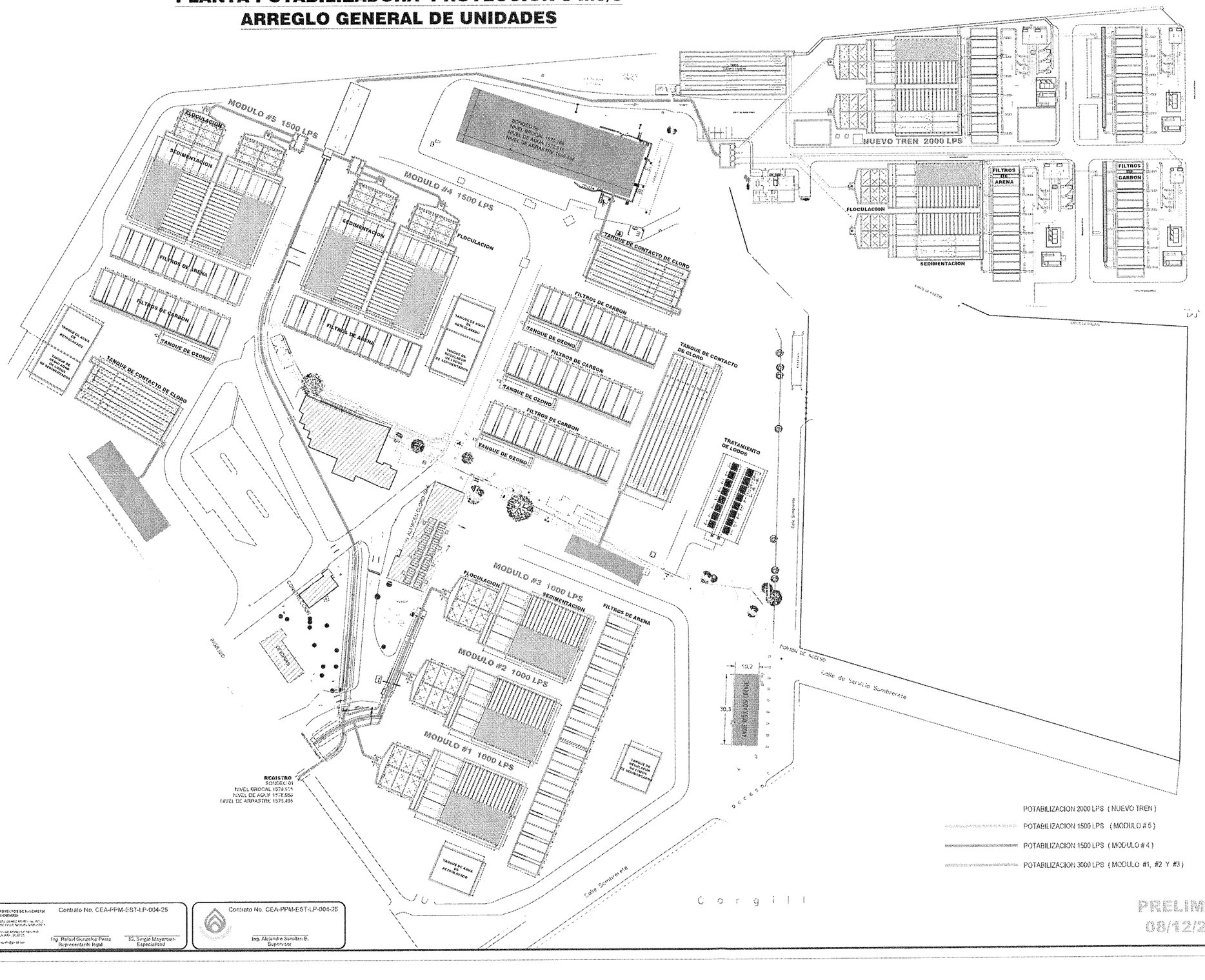
Ing. Rafael Gonzalez Perez
Representante legal

IQ. Sergio Mayorquin
Especialidad

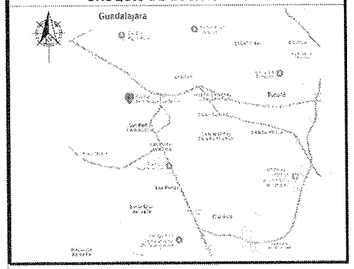
Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25

Ing. Alejandro Sanillan B.
Supervisor

PLANTA POTABILIZADORA PROYECCION 8 m3/s
ARREGLO GENERAL DE UNIDADES



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

UNIDADES DE TRATAMIENTO:

EQUIPOS

DATOS DE PROYECTO

CEA-PMM-EST-LP-004-25

PLAN MAESTRO DE MODERNIZACIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA NO. 1 "MIRAVALLE", INCLUYE PRETRATAMIENTO EN LAS PINTAS, MUNICIPIO DE GUADALAJARA, JALISCO.

Comisión Estatal del Agua Jalisco

JALISCO GOBIERNO DEL ESTADO

Municipio
Guadalajara, Jalisco

Localidad
Miravalle

Descripción del plano
ARREGLO GENERAL DE UNIDADES 8m3/s.

Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos

Ing. Héctor Javier Cantabeda Nañez	Ing. Filiberto Medos Villegas
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable

Fecha: May. 2025 Escala: 1:750 Plano: 1 de 1

ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

Ing. Rafael González Parra
Representante legal

Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25

IG. Sergio Mayorga
Especialidad

Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25

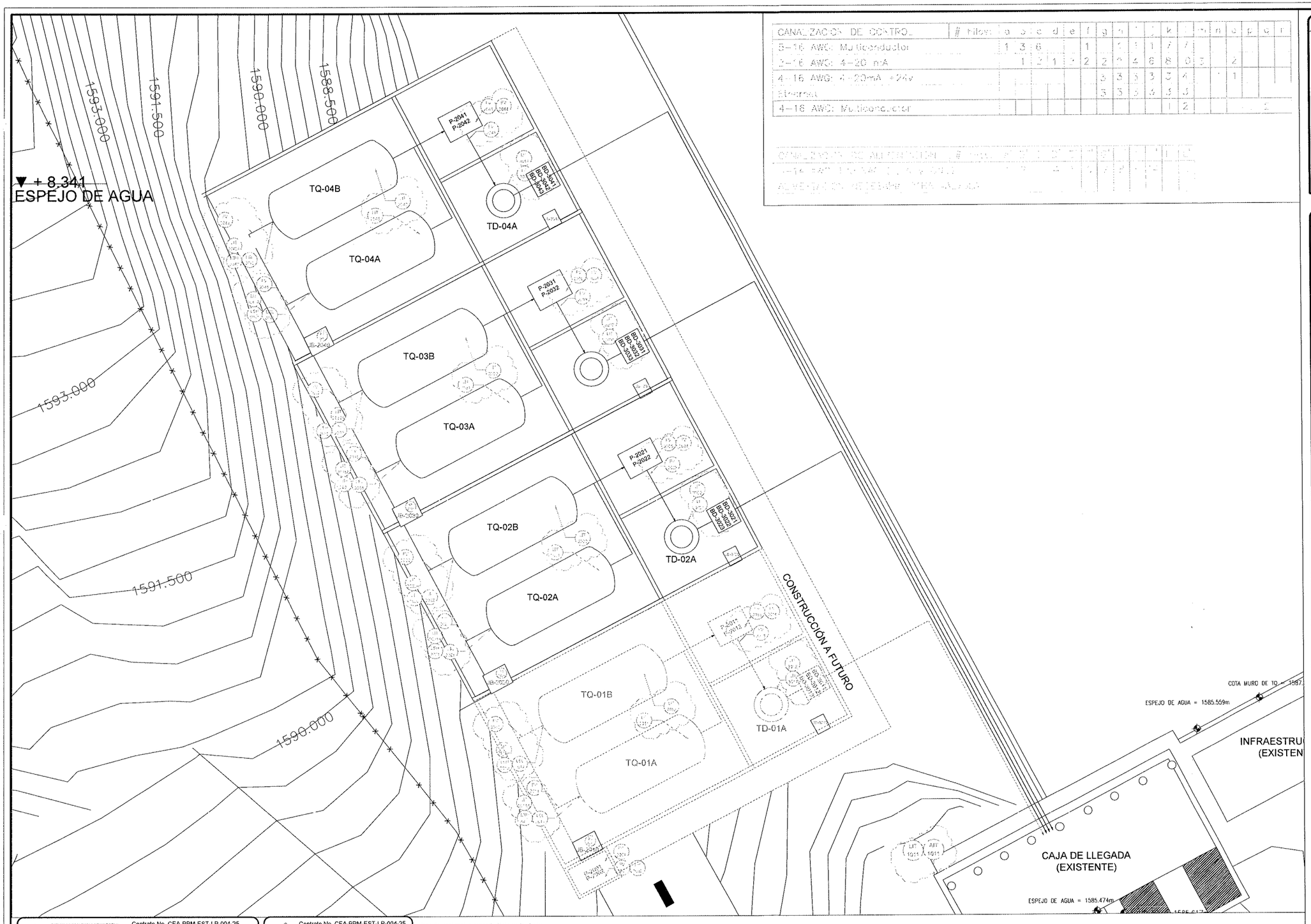
Ing. Alejandro Sanillan E.
Supervisor

Corgill

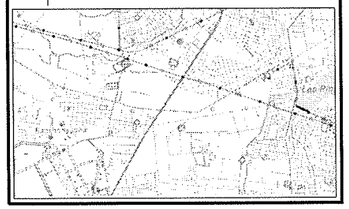
PRELIMINAR
08/12/2025

CANALIZACIÓN DE CONTROL	# filos	calibre	forro
3-16 AWG Multiconductor	13	16	1
2-16 AWG 4-20 mA	12	16	2
4-16 AWG 4-20mA +24v Ethernet	3	16	3
4-16 AWG Multiconductor	1	16	2

CANALIZACIÓN DE POTENCIA	# filos	calibre	forro
4-1/0 AWG THWN	4	1/0	1
ALIMENTACIÓN NEGATIVA TIPO ACOMETIDA	4	1/0	1



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

- LIT — TRANSMISOR E INDICADOR DE NIVEL
- FIT — TRANSMISOR E INDICADOR DE FLUJO
- AIT — ANALIZADOR E INDICADOR DE pH
- FV — VALVULA ON / OFF ACCIONADA POR AIRE
- LS — SWITCH DE NIVEL
- TRAYECTORIA DE CANALIZACION POTENCIA
- TRAYECTORIA DE CANALIZACION CONTROL
- BD-XXXX — BOMBA DOSIFICADORA
- P-XXXX — BOMBA TRASVASE

DATOS DE PROYECTO

- SISTEMA DE AJUSTE DE PH EN TAQUE DE ENTREGA, DIVIDIDO EN 4 TRENES DE 2.5 M3/S CADA UNO .
- EL PH DEL AGUA CRUDA ES EN PROMEDIO DE 8.4, PERO PARA AUMENTAR LA EFIENCIA DE REMOCIÓN DE LOS CONTAMINANTES, ES NECESARIO AJUSTAR EL PH CON ÀCIDO SULFURICO AL 98%, HASTA UN PH ENTRE 7.5 Y 7.8.
- EL ACIDO SULFURICO SERÀ RECIBIDO EN PIPAS, QUE INGRESARÁN POR UN NUEVO ACCESO Y VIALIDAD, DESCARGARAN EL REACTIVO EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO CON CAPACIDAD SUFICIENTE PARA OPERAR DURANTE 15 DÌAS.

CANTIDADES DE OBRA

CADA TREN CONSTARA DE:
- 2 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE 30 M3
- 1 TANQUE DE DÍA DE 3 M3
- 2 BOMBAS DE TRASVASE
- 3 BOMBAS DOSIFICADORAS

NOTAS

- CADA TREN DE AJUSTE DE PH PARA 2.5 M3, INCLUYE DIQUES DE CONTENCION CON LOSETA ANTIACIDA Y TECHUMBRE.
- SE INCLUYE TODA LA INSTRUMENTACIÓN NECEARIA PARA LA ADECUADA OPERACIÓN.
- EL CONTROL DEL SISTEMA SERÁ LOCAL Y DE MANERA REMOTA DESDE PLANTA POTABILIZADORA NO. 1 MIRAVALLE.
- CADA DIQUE DE CONTENCIÓN TENDRA UN VERTEDERO EN EL CUAL SE PODRA COLOCAR LA SUCCIÓN DE UNA BOMBA PARA EVACUAR EL VOLUMEN DERRAMADO. LA BOMBA ES MOVIL Y PODRA DAR SERVICIO A CUALQUERA DE LOS DIQUES.

CEA-PMM-EST-LP-004-25

PLAN MAESTRO DE MODERNIZACIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA NO. 1 "MIRAVALLE", INCLUYE PRETRATAMIENTO EN LAS PINTAS, MUNICIPIO DE GUADALAJARA, JALISCO.

Comisión Estatal del Agua Jalisco

JALISCO GOBIERNO DEL ESTADO

Municipio
Guadalajara, Jalisco
Localidad
Tanque de entrega
Descripción del plano
Plano de localización general - Sistema de ajuste y dosificación de pH
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos

Ing. Victor Iván Lira Contreras	Ing. Fidelmar Merlos Villegas
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha Mayo 2025 Escala 1:1000	Plano 2 de 3

ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
Domicilio: Av. Manuel Gomez Morin No. 12134, 2, Colonia: La Gloria C.P. 47410
Municipio: Tepatitlán de Morelos Jalisco.
Correo electrónico: epias.ing@gmail.com

EPIAS

Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25

Dr. Rafael Gonzalez Perez
Representante legal

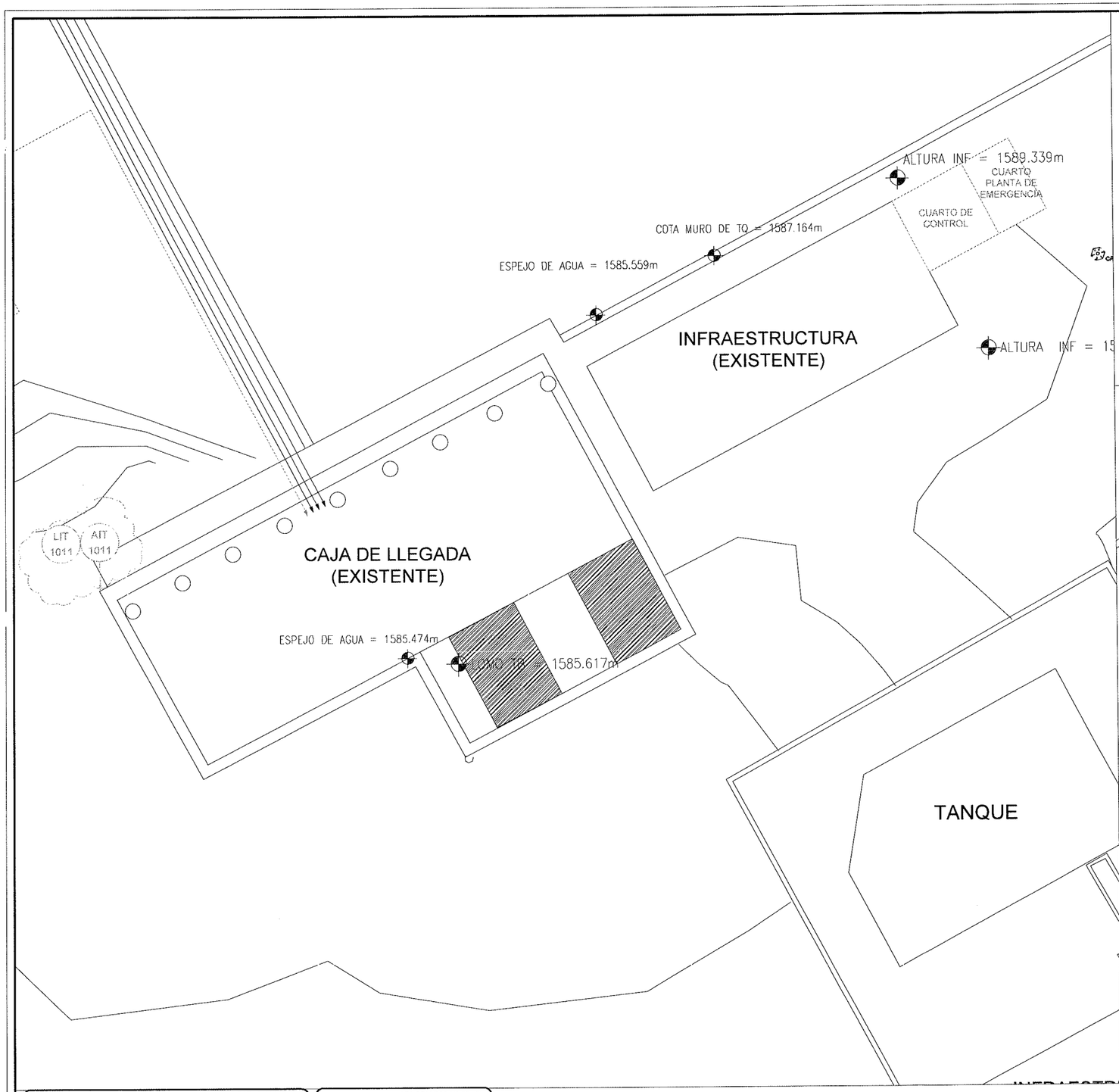
Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25

Ing. Alejandro Santillan B.
Supervisor

Plano de localización general - Sistema de ajuste y dosificación de pH

REVISIONES	
REV-A 15/08/2025	

00119

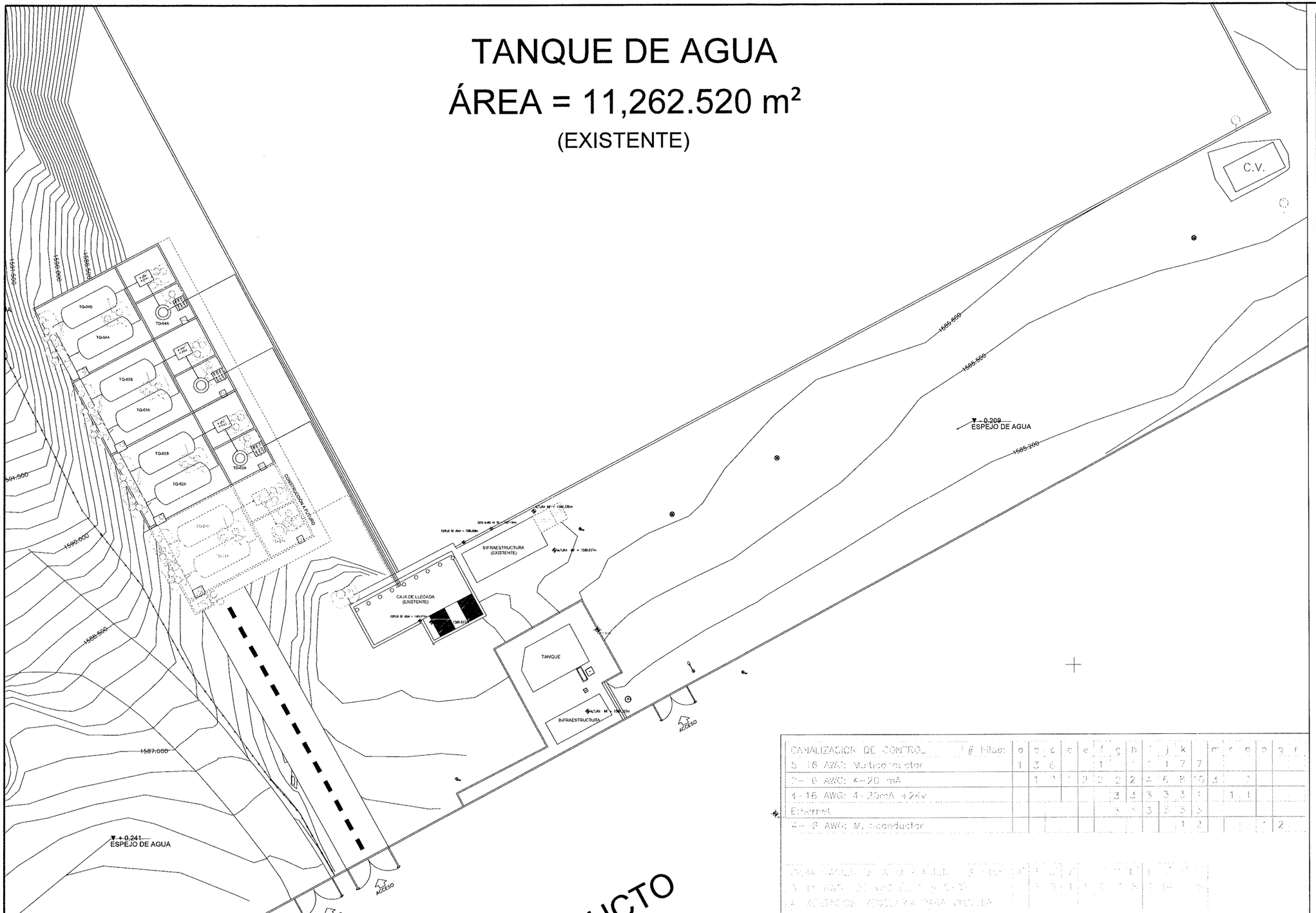


| CANALIZACION DE CONTROL | Tramo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |

TANQUE DE AGUA

ÁREA = 11,262.520 m²

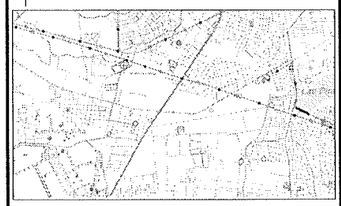
(EXISTENTE)



CANALIZACIÓN DE CONTRO...	# Pilas:	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
5 - 16 AWG, Multiconductor		1	2	6				1				1	2						
1 - 8 AWG, 4-20 mA			1		1	2	2		2	2	2			1	2				
1 - 16 AWG, 4-20mA 4Hz							3	3	3	3	3			1	1				
Ethernet									3	3	3	3							
4 - 8 AWG, Multiconductor												1	2			1	1	2	

CANALIZACIÓN DE POTENCIA	# Pilas:	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
3 - #1 AWG, 3 Multiconductor																			
4 - #6 AWG, Multiconductor																			

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

- TRANSMISOR E INDICADOR DE NIVEL
- TRANSMISOR E INDICADOR DE FLUJO
- ANALIZADOR E INDICADOR DE pH
- VALVULA ON / OFF ACCIONADA POR AIRE
- SWITCH DE NIVEL
- TRAYECTORIA DE CANALIZACION POTENCIA
- TRAYECTORIA DE CANALIZACION CONTROL
- BD-XXXX BOMBA DOSIFICADORA
- P-XXXX BOMBA TRASVASE

DATOS DE PROYECTO

- SISTEMA DE AJUSTE DE PH EN TAQUE DE ENTREGA, DIVIDIDO EN 4 TRENES DE 2.5 M3/S CADA UNO .
- EL PH DEL AGUA CRUDA ES EN PROMEDIO DE 8.4, PERO PARA AUMENTAR LA EFIENCIA DE REMOCIÓN DE LOS CONTAMINANTES, ES NECESARIO AJUSTAR EL PH CON ÁCIDO SULFURICO AL 98%, HASTA UN PH ENTRE 7.5 Y 7.8.
- EL ACIDO SULFURICO SERÁ RECIBIDO EN PIPAS, QUE INGRESARÁN POR UN NUEVO ACCESO Y VIALIDAD, DESCARGARAN EL REACTIVO EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO CON CAPACIDAD SUFICIENTE PARA OPERAR DURANTE 15 DÍAS.

CANTIDADES DE OBRA

CADA TREN CONSTARA DE:

- 2 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE 30 M3
- 1 TANQUE DE DÍA DE 3 M3
- 2 BOMBAS DE TRASVASE
- 3 BOMBAS DOSIFICADORAS

NOTAS

- CADA TREN DE AJUSTE DE PH PARA 2.5 M3, INCLUYE DIQUES DE CONTENCION CON LOSETA ANTIACIDA Y TECHUMBRE.
- SE INCLUYE TODA LA INSTRUMENTACIÓN NECEARIA PARA LA ADECUADA OPERACIÓN.
- EL CONTROL DEL SISTEMA SERÁ LOCAL Y DE MANERA REMOTA DESDE PLANTA POTABILIZADORA NO. 1 MIRAVALLE.
- CADA DIQUE DE CONTENCIÓN TENDRA UN VERTEDERO EN EL CUAL SE PODRA COLOCAR LA SUCCIÓN DE UNA BOMBA PARA EVACUAR EL VOLUMEN DERRAMADO. LA BOMBA ES MOVIL Y PODRA DAR SERVICIO A CUALQUERA DE LOS DIQUES.

CEA-PMM-EST-LP-004-25

PLAN MAESTRO DE MODERNIZACIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA NO. 1 "MIRAVALLE", INCLUYE PRETRATAMIENTO EN LAS PINTAS, MUNICIPIO DE GUADALAJARA, JALISCO.

Comisión Estatal del Agua Jalisco

JALISCO GOBIERNO DEL ESTADO

Municipio
Guadalajara, Jalisco
Localidad
Tanque de entrega
Descripción del plano
Plano de localizaciòn general - Sistema de ajuste y dosificación de pH

Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos

Ing. Victor Iván Lira Contreras	Ing. Fidelmar Merlos Villegas
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha Mayo 2025	Escala 1:1000
	Plano 1 de 3

ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
Domicilio Av. Manuel Gonzalez Nro. no. 10184, 2
Colonia Valle Dorado
Municipio o Alcaldía Av. Mexico - Jalisco
Correo electrónico epias.sa@gmail.com
EPIAS

Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25

Dr. Rafael Gonzalez Perez
Representante legal

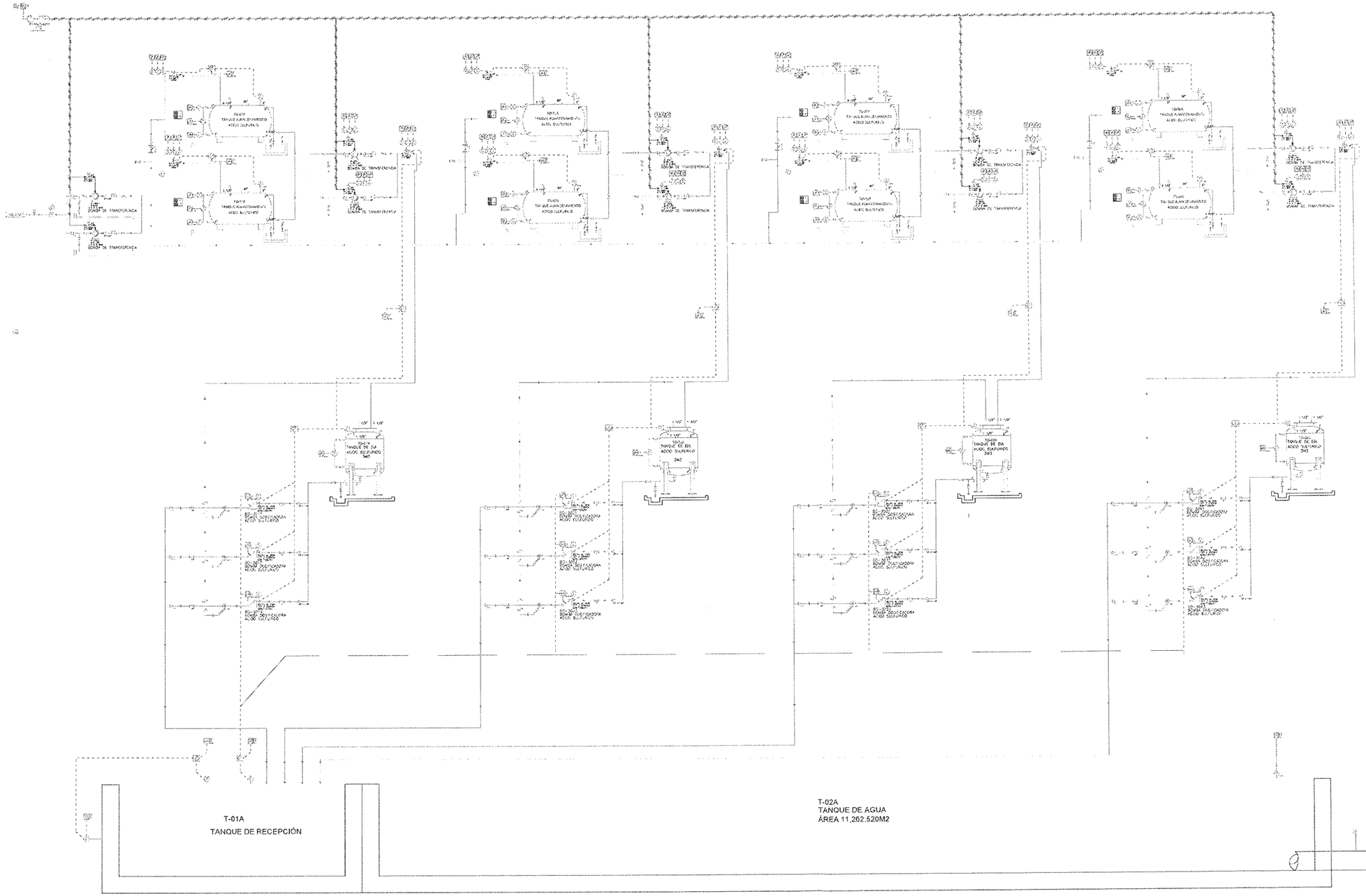
Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25

Ing. Alejandro Santillan B.
Supervisor

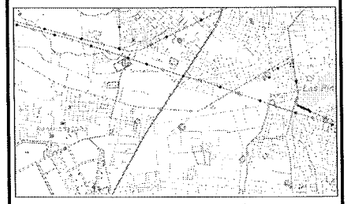
Plano de localizaciòn general - Sistema de ajuste y dosificación de pH

REVISIONES	
REV-A 15/08/2025	

...UCTO



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

- INSTRUMENTO MONTADO EN CAMPO
- LAZO DE CONTROL INDICADO EN HMI
- CONTROL INDICADO EN PLC / HMI
- SEÑAL INSTRUMENTACIÓN EN CAMPO
- LAZO DE CONTROL
- SEÑAL NEUMÁTICA
- ÁCIDO SULFÚRICO
- STRAINER
- VALVULO CON ACTTUADOR ELÉCTRICO
- DOMBA DOSIFICADORA

DATOS DE PROYECTO

SISTEMA DE AJUSTE DE PH EN TAQUE DE ENTREGA, DIVIDIDO EN 4 TRENES DE 2.5 M3/S CADA UNO .

EL PH DEL AGUA CRUDA ES EN PROMEDIO DE 8.4, PERO PARA AUMENTAR LA EFIENCIA DE REMOCIÒN DE LOS CONTAMINANTES, ES NECESARIO AJUSTAR EL PH CON ÀCIDO SULFURICO AL 98%, HASTA UN PH ENTRE 7.5 Y 7.8.

EL ACIDO SULFURICO SERÀ RECIBIDO EN PIPAS, QUE INGRESARÁN POR UN NUEVO ACCESO Y VIALIDAD, DESCARGARAN EL REACTIVO EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO CON CAPACIDAD SUFICIENTE PARA OPERAR DURANTE 15 DÌAS.

CANTIDADES DE OBRA

CADA TREN CONSTARA DE:

- 2 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE 30 M3
- 1 TANQUE DE DÍA DE 1.5 M3
- 2 BOMBAS DE TRASVASE
- 3 BOMBAS DOSIFICADORAS

NOTAS

- SE INCLUYE TODA LA INSTRUMENTACIÓN NECESARIA PARA LA ADECUADA OPERACIÓN
- EL CONTROL DEL SISTEMA SERÀ LOCAL Y DE MANERA REMOTA DESDE PLANTA POTABILIZADORA NO. 1 MIRAVALLE

CEA-PMM-EST-LP-004-25

PLAN MAESTRO DE MODERNIZACIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA NO. 1 "MIRAVALLE", INCLUYE PRETRATAMIENTO EN LAS PINTAS, MUNICIPIO DE GUADALAJARA, JALISCO.

Comisión Estatal del Agua Jalisco

JALISCO

Municipio	**Guadalajara, Jalisco**
Localidad	**Tanque de entrega**
Descripción del plano	**DTI - Sistema de ajuste y dosificación de pH**
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	
Ing. Víctor Iván Lira Cortes	Ing. Fidelmar Merlos Villegas
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha Mayo 2025	Escala 1:1000 — Plano 1 de 1

ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
Domicilio: Av. Manuel Gómez Morín No. 1311 Pte. 2
Colonia: La Glorieta C.P. 47470
Municipio: Tepatitlán de Morelos, Jalisco.
Correo electrónico: epias.mx@gmail.com
EPIAS

Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25

Dr. Rafael Gonzalez Perez
Representante legal

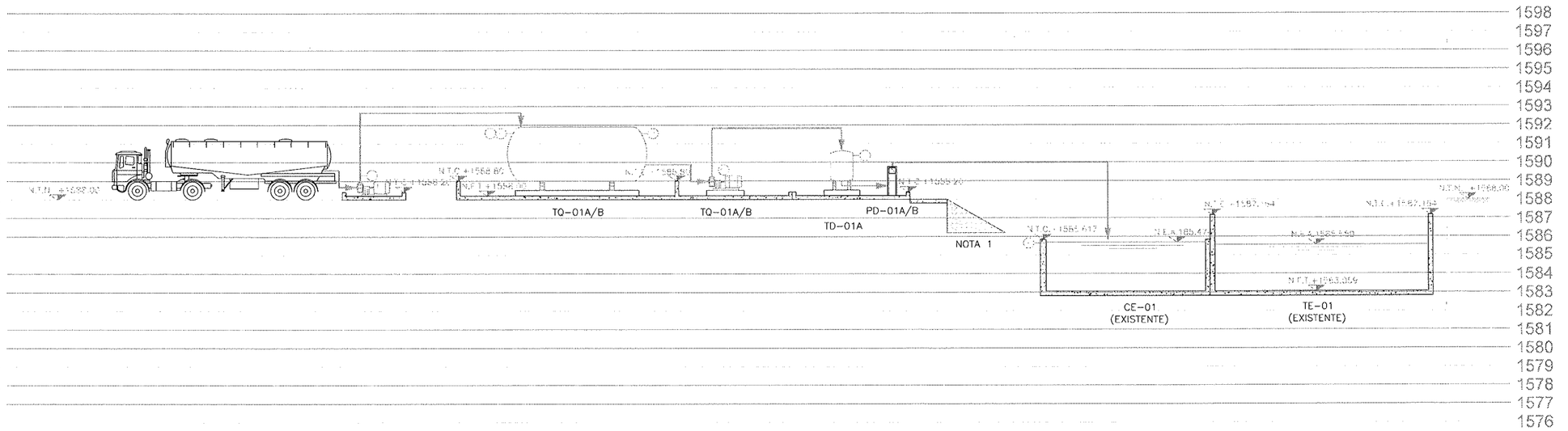
Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25

Ing. Alejandro Santillan B.
Supervisor

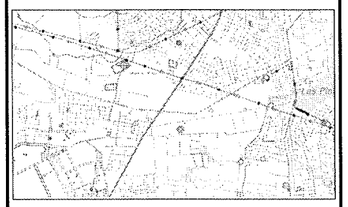
DTI - Sistema de ajuste y dosificación de pH

REVISIONES	
REV-A 16/08/2025	

= DIAGRAMA GENERAL DE ELEVACIONES =
= PERFIL HIDRÁULICO=



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



NOMENCLATURA Y SIMBOLOGÍA

TQ-01 A/B	**TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ÁCIDO SULFURICO**
P-01 A/B	**BOMBA DE TRANSFERENCIA DE ÁCIDO SULFURICO**
TD-01 A	**TANQUE DE DÍA DE ÁCIDO SULFURICO**
PD-01 A/B	**BOMBA DOSIFICADORA DE ÁCIDO SULFURICO**
CE-01 (EXISTENTE)	**CAJA DE ENTREGA DE AGUA CRUDA**
TE-01 (EXISTENTE)	**TANQUE DE ENTREGA DE AGUA CRUDA**

TRANSMISOR E INDICADOR DE NIVEL
TRANSMISOR E INDICADOR DE FLUJO
ANALIZADOR E INDICADOR DE pH
VALVULA CONTROLADORA DE FLUJO
VALVULA ON / OFF ACCIONADA POR AIRE
SWITCH DE NIVEL

DATOS DE PROYECTO

- SISTEMA DE AJUSTE DE PH EN TAQUE DE ENTREGA, DIVIDIDO EN 4 TRENES DE 2.5 M3/S CADA UNO .
- EL PH DEL AGUA CRUDA ES EN PROMEDIO DE 8.4, PERO PARA AUMENTAR LA EFIENCIA DE REMOCIÓN DE LOS CONTAMINANTES, ES NECESARIO AJUSTAR EL PH CON ÁCIDO SULFURICO AL 98%, HASTA UN PH ENTRE 7.5 Y 7.8.
- EL ACIDO SULFURICO SERÀ RECIBIDO EN PIPAS, QUE INGRESARÁN POR UN NUEVO ACCESO Y VIALIDAD, DESCARGARAN EL REACTIVO EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO CON CAPACIDAD SUFICIENTE PARA OPERAR DURANTE 15 DÍAS.

CANTIDADES DE OBRA

CADA TREN CONSTARA DE:
- 2 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE 30 M3
- 1 TANQUE DE DÍA DE 1.5 M3
- 2 BOMBAS DE TRASVASE
- 3 BOMBAS DOSIFICADORAS

NOTAS

- SE CONSIDERA UN TALUD DE 2m DE ALTURA AL TERMINO DE LA VIALIDAD PEATONAL
- CADA TREN DE AJUSTE DE PH PARA 2.5 M3, INCLUYE DIQUES DE CONTENCION CON LOSETA ANTIACIDA Y TECHUMBRE
- SE INCLUYE TODA LA INSTRUMENTACIÓN NECEARIA PARA LA ADECUADA OPERACIÓN
- EL CONTROL DEL SISTEMA SERÀ LOCAL Y DE MANERA REMOTA DESDE PLANTA POTABILIZADORA NO. 1 MIRAVALLE

CEA-PMM-EST-LP-004-25

PLAN MAESTRO DE MODERNIZACIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA NO. 1 "MIRAVALLE", INCLUYE PRETRATAMIENTO EN LAS PINTAS, MUNICIPIO DE GUADALAJARA, JALISCO.

Comisión Estatal del Agua Jalisco

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

Municipio
Guadalajara, Jalisco
Localidad
Tanque de entrega
Descripción del plano
PHI - Sistema de ajuste y dosificación de pH

Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	
Ing. Victor Iván Lira Contreras	Ing. Fidelmar Markos Villegas
Dirección de Proyectos y Gestión de Recursos	Subdirección de Proyectos de Agua Potable
Fecha Mayo 2025 Escala 1:1000	Plano 1 de 1

ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25
Dr. Rafael Gonzalez Perez
Representante legal

Contrato No. CEA-PPM-EST-LP-004-25
Ing. Alejandro Santillan B.
Supervisor

PHI - Sistema de ajuste y dosificación de pH

REVISIONES	
REV-A 15/08/2025	

Anexo 9:

Evaluación institucional sobre seguridad y eficiencia energética, hídrica y financiera del SIAPA

Propuesta para la Seguridad y Eficiencia en la Gestión Energética, Hídrica y Financiera.

SIAPA

Desarrollo Energético Sustentable

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

Gestión Integral del Agua

00124

Contenido de la Estrategia

I. **Modernización y Seguridad Hídrica y Energética.**

II. **Innovación y Eficiencia Hídrica y Energética.**

III. **Costos Estimados, Ahorros Proyectados y Cronograma Ejecución.**

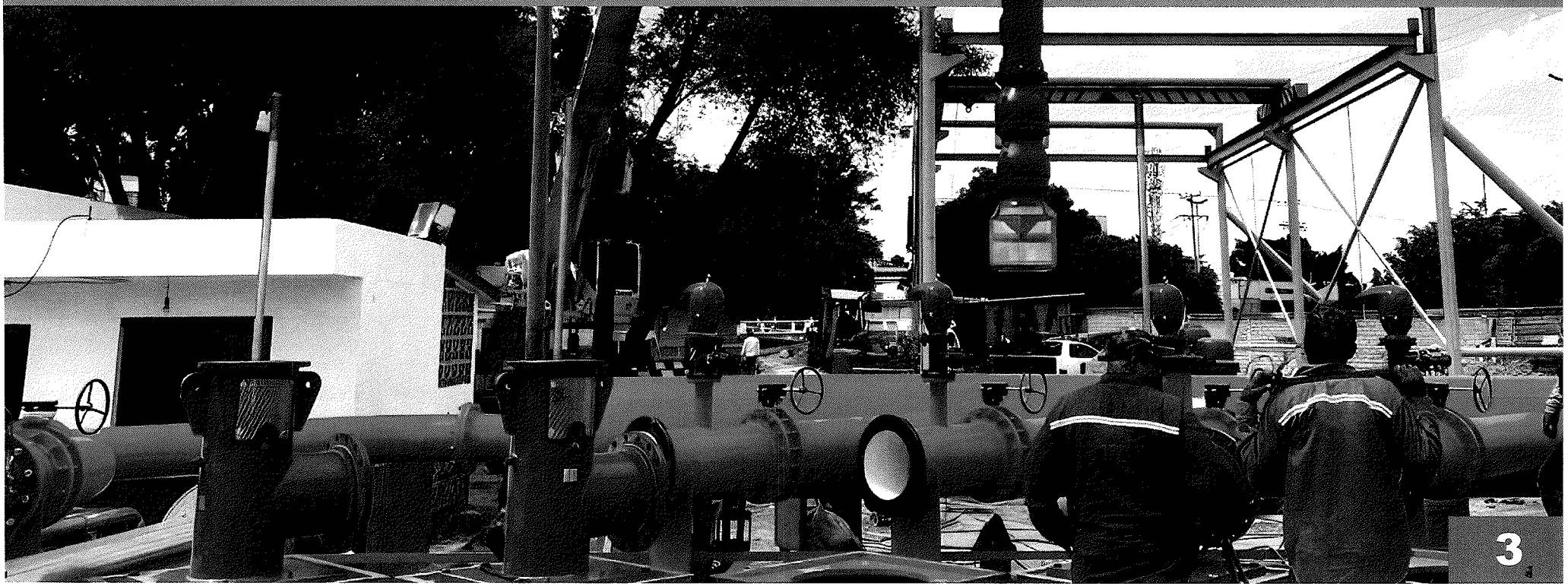
JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

Desarrollo Energético Sustentable

SIAPA

00125

I . Modernización y Seguridad Hídrica y Energética.



00126

Instalación de un Sistema de Bombeo de Máxima Eficiencia en SIAPA
(PTAB, PTAP, PTAR, Cárcamos y Pozos).

Objetivo:
Mejorar la eficiencia operativa y energética del organismo, optimizando el suministro de agua potable y reduciendo costos operativos a través del uso de tecnología avanzada.

1.Aseguramiento Energético

- Uso más eficiente de la energía eléctrica.
- Minimizando el riesgo de fallas energéticas.
- Garantizando un suministro constante y continuo de agua.
- Permitiendo al SIAPA adaptarse a las fluctuaciones en la demanda de agua.

2. Ahorro de Energía

- Proyecto centrado en la reducción de consumo energético, mediante la instalación de bombas de alta eficiencia y sistemas de control automatizados.
- Contribuyendo a la sostenibilidad económica del organismo.
- Estimando ahorro significativo en la factura energética del SIAPA.

00127

3. Impacto Social

- Acceso a agua potable para la comunidad.
- Mejora a la salud pública, mediante el suministro eficiente y confiable de agua.
- Ahorros operativos que permiten financiar otras iniciativas sociales para el cuidado del agua.

4. Sustentable

- Reducción de la huella de carbono del organismo, gracias al uso de tecnologías eficientes en los procesos.
- Optimizando el uso de recursos hídricos y energéticos
- Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción y el consumo de energía.
- SIAPA avanza hacia un modelo de gestión más sostenible y se convierte en un referente en la conservación del medio ambiente, ayudando a preservarlo para futuras generaciones.

5. Recuperación de caudales mediante la rehabilitación de pozos.

- Garantizando la conservación de pozos.
- Optimizando el aprovechamiento del manto acuífero subterráneo.
- Alargando la vida útil del pozo.
- Conservando el equilibrio adecuado entre gasto y aprovechamiento de la cuenca.
- Brindando un mejor servicio de aportación a los usuarios del sistema.

6. Central de monitoreo y operación

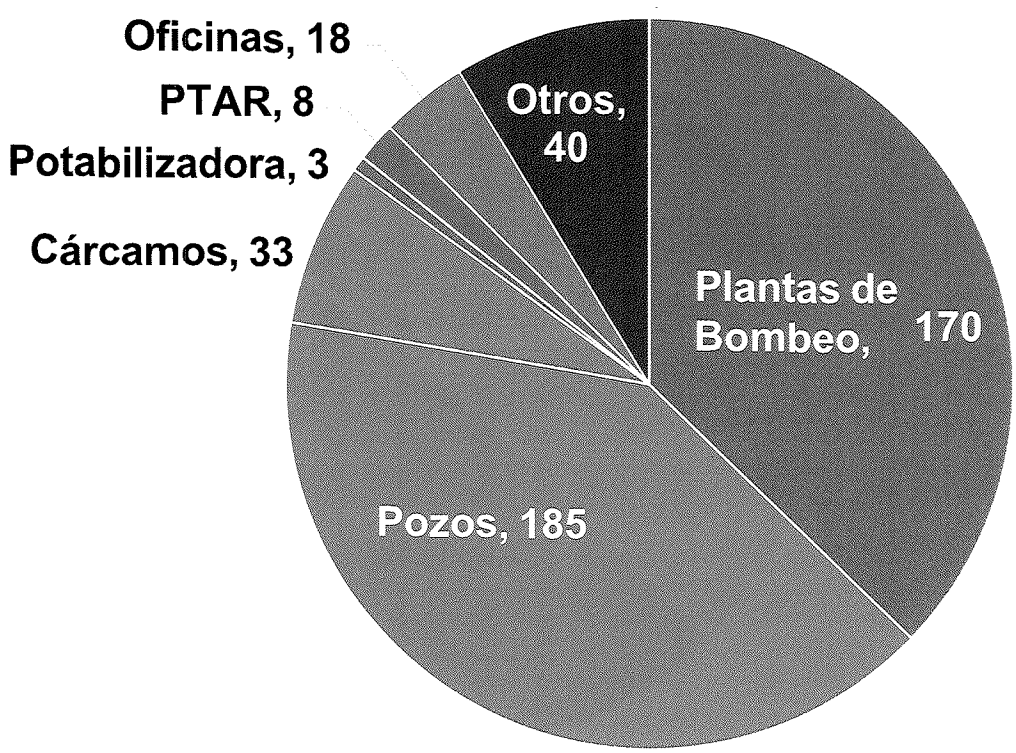
- El estado actual evidencia una solución parcial y no estandarizada, por lo que se requiere un redimension-amiento total del sistema de telemetría y comunicaciones, alineado a tecnologías vigentes y prácticas de ingeniería para redes de infraestructura hidráulica.

INFRAESTRUCTURA ELECTROMECÁNICA DEL SIAPA.

457 INSTALACIONES CON ENERGÍA

De las cuales se realizó un filtro de 52 plantas y 28 pozos.

Universo de instalaciones con Energía.



Fuente: Sistema de Información Propio del SIAPA

00129

CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

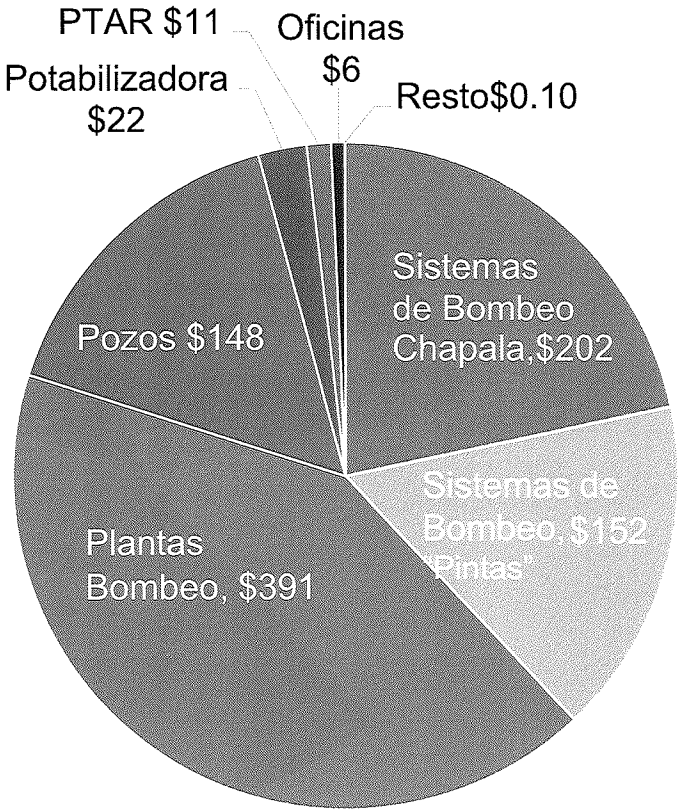
En 2025

$950,377,186.48 pesos

314,600,645 kWh consumo

456 INSTALACIONES CON ENERGÍA

Consumo eléctrico por tipo de infraestructura (mdp).

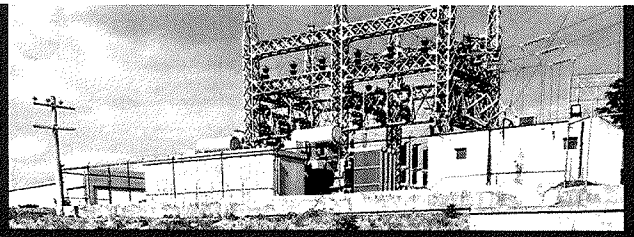


Fuente: Sistema de Información Propio del SIAPA

000130

Valoración de Visitas en Campo.

6 Acciones para la modernización, seguridad y eficiencia energética.

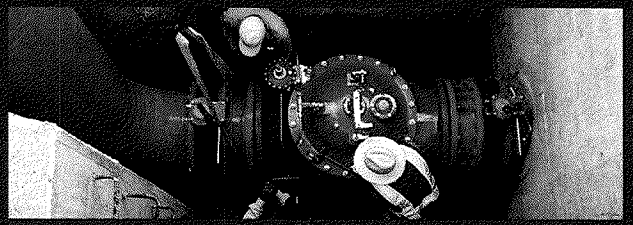


1 **Subestación de Potencia**
PB2 (Las Pintas).

2 **Pozos.**

3 **Plantas de Bombeo.**

4 **Control de arranque de ahorro de energía.**

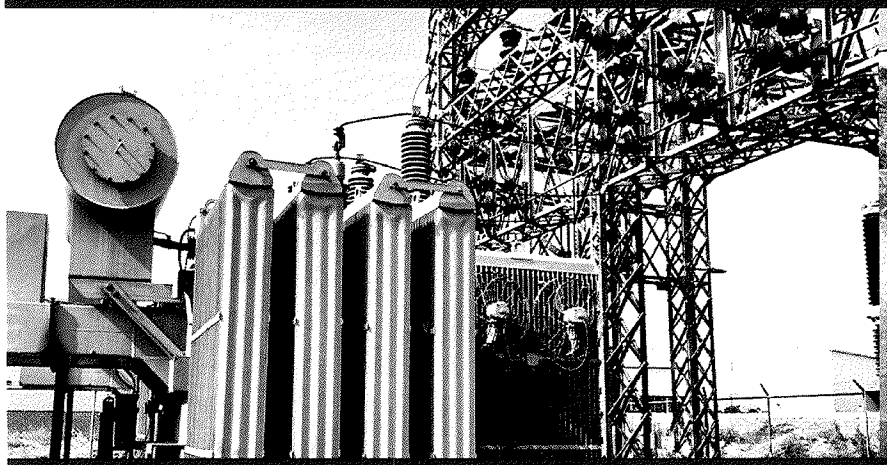


5 **Equipos periféricos de Alta Eficiencia.**

6 **Centro de Monitoreo.**

0001131

1.Subestación de Potencia.
Sistema de Bombeo "Las Pintas".



Modernización de 1 nueva subestación de Potencia.

PROPUESTA:

- Una nueva Subestación de Potencia Eléctrica encapsulada en 69 kV.

000132

2. Pozos Profundos.

Instalación de sistema de bombeo para 28 Pozos Profundos y Rehabilitación Física.

PROPUESTA:

- Rehabilitación y equipamiento de Pozos Profundos.

000133

Servicios para pozos.

Diagnóstico.

Automatización.

Equipamiento.

Mantenimiento.

Servicios Especiales.

Electrificación.

• Perforación de Pozos.

0001337

Rehabilitación de Sistema de Pozos de Agua.

Los procedimientos especializados para la rehabilitación de pozos de agua tiene como objetivo identificar y corregir daños estructurales e hidráulicos que afectan el desempeño del pozo.

Diagnóstico de daños y reparación.

1. Aplicación de químicos desincrustantes.
Para la eliminación de incrustaciones de óxido y sarro en el tubo de ademe.

2. Cepillado.
Cepillado vertical de las paredes del pozo.

3. Cuchareo.
Destape de las venas del pozo y retiro manual de sedimentos acumulados en el fondo.

5. Desazolve.
Limpieza mediante presión de agua y succión de lodos y basura ligera.

6. Video final.
videograbación del procedimiento para documentación

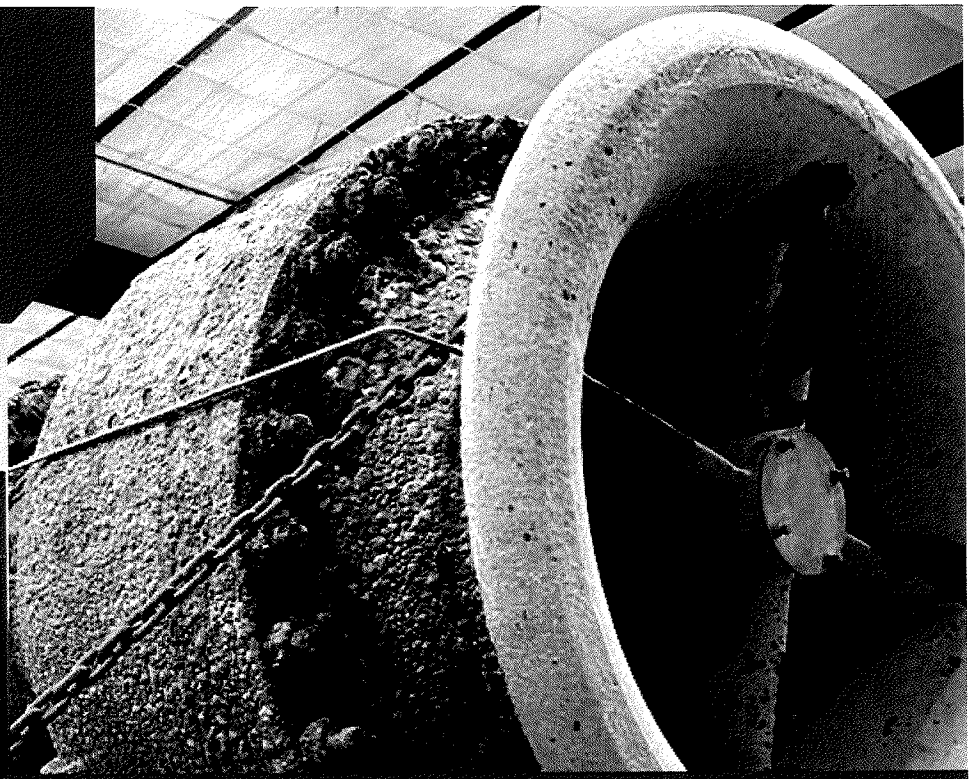
7. Entrega del proyecto.
Presentación de resultados del servicio, acompañados de la videograbación y validación técnica.

BENEFICIOS:

- Restablecer el flujo adecuado de agua.
- Recupera la capacidad de producción
- Mejora la eficiencia del sistema
- Prolonga la vida útil del pozo.

000133

3. Plantas de Bombeo.



Instalación de sistemas de bombeo de Máxima Eficiencia en 52 plantas.

PROPUESTA:

- Estaciones de Bombeo de Máxima Eficiencia.

0001136

4. Control de arranque de ahorro de energía.

Sistemas de Control Inteligentes de Variadores de Frecuencia para pozos.

PROPUESTA: Control inteligente con variadores de frecuencia.

CONTEO DE VARIADORES A INSTALAR		
EN POZOS	**EN PLANTAS**	**TOTAL =**
28 variadores	**98** variadores	**126** VARIADORES

000132

El uso de variadores de frecuencia en equipos de bombeo ofrece varias ventajas significativas:

1. Eficiencia Energética:

Los variadores permiten ajustar la velocidad del motor según la demanda del sistema, lo que reduce el consumo energético, especialmente en aplicaciones donde la carga varía.

2. Control Preciso de Flujo:

Facilitan el control preciso del flujo y la presión, permitiendo una mejor adaptación a las necesidades del proceso y aumentando la estabilidad del sistema.

3. Reducción del Desgaste:

Al suavizar el arranque y la parada del motor, se reducen las tensiones mecánicas, lo que prolonga la vida útil del equipo y disminuye el mantenimiento.

4. Ahorro de Costos:

La combinación de menor consumo energético y menos mantenimiento se traduce en un ahorro significativo en costos operativos a largo plazo.

5. Menor Ruido:

La operación a velocidades reducidas puede resultar en un funcionamiento más silencioso, lo que es beneficioso en entornos sensibles al ruido.

6. Adaptabilidad:

Pueden adaptarse a diversas condiciones de operación, lo que los hace útiles en una variedad de aplicaciones, desde el riego agrícola hasta sistemas de HVAC en edificios.

7. Gestión de Picos de Demanda:

Ayudan a manejar picos de demanda sin necesidad de aumentar la capacidad de la bomba, lo que puede evitar la inversión en equipamiento adicional.

000133

5. Equipos periféricos de Alta Eficiencia.

Instalación de periféricos de Alta Eficiencia.

PROPUESTA: Equipos Perifericos de Alta Eficiencia.

Los equipos periféricos de protección hidráulica son aquellos que permiten operar las líneas de distribución de manera segura como son como son válvulas anticipadoradoras de golpe de ariete, válvulas expulsoras de aire, doble función, válvulas check, reguladoras de presión, etc.

0001139

6. Centro de Monitoreo / Telemetría / Gases.

Beneficios

Cuando la tecnología dejadeserinvisible, y comienza a generar resultados y mejora la continuidad del servicio para el AMG.

- Plataforma de administración deactivos, supervision operativa, analítica histórica y control remoto.
- Plataforma amigable para integración de hardware de múltiples proveedores.
- Software hecho en méxico libre de licenciamientos comerciales.
- Roles de usuario mediante jerarquía instuticional.
- Notificaciones vía plataforma, e-mail y celular.

0001000

Propósito y Escalabilidad.

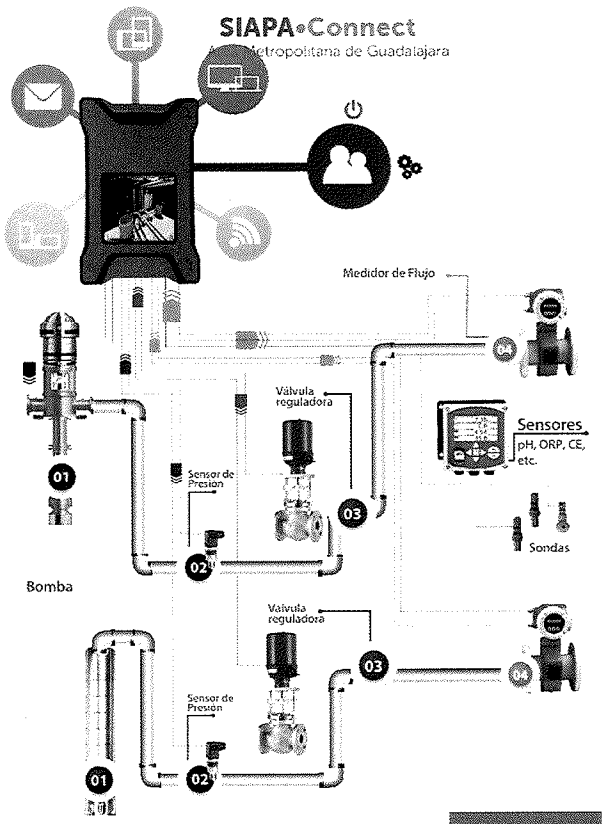
SIAPA·Connect

Pilares de valor.

Supervisión	Análisis	Control
Visibilidad operativa en tiempo real y por evento.	Consolidación de datos y lectura rápida de estado.	Operación segura con permisos y trazabilidad.

Escalabilidad del sistema.

Etapa 01	Etapa 02	Etapa 03
Instrumentación, monitoreo y control de instalaciones intervenidas.	Incorporación de los desarrollos inmobiliarios generados en Factibilidades Metropolitanas	Incorporación de Micromedición y Macromedición.



T1000

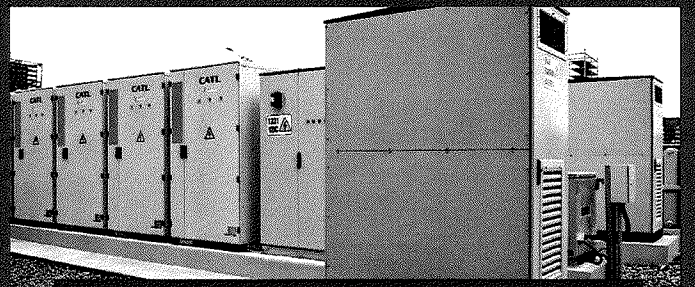
II . 2 Acciones para la Innovación y Eficiencia Hídrica y Energética.

000142

Innovación en la Gestión Publica Hídrica-Energética.

CONTEXTO:

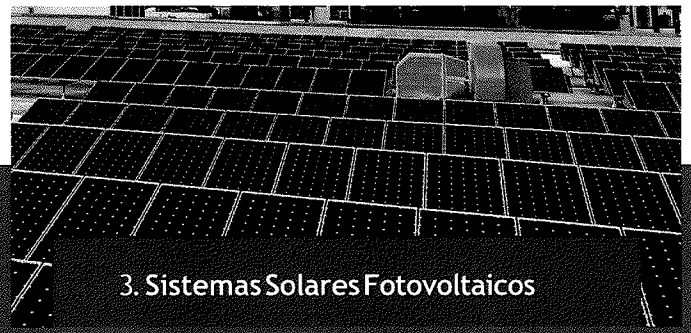
- Alta demanda energética en sistemas de bombeo y distribución de agua.
- Vulnerabilidad en la gestión hídrica ante interrupciones eléctricas.
- Incremento sostenido en costos operativos (energía + mantenimiento).
- Necesidad de modernización con enfoque sostenible y resiliente de mediano y largo plazo.



2. Sistemas de Almacenamiento de Energía

OBJETIVO ESTRATÉGICO:

- Fortalecer la seguridad y calidad en la gestión hídrica del SIAPA mediante acciones de eficiencia energética.
- Optimización financiera y de servicio del organismo reduciendo los consumos energéticos y sus gastos operativos.



3. Sistemas Solares Fotovoltaicos

PROPUESTA:

Implementación de un modelo sustentable y tecnológico de vanguardia basado en:
1. Sistemas de almacenamiento de energía
2. Sistemas Solares Fotovoltaicos.

0007323

Beneficios Clave

Tecnologías a Implementar.

1. Sistema de Almacenamiento de Energía (BESS)

Pros técnicos:

- Respaldo ante fallas eléctricas.
- Gestión inteligente de demanda (peak shaving).
- Optimización de autoconsumo solar.
- Mayor estabilidad operativa en bombeo.

Impacto operativo:

- Continuidad en suministro de agua.
- Reducción de riesgos en infraestructura crítica.
- Seguridad energética del sistema hídrico.

2. Sistemas Solares Fotovoltaicos

Pros técnicos:

- Generación limpia en sitio.
- Reducción de demanda en horas pico (tarifas GDM- TO/GDMTH).
- Disminución de exposición a variabilidad tarifaria.
- Vida útil >25 años.

Impacto financiero:

- Ahorros acumulativos a largo plazo.
- Protección contra incrementos tarifarios.
- Mejora en indicadores financieros del organismo operador.

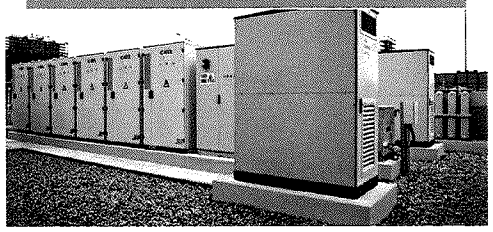
000177

Valoración de Visitas en Campo.

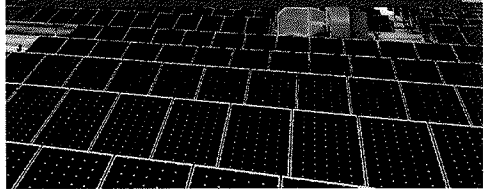
CAPACIDAD A INSTALAR TOTAL: 6.26 MW

Distribuidos de la siguiente manera

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA (BESS)
Cap. a Instalar: 2.10 MW
Cant. Sitios: 6 ubicaciones
9 baterías

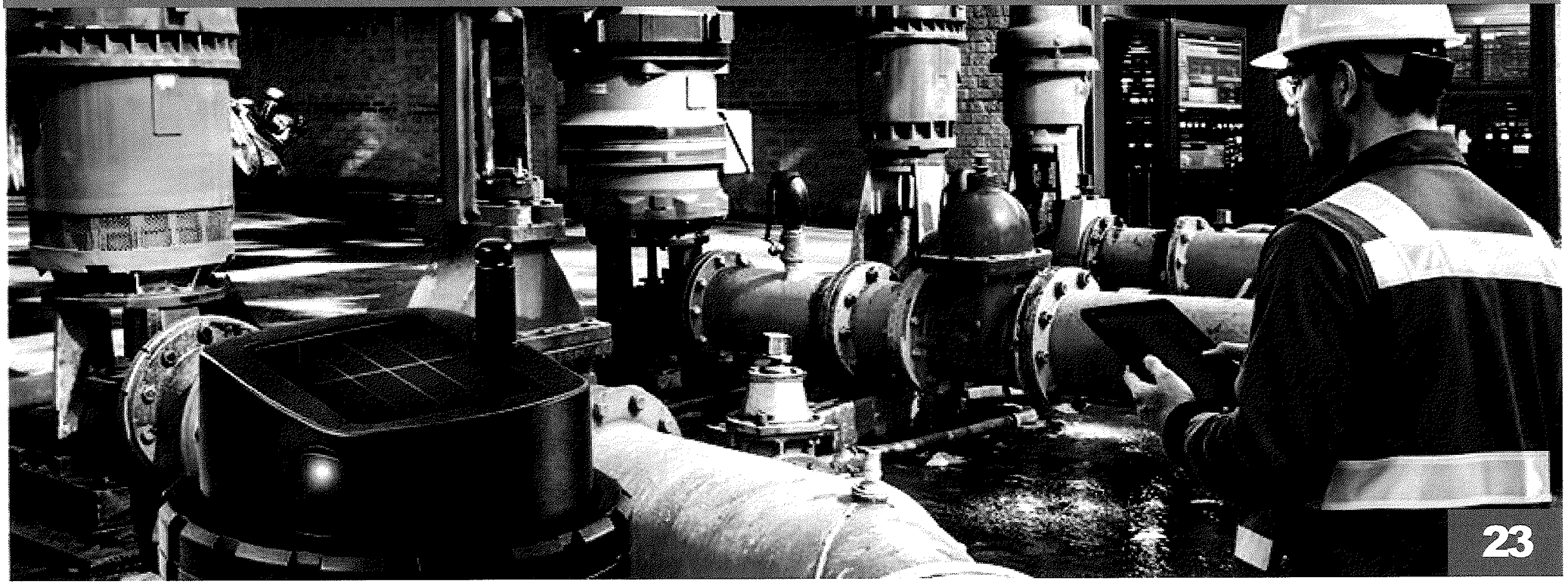


SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS
Cap. a Instalar: 4.16 MW
Cant. Sitios: 15 ubicaciones



CFE 1000

III. Costos Estimados, Ahorros Proyectados y Cronograma Ejecución.



000146

Seguridad y eficiencia en la Gestión Energética e Hídrica.

Costos Estimados
(No incluye gastos financieros)

ACCIONES DE SEGURIDAD ENERGÉTICA E HÍDRICA	MONTO (MDP)
SUBESTACION	$ 325.00
SIAPA CONNECT (TELEMETRÍA Y MONITOREO DE GASES)	$ 168.00
SUBTOTAL	**$ 493.00**

ACCIONES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA E HÍDRICA	MONTO (MDP)
POZOS	$ 300.00
PLANTAS DE BOMBEO	$ 1,500.00
SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS	$ 90.00
SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO	$ 18.00
MANTENIMIENTO ANUAL TOTAL (3 años)	$ 54.00
SUBTOTAL	**$ 1,962.00**

TOTAL	$ 2,455.00

47000

Seguridad y eficiencia en la Gestión Energética e Hídrica.

Costos Estimados
(Con gastos financieros)

ACCIONES DE SEGURIDAD ENERGÉTICA E HÍDRICA	MONTO (MDP)
SUBESTACION	$ 325.00
SIAPA CONNECT (TELEMETRÍA Y MONITOREO DE GASES)	$ 168.00
SUBTOTAL	**$ 493.00**

ACCIONES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA E HÍDRICA	MONTO (MDP)
POZOS	$ 300.00
PLANTAS DE BOMBEO	$ 1,500.00
SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS	$ 90.00
SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO	$ 18.00
MANTENIMIENTO ANUAL TOTAL (3 años)	$ 54.00
SUBTOTAL	**$ 1,962.00**

GASTOS FINANCIEROS	$ 7.00
COMISIÓN POR ESTRUCTURACIÓN	$ 61.00
SUBTOTAL	**$ 68.00**

TOTAL	$ 2,523.00

000178

Ahorro Proyectado Por Acción

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

Desarrollo Energético Sustentable

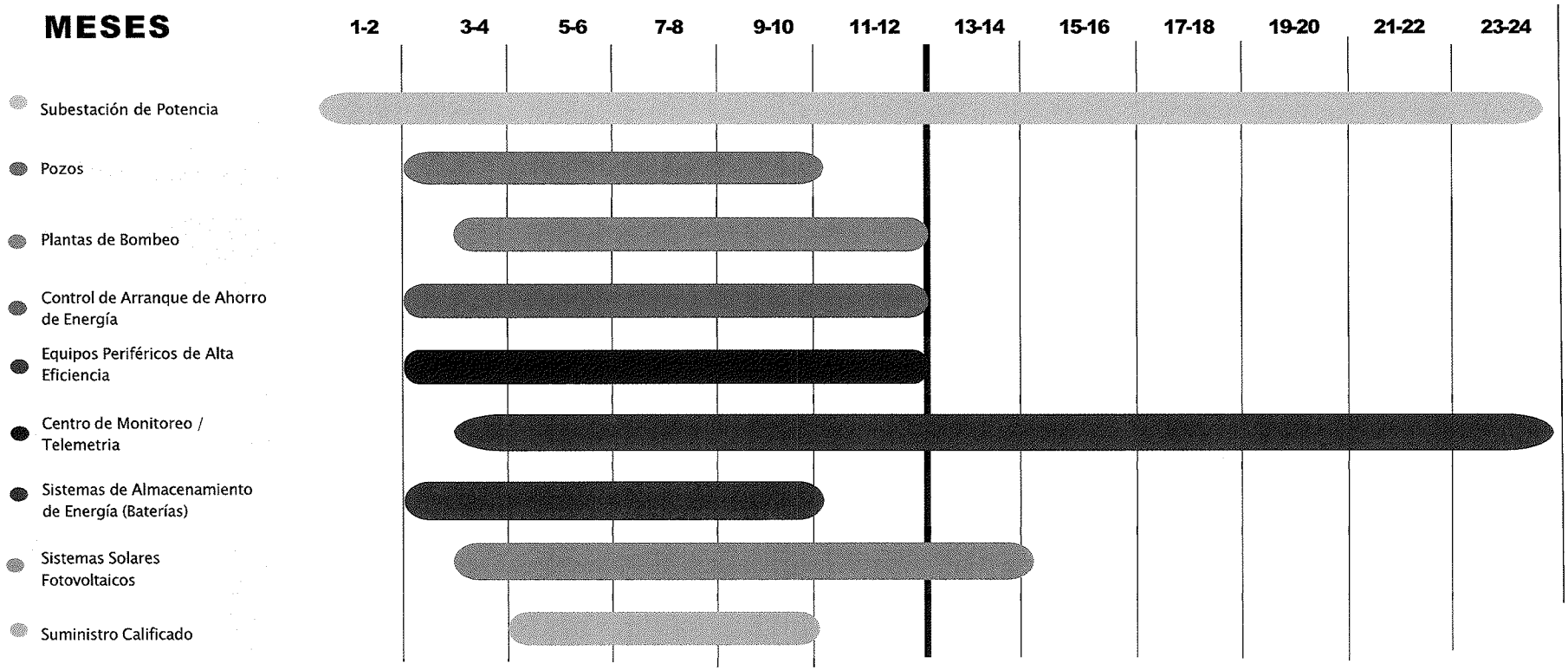
ACCIONES	AHORRO ESTIMADO ANUAL (MDP)
POZOS	$ 22.00
PLANTAS DE BOMBEO	$ 220.00
SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS	$ 39.00
SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO	$ 6.00
SUMINISTRADOR CALIFICADO	$ 33.00
SUBESTACION	$ -
SIAPA CONNECT (TELEMETRÍA Y MONITOREO DE GASES)	$ -
TOTAL	$ 320.00

000179

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

Cronograma de Ejecución

Desarrollo Energético Sustentable



000139

Anexo 10:

Estudios y proyectos para el fortalecimiento del saneamiento del nororiente del Área Metropolitana de Guadalajara

Comisión Estatal del Agua Jalisco

ELABORACION DE LAS INGENIERIAS BASICAS PARA EL SANEAMIENTO DE SUBCUENCAS SAN ANDRES, OSORIO Y SAN GASPAR.

NO. DE CONTRATO CEA-IBA-EST-LP-015-25

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

Comisión Estatal del Agua Jalisco

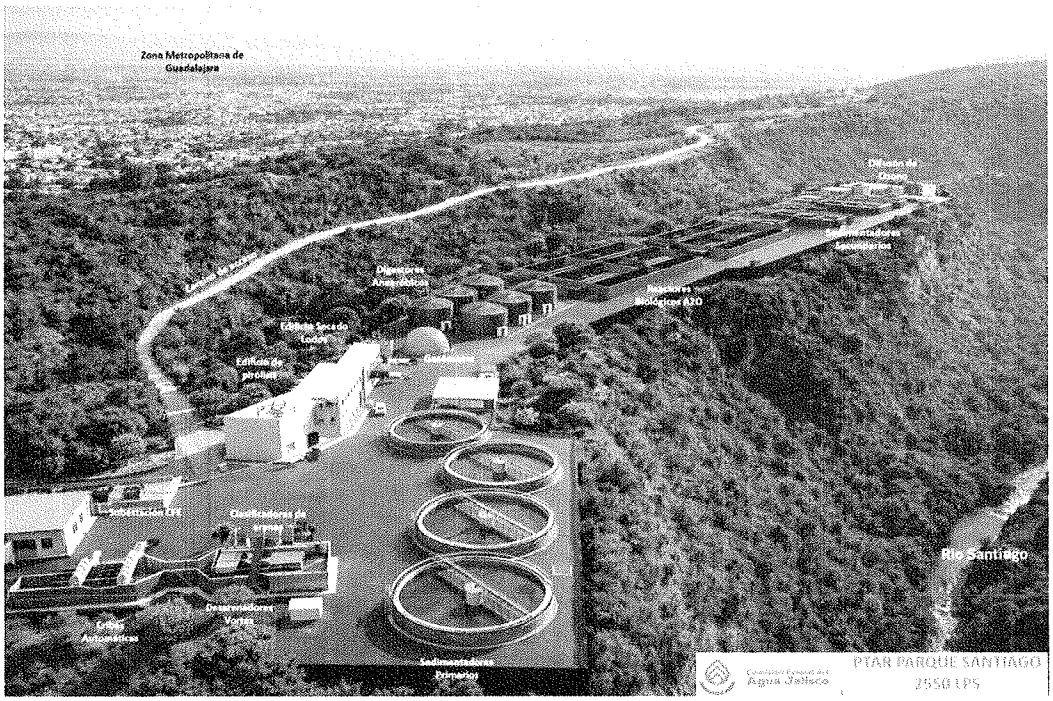
JALISCO

"ELABORACIÓN DE LAS INGENIERÍAS BÁSICAS PARA EL SANEAMIENTO DE SUBCUENCAS SAN ANDRÉS, OSORIO Y SAN GASPAR"

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR) 2550 L.P.S. SAN ANDRES-OSORIO-SAN GASPAR

CEA-046

PROCESO DE TRATAMIENTO DEL TREN DE AGUA



Fecha: Diciembre, 2025

Versión No.: 03

Contenido

1. Caracterización del proyecto 5
2. Descripción general del proceso propuesto 8
3. Arreglo general de la PTAR 16
4. Memoria descriptiva de unidades de tratamiento 20
5. Balance de materia 40
6. Operación y Mantenimiento 41
7. Monitoreo y Laboratorio 44
8. Conclusiones 45
9. Referencias y bibliografía 45
10. Anexos 46

Índice de Tablas

Tabla 1 Población por servir 5
Tabla2 Caudal del afluente. 5
Tabla3. Calidad del agua 6
Tabla4. Cotas de nivel promedio de plataforma para cada unidad de proceso 11
Tabla5. Equipo por instalar, caja de entrada emisores 20
Tabla6. Equipo por instalar, canal Parshall 22
Tabla7. Equipo por instalar en cribado 23
Tabla8. Equipo por instalar, Desarenadores vortex 25
Tabla9. Equipo por instalar en Sedimentadores primarios 27
Tabla10. Dimensiones de los reactores biológicos 28
Tabla11. Equipo por instalar, tratamiento biológico A2O 29
Tabla12. Equipo por instalar, tanque de sedimentación secundaria 31
Tabla13. Equipos por instalar, filtros de disco 32
Tabla14. Dimensiones de las unidades para desinfección por ozono 33
Tabla15. Desinfección por ozono, Equipo por instalar 33
Tabla16. Equipo por instalar, canal Parshall efluente 35
Tabla17. Equipamiento del tren de agua. 37
Tabla18. Dimensiones de las unidades de tratamiento 39

Tabla19. Consumo de energía eléctrica PTAR 42
Tabla20. Masa de reactivos 43

Índice de figuras

Figura 1. Canal Parshall de 1.2 metros con medidor ultrasónico (referencia) 7
Figura 2. Perspectiva 3D de la PTAR en terreno disponible 9
Figura 3. Imagen Satelital predio Parque Santiago 13
Figura 4. Topográfico predio parque Santiago 13
Figura 5. Plataformas propuestas para unidades de proceso, predio Parque Santiago 14
Figura 6. Perfil hidráulico de las unidades de tratamiento 14
Figura 7. Diagrama de flujo del proceso (plano anexo) 16
Figura 8. Arreglo de unidades de la PTAR 2,550.00 L.P.S. 17
Figura 9. Compuerta de derivación automática, infraestructura similar a la propuesta 20
Figura 10. Compuerta de derivación automática, conceptual 21
Figura 11. Canal Parshall con medición ultrasónica, infraestructura similar a la propuesta. 22
Figura 12. Canal Parshall, conceptual. 22
Figura 13. Rejas gruesas manuales, infraestructura similar a la propuesta. 24
Figura 14. Rejas automáticas y tornillos transportadores, infraestructura similar a la propuesta . 24
Figura15. Rejas automáticas, conceptual 25
Figura 16. Desarenador vortex, Infraestructura similar a la propuesta. 26
Figura 17. Desarenador vortex, conceptual 26
Figura 18. Sedimentador primario, infraestructura similar a la propuesta 27
Figura 19. Sedimentador primario, conceptual 28
Figura 20. Reactores biológicos, infraestructura similar a la propuesta 29
Figura 21. Reactores biológicos, conceptual 30
Figura 22. Clarificador Secundario, infraestructura similar a la propuesta 31
Figura 23. Clarificador Secundario, conceptual 31
Figura 24. Filtros de disco rotativos, infraestructura similar a la propuesta 32
Figura 25. Desinfección por ozono, infraestructura similar a la propuesta 34
Figura 26. Desinfección por ozono, conceptual 34
Figura 27. Canal Parshall, infraestructura similar a la propuesta 36

Figura 28. Canal Parshall, conceptual 36

Figura 29. Balance de Materia PTAR Parque Santiago Cap 2550LPS promedio. 40

Figura 30. Organigrama del personal de operación de la PTAR 41

CEA-046 Proceso de Tratamiento del Tren de Agua, PTAR PARQUE SANTIAGO 2550 L.P.S.

1. Caracterización del proyecto

La planta de tratamiento de aguas residuales "Parque Santiago" para 2550 litros por segundo promedio, dará servicio a la población de las cuencas San Andrés, Osorio y San Gaspar en el predio conocido como Parque Santiago, representa una infraestructura clave en el sistema de saneamiento de la zona metropolitana de Guadalajara, estará ubicada al nororiente de la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México.

Tendrá como objetivo el cumplir con las normas ambientales vigentes (NOM-001-SEMARNAT-2021 y NOM-003-SEMARNAT-1997) reduciendo la contaminación en el cuerpo receptor de las cuencas, promoviendo así la protección del río Santiago y el aprovechamiento sustentable del recurso hídrico en la región.

1.1 Base de diseño: Población, caudal y calidad del afluente.

Tabla1. Población por servir

PROYECCIÓN DE POBLACIÓN POR SUBCUENCA 2025-2050			
SUBCUENCAS	Población **2025** (hab)	Población **2045** (hab)	Población **DISEÑO 2050** (hab)
San Andrés	349,253	334,698	349,253
Osorio	381,411	456,298	479,865
San Gaspar	76,513	99,243	126,722
TRES CUENCAS	**807,177**	**890,239**	**955,840**

Tabla2. Caudal del afluente

SUBCUENCAS	CAUDALES (L/s)			
	MÍNIMO	**PROMEDIO**	**MÁXIMO (HARMON 1.40)**	**MÁXIMO EXTRAÓRDINARIO**
San Andrés	500	1000	1426	2100
Osorio	650	1300	1854	2730
San Gaspar	125	250	350	525
TOTAL	**1275**	**2550**	**3570**	**5355**

Fuente: Universo de datos de aforo del sistema operador de agua potable y de la empresa consultora.

Tabla3. Calidad del agua

PARAMETROS	CONCENTRACIONES AFLUENTE	CONCENTRACIONES EFLUENTE NOM-001-SEMARNAT-2021
Percentil 80% SIAPA + Promedios muestreos IHS/ARS	TRES CUENCAS	TRES CUENCAS
DBO5 (P80%) (mg/L)	**363**	**20**
SST (P80%) (mg/L)	**362**	**12**
NITRÓGENO (P80%) (mg/L)	**83**	**15**
FÓSFORO (P80%) (mg/L)	**14**	**8**
DQO (P80%) (mg/L)	**750**	**100**
Alcalinidad Total (mg/L)	426.8	426.8
Arsénico Total (mg/L)	<0,0080	0.20
Cadmio Total (mg/L)	<0,0100	0.20
Cianuro Total (mg/L)	<0,0500	1.00
Cloruros (mg/L)	115.3	NA
Cobre Total (mg/L)	0.048	4.00
Color Verdadero 436nm	2.62	1.00
Color Verdadero 535nm	0.99	1.00
Color Verdadero 620nm	0.613	1.00
Cromo Total (mg/L)	0.011	1.00
E.colli (NMP/100ml)	>2400	250
Grasas y Aceites (mg/L)	31.2	15
Huevos de Helmintos	<1	NA
Mercurio Total (mg/L)	<0,0008	0.01
Niquel Total (mg/L)	0.01	2.00
Nitratos (mg/L)	0.11	NA
Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	32.2	NA
Nitrógeno Orgánico (mg/L)	29.9	NA
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/L)	80	15
Plomo Total (mg/L)	<0,0100	0.2
Sólidos Sedimentables (ml/L)	1.74	NA
Sulfatos mg/L	140.23	NA
Toxicidad Aguda Vibrio fisci 1ª 5 min EC50 (%)	20.3	2.00
Zinc Total (mg/L)	0.1255	10.00

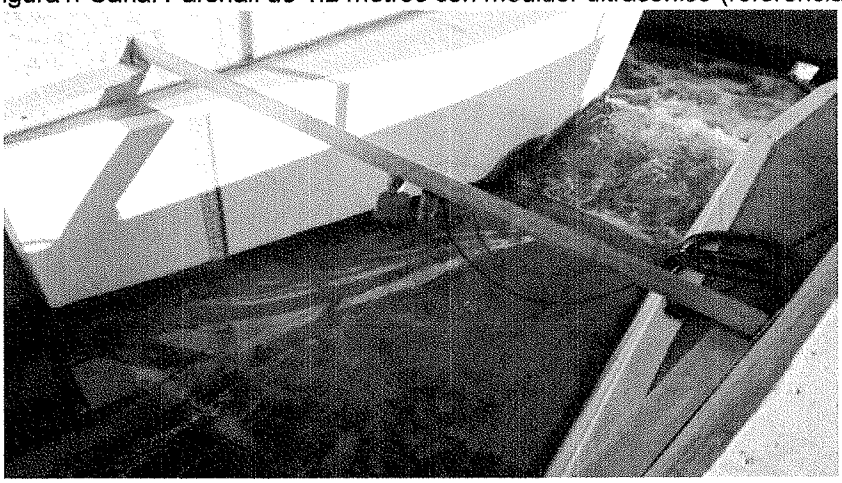
Fuente: Universo de datos de muestreo del sistema operador de agua potable y de la empresa consultora.

1.2 Dispositivos de medición de caudal en entrada y salida

1.2.1 Canal Parshall

Tipo: Canal Parshall de garganta 3.05 m (10 pies), combinado con sensor ultrasónico no contactivo para medición de nivel, cálculo y totalización de caudal.
Precisión: ±3-5% en flujo libre.
Ubicación: posterior a cribado, en canal abierto.

Figura1. Canal Parshall de 1.2 metros con medidor ultrasónico (referencia)



1.3 Diseño hidráulico de estructuras y conducciones:

1.3.1 Capacidad para caudal máximo instantáneo.

Todas las estructuras (canales, conducciones, tanques, vertederos) se dimensionan para un caudal máximo instantáneo de 3,570.00 L/s, la estructura de entrada activará derivación cuando se alcance el caudal máximo extraordinario, con fundamento en el siguiente análisis:

Caudal promedio aforado: 2550 LPS
Caudal mínimo estimado: Caudal medio x 0.5 = 1275 LPS
Caudal máximo instantáneo: Caudal medio x C. Harmon = 3570 LPS
Caudal máximo extraordinario: Caudal máximo instantáneo x 1.5 = 5355 LPS

1.3.2 Manejo de derrames y sumergencia en vertederos.

Vertederos de distribución y emergencia con tirante libre mínimo de 0.5 m sobre el nivel máximo de agua.
Bordes libres en canales y tanques: Mínimo 0.5 m, seguridad por olas/turbulencia.

1.3.3 Desviación de caudales y unidades fuera de servicio.

Derivación de caudales muy altos (Q>3570 LPS) en estructura de entrada.
Diseño modular con múltiples líneas paralelas.
Canales de derivación y cajas de distribución controlados con compuertas manuales/automáticas para redirigir flujo a unidades en operación.

2. Descripción general del proceso propuesto

2.1 Descripción narrativa del tren de agua completo.

El proceso propuesto corresponde a una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) con tecnología biológica avanzada A2O (Anaeróbico-Anóxico-Aeróbico), diseñada para remover eficientemente materia orgánica (DBO_5 y DQO), sólidos suspendidos (SST), nitrógeno y fósforo totales, cumpliendo estándares estrictos de descarga (NOM-001-SEMARNAT-2021).

El tren de agua inicia con la llegada del afluente crudo (caudal promedio 2,550.00 L/s), que ingresa a un canal Parshall para medición precisa.

Pretratamiento: cribado grueso (rejas 150 mm, manual), cribado medio (20 mm, 4 unidades automáticas) y cribado fino (6 mm, 6 unidades automáticas), eliminando sólidos flotantes y gruesos.

Posteriormente, en desarenadores tipo VORTEX (4 unidades, 3 en servicio + 1 reserva) se remueve arena (>0,20 mm) con eficiencia ≥95%.

El agua pretratada fluye a sedimentadores primarios (4 unidades circulares de 41 m diámetro), donde se logra remoción típica de 60% SST, 32% DBO_5 /DQO y 15% P.

El efluente primario ingresa al reactor biológico A2O (4 líneas paralelas, volumen total 118,000.00 m^3), dividido en zonas: anaeróbica (15%, para liberación de P y EBPR), anóxica (39%, desnitrificación) y aeróbica (46%, oxidación orgánica y nitrificación).

Recirculaciones: RAS (recirculación de lodos activados, 89% Q) y recirculación interna de nitratos (RI=355% Q).

El efluente biológico se dirige a sedimentadores secundarios (4 unidades circulares de 54 m diámetro), con rasquetas y bombas de recirculación/excedente.

El efluente secundario pasa por tratamiento terciario: filtros de disco (para SST <15 mg/L) y desinfección por ozono (dosis 13mg/L).

El tren de lodos integra: fosas para lodos y natas primarias y secundarias, fosas para lodos y natas primarias y secundarias, equipo de espesamiento de lodos

secundarios, tanque de mezcla de lodos mixtos, digestión anaeróbica mesofílica (6 digestores de 28 m diámetro, TRH: 22 días, producción: 21,975 m³/d biogás), almacenamiento y lavado de gases para mejora a biometano, cogeneración con 3 moto generadores 935 kW cada uno, deshidratación con5 tornillos prensa, sequedad 20% SS y pirólisis final para valorización energética y reducción volumétrica del 85%, generando biochar, bio-oil y syngas.

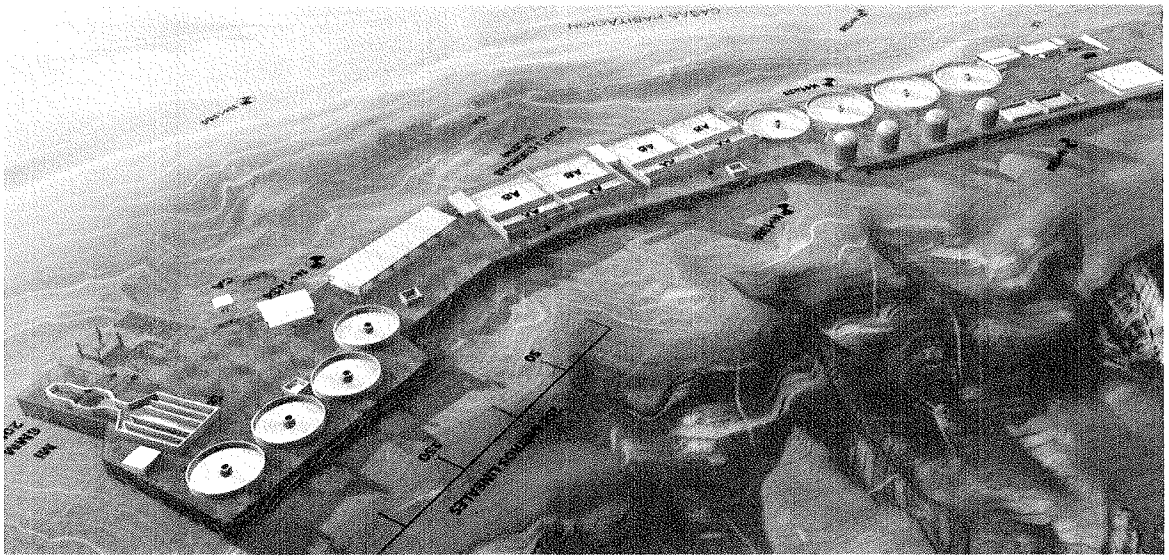
El proceso es modular, con flujo preferente por gravedad, sin bombeo principal de afluente, solo bombeos internos de recirculaciones, lodos y corrientes laterales.

Se genera energía renovable vía biogás, con alta autosuficiencia y minimización de residuos.

Se identifica como obra inducida la opción de generar energía eléctrica excedente (+300%) por medio de una central hidroeléctrica de turbinas Pelton de alta carga instalada aguas abajo.

Se propondrá también la transformación de la zona en un parque ecológico.

Figura2. Perspectiva 3D de la PTAR en terreno disponible



2.2 Topografía del terreno

La topografía del terreno permite un diseño predominantemente por gravedad, eliminando bombeo principal de afluente y minimizando costos energéticos/operativos.

Las unidades se disponen en niveles descendentes sucesivos:

Entrada y pretratamiento (medición, cribado, desarenado): Nivel superior, con llegada natural del colector.

Sedimentación primaria y reactor A2O: Nivel intermedio, con canales de distribución por gravedad.

Sedimentación secundaria, terciario y UV: Nivel inferior, asegurando flujo libre.

Pérdidas de carga totales controladas con bordes libres y vertederos para seguridad hidráulica.

Solo se prevén bombeos internos: recirculaciones RAS, RI, corrientes laterales de lodos y rechazo de filtros, extracción de lodos y alimentación de espesadores, y digestores.

La descarga del efluente tratado es libre por gravedad al cuerpo receptor, ubicada en el punto más bajo del sitio.

Se incluye canal de salida con medición final por medio de canal Parshall con sensor ultrasónico y totalizador de flujo.

Los biosólidos en torta deshidratada 20% SS, biochar post pirólisis, los sólidos cribados y arenas se disponen en el área de entrada al predio, con acceso vehicular accesible para ser desalojados en vehículos de carga.

Este arreglo optimiza el declive natural, reduce costos operativos y facilita mantenimiento.

Tabla4. Cotas de nivel promedio de plataforma para cada unidad de proceso

COTAS DE NIVEL PROMEDIO, PLATAFORMAS DE CIMENTACIÓN

Abreviatura	Nombre completo	COTA PLATAFORMA (MSNM)
CE	Obra de afluente emisores	1434
150MM	Cribado manual de 150MM	1434
20MM	Cribas automáticas de 20MM	1434
6MM	Cribas automáticas de 6MM	1434
MI	Medición de influente Canal Parshall 3m	1434
DS	Desarenadores Vortex	1434
C	Caja de distribución de flujo	1434
TSP	Tanque de Sedimentación Primaria	1434
AB	Reactor/Zona Anaerobia	1429-1430
AN	Reactor/Zona Anóxica	1429-1430
AX	Reactor/Zona Aerobia	1429-1430
S	Edificio/Casa de Sopladores	1429-1430
TSS	Tanque de Sedimentación Secundaria	1429
FD	Filtros de disco	1429
OZ	Desinfección por Ozono	1429
ME	Medición de Efluente canal Parshall 3m	1429
EL	Espesadores de lodos	1429
TL	Tanque de lodos secundarios	1429
LM	Tanque de lodos mixtos	1431
D	Digestores anaeróbicos	1431
LD	Tanque de lodos digeridos	1431
MAG	Membrana de Almacenamiento de Biogás	1434
LG	Lavado de Gases	1434

ESL	Edificio de deshidratado de lodos	1434
PIR	Edificio de pirólisis	1434
IC	Cámara Intermedia o de Distribución	1434-1429
PM	Patio de Maniobras	1431
BT	Edificio de Bodega y Taller	1431
ADM	Edificio Administrativo	1429
LAB	Laboratorio	1429
CA	Camino de acceso	1500-1434
V	Caseta de vigilancia	1434
CFE	Subestación CFE	1434
PE	Planta de emergencia	1434
CG	Cogeneración con biogás	1434

Figura 3. Imagen Satelital predio Parque Santiago

Figura 4. Topográfico predio parque Santiago

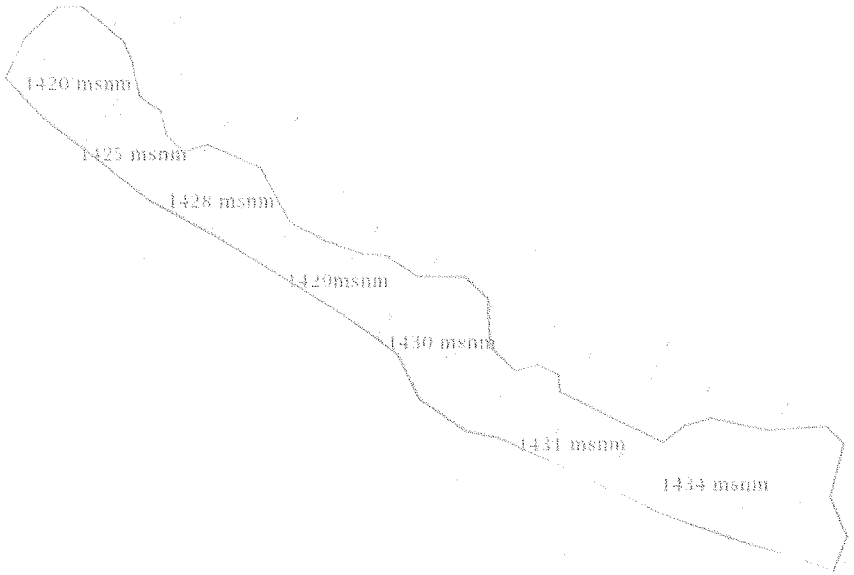


Figura 5. Plataformas propuestas para unidades de proceso, predio Parque Santiago

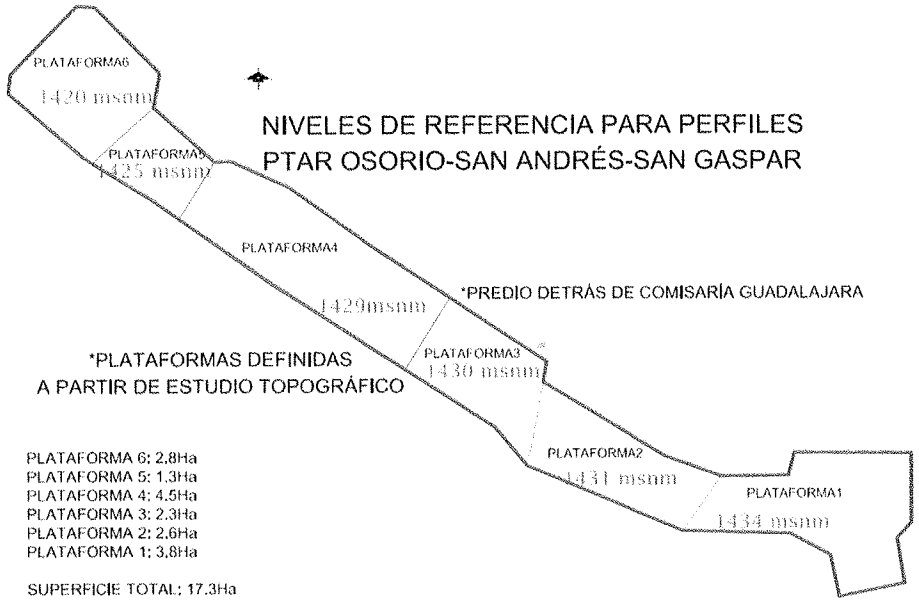
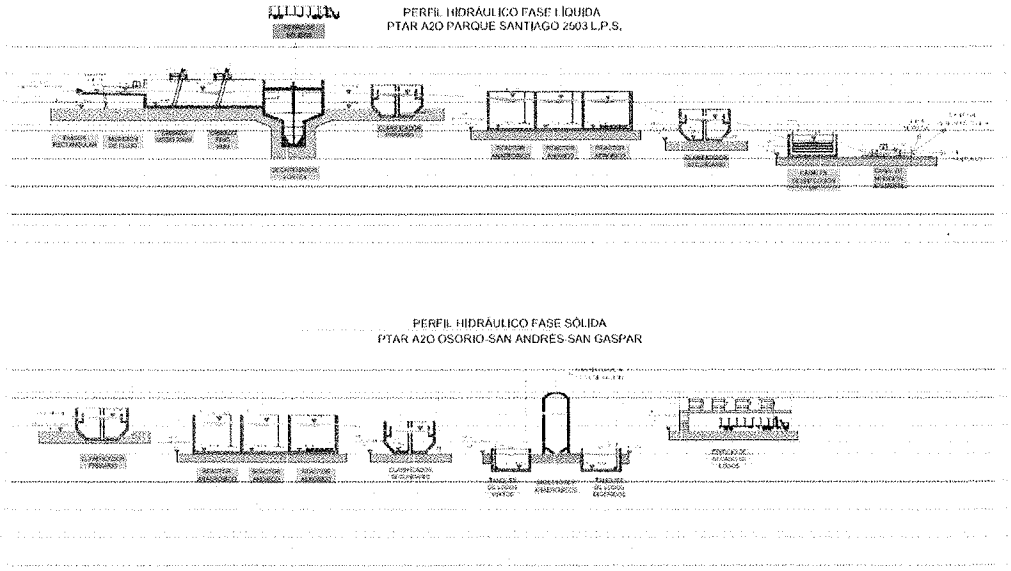
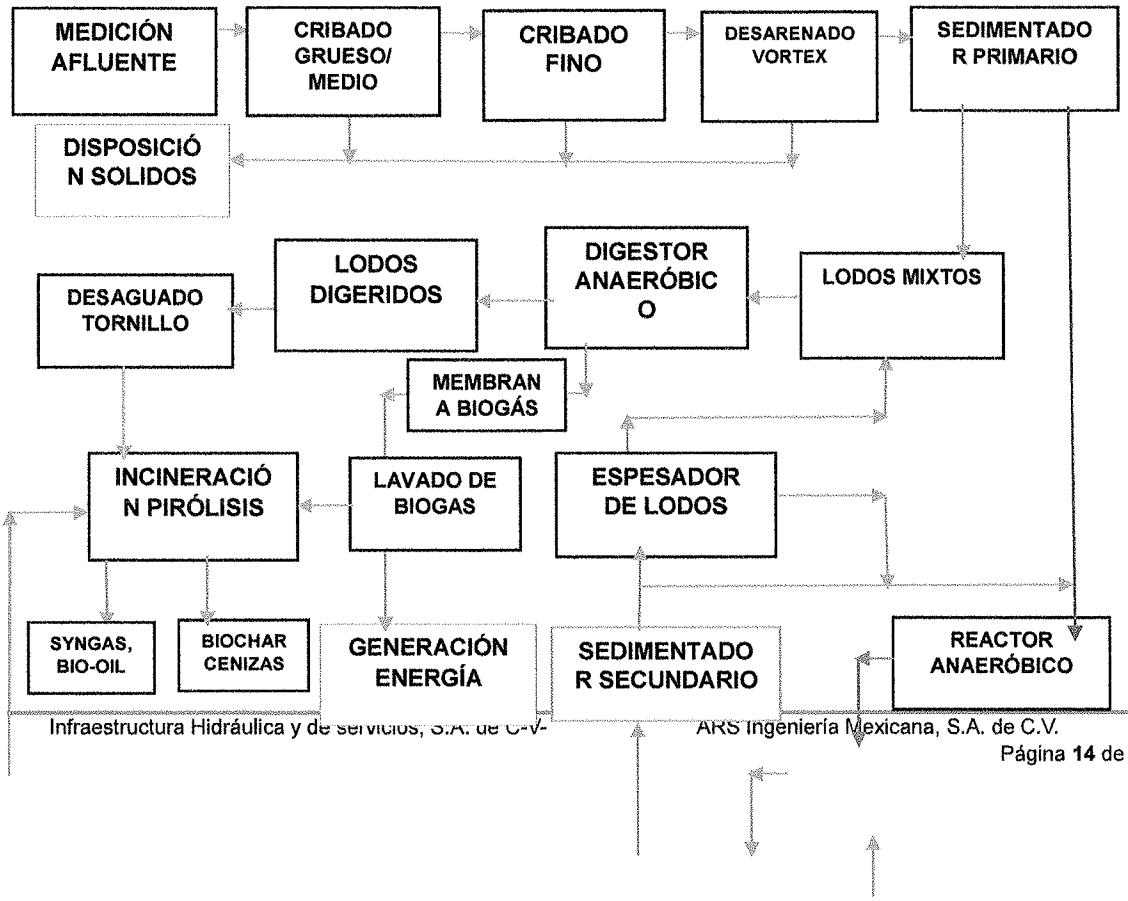


Figura 6. Perfil hidráulico de las unidades de tratamiento



2.3 Diagrama de flujo general del proceso



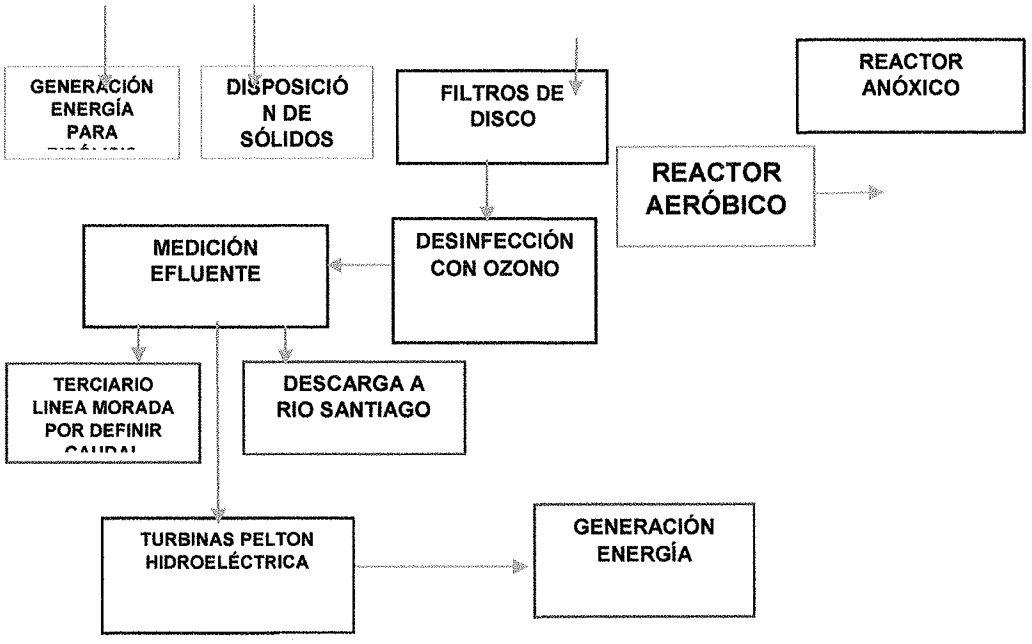
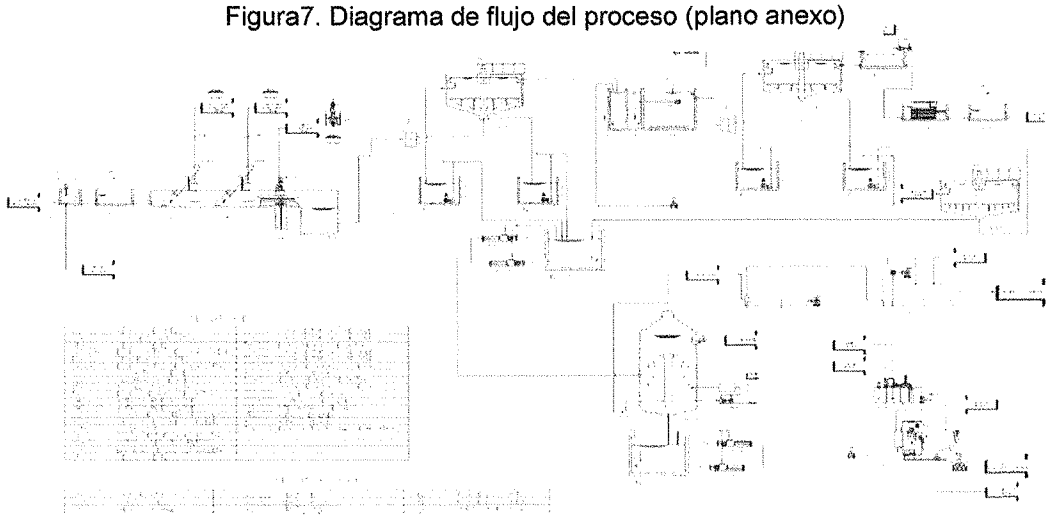


Figura7. Diagrama de flujo del proceso (plano anexo)



3. Arreglo General de la PTAR

El sitio disponible para la PTAR presenta una pendiente natural adecuada que permite un flujo gravitacional completo en la línea principal de tratamiento de aguas residuales (desde el ingreso del afluente crudo hasta la descarga del efluente tratado). Esta configuración optimiza el uso del terreno, minimiza el bombeo (limitado exclusivamente a recirculaciones internas y manejo de lodos) y reduce

las interconexiones hidráulicas, disminuyendo costos de construcción, operación energética y riesgos de fallas mecánicas.

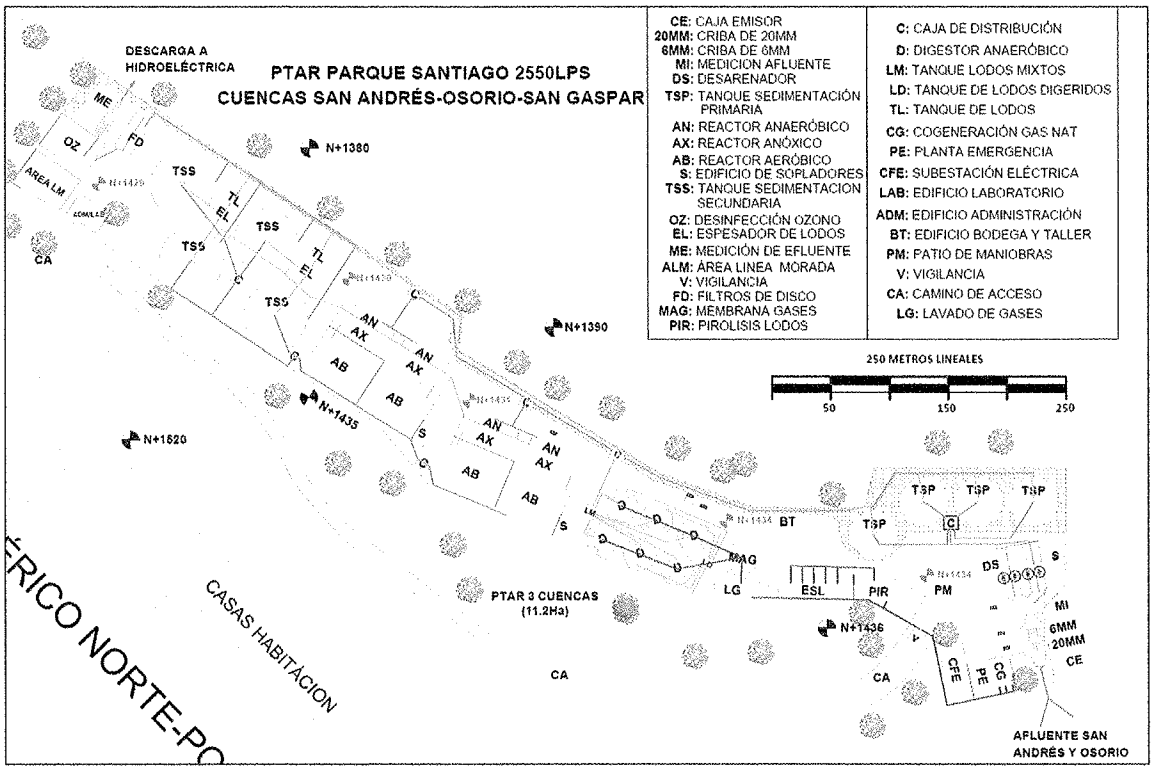
Disposición general del arreglo y perfil altimétrico

Las unidades de proceso se disponen en orden secuencial descendente según la topografía del terreno, asegurando pérdida de carga natural mínima (≈0,10–0,30 m por unidad mediante vertederos y canales).

Secuencia:

1. Medición de afluente y pretratamiento.
2. Sedimentación primaria.
3. Reactores biológicos A2O.
4. Sedimentación secundaria.
5. Filtración terciaria y desinfección UV.
6. Medición de efluente.

Figura8. Arreglo de unidades de la PTAR 2,550.00 L.P.S.



Perfil altimétrico total: caída natural de 12 m desde ingreso hasta el efluente, suficiente para flujo gravitacional sin bombeo intermedio.

3.1 Minimización de bombeo

Flujo principal: 100 % por gravedad

Bombeo restringido a:

Recirculación de lodos activados (RAS 75 % Q, 1,725 L/s total) y nitratos (300 % Q, 4,150 L/s total), con estaciones de bombeo compactas ubicadas al pie de sedimentadores secundarios.
Manejo de lodos excedentes (primarios y secundarios hacia espesamiento/digestión) y retornos internos (filtrados, retro lavados).
Beneficios: Consumo energético estimado para bombeo <20 % del total planta (vs. >50 % en diseños con elevación forzada).

3.2 Interconexiones

Tipos de interconexiones:

Canales abiertos por gravedad para reducir tuberías presurizadas.
Tuberías directas para retornos bombeados (diámetros optimizados, longitudes <100–150 m por línea).
Arreglo compacto con 4 líneas paralelas de tratamiento secundario adyacentes, minimizando distancias laterales y cruces de tuberías.
Huella total optimizada: disposición en terrazas naturales del terreno, reduciendo movimientos de tierra y estructuras de contención.
Esta optimización asegura bajo gasto de operación, alta confiabilidad hidráulica y fácil mantenimiento, cumpliendo criterios de sostenibilidad de Metcalf & Eddy y WEF MOP 8.

3.3 Accesos vehiculares y peatonales.

El diseño de accesos en la PTAR prioriza la seguridad operativa, la eficiencia logística y la minimización de interferencias entre flujos de vehículos pesados y personal administrativo/laboratorio.

Se aprovecha la topografía del predio para un arreglo funcional, ubicando el patio de maniobras en la zona de entrada cercana a la vía pública principal y las áreas administrativas/laboratorio en el extremo opuesto.

Accesos vehiculares

Acceso principal vehicular: Ubicado en la entrada del predio, con vía de doble sentido de ancho mínimo 8 m, pavimentada en concreto hidráulico para soportar tráfico pesado -camiones de lodos, polímeros, mantenimiento y emergencias-.

Incluye caseta de control de acceso con barrera automática, sistema de registro y báscula para camiones de lodos con capacidad de 40 ton.

Patio de maniobras: Adyacente a la entrada, con área amplia >1.000 m², para circulación y estacionamiento de vehículos pesados. Facilita acceso directo a:

Subestación eléctrica CFE y plantas de emergencia con generadores diésel.

Área de cogeneración motogeneradores de biogás.

Equipos de pirólisis y deshidratación de lodos tornillos prensa, carga/descarga de torta.

Bodega y taller de mantenimiento.

Esta ubicación minimiza distancias de recorrido interno para camiones, evita cruces con zonas de proceso principal y reduce riesgos de contaminación cruzada.

Vías internas vehiculares: Anillo perimetral pavimentado con ancho de 6 m, para circulación unidireccional en zonas de proceso, con ramales secundarios a unidades críticas. Señalización horizontal/vertical y reductores de velocidad para seguridad.

Accesos peatonales

Accesos independientes: Puertas peatonales separadas del flujo vehicular, con caminos techados y señalizados hacia las áreas administrativas y de laboratorio ubicadas al final del predio.
Esta separación reduce exposición del personal administrativo a ruido, olores y tráfico pesado, mejora seguridad (evita cruces con camiones) y cumple con normas de higiene laboral.

Acceso vehicular ligero: Para administración y laboratorio, vehículos de personal y visitas, con estacionamiento dedicado de 30 cajones, en zona tranquila, conectado por vía secundaria independiente del patio de maniobras.

Esta configuración optimiza logística y acceso rápido para operaciones intensivas en entrada, seguridad y bienestar del personal.

Solución para desalojo de aguas residuales en paros totales o parciales.

La caja de entrada la PTAR contará con una compuerta automática controlada por medio de un sensor de nivel que abrirá la derivación en caso de paro total, o excedencias al caudal máximo para el que fue diseñado el sistema de tratamiento.

4. Memoria descriptiva de unidades de tratamiento

4.1 Estructura de ingreso

Propósito

Incorporar las estructuras de los emisores San Andrés y Osorio en una sola y derivar el afluente en eventos de emergencia o caudal máximo extraordinario.

Medidas

Canal estándar

Longitud total: 10.00 m

Anchura: 5.00 m

Tirante de agua: 1.50 m.

Altura muros: 2.00 m.

Material de construcción

Concreto armado de alta resistencia.

Tabla 5. Equipo por instalar, caja de entrada emisores

CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA

CE	Caja de entrada emisores	Compuerta automática para derivación	0.5 kW	1	1
		Sensor de nivel ultrasónico	0.1 kW	1	1

Figura 9. Compuerta de derivación automática, infraestructura similar a la propuesta.

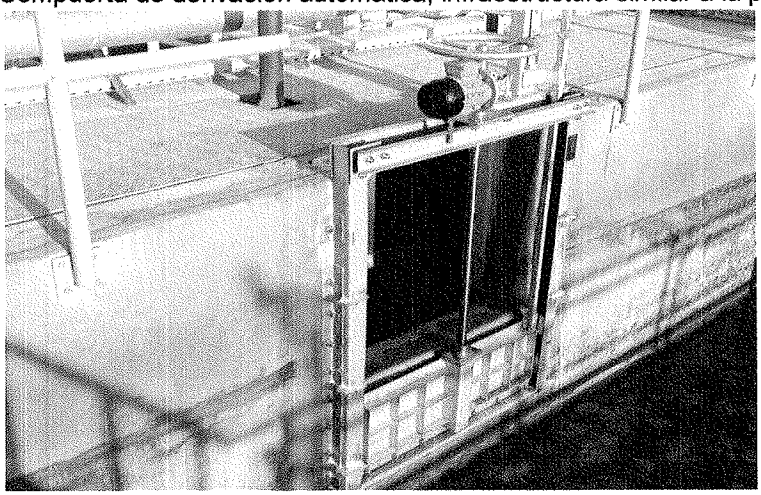
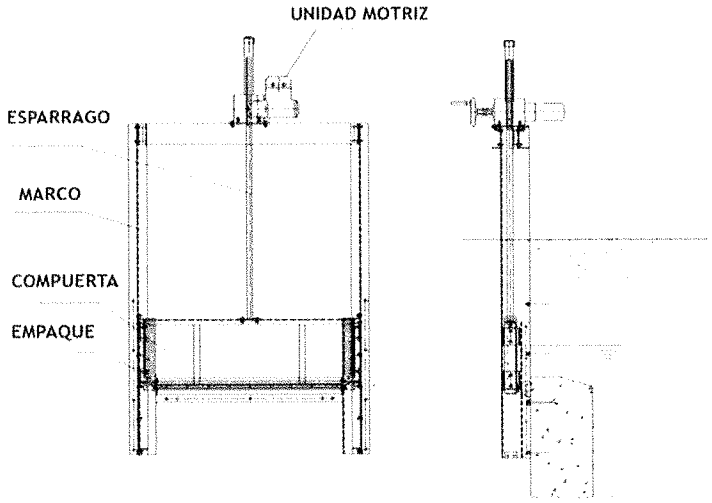


Figura 10. Compuerta de derivación automática, conceptual.



4.2 Medición de afluente

Propósito

Medir con precisión el caudal de agua residual cruda que ingresa a la planta, permitiendo registro continuo, control operativo y verificación de cumplimiento normativo.

Medidas

Canal Parshall estándar de 10 pies

Anchura garganta: 3.05 m.

Longitud total: 11.28 m (sección convergente 6.40 m, garganta 1.83 m, divergente 3.05 m).

Altura total de paredes laterales: 2.10 m.

Altura de cresta:1.83 m.

Caída de piso en garganta: 0.305 m.

Material de construcción

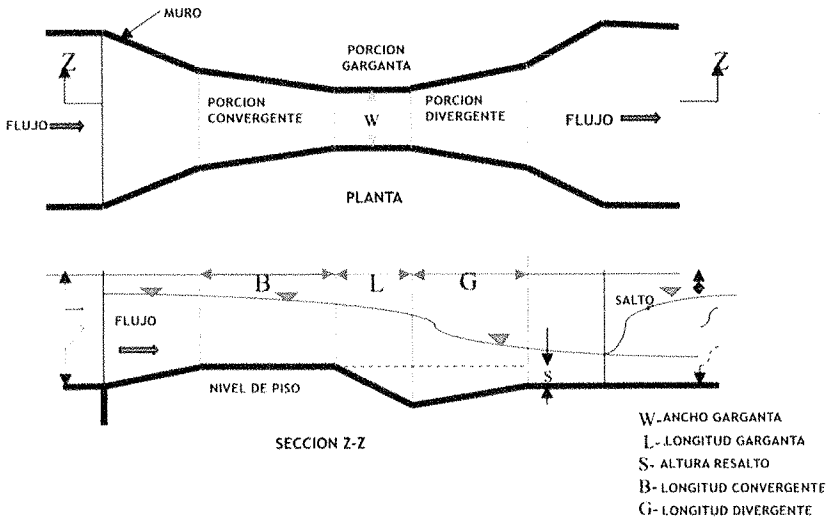
Concreto armado de alta resistencia.

Tabla 6. Equipo por instalar, canal Parshall

CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
MI	Medición de influente Canal Parshall 3m	Medidor de flujo ultrasónico canal abierto	0.1 kW	1	1
		Registrador de datos salida 4-20mA y conexión SCADA	0.1 kW	1	1

Figura 11. Canal Parshall con medición ultrasónica, infraestructura similar a la propuesta.

Figura 12. Canal Parshall, conceptual.



4.3 Cribado Grueso, medio y fino

Propósito

Capturar sólidos gruesos, medios y finos para proteger equipos posteriores.

Medidas

Cribado grueso (150 mm): 2 canales, ancho útil 2.50 m cada uno, profundidad agua 1.50 m, altura total pared 2.00 m, longitud canal 6.00 m.

Cribado medio (20 mm): 1 canal común + 4 cribas en paralelo, ancho total canal 8.00 m, profundidad agua 1.8 m, altura total pared 3.30 m, longitud 8.00 m.

Cribado fino (6 mm): 1 canal común + 6 cribas en paralelo, ancho total canal 12.00 m, profundidad agua 1.8 m, altura total pared 3.30 m, longitud 8.00 m.

Material de construcción

Concreto armado de alta resistencia para canales; acero inoxidable AISI 316 para barras de rejas y cribas automáticas, acero al carbón A-36 para pasillos, escaleras, barandales y áreas de operación

Tabla 7. Equipo por instalar en cribado

CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
150MM	Cribado manual de 150MM	Criba manual de barras acero inoxidable	0	1	1
20MM	Cribas automáticas de 20MM	Criba vertical automática	2.2 kW	4	0
		Transportador de tornillo 8000mm	4 kW	1	0
		Contenedor compactador	2 kW	2	0
6MM	Cribas automáticas de 6MM	Criba vertical automática	3 kW	6	0
		Transportador de tornillo 12000mm	4 kW	1	0
		Contenedor compactador	2 kW	2	0

Figura 13. Rejas gruesas manuales, infraestructura similar a la propuesta.

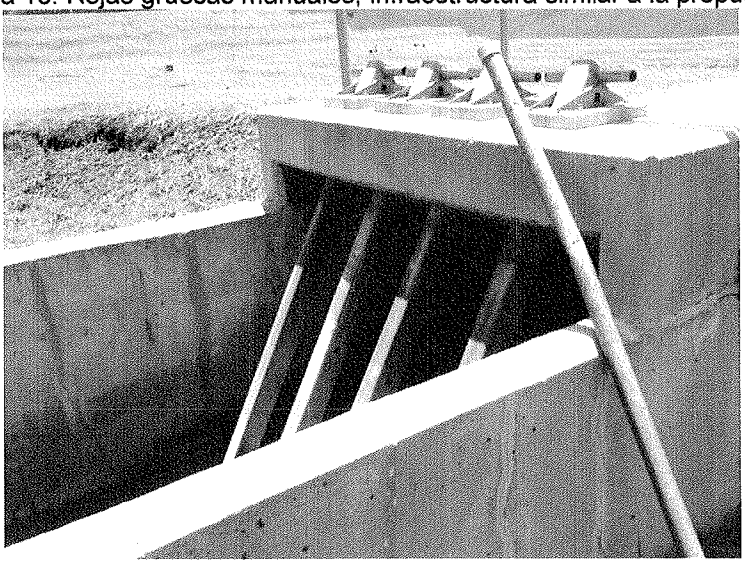


Figura 14. Rejas automáticas y tornillos transportadores, infraestructura similar a la propuesta.

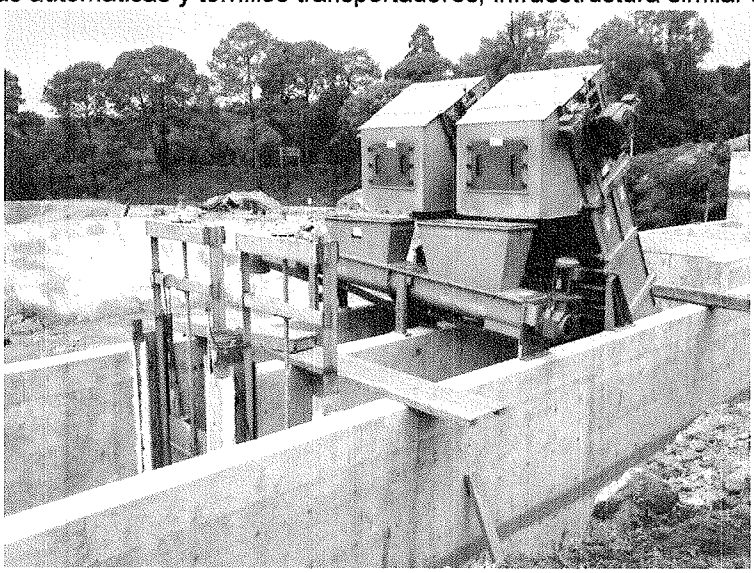
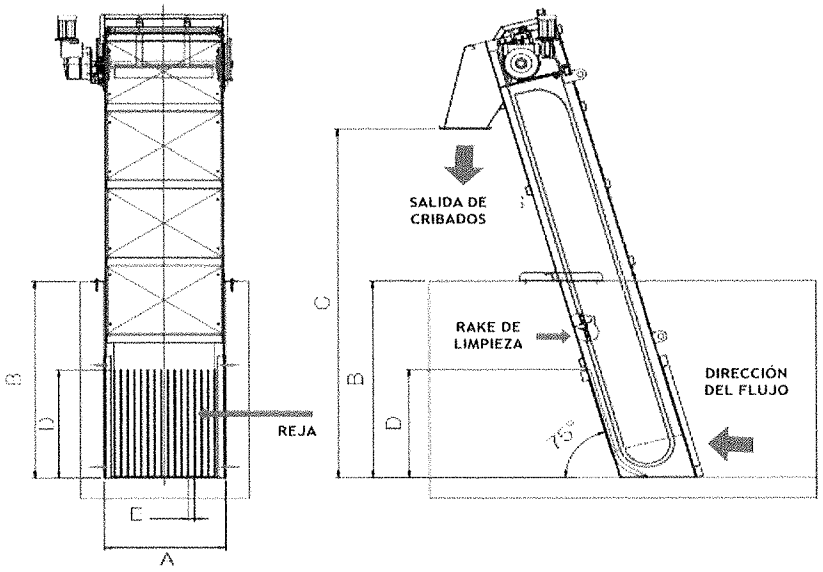


Figura 15. Rejas automáticas, conceptual.



4.4 Desarenadores Vortex

Propósito

Remover arenas para evitar abrasión y acumulación en tanques.

Medidas

Desarenadores vortex: 4 unidades, diámetro interno 6.00 m, profundidad total 6.50 m, profundidad agua 6.00 m, borde libre 0.50 m.

Material de construcción

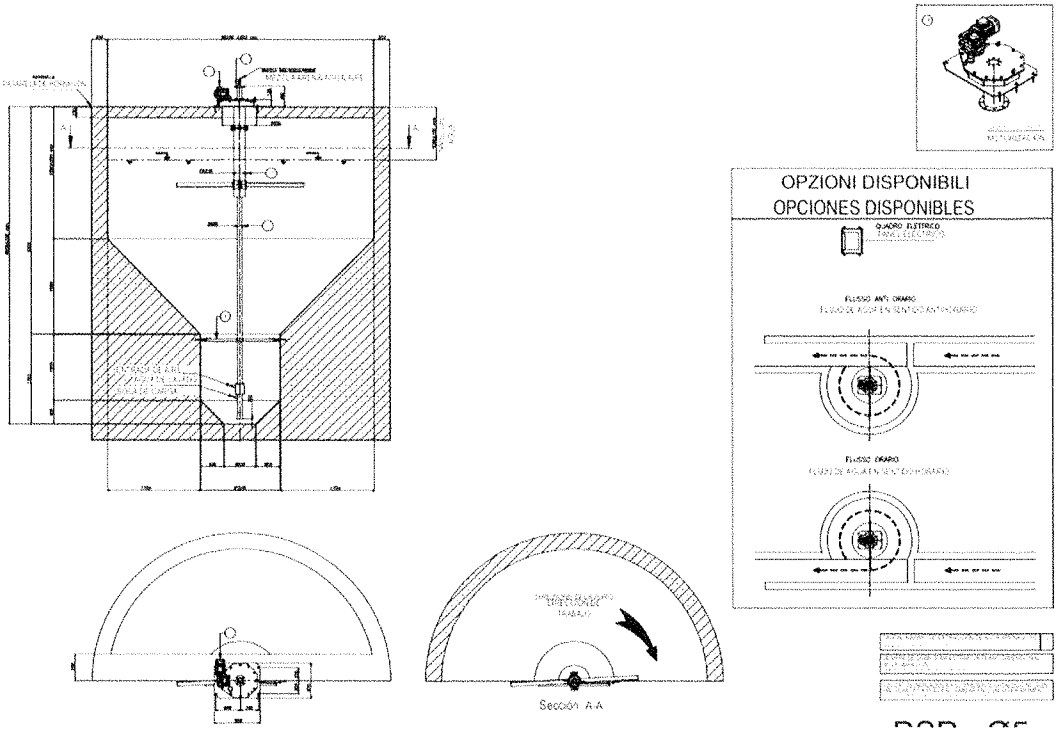
Concreto armado para canales y tanques vortex; acero inoxidable AISI 316L para estructuras internas

Tabla 8. Equipo por instalar, Desarenadores vortex

CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
DS	Desarenadores VORTEX	Hidroextractor turbo	1.1 kW	4	0
		Soplador lobular	10 kW	1	1
		Clasificador de arenas	1.5 kW	4	4
		Contenedor arenas	0	1	0

Figura 16. Desarenador vortex. Infraestructura similar a la propuesta

Figura 17. Desarenador vortex, conceptual.



4.5 Sedimentación primaria

Propósito

Remover sólidos sedimentables y parte de la carga orgánica (60 % SST, 32 % DBO_5) mediante gravedad.

Medidas

4 unidades circulares, todas en servicio.

Diámetro interno: 41.0 m.

Área superficial unitaria: 5,281.00 m²

Profundidad lateral promedio: 4.50 m

Material de construcción

Concreto armado de alta resistencia en tanque.
Acero AISI 304 en mecanismo de rastra y áreas de operación.

Tabla 9. Equipo por instalar en Sedimentadores primarios

CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
TSP	Tanque de Sedimentación Primaria	Rastra y elemento motriz	0.75 kW	4	0
		Bomba de tornillo lodos	7.5 kW	4	1
		Desmenuzador de lodos	7.5 kW	2	0

Figura 18. Sedimentador primario, infraestructura similar a la propuesta

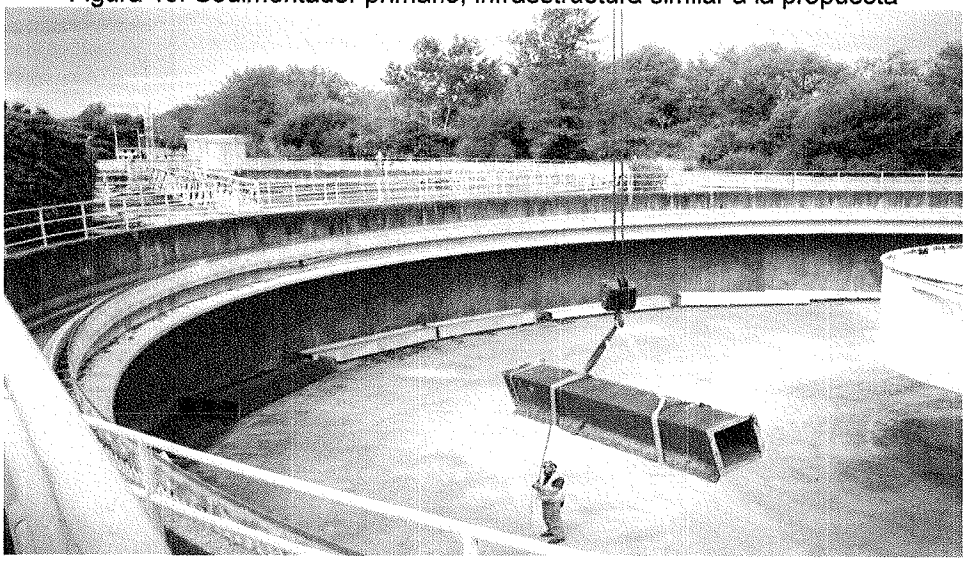
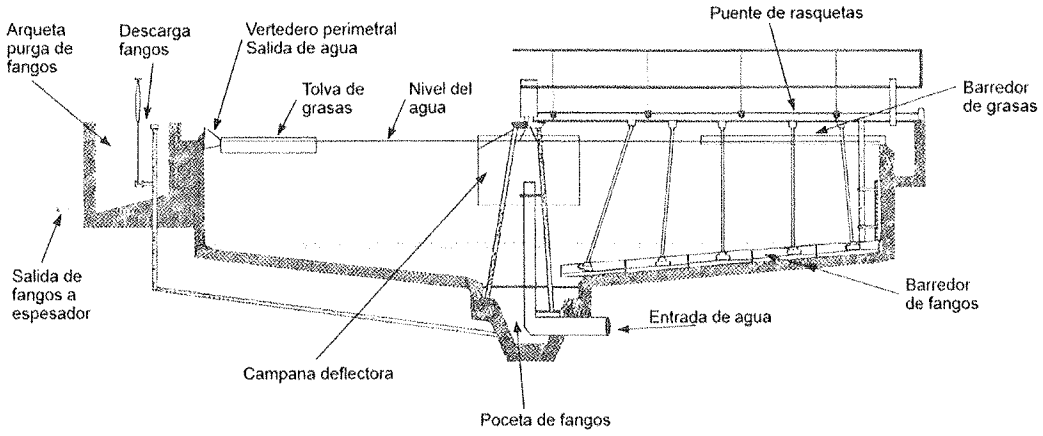


Figura 19. Sedimentador primario, conceptual.



4.6 Tratamiento biológico A2O

Propósito

Remover materia orgánica, nitrógeno y fósforo biológicamente mediante procesos anaeróbico, anóxico y aeróbico.

Medidas

4 líneas paralelas, altura útil de agua 7.0 m.

Volumen total biológico: 120,960.00 m³ (TRH=13.18h)

Zona anaeróbica (15 %): 18,480.00 m³ total (4 620 m³/línea).

- Zona anóxica (38 %): 47,070.00 m³ total (11 760 m³/línea).
- Zona aeróbica (45 %): 55,440.00 m³ total (13 860 m³/línea).
- TRH total: 13.18 horas a Q medio.

Tabla 10. Dimensiones de los reactores biológicos

DIMENSIONES LINEA DE AGUA PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS							CAUDAL PROMEDIO (LPS)			2550	
CLAVE	TIPO	UNIDAD DE TRATAMIENTO	U	Ø (M)	L (M)	A (M)	H2O (M)	HT (M)	S (M2)	V.T. (M3)	TRH (h)
AB	TANQUE	Reactor/Zona Anaerobia	4.0	NA	60.0	11.0	7.0	7.5	2,640	18,480	2.01
AN	TANQUE	Reactor/Zona Anóxica	4.0	NA	60.0	28.0	7.0	7.5	6,720	47,040	5.12
AX	TANQUE	Reactor/Zona Aerobia	4.0	NA	60.0	33.0	7.0	7.5	7,920	55,440	6.04

Material de construcción

Concreto armado de alta resistencia.

Tabla 11. Equipo por instalar, tratamiento biológico A2O

CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
AB	Reactor/Zona Anaerobia	Mezclador hiperboloide	19 kW	8	1
AN	Reactor/Zona Anóxica	Mezclador hiperboloide	19 kW	16	1
AX	Reactor/Zona Aerobia	Sensor de oxígeno disuelto	0.1 kW	8	2
		Bomba de propela RI	45 kW	4	1
		Panel difusores burbuja fina	0	1100	100
S	Edificio/Casa de Sopladores	Soplador turbo	225 kW	10	2
		Ventilador extractor	2 kW	4	1

Figura20. Reactores biológicos, infraestructura similar a la propuesta

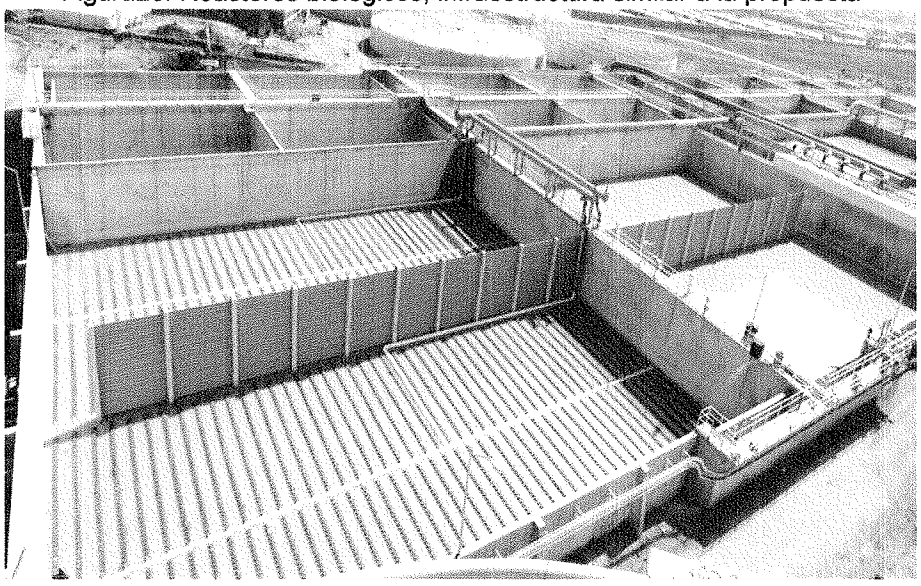
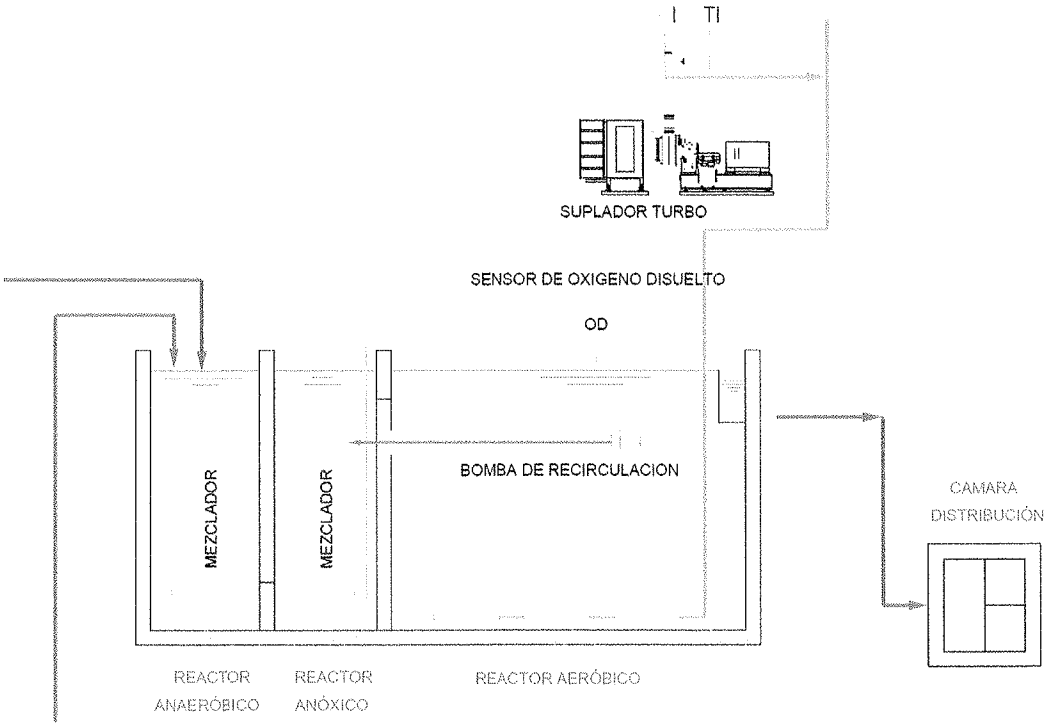


Figura21. Reactores biológicos, conceptual



4.7 Sedimentación secundaria

Propósito
Separar lodos biológicos del efluente tratado, recirculación de lodos activados y purga de lodos a espesamiento.

Medidas
4 unidades circulares, todas en operación.

Diámetro: 54 m.

Área unitaria: 2,290.00 m²

Área 4 unidades: 9,151.00 m²

Tirante: 4.5 m.

Material de construcción

Concreto armado en tanque, acero AISI 304 elementos mecánicos.

Tabla 12. Equipo por instalar, tanque de sedimentación secundaria

CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
TSS	Tanque de Sedimentación Secundaria	Rastra y elemento motriz	0.75 kW	4	0
		Bomba de recirculación	30.00 kW	4	1
		Bomba de purga	4.00 kW	4	1

Figura 22. Clarificador Secundario, infraestructura similar a la propuesta

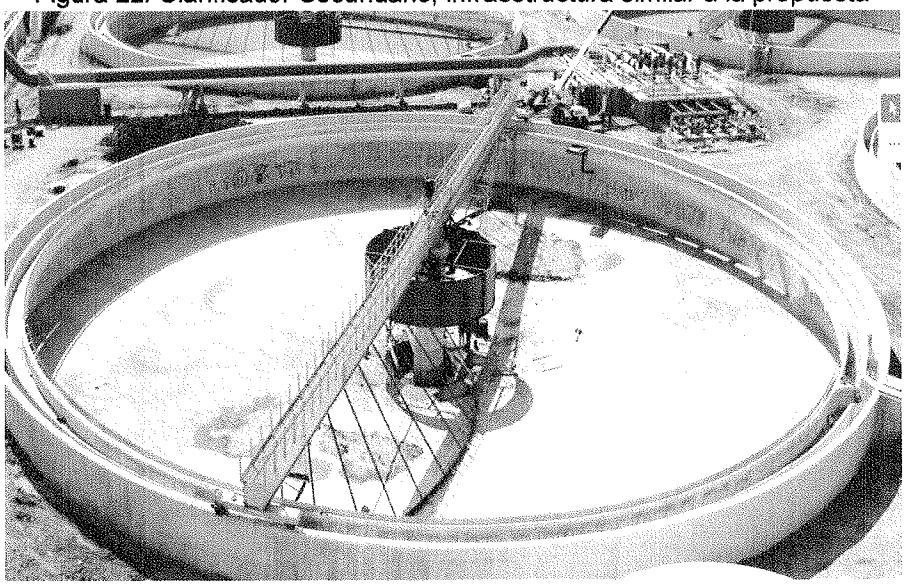
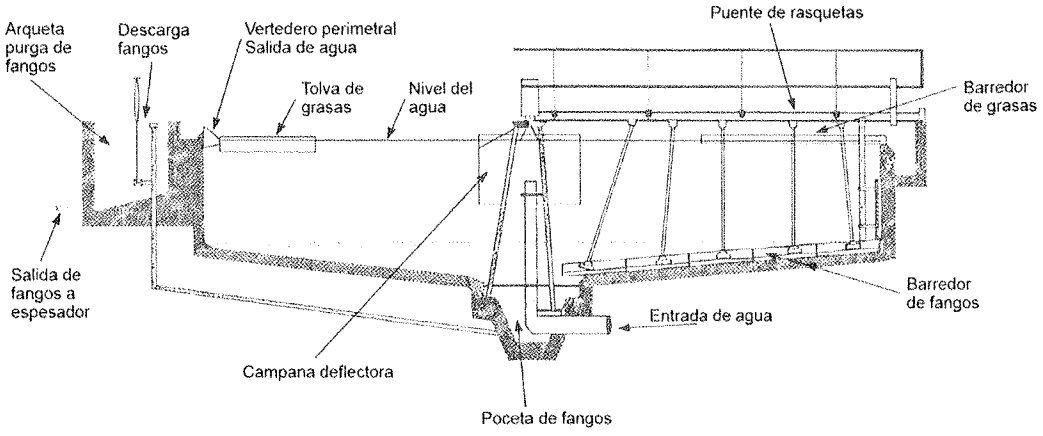


Figura 23. Clarificador Secundario, conceptual



4.8 Filtración terciaria con filtros de disco

Propósito

Reducir SST a <8–15 mg/L para mejorar calidad del efluente antes de desinfección con ozono.

Medidas

Área filtrante total: 1 000m².
13 unidades modulares con malla de 15 µm.
Huella: 300 m².
Longitud de la batería: 41.00m
Ancho de la batería: 7.00m
Longitud de los canales de alimentación y efluente: 41.00m
Ancho de los canales de alimentación y efluente: 1.00m

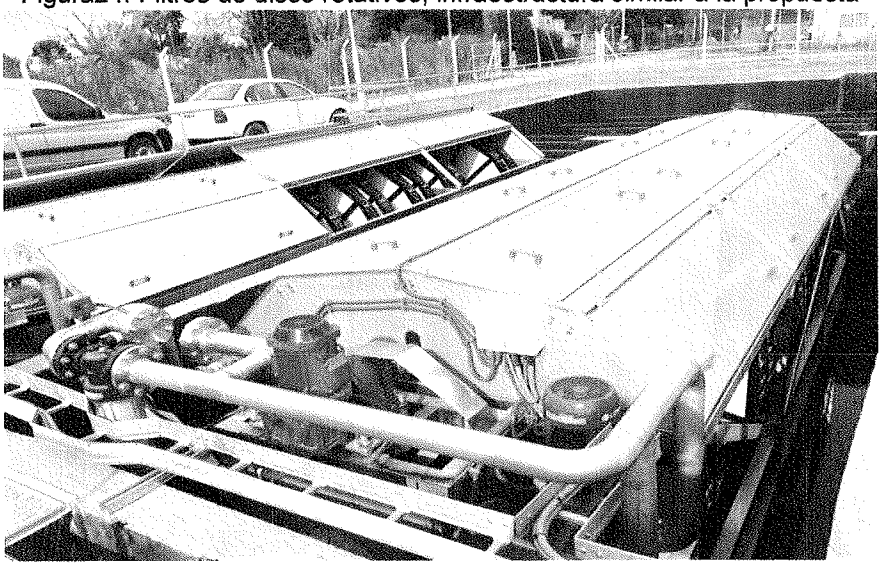
Material de construcción

Canales en concreto armado; discos y estructura en acero inoxidable/polímero.

Tabla 13. Equipos por instalar, filtros de disco.

CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
FD	Filtros de disco	Cilindros con discos filtrantes	0	12	1
		Elemento motriz	1.5 kW	12	1
		Bomba de retro lavado	4.5 kW	12	1

Figura24. Filtros de disco rotativos, infraestructura similar a la propuesta



4.9 Desinfección con Ozono

Propósito

Eliminar patógenos mediante difusión de ozono, cumpliendo NOM-001 y NOM-003 sin cloro residual.

Tabla 14. Dimensiones de las unidades para desinfección por ozono.

DIMENSIONES LINEA DE AGUA PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS							CAUDAL PROMEDIO (LPS)			2550	
CLAVE	TIPO	UNIDAD DE TRATAMIENTO	U	Ø (M)	L (M)	A (M)	H2O (M)	HT (M)	S (M2)	V.T. (M3)	TRH (h)
OZ	VARIOS	Unidad de Desinfección por Ozono	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	TANQUE	TANQUE CONTACTO INICIAL	1.0	NA	11.0	8.0	5.5	6.0	88	484	0.05
	TANQUE	TANQUES CONTACTO	4.0	NA	14.0	8.0	5.5	6.0	448	2,464	0.27
	EDIFICIO	AREA DE EQUIPO O3	1.0	NA	20.0	30.0	NA	NA	600	NA	NA
	EDIFICIO	AREA DE EQUIPO O2	1.0	NA	20.0	30.0	NA	NA	600	NA	NA

Material de construcción

- Concreto armado en tanques de contacto, acero AISI 316 en equipo de generación de ozono, torres criogénicas y tanques de almacenamiento de oxígeno líquido.

Tabla15. Desinfección por ozono, Equipo por instalar.

CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
OZ	Unidad de Desinfección por Ozono	Generador de O3	210 kW	5	0
		Soplador lobular	30 kW	1	1
		Equipo de criogenia	390 kW	1	0
		Panel difusores burbuja fina	0	16	1

Figura25. Desinfección por ozono, infraestructura similar a la propuesta

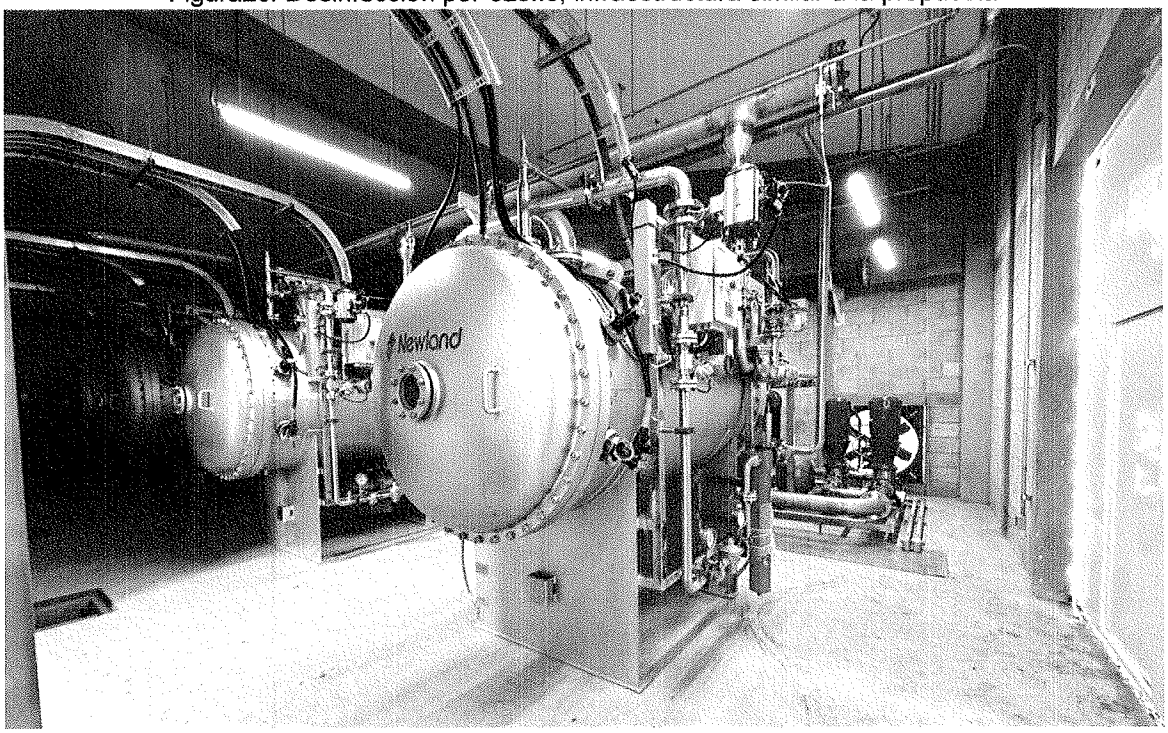
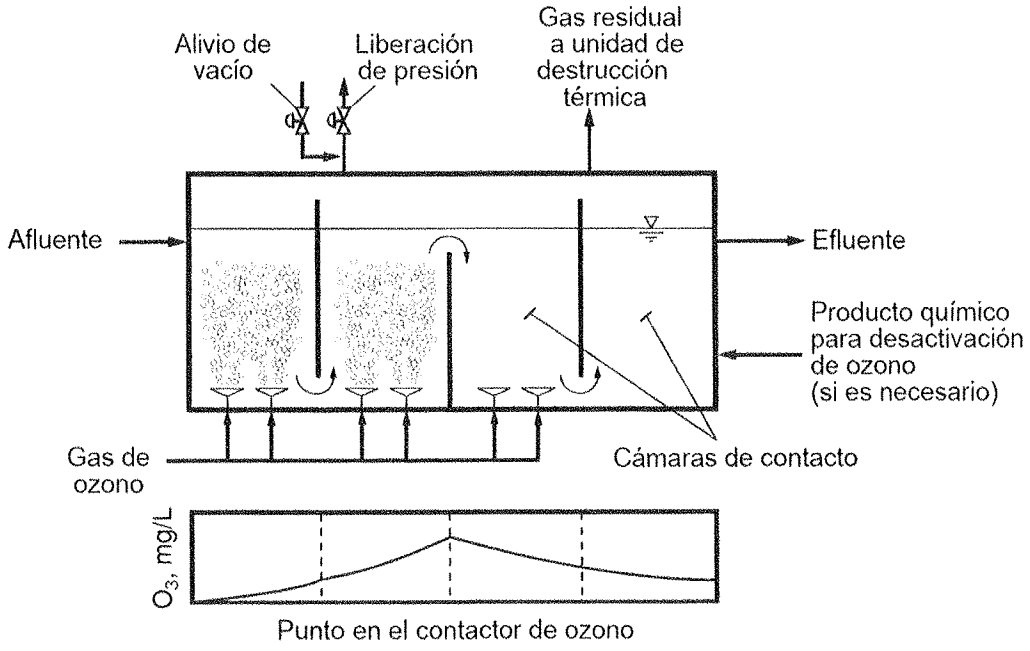


Figura26. Desinfección por ozono, conceptual



4.10 Medición de efluente

Propósito

Medir con precisión el caudal de efluente tratado descargado, para control operativo y verificación normativa.

Medidas

Canal Parshall estándar de 10 pies

Anchura garganta: 3.05 m.

Longitud total: 11.28 m (sección convergente 6.40 m, garganta 1.83 m, divergente 3.05 m).

Altura total de paredes laterales: 2.10 m.

Altura de cresta:1.83 m.

Caída de piso en garganta: 0.305 m.

Material de construcción

Concreto armado de alta resistencia.

Tabla 16. Equipo por instalar, canal Parshall

CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
MI	Medición de efluente Canal Parshall 3m	Medidor de flujo ultrasónico canal abierto	0.1 kW	1	1
		Registrador de datos salida 4-20mA y conexión SCADA	0.1 kW	1	1

Figura27. Canal Parshall, infraestructura similar a la propuesta

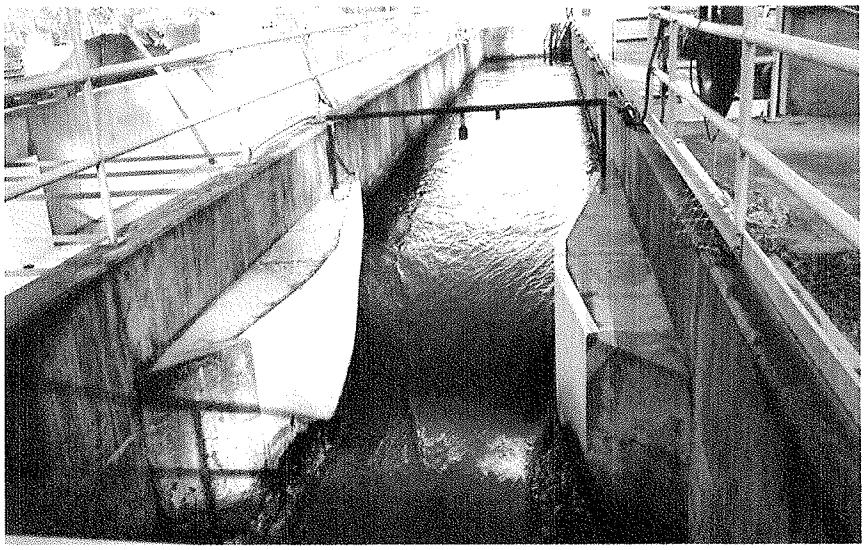


Figura28. Canal Parshall, conceptual.

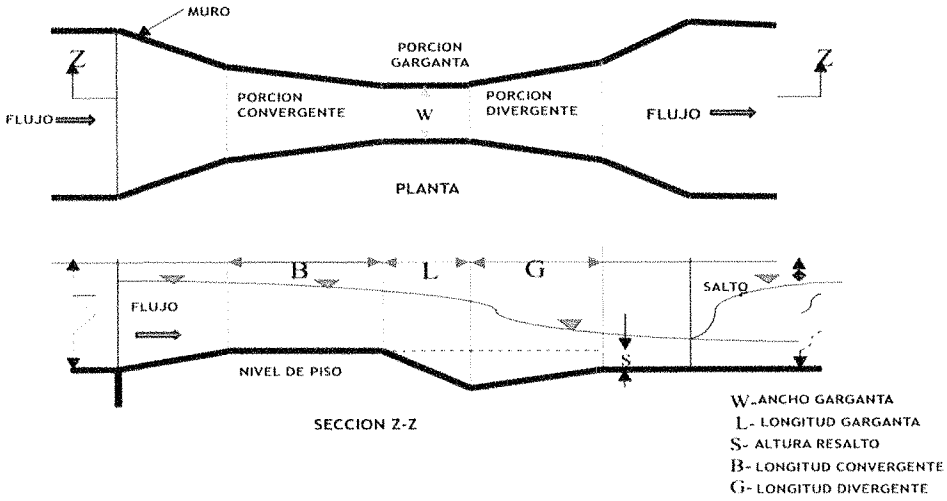


Tabla17. Equipamiento del tren de agua

EQUIPAMIENTO PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS

CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
CE	Caja de entrada emisores	Compuerta automática para derivación	0.5 kW	1	1
		Sensor de nivel ultrasónico	0.1 kW	1	1
150MM	Cribado manual de 150MM	Criba manual de barras acero inoxidable	0	1	1
20MM	Cribas automáticas de 20MM	Criba vertical automática	2.2 kW	4	0
		Transportador de tornillo 8000mm	4 kW	1	0
		Contenedor compactador	2 kW	2	0
6MM	Cribas automáticas de 6MM	Criba vertical automática	3 kW	6	0
		Transportador de tornillo 12000mm	4 kW	1	0
		Contenedor compactador	2 kW	2	0
MI	Medición de influente Canal Parshall 3m	Medidor de flujo ultrasónico canal abierto	0.1 kW	1	1
		Registrador de datos salida 4-20mA y conexión SCADA	0.1 kW	1	1
DS	Desarenadores VORTEX	Hidroextractor turbo	1.1 kW	4	0
		Soplador lobular	10 kW	1	1
		Clasificador de arenas	1.5 kW	4	4
		Contenedor arenas	0	1	0
C	Caja de distribución de flujo	Medidor de nivel ultrasónico	0.1 kW	4	0
TSP	Tanque de Sedimentación Primaria	Rastra y elemento motriz	0.75 kW	4	0
		Bomba de tornillo lodos	7.5 kW	4	1
		Desmenuzador de lodos	7.5 kW	2	0
AB	Reactor/Zona Anaerobia	Mezclador hiperboloide	19 kW	8	1
AN	Reactor/Zona Anóxica	Mezclador hiperboloide	19 kW	16	1
AX	Reactor/Zona Aerobia	Sensor de oxígeno disuelto	0.1 kW	8	2
		Bomba de propela RI	45 kW	4	1
		Panel difusores burbuja fina	0	1100	100
S		Soplador turbo	300 kW	10	2

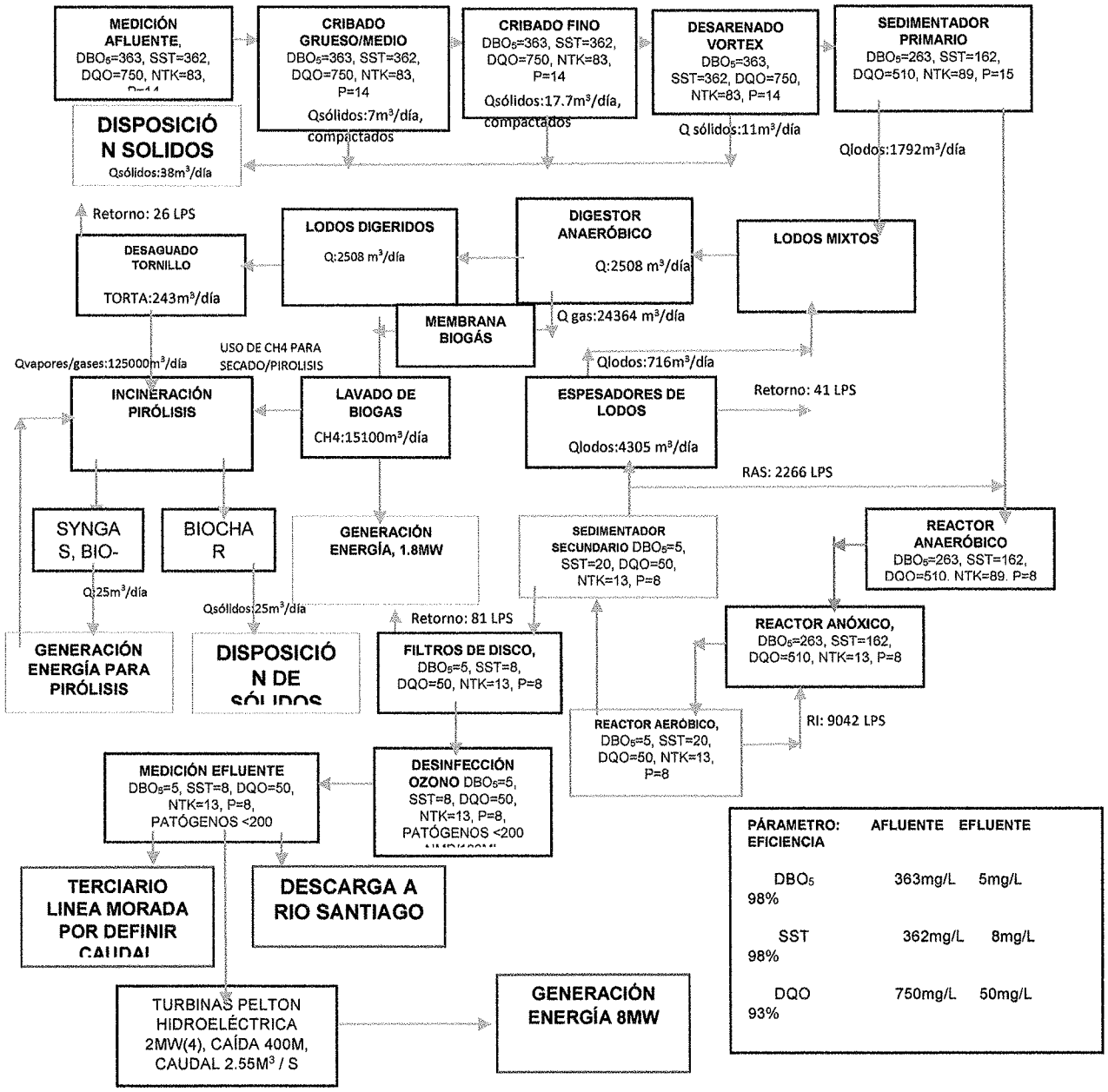
	Edificio/Casa de Sopladores	Ventilador extractor	2 kW	4	1
TSS	Tanque de Sedimentación Secundaria	Rastra y elemento motriz	0.75 kW	4	0
		Bomba de recirculación	7.5 kW	4	1
		Bomba de purga	4 kW	4	1
FD	Filtros de disco	Cilindros con discos filtrantes	0	12	1
		Elemento motriz	1.5 kW	12	1
		Bomba de retro lavado	4.5 kW	12	1
OZ	Unidad de Desinfección por Ozono	Generador de O3	210 kW	5	0
		Soplador lobular	30 kW	1	1
		Equipo de criogenia	390 kW	1	0
		Panel difusores burbuja fina	0	16	1
ME	Medición de Efluente canal Parshall 3m	Medidor y totalizador de flujo ultrasónico canal abierto Registrador de datos salida 4-20mA y conexión SCADA	0.1 kW	1	1

Tabla 18. Dimensiones de las unidades de proceso tren de agua

DIMENSIONES LINEA DE AGUA PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS							CAUDAL PROMEDIO (LPS)			2550	
CLAVE	TIPO	UNIDAD DE TRATAMIENTO	U	Ø (M)	L (M)	A (M)	H2O (M)	HT (M)	S (M2)	V.T. (M3)	TRH (h)
CE	CANAL	Caja de entrada emisores	1.0	NA	10.0	5.0	1.5	2.0	50.0	75.0	0.01
150MM	CANAL	Cribado manual de 150MM	2.0	NA	6.0	2.5	1.5	2.0	30.0	45.0	0.00
20MM	CANAL	Cribas automáticas de 20MM	4.0	NA	8.0	2.0	1.8	2.5	64.0	115.2	0.01
6MM	CANAL	Cribas automáticas de 6MM	6.0	NA	8.0	2.0	1.8	2.5	96.0	172.8	0.02
MI	CANAL	Medición de influente Canal Parshall 3m	1.0	NA	11.0	3.1	2.4	3.0	33.6	81.9	0.01
DS	TANQUE	Desarenadores VORTEX	4.0	6.0	NA	NA	6.0	6.5	113.1	226.2	0.02
C	CAJA	Caja de distribución de flujo	3.0	6.7	NA	NA	6.0	6.5	105.8	634.6	0.07
TSP	TANQUE	Tanque de Sedimentación Primaria	4.0	41.0	NA	NA	4.5	5.5	5,281	23,765	2.59
AB	TANQUE	Reactor/Zona Anaerobia	4.0	NA	60.0	11.0	7.0	7.5	2,640	18,480	2.01
AN	TANQUE	Reactor/Zona Anóxica	4.0	NA	60.0	28.0	7.0	7.5	6,720	47,040	5.12
AX	TANQUE	Reactor/Zona Aerobia	4.0	NA	60.0	33.0	7.0	7.5	7,920	55,440	6.04
S	EDIFICIO	Edificio/Casa de Sopladores	2.0	NA	30.0	12.0	NA	7.0	720	NA	NA
TSS	TANQUE	Tanque de Sedimentación Secundaria	4.0	54.0	NA	NA	4.5	5.0	9,161	41,224	4.49
FD	TANQUE	Tanque Filtros de disco	1.0	NA	41.0	7.0	2.5	3.0	287	718	0.08
	CANAL	Canal alimentación y efluente	2.0	NA	41.0	1.0	1.5	2.0	82	123	0.01
OZ	VARIOS	Unidad de Desinfección por Ozono	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	TANQUE	TANQUE CONTACTO INICIAL	1.0	NA	11.0	8.0	5.5	6.0	88	484	0.05
	TANQUE	TANQUES CONTACTO	4.0	NA	14.0	8.0	5.5	6.0	448	2,464	0.27
	EDIFICIO	AREA DE EQUIPO O3	1.0	NA	20.0	30.0	NA	NA	600	NA	NA
	EDIFICIO	AREA DE EQUIPO O2	1.0	NA	20.0	30.0	NA	NA	600	NA	NA
ME	CANAL	Medición de Efluente canal Parshall 3m	1.0	NA	11.0	3.1	2.4	3.0	34	82	0.01
*NA= no aplica, Ø diámetro, L=longitud, A=ancho, H2O=tirante, HT=altura muro, S=superficie, V.T.= Volumen total, TRH=tiempo de retención hidráulica									A (M2)	V.T. (M3)	TRH (h)
								TOTALES	35,073	191,170	21

5. Balance de Materia

Figura29. Balance de Materia PTAR Parque Santiago Cap. 2550LPS promedio.



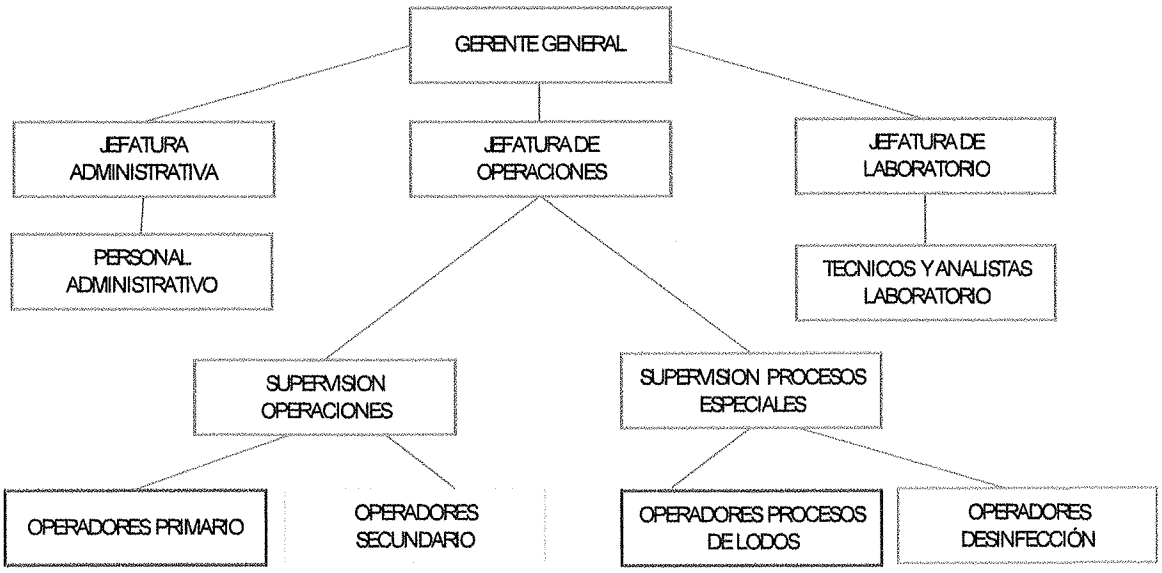
6. Operación y Mantenimiento

La operación y mantenimiento de la PTAR debe garantizar continuidad del tratamiento completo, eficiencia energética, cumplimiento el marco normativo (NOM-001-SEMARNAT-2021, NOM-003-SEMARNAT-1997) y minimización de riesgos ambientales.

Se prioriza la sostenibilidad mediante recuperación energética y automatización para optimizar recursos.

6.1 Organigrama del personal de operación

Figura30. Organigrama del personal de operación de la PTAR



6.2 Estimación de consumo de energía

Consumo promedio estimado: **3,618 kW**

Tabla 19. Consumo de energía eléctrica PTAR

Energía Eléctrica Operación Planta de Tratamiento		
Área / Categoría	**Unidades Principales Incluidas**	**Potencia en Uso Continuo (kW)**
Sopladores	Edificio de sopladores (turbo Kaeser)	2,000.00
Desinfección ozono	0.1Kwh/m3	918
Línea de Lodos	Espesadores, digestores (compresores biogás), bombas de lodos, soplador almacenamiento gas, lavado de gases, tornillo volute	210
Reactores Biológicos	Mezcladores hiperboloide (anaeróbico y anóxico) + difusores aeróbico + bombeo de recirculación	200
Sedimentación Secundaria	Tornamesa y rastra en sedimentadores secundarios, bombeo de retorno	160
Pretratamiento	Cribas automáticas (media y fina), desarenadores vortex, sensores influente/efluente	50
Filtración Terciaria	Filtros de disco, backwash y reductores	35
Tratamiento Primario	Tornamesa en sedimentadores primarios + bombeo lodos	30
Instalaciones Auxiliares y Otros	Iluminación (patio, taller, oficinas, camino), laboratorio, administración, bodega, vigilancia, subestación	15
Total	**Toda la planta**	**3,618.00**

6.2 Estimación de Reactivos

Tabla 20. Masa de reactivos

Masa de Reactivos / Químicos de Proceso		
Reactivo / Químico	**Detalle principal**	**Cantidad aproximada**
Floculantes espesamiento	PAC para mejora de floculación	4.5Ton/mes (1500usd/Ton)
Floculantes tornillo lodos	PAC para mejora de floculación	16 Ton/mes (1500usd/Ton)
Misceláneos	Otros reactivos menores (antiespumantes, ajustadores pH, etc.)	variable
Total		

6.3 Reincorporación las corrientes internas de retorno.

Todas las corrientes internas generadas deben reincorporarse al proceso sin descarga externa:

Retrolavados de filtros de disco: retorno a sedimentación primaria

Filtrados de deshidratación y espesamiento: retorno a ingreso de sedimentación primaria

Condensados y lavados de limpieza: retorno a sedimentación primaria.

6.4 Flexibilidad operativa y automatización.

La planta cuenta con redundancia para permitir mantenimiento sin interrupción.

Operación flexible mediante:

Control automático de niveles, caudales y dosis ozono (modulante 30–100 %).

Sistema SCADA integral para monitoreo remoto, alarmas y registro continuo de caudales, calidad efluente, consumos.

Variadores de frecuencia en sopladores y bombas para ajuste a variaciones de carga.

Mantenimiento predictivo recomendado (vibraciones, horas operación) y limpieza automática de equipos

7. Monitoreo y Laboratorio

El laboratorio de la PTAR se diseña como una instalación independiente, ubicada al final del predio para minimizar interferencias con áreas operativas de alto tráfico como el patio de maniobras, deshidratación y cogeneración.

Su propósito es realizar monitoreo rutinario para control de proceso (MLSS, SVI, OD, nutrientes) y cumplimiento normativo (NOM-001-SEMARNAT-2021, NOM-003-SEMARNAT-1997), con capacidad para análisis avanzados durante arranque y optimización.

Dimensiones propuestas:
Área total 200 m², edificio de un nivel, dividida en:

Área húmeda para preparación y análisis químicos: 80 m².

Área seca para instrumental y lectura: 50 m².

Zona de preparación de muestras y almacenamiento: 30 m².

Oficina y control de calidad: 40 m².

Incluye sistemas de ventilación, drenaje ácido-resistente y suministro de agua desionizada.

Equipamiento e instrumentación:

DQO (Demanda Química de Oxígeno): Reactor de digestión térmica (tipo Hach DRB200 o equivalente, capacidad 24 viales) + espectrofotómetro UV-Vis (Hach DR6000 o similar, con métodos preprogramados).

Formas de nitrógeno y NTK (NH_4^+, NO_3^-, NO_2^-, Nitrógeno Total Kjeldahl): Espectrofotómetro UV-Vis con kits colorimétricos (Hach o Merck); digestor Kjeldahl para NTK (capacidad 20 muestras).

SST (Sólidos Suspendidos Totales) y SS (Sólidos Sedimentables): Balanza analítica (precisión 0,0001 g), estufa de secado (105 °C), mufla (550 °C), desecador y conos Imhoff para SS.

P total (Fósforo Total): Espectrofotómetro UV-Vis con método ácido molíbdate (kits Hach).

pH, temperatura y conductividad: Sondas multiparámetro portátiles y de banco (Hach HQ40d o Horiba U-50, con calibración automática).

Equipamiento complementario para control de proceso:

Microscopio óptico trinocular con cámara digital (para observación de flóculos y microfauna en lodos activados).

Incubadora refrigerada (20 °C) para DBO_5 (aunque no rutinaria, útil en validaciones).

Analizadores in situ (OD, pH) integrados a SCADA.

Capacidad del laboratorio para pruebas de arranque, puesta en marcha y ajustes operativos

El laboratorio tendrá capacidad para análisis intensivos durante fases críticas:

Arranque y puesta en marcha (3–6 meses): Pruebas diarias/múltiples por turno en puntos clave (afluente, efluente primario/secundario, reactor biológico, efluente final). Incluye perfiles diarios de nutrientes (N/P), OD, SVI y microscopía para siembra/aclimatación de biomasa. Capacidad: >50 muestras/día.

Ajustes operativos: Pruebas de jarras para optimización de polímero (deshidratación), pruebas de asentabilidad (SVI), monitoreo EBPR (liberación/captación P) y validación de remociones (>94 % DBO_5 , <8 mg/L N total, <1 mg/L P).

Soporte externo: Espacio para equipos portátiles de terceros (ej. respirometría para tasas de respiración).

8. Conclusiones

El anteproyecto de la línea de tratamiento de aguas residuales para procesar 2550 L/s demuestra una configuración robusta y eficiente, adecuada para cumplir con normativas estrictas de descarga o reutilización.

El tren propuesto ofrece altas eficiencias de remoción, además de una desinfección avanzada efectiva contra patógenos, virus y micro contaminantes sin generar subproductos halogenados persistentes como ocurre con el cloro.

Esta secuencia integral minimiza impactos ambientales, optimiza el consumo energético en comparación con procesos más antiguos y permite potenciales reutilizaciones del efluente en riego agrícola, industrial o recarga de acuíferos, siempre que se complemente con monitoreo adecuado y manejo de lodos generados.

En conclusión, la propuesta representa una solución técnica y ambientalmente sólida para el volumen considerado, alineada con estándares modernos de tratamiento terciario y control de nutrientes.

9. Referencias

- Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering, FIFTH EDITION, 2014.
- WEF MOP 8, Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, 2018.
- NOM-001-SEMARNAT-2021.
- NOM-003-SEMARNAT-1997

10. Anexos

- Diagrama de flujo detallados y balance de materia.
- Memoria completa de cálculos.

Comisión Estatal del Agua Jalisco

JALISCO

"ELABORACIÓN DE LAS INGENIERÍAS BÁSICAS PARA EL SANEAMIENTO DE SUBCUENCAS SAN ANDRÉS, OSORIO Y SAN GASPAR"

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR) 2550 L.P.S. SAN ANDRES-OSORIO-SAN GASPAR

CEA-047

PROCESO DE TRATAMIENTO DEL TREN DE LODO

Fecha: Diciembre, 2025

Versión No.: 02

Contenido

1. Caracterización del proyecto para el tren de lodos 5
2. Descripción general del proceso de lodos propuesto 9
3. Arreglo general del tren de lodos 14
4. Memoria descriptiva de unidades de tratamiento del tren de lodos 17
5. Balance de materia del tren de lodos 40
6. Operación y Mantenimiento del tren de lodos 41
7. Monitoreo y Laboratorio para el tren de lodos 43
8. Conclusiones 43
9. Referencias y bibliografía 44
10. Anexos 44

Índice de Tablas

Tabla 1. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos 6
Tabla 2. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos 6
Tabla 3. Aprovechamiento de biosólidos 6
Tabla 4. Frecuencia de muestreo y análisis para lodos y biosólidos 7
Tabla 5. Volumen general de lodos 7
Tabla6. Cotas de nivel promedio de plataforma para unidades de proceso de lodos 8
Tabla 7. Equipo por instalar en Sedimentadores primarios 11
Tabla 8. Equipo por instalar, tanque de sedimentación secundaria 17
Tabla 9. Dimensiones de elementos de espesado de lodos 20
Tabla 10. Equipo por instalar en espesado de lodos 21
Tabla 11. Dimensiones del tanque de lodos mixtos 22
Tabla 12. Equipo por instalar, Tanque de lodos mixtos 23
Tabla 13. Dimensiones Digestores de lodos 24
Tabla 14. Equipo por instalar en digestores anaeróbicos 25
Tabla 15. Dimensiones del tanque de lodos digeridos. 26
Tabla 16. Equipo por instalar, Tanque de lodos mixtos. 27
Tabla 17. Dimensiones de los elementos para deshidratación de lodos. 28
Tabla 18. Equipo por instalar, deshidratado de lodos 29

Tabla 19. Dimensiones edificio de pirólisis 30
Tabla 20. Equipos por instalar, pirólisis de lodos. 31
Tabla 21. Dimensiones de la membrana de almacenamiento de biogás 33
Tabla 22. Membrana de almacenamiento, equipo por instalar. 33
Tabla 23. Dimensiones de la membrana de almacenamiento de biogás. 34
Tabla 24. Lavado de biogás, equipo por instalar. 35
Tabla 25. Dimensiones del área para cogeneración con biometano. 36
Tabla 26. Cogeneración, equipo por instalar. 37
Tabla 27. Equipamiento del tren de lodo. 38
Tabla 28. Dimensiones de las unidades de proceso tren de lodo. 39
Tabla 29. Consumo de energía eléctrica línea de lodos PTAR. 42
Tabla 30. Masa de reactivos línea de lodos. 42
Tabla 31. Frecuencia de muestreo y análisis para lodos y biosólidos 43

Índice de figuras

Figura1. Digestores anaeróbicos de lodos en PTAR 10
Figura 2. Perfil hidráulico de las unidades de tratamiento 12
Figura3. Diagrama de flujo del proceso de lodo (plano anexo) 14
Figura 4. Arreglo de unidades de la PTAR 2,550.00 L.P.S. 15
Figura 5. Sedimentador primario, infraestructura similar a la propuesta 18
Figura 6. Sedimentador primario, conceptual 18
Figura 7. Clarificador Secundario, infraestructura similar a la propuesta 19
Figura 8. Clarificador Secundario, conceptual 20
Figura 9. Equipo espesador de lodo, infraestructura similar a la propuesta 21
Figura 10. Equipo espesador de lodos, conceptual. 22
Figura 11. Tanque de lodos mixtos, Infraestructura similar a la propuesta 23
Figura 12. Tanque de lodos mixtos, conceptual 24
Figura 13. Digestores anaeróbicos, infraestructura similar a la propuesta 25
Figura 14. Digestores anaeróbicos, conceptual 26
Figura 15. Tanque de lodos digeridos, Infraestructura similar a la propuesta 27
Figura 16. Tanque de lodos digeridos, conceptual. 28
Figura 17. Deshidratador de lodos de tornillo, infraestructura similar a la propuesta 29
Figura 18. Deshidratador de lodos de tornillo, conceptual 30

Figura 19. Pirólisis de lodos, infraestructura similar a la propuesta 31
Figura 20. Pirólisis de lodos, conceptual 32
Figura21. Membrana dobla de almacenamiento de biogás, infraestructura similar a la propuesta . 33
Figura22. Membrana doble de almacenamiento de biogás, conceptual 34
Figura 23. Lavado de biogás, infraestructura similar a la propuesta 35
Figura 24. Lavado de biogás, conceptual 36
Figura 25. Cogeneración con biometano, infraestructura similar a la propuesta 37
Figura 26. Cogeneración con biometano, conceptual..... 37
Figura 27. Balance de Materia PTAR Parque Santiago Cap. 2550LPS promedio..... 40
Figura28. Organigrama del personal de operación de la PTAR 41

CEA-046 Proceso de Tratamiento del Tren de Agua, PTAR PARQUE SANTIAGO 2550 L.P.S.

1. Caracterización del proyecto

La planta de tratamiento de aguas residuales "Parque Santiago" para 2550 litros por segundo promedio, dará servicio a la población de las cuencas San Andrés, Osorio y San Gaspar en el predio conocido como Parque Santiago, representa una infraestructura clave en el sistema de saneamiento de la zona metropolitana de Guadalajara, estará ubicada al nororiente de la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México.

El tren de lodos tendrá como objetivo la disposición segura y eficiente de los residuos sólidos de esta infraestructura, de acuerdo con la NOM-004-SEMARNAT-2002.

1.1 Introducción

En el caso de la PTAR en cuestión, con un caudal de diseño de 2550 litros por segundo, equivalente a aproximadamente 220,320 m³/día, se genera una masa diaria de sólidos base seca de 89,590 kg/d lo que después de procesos de espesado equivale a un volumen diario de lodos de 2508 m³/d.

Esto representa una concentración aproximada de sólidos en los lodos de 35.72 kg/m³, equivalente a un 3.57% de sólidos lo cual es típico de lodos espesados o estabilizados en procesos convencionales de tratamiento secundario con lodos activados.

Los lodos contienen materia orgánica (60-80%), nutrientes (nitrógeno, fósforo), pero también patógenos, metales pesados y compuestos orgánicos persistentes. Un manejo adecuado es esencial para evitar impactos ambientales, como contaminación de suelos, aguas subterráneas o riesgos a la salud pública.

1.2 Norma aplicable a los lodos

En México, la norma principal que regula el manejo, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de lodos y biosólidos generados en PTAR es la NOM-004-SEMARNAT-2002, que detalla las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, publicada en 2003 y vigente hasta la fecha de este anteproyecto.

Esta norma establece:

a) Clasificación de biosólidos:
   Por contenido de metales pesados:
   Tipo "Excelente" con límites estrictos y Tipo "Bueno" con límites permisibles superiores.

   Por carga patógena:
   Clase A, bajos niveles de patógenos, uso sin restricciones y Clase B, niveles moderados, con restricciones de aplicación.

b) Límites máximos permisibles para 9 metales pesados: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, selenio y zinc, patógenos: helmintos, salmonella, coliformes fecales y vectores de atracción: estabilidad orgánica.
c) Requisitos de procesos de tratamiento para reducir patógenos y estabilizar la materia orgánica como digestión anaerobia, compostaje y tratamiento térmico.

Tabla 1. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos

CONTAMINANTE (determinados en forma total)	**EXCELENTES** mg/kg en base seca	**BUENOS** mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	800	7500

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2022

Tabla 2. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACION	PATOGENOS	PARASITOS
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp. NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2022

Tabla 3. Aprovechamiento de biosólidos

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación
		Los establecidos para clase B y C
EXCELENTE O BUENO	B	Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación
		Los establecidos para clase C
EXCELENTE O BUENO	C	Usos forestales
		Mejoramientos de suelos
		Usos agrícolas

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2022

Tabla 4. Frecuencia de muestreo y análisis para lodos y biosólidos

Volumen generado por año (Ton/Año) en base seca	Frecuencia de muestreo y análisis	Parámetros a determinar
Hasta 1,500	Una vez al año	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 1,500 hasta 15,000	Una vez por semestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 15,000	Una vez por trimestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos

1.3 Volumen general de lodos

Tabla 5. Volumen general de lodos

Parámetro	Valor diario	Unidad
Caudal de agua cruda	220,320	m^3/d
Sólidos base seca	89,590	kg/d
Concentración de sólidos después de espesamiento	35.72	kg/m^3
Volumen de lodos generados	2508	m^3/d
Producción específica	0.407	kg sólidos/m^3 tratado

1.4 Destino de los lodos

Disposición final controlada:

a) Mono relleno sanitario, confinamiento en sitio autorizados como residuos no peligrosos.
b) Co procesamiento en hornos de cemento como combustible alternativo
c) Incineración
d) Pirólisis para secado autotérmico

En este proyecto, se propone un esquema de tratamiento que incluye estabilización anaerobia para reducir patógenos y generar biogás, espesamiento y deshidratación mecánica, con el objetivo de obtener biosólidos Clase A para aprovechamiento agrícola, maximizando la sostenibilidad.

Si la caracterización inicial revela altos contaminantes, se priorizará disposición en relleno sanitario.

Se requerirá un plan de muestreo y análisis para definir el destino definitivo, alineado con la normatividad ambiental.

2. Descripción general del proceso propuesto

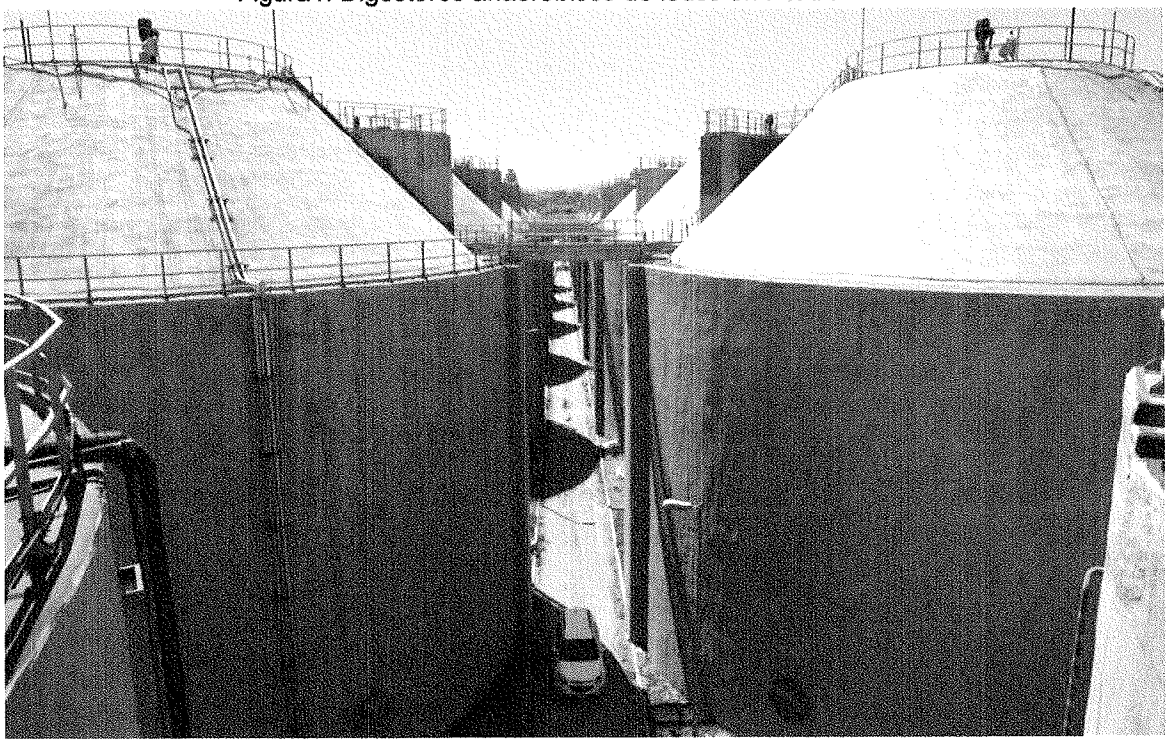
2.1 Descripción narrativa del tren de lodo completo.

- El proceso de manejo y tratamiento de lodos propuesto para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales inicia con la recolección separada de los diferentes tipos de lodos generados.
- Las natas, espumas y flotantes y los lodos primarios, colectadas provenientes de la sedimentación primaria, se dirigirán a un tanque de lodos mixtos donde se homogenizan.
- Paralelamente, los lodos secundarios o biológicos, producidos en el tratamiento secundario por lodos activados, pasarán primero por equipos espesadores que concentran los sólidos mediante separación mecánica, reduciendo significativamente el volumen antes de incorporarse al mismo tanque de lodos mixtos.
- En este tanque se logra una mezcla uniforme de todos los lodos generados en la planta, preparando una corriente única y consistente para las etapas posteriores de tratamiento.
- Desde el tanque de lodos mixtos, la mezcla se envía a los digestores anaeróbicos mesofílicos, donde se lleva a cabo la estabilización biológica del material.
- Estos digestores operan a una temperatura controlada de aproximadamente 35 °C, mantenida mediante intercambiadores de calor que utilizan agua caliente recirculada, y cuentan con sistemas de mezcla interna por biogás comprimido que aseguran un contacto óptimo entre la biomasa y los microorganismos anaeróbicos.
- Durante este proceso de digestión anaeróbica mesofílica, que se desarrolla por 22 días, se degrada la materia orgánica volátil, se reducen patógenos y se genera biogás rico en metano como subproducto valioso.
- Una vez completada la digestión, los lodos estabilizados salen de los digestores y se almacenan temporalmente en un tanque de lodos digeridos, que actúa como buffer para regular el flujo hacia las etapas de deshidratación y asegura una alimentación constante a los equipos posteriores.
- A continuación, los lodos digeridos se someten a deshidratación mecánica mediante prensas tornillo volute, una tecnología eficiente y de bajo consumo energético que logra concentraciones de sólidos superiores al 20%, transformando el lodo en un material pastoso de fácil manejo y menor volumen.
- Posteriormente, este lodo deshidratado pasa por un secado térmico previo que reduce aún más el contenido de humedad, preparando el material para la etapa final de valorización: la pirólisis autotérmica.
- En este reactor de pirólisis, el lodo se somete a altas temperaturas en ausencia de oxígeno, logrando una descomposición termoquímica que produce biochar, un producto carbonoso estable y de alto valor como enmienda de suelos, secuestrador de carbono o material adsorbente.
- El biochar generado se enfría, se almacena en silos o áreas dedicadas y finalmente se retira del sitio en camiones góndola para su comercialización o uso externo.
- De manera paralela y complementaria, el biogás producido en la digestión anaeróbica se captura en un sistema de membrana doble ventilada y conduce a un sistema de tratamiento

que incluye lavado para eliminar impurezas como ácido sulfhídrico, dióxido de carbono y siloxanos, elevando su calidad hasta obtener biometano.

- Este biometano se almacena temporalmente en tanques a alta presión y se utiliza en un sistema de cogeneración que genera electricidad y calor, cubriendo parte de las necesidades energéticas de la propia planta y contribuyendo a la sostenibilidad del proceso global.
- Este esquema integrado no solo estabiliza y reduce el volumen de los lodos, cumpliendo con la NOM-004-SEMARNAT-2002, sino que transforma un residuo en recursos valiosos: biochar como producto comercial o residuo sólido de fácil manejo y biometano como fuente de energía renovable, logrando un enfoque circular y ambientalmente responsable.

Figura1. Digestores anaeróbicos de lodos en PTAR

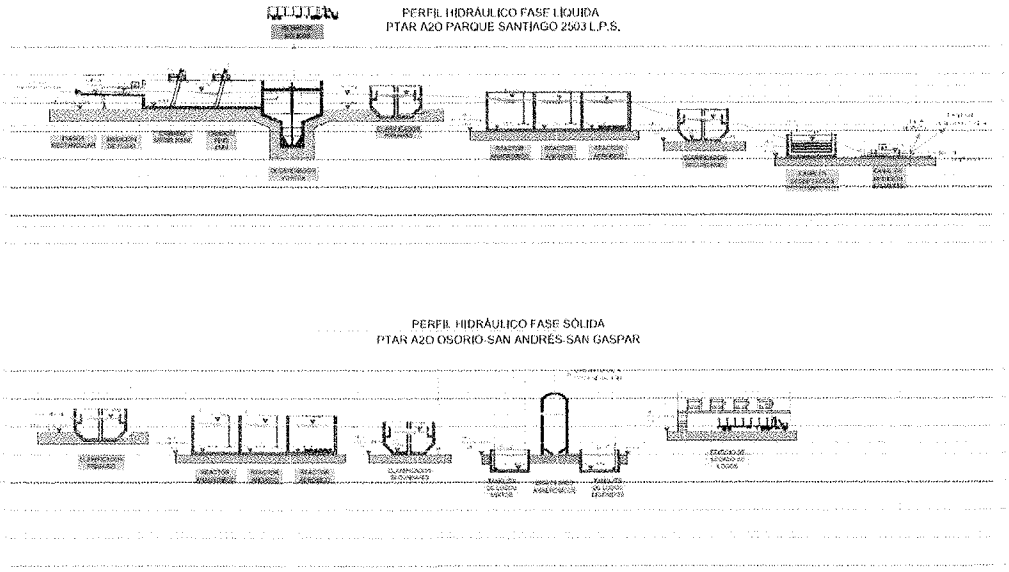


2.2 Topografía del terreno

Tabla6. Cotas de nivel promedio de plataforma para unidades de proceso de lodos

COTAS DE NIVEL PROMEDIO, PLATAFORMAS DE CIMENTACIÓN		
Abreviatura	**Nombre completo**	**COTA PLATAFORMA (MSNM)**
TSS	Tanque de Sedimentación Secundaria	1429
EL	Espesadores de lodos	1429
TL	Tanque de lodos secundarios	1429
LM	Tanque de lodos mixtos	1431
D	Digestores anaeróbicos	1431
LD	Tanque de lodos digeridos	1431
MAG	Membrana de Almacenamiento de Biogás	1434
LG	Lavado de Gases	1434
ESL	Edificio de deshidratado de lodos	1434
PIR	Edificio de pirólisis	1434
PM	Patio de Maniobras	1431
CG	Cogeneración con biogás	1434

Figura 2. Perfil hidráulico de las unidades de tratamiento



2.3 Diagrama de flujo general del proceso de tratamiento del tren de lodo

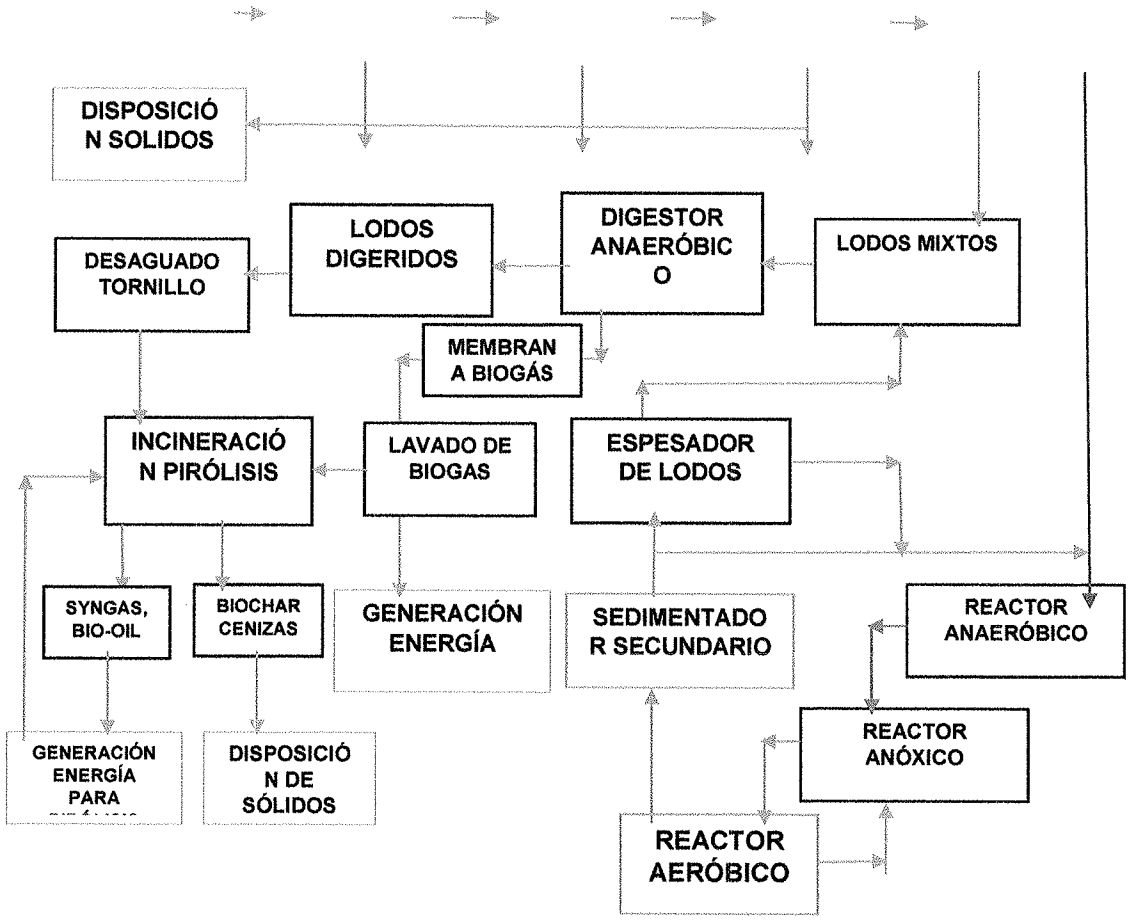
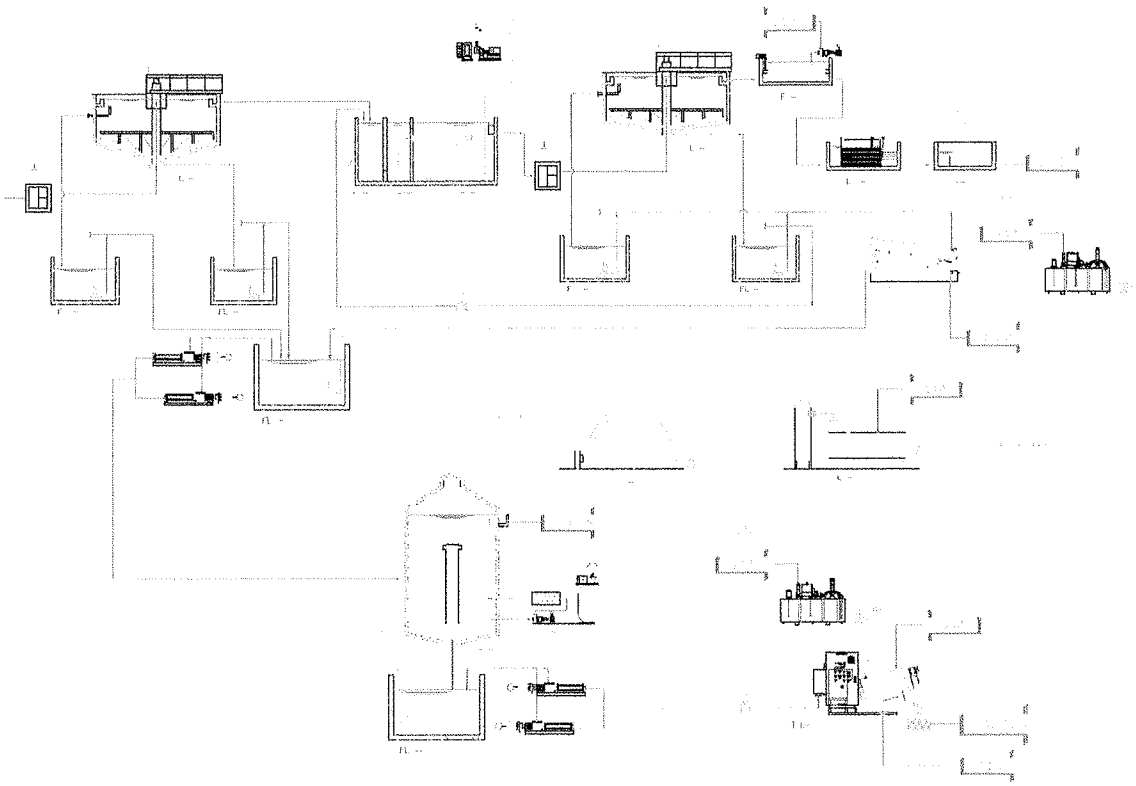

DISPOSICIÓ N SOLIDOS
LODOS DIGERIDOS
DIGESTOR ANAERÓBIC O
LODOS MIXTOS
DESAGUADO TORNILLO
MEMBRAN A BIOGÁS
INCINERACIÓ N PIRÓLISIS
LAVADO DE BIOGAS
ESPESADOR DE LODOS
SYNGAS, BIO-OIL
BIOCHAR CENIZAS
GENERACIÓN ENERGÍA
SEDIMENTADO R SECUNDARIO
REACTOR ANAERÓBICO
REACTOR ANÓXICO
GENERACIÓN ENERGÍA PARA
DISPOSICIÓ N DE SÓLIDOS
REACTOR AERÓBICO

Figura3. Diagrama de flujo del proceso de lodo (plano



3. Arreglo General del tren de lodos

Disposición general del arreglo y perfil altimétrico

Las unidades de proceso de lodos se disponen a la entrada al predio en su parte operativa, con el objetivo de facilitar las maniobras de carga y acarreo de los residuos al exterior.

Unidades:

CG- Cogeneración ubicada a un costado de la subestación CFE.

PIR- Pirólisis de lodos ubicada a la entrada de la PTAR para facilitar el retiro de los residuos sólidos.

ESL- Edificio de deshidratado de lodos a un costado del edificio de pirólisis para rápido transporte de solidos deshidratados a secado y reacción de pirólisis.

EL- Espesadores de lodos secundarios ubicados a un costado del tanque de lodos mixtos

LM-Tanque de lodos mixtos al inicio de los digestores para fácil alimentación a digestores.

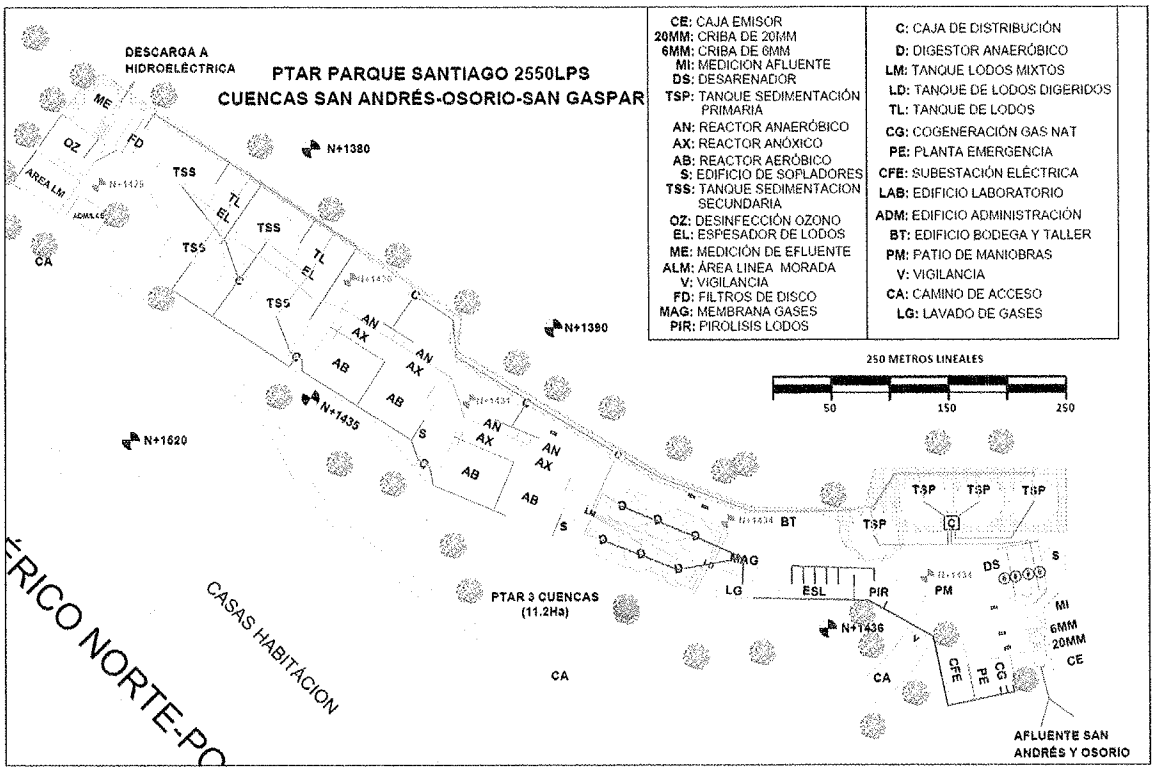
LD- Tanque de lodos digeridos al final de la batería de digestores para fácil alimentación a tornillo de desagüe de lodos.

D- Digestores de lodos en la misma área para flujo accesible de lodos mixtos, lodos digeridos y biogás.

MG- Membrana gasómetro emplazada a un costado de los digestores para almacenar el biogás que se utilizará en cogeneración

LG- Lavado de gases para obtener biometano y aumentar la eficiencia de la cogeneración, unidad ubicada a un costado de la membrana doble de almacenamiento.

Figura 4. Arreglo de unidades de la PTAR 2,550.00 L.P.S.



3.1 Bombeo línea de lodos

Bombeo fase sólida:

Recirculación de lodos activados (RAS 75 % Q, 1,725 L/s total) y nitratos (300 % Q, 4,150 L/s total), con estaciones de bombeo compactas ubicadas al pie de sedimentadores secundarios.
Manejo de lodos excedentes (primarios y secundarios hacia espesamiento/digestión) y retornos internos (filtrados, retro lavados).

3.2 Interconexiones fase sólida

Tipos de interconexiones:

Tuberías directas para retornos bombeados (diámetros optimizados, longitudes <100–150 m por línea).

3.3 Accesos vehiculares y peatonales.

Acceso principal vehicular: Ubicado en la entrada del predio, con vía de doble sentido de ancho mínimo 8 m, pavimentada en concreto hidráulico para soportar tráfico pesado -camiones de lodos, polímeros, mantenimiento y emergencias-.

Incluye caseta de control de acceso con barrera automática, sistema de registro y báscula para camiones de lodos con capacidad de 40 ton.

Patio de maniobras: Adyacente a la entrada, con área amplia >1.000 m², para circulación y estacionamiento de vehículos pesados. Facilita acceso directo a:

Subestación eléctrica CFE y plantas de emergencia con generadores diésel.

Área de cogeneración moto generadores de biogás.

Equipos de pirólisis y deshidratación de lodos tornillos prensa, carga/descarga de torta.

4. Memoria descriptiva de unidades de tratamiento del tren de lodos

4.1 Tren de lodos sedimentador primario

Propósito

Remover sólidos sedimentables y parte de la carga orgánica (60 % SST, 32 % DBO_5) mediante gravedad.

Dimensiones

4 unidades circulares, todas en servicio.

Sedimentador primario, diámetro: 41m, Tirante de agua 4.5m, altura de muros: 5m

Área superficial unitaria: 5,281.00 m²

Fosa de lodos primarios: Longitud total: 10.00 m, Anchura: 5.00 m, Tirante de agua: 1.50 m, Altura muros: 2.00 m.

Fosa de natas: Longitud total: 10.00 m, Anchura: 5.00 m, Tirante de agua: 1.50 m, Altura muros: 2.00 m.

Material de construcción

Concreto armado de alta resistencia en tanque.
Acero AISI 304 en mecanismo de rastra y áreas de operación.

Tabla 7. Equipo por instalar en Sedimentadores primarios

CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
TSP	Tanque de Sedimentación Primaria	Rastra y elemento motriz	0.75 kW	4	0
		Bomba de tornillo lodos	7.5 kW	4	1
		Desmenuzador de lodos	7.5 kW	2	0

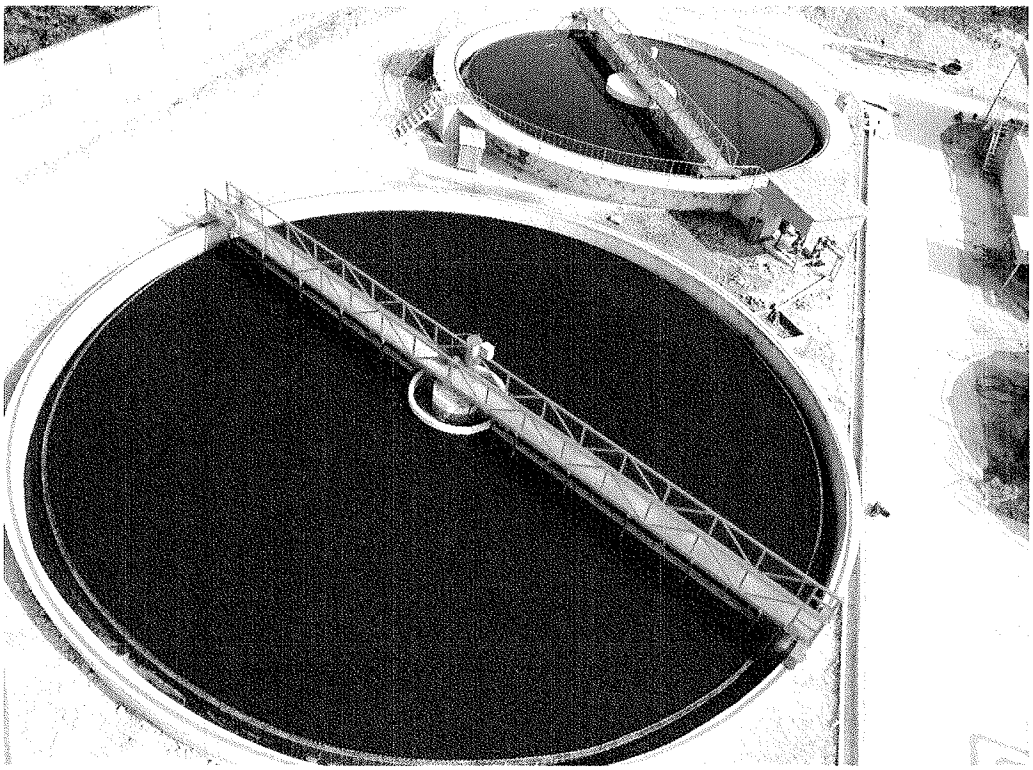
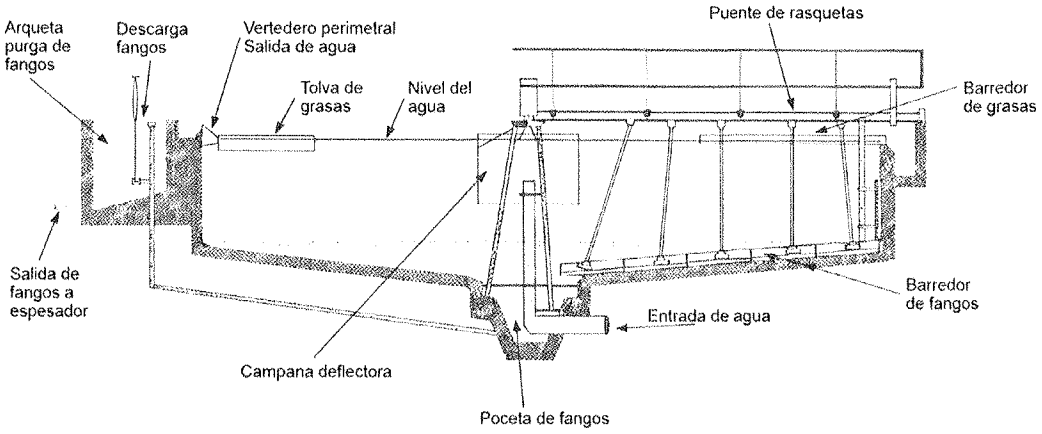


Figura 6. Sedimentador primario, conceptual.



4.2 Tren de lodos sedimentador secundario

Propósito

Separar lodos biológicos del efluente tratado, recirculación de lodos activados y purga de lodos a espesamiento.

Dimensiones

4 unidades circulares, todas en operación.

Diámetro: 54 m.

Área unitaria: 2,290.00 m²

Área 4 unidades: 9,151.00 m²

Tirante: 4.5 m.

Material de construcción

Concreto armado en tanque, acero AISI 304 elementos mecánicos.

Tabla 8. Equipo por instalar, tanque de sedimentación secundaria

CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
TSS	Tanque de Sedimentación Secundaria	Rastra y elemento motriz	0.75 kW	4	0
		Bomba de recirculación	7.5 kW	4	1
		Bomba de purga	4 kW	4	1

Figura 7. Clarificador Secundario, infraestructura similar a la propuesta

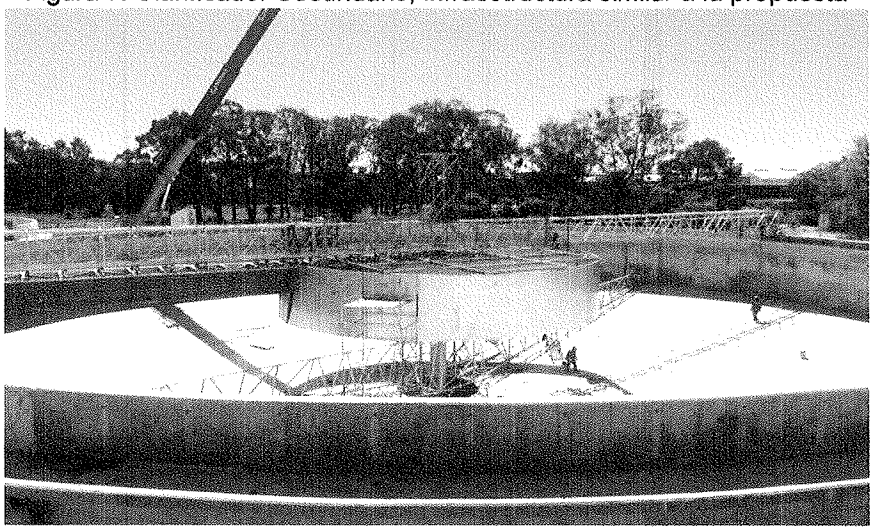
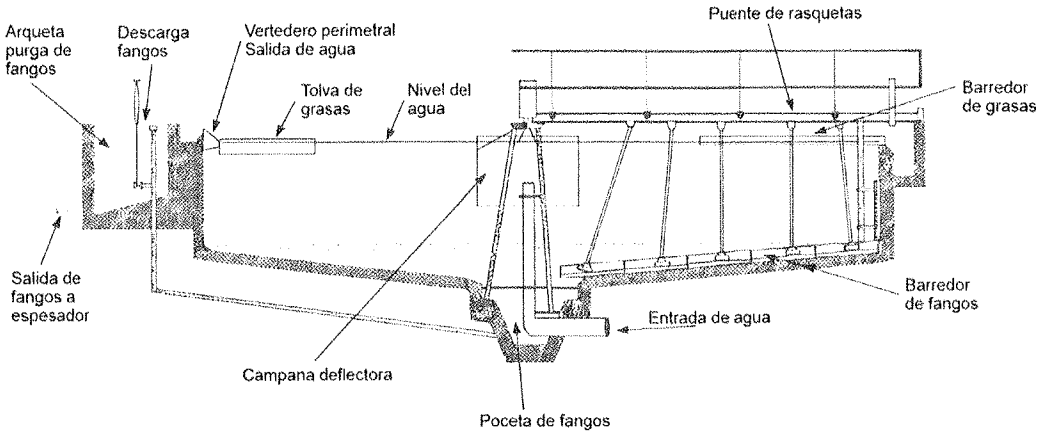


Figura 8. Clarificador Secundario, conceptual



4.3 Equipos espesadores de lodos

Propósito

Aumentar la concentración de sólidos en los lodos secundarios y reducir significativamente su volumen al separar y eliminar una gran cantidad de agua libre que estos contienen. Al disminuir el volumen de lodos, se optimiza y reduce la carga hidráulica y orgánica en las etapas posteriores del tratamiento, lo que permite ahorrar costos en almacenamiento, transporte, dimensionamiento de equipos subsiguientes, además de facilitar una gestión más eficiente y ambientalmente adecuada de los biosólidos.

Dimensiones

Tabla 9. Dimensiones de elementos de espesado de lodos

DIMENSIONES LINEA DE LODO PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS							CAUDAL PROMEDIO (LPS)			2550	
CLAVE	TIPO	UNIDAD DE TRATAMIENTO	U	Ø (M)	L (M)	A (M)	H2O (M)	HT (M)	S (M2)	V.T. (M3)	TRH (h)
EL	EDIFICIO	Espesadores de lodos	1.00	NA	20.00	10.00	NA	4.00	200	NA	NA
	EQUIPO	Equipo de espesado	5.00	NA	4.20	1.80	NA	2.00	38	NA	NA
	EQUIPO	Preparador de polímero	5.00	NA	1.00	1.00	NA	2.00	5	NA	NA

Material de construcción

Concreto armado de alta resistencia para losa de operación, edificación estándar para alojamiento de equipos.

Tabla 10. Equipo por instalar en espesado de lodos

EQUIPAMIENTO LINEA DE LODOS PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS					
CLAVE	**UNIDAD DE TRATAMIENTO**	**EQUIPAMIENTO**	**POTENCIA UNIDAD**	**OPERACIÓN**	**RESERVA**
TSP	Tanque de Sedimentación Primaria	Rastra y elemento motriz	0.75 kW	4	0
		Bomba de tornillo lodos	7.5 kW	4	1
		Desmenuzador de lodos	7.5 kW	2	0
EL	Equipos espesadores de lodos	Equipo para espesamiento de lodos	5 kW	5	1
		Preparadores de polímero	0.4 kW	4	1
		Mezcladores en línea	3 kW	4	1

Figura 9. Equipo espesador de lodo, infraestructura similar a la propuesta.

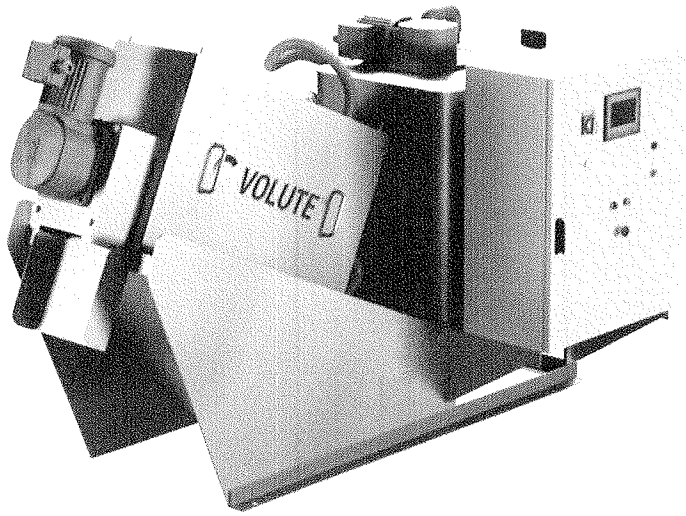
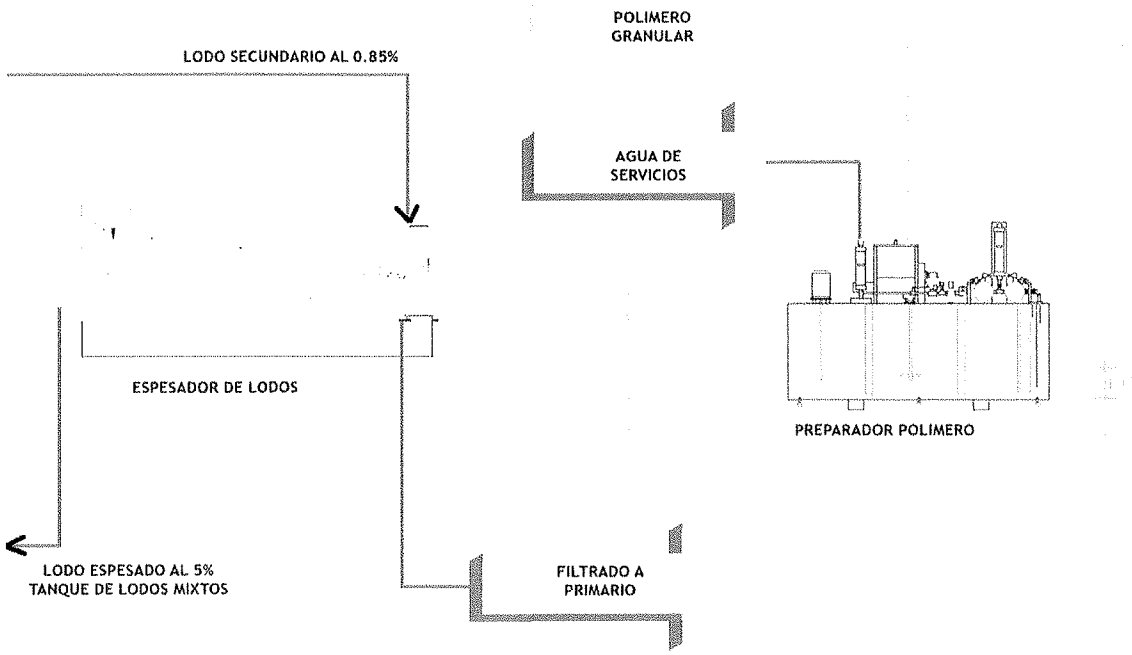


Figura 10. Equipo espesador de lodos, conceptual.



4.4 Tanque de lodos mixtos

Propósito

Almacenar y mezclar temporalmente lodos primarios y secundarios para posteriormente bombearlos a estabilización por medio de digestión anaeróbica.

Dimensiones

Tanque de lodos mixtos: 1 unidad, largo 12.00 m, ancho 12.00m profundidad total 3.50 m, profundidad agua 3.00 m, borde libre 0.50 m.

Tabla 11. Dimensiones del tanque de lodos mixtos

DIMENSIONES LINEA DE LODO PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS							CAUDAL PROMEDIO (LPS)			2550	
CLAVE	TIPO	UNIDAD DE TRATAMIENTO	U	Ø (M)	L (M)	A (M)	H2O (M)	HT (M)	S (M2)	V.T. (M3)	TRH (h)
TLM	TANQUE	Tanque de lodos mixtos	1.00	NA	12.00	12.00	3.00	3.50	144	432	0.05

Tanque de lodos mixtos: 1 unidad, largo 12.00 m, ancho 12.00m profundidad total 3.50 m, profundidad agua 3.00 m, borde libre 0.50 m.

Material de construcción

Concreto armado de alta resistencia

Tabla 12. Equipo por instalar, Tanque de lodos mixtos

EQUIPAMIENTO LINEA DE LODOS PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS					
CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
TLM	Tanque de lodos mixtos	Bombas de cavidad progresiva	10kw	2	1
		Agitador compacto	5 kW	1	1

Figura 11. Tanque de lodos mixtos, Infraestructura similar a la propuesta.

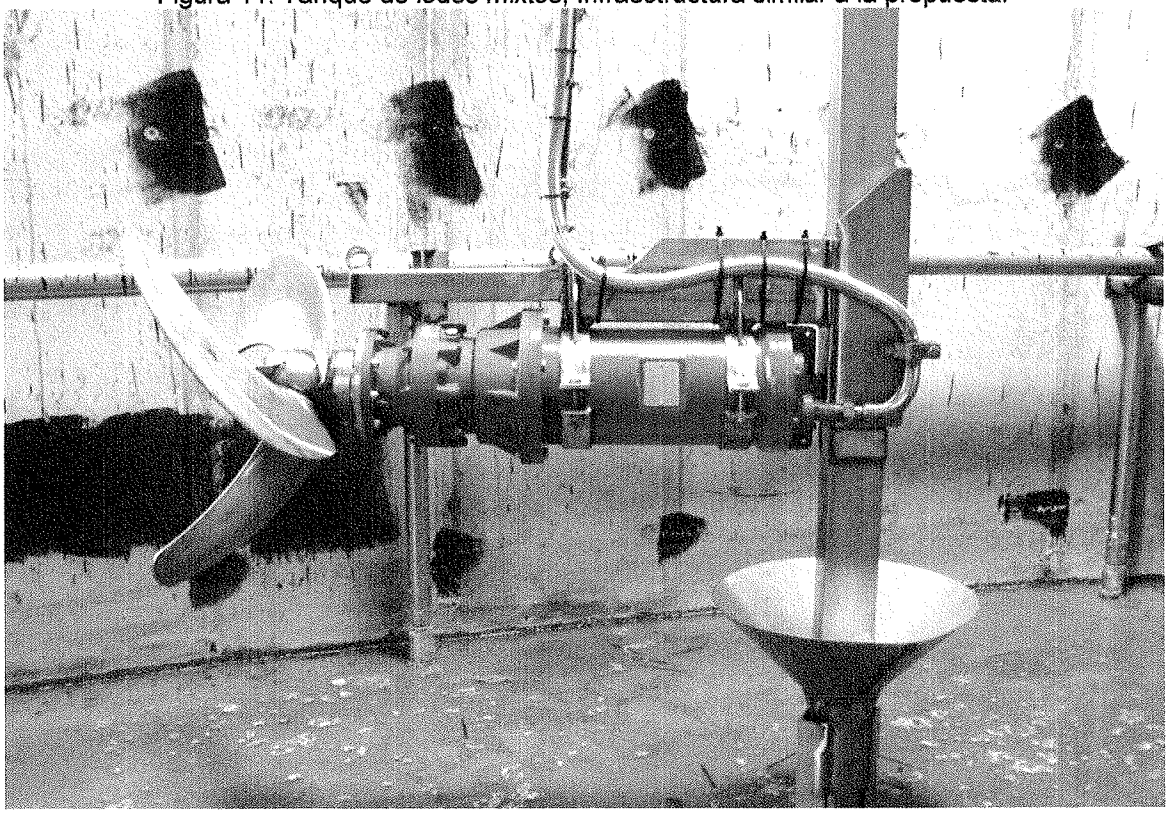
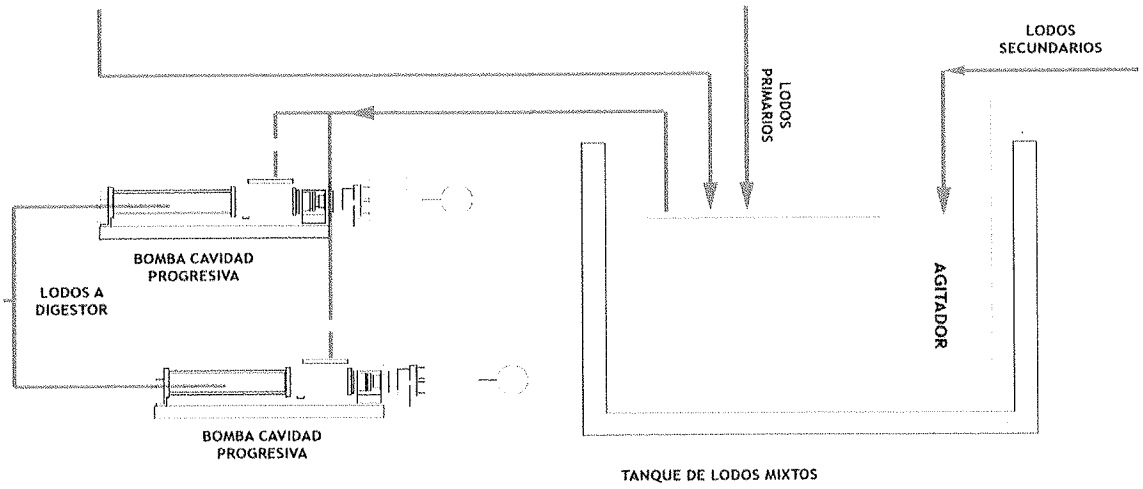


Figura 12. Tanque de lodos mixtos, conceptual.



4.5 Digestores de lodos

Propósito

Estabilizar los lodos primarios y secundarios mediante un proceso de digestión anaeróbica, eliminando el 50% de la porción volátil de los mismos, adicionalmente este proceso genera biogás aprovechable energéticamente.

Dimensiones

5 unidades circulares, todas en servicio.

Diámetro interno: 30.0 m.

Área superficial huella: 4,241.00 m²

Profundidad lateral promedio: 13.00 m

Tabla 13. Dimensiones Digestores de lodos

DIMENSIONES LINEA DE LODO PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS							CAUDAL PROMEDIO (LPS)			2550	
CLAVE	TIPO	UNIDAD DE TRATAMIENTO	U	Ø (M)	L (M)	A (M)	H2O (M)	HT (M)	S (M2)	V.T. (M3)	TRH (h)
DL	TANQUE	Digestores de lodos anaeróbicos	6.00	30.00	NA	NA	13.00	14.50	4,241	55,135	6.01

Material de construcción

Concreto armado de alta resistencia en tanque.
Acero AISI 304 en elementos mecánicos.

Tabla 14. Equipo por instalar en digestores anaeróbicos

EQUIPAMIENTO LINEA DE LODOS PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS					
CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
DL	Digestores anaeróbicos	Mezclador lateral	10 kW	18	0
		Mezclador de bóveda	15 kW	6	0
		Intercambiador de calor	33 kW	6	0

Figura 13. Digestores anaeróbicos, infraestructura similar a la propuesta

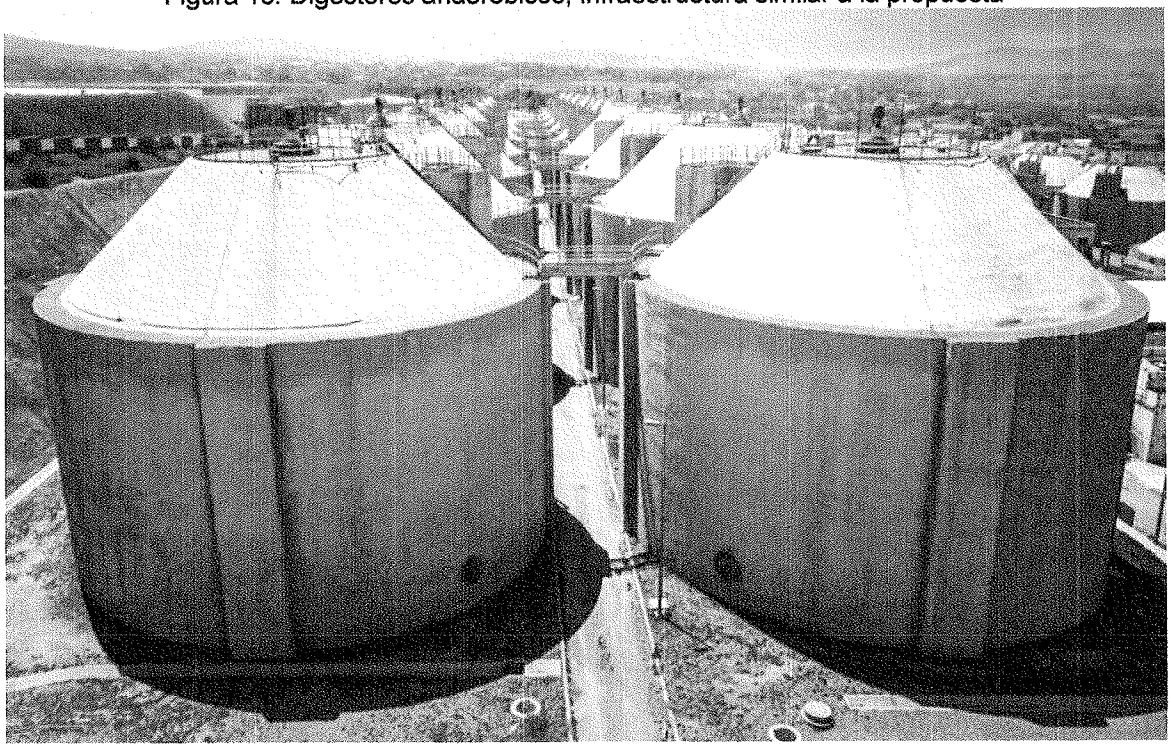
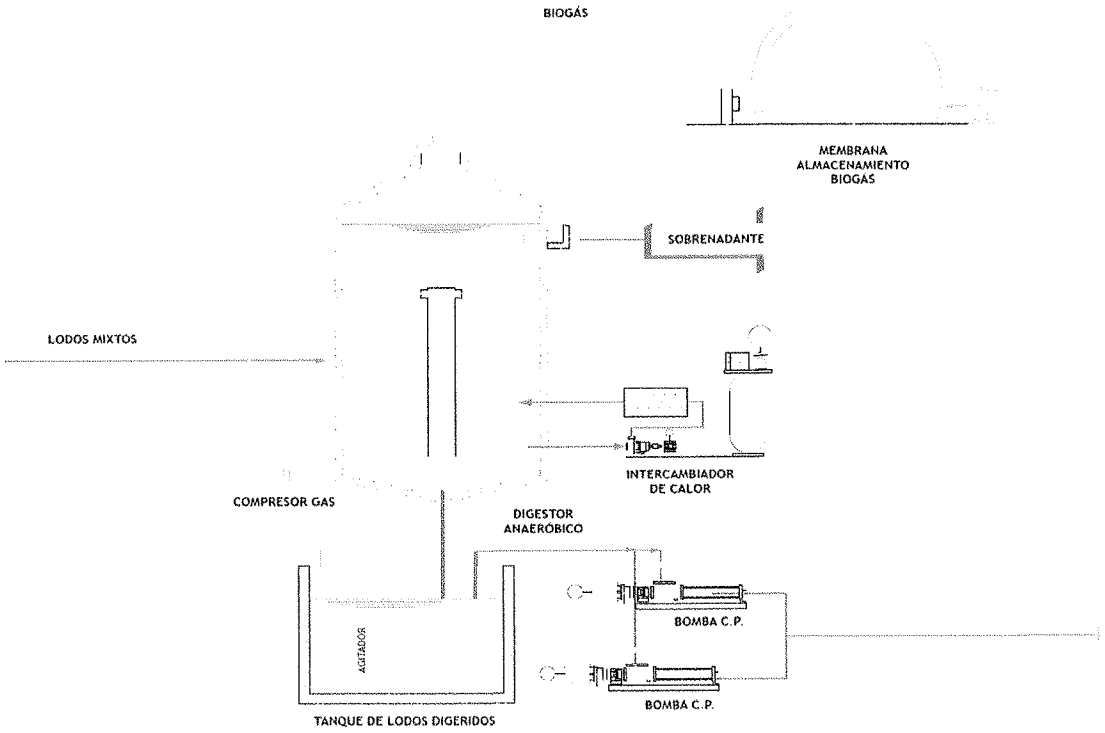


Figura 14. Digestores anaeróbicos, conceptual.



4.6 Tanque de lodos digeridos

Propósito

Almacenar y mezclar temporalmente lodos estabilizados en digestor anaeróbico para posteriormente bombearlos a deshidratación mecánica.

Dimensiones

Tanque de lodos digeridos: 1 unidad, largo 12.00 m, ancho 12.00m profundidad total 3.50 m, profundidad agua 3.00 m, borde libre 0.50 m.

Tabla 15. Dimensiones del tanque de lodos digeridos

DIMENSIONES LINEA DE LODO PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS							CAUDAL PROMEDIO (LPS)			2550	
CLAVE	TIPO	UNIDAD DE TRATAMIENTO	U	Ø (M)	L (M)	A (M)	H2O (M)	HT (M)	S (M2)	V.T. (M3)	TRH (h)
TLD	TANQUE	Tanque de lodos digeridos	1.00	NA	12.00	12.00	3.00	3.50	144	432	0.05

Material de construcción

Concreto armado de alta resistencia

Tabla 16. Equipo por instalar, Tanque de lodos digeridos

EQUIPAMIENTO LINEA DE LODOS PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS					
CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
TLD	Tanque de lodos digeridos	Bombas de cavidad progresiva	10kw	2	1
		Agitador compacto	5 kW	1	1

Figura 15. Tanque de lodos digeridos, Infraestructura similar a la propuesta.

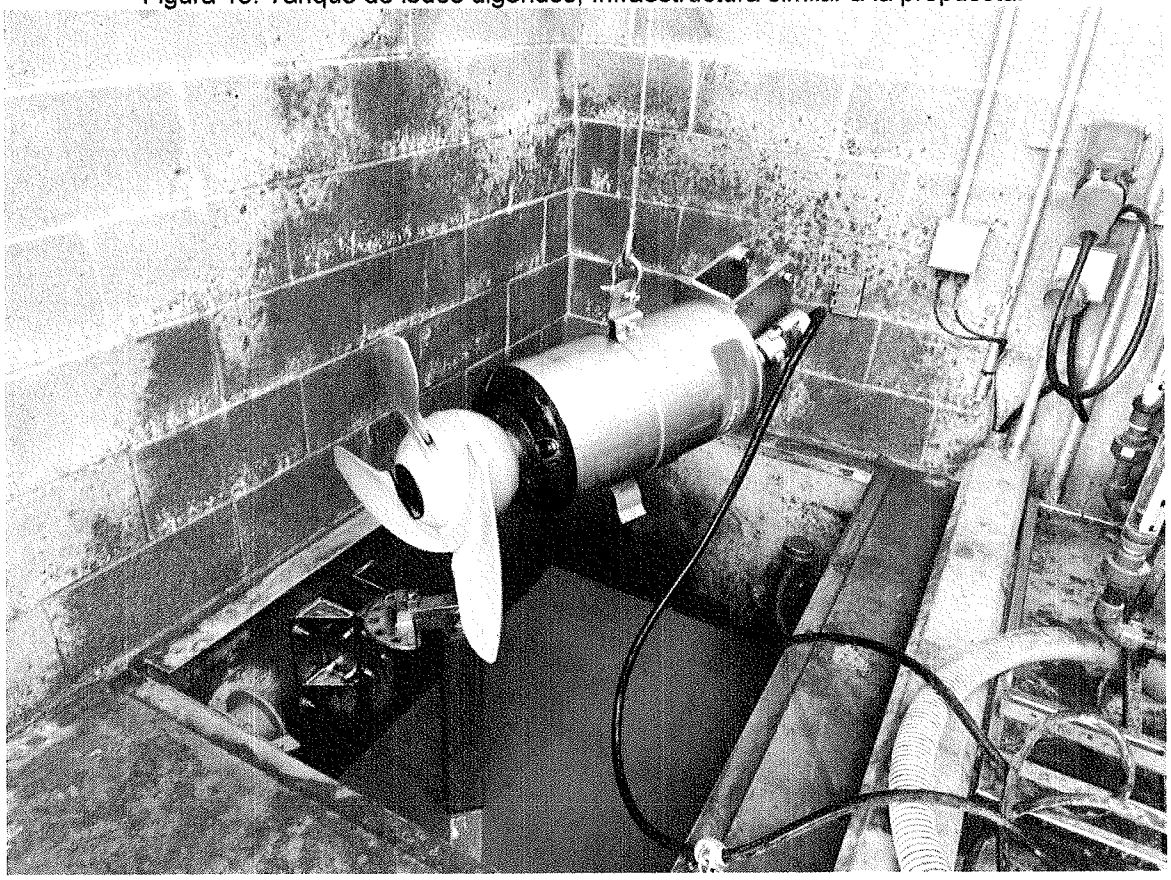
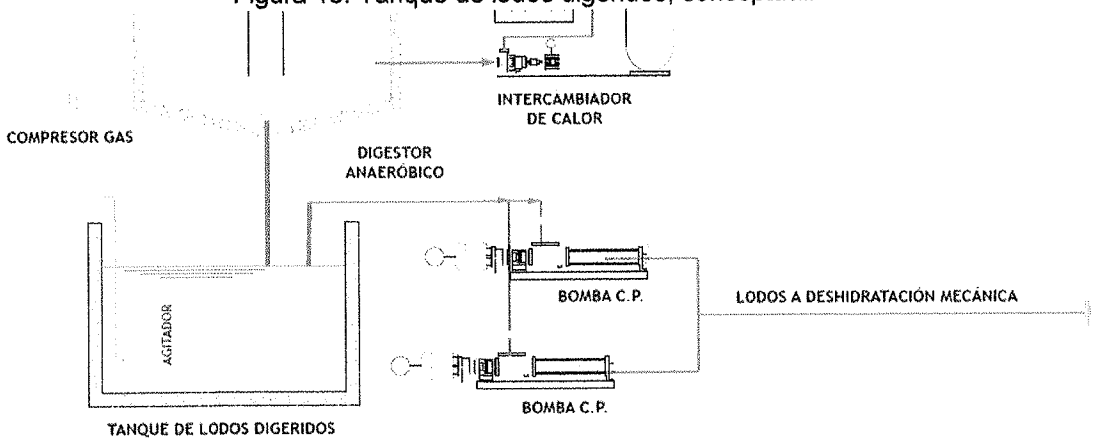


Figura 16. Tanque de lodos digeridos, conceptual.



4.7 Deshidratación de lodos

Propósito

Remover agua de los sólidos de desecho digeridos procedentes del digestor anaeróbico, a partir de un proceso mecánico por medio de equipos de tornillo.

Dimensiones

Edificio: 60m largo x 20m ancho, altura 10 metros.

Tabla 17. Dimensiones de los elementos para deshidratación de lodos.

DIMENSIONES LINEA DE LODO PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS							CAUDAL PROMEDIO (LPS)			2550	
CLAVE	TIPO	UNIDAD DE TRATAMIENTO	U	Ø (M)	L (M)	A (M)	H2O (M)	HT (M)	S (M2)	V.T. (M3)	TRH (h)
ESL	EDIFICIO	Edificio de deshidratación de lodos	1.00	NA	20.00	60.00	NA	NA	1,200	NA	NA
	EQUIPO	Tornillo Volute deshidratación	5.00	NA	7.00	3.00	NA	3.00	105	NA	NA
	EQUIPO	Preparador de polímero	5.00	NA	1.00	1.00	NA	2.00	5	NA	NA

Material de construcción

Concreto armado en tanque, acero AISI 304 elementos mecánicos.

Tabla 18. Equipo por instalar, deshidratado de lodos

EQUIPAMIENTO LINEA DE LODOS PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS					
CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
ESL	Edificio de deshidratado de lodos	Tornillos Volute	8.2 kW	5	1
		Preparadores de polímero	0.4 kW	5	1
		mezcladores en línea	3 kW	5	1

Figura 17. Deshidratador de lodos de tornillo, infraestructura similar a la propuesta

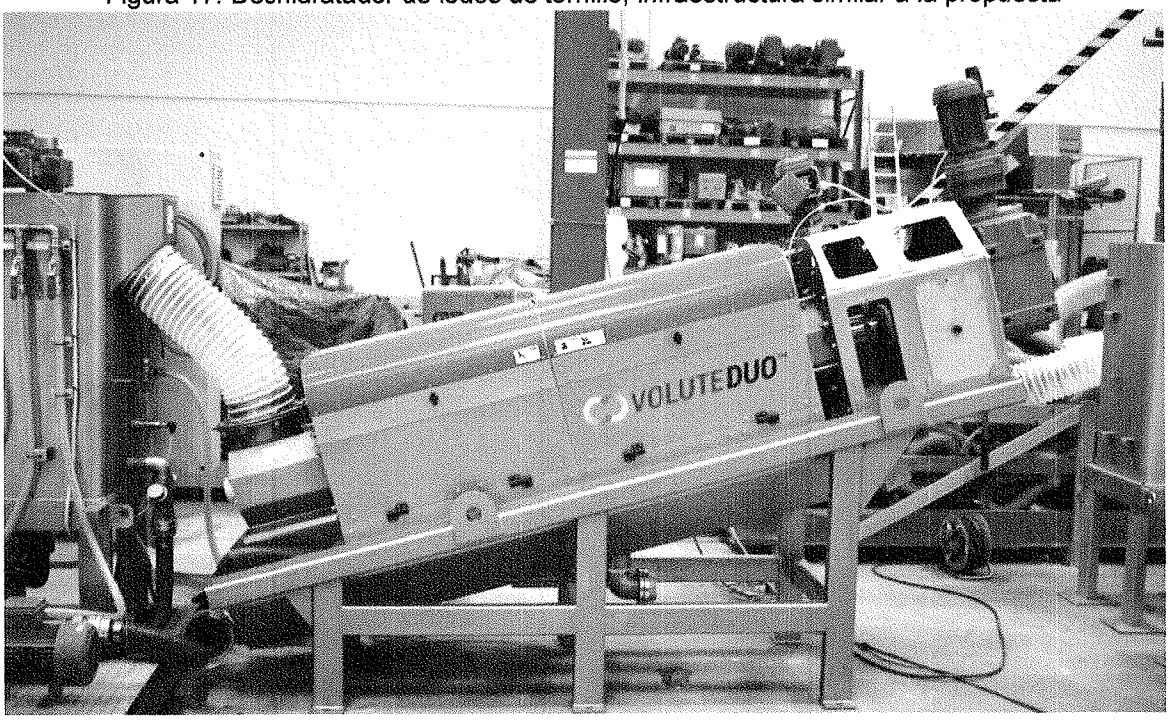
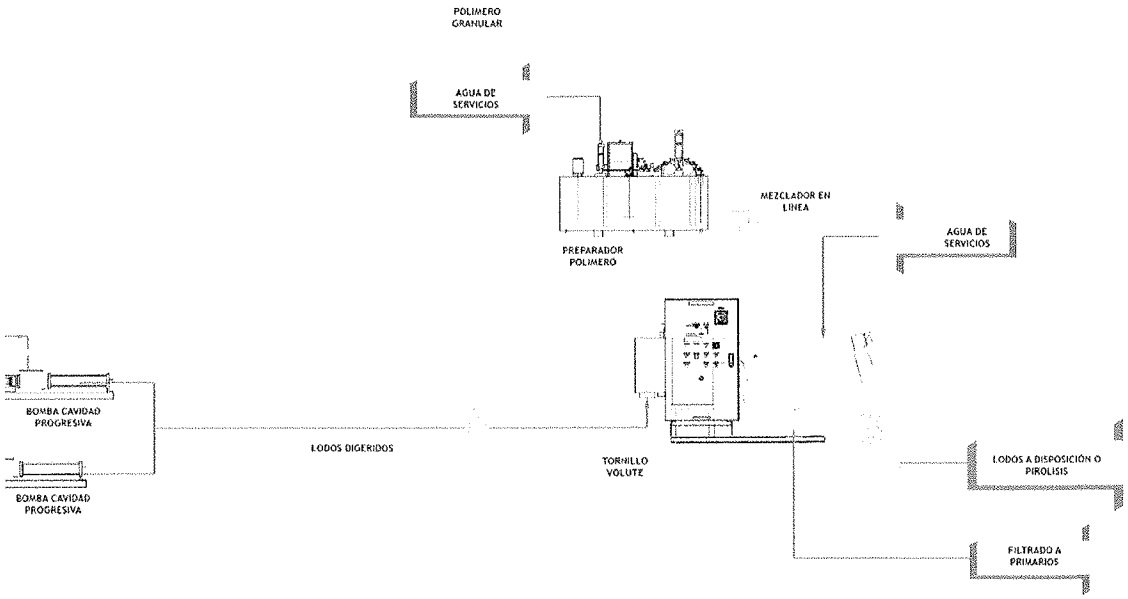


Figura 18. Deshidratador de lodos de tornillo, conceptual



4.8 Pirólisis de lodos

Propósito

La pirólisis de lodos de aguas residuales consiste en calentar estos residuos orgánicos en ausencia de oxígeno a altas temperaturas, con el propósito principal de transformar un desecho problemático en recursos valiosos, reducir su volumen de manera significativa y eliminar patógenos, contaminantes orgánicos y micro contaminantes de forma segura. Este proceso genera principalmente biochar, un carbón estable rico en carbono que puede usarse como enmienda del suelo, secuestrar carbono o recuperar nutrientes como el fósforo. También se produce bio-aceite y syngas, los cuales sirven como fuentes de energía para mantener el proceso autotérmico promoviendo así la minimización del impacto ambiental en comparación con métodos tradicionales como el vertido o la incineración directa.

Medidas

Área designada para pirólisis: 1,200m²

Tabla 19. Dimensiones edificio de pirólisis

DIMENSIONES LINEA DE LODO PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS							CAUDAL PROMEDIO (LPS)			2550	
CLAVE	TIPO	UNIDAD DE TRATAMIENTO	U	Ø (M)	L (M)	A (M)	H2O (M)	HT (M)	S (M2)	V.T. (M3)	TRH (h)

PIR	EDIFICIO	Edificio de pirólisis	1.00	NA	20.00	60.00	NA	NA	1,200	NA	NA

Material de construcción

Concreto armado de alta resistencia para losa de operación, edificación estándar para alojamiento de equipos.

Tabla 20. Equipos por instalar, pirólisis de lodos.

EQUIPAMIENTO LINEA DE LODOS PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS					
CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
PIR	Edificio de pirólisis de lodos	Equipos diversos (secador de lodos, tornillos dosificadores, Reactor de pirólisis de tornillo gemelo, transportador y enfriador de biochar, recuperador de calor)	1000 kW	1	0

Figura 19. Pirólisis de lodos, infraestructura similar a la propuesta

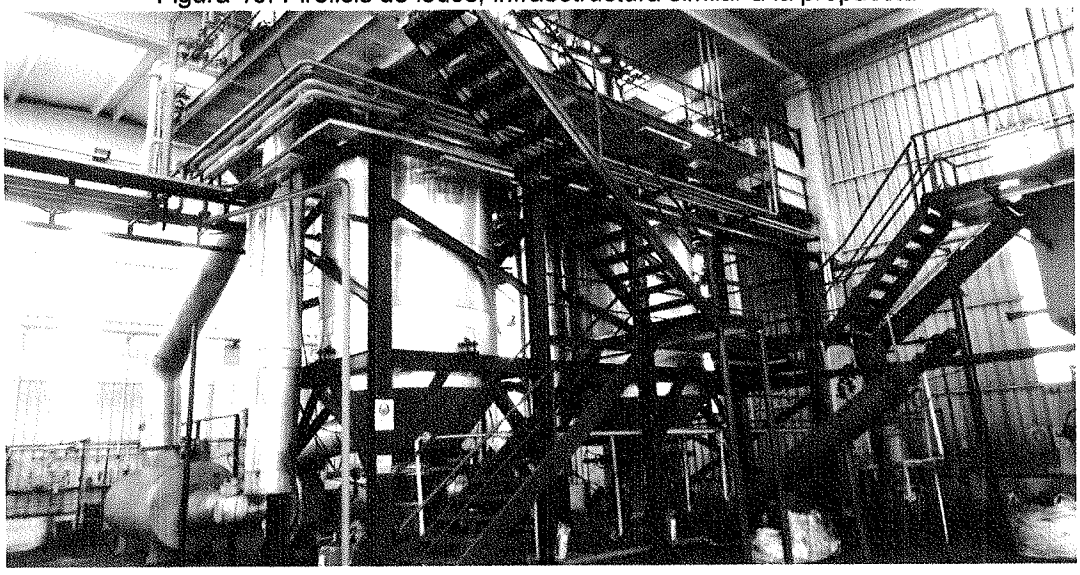
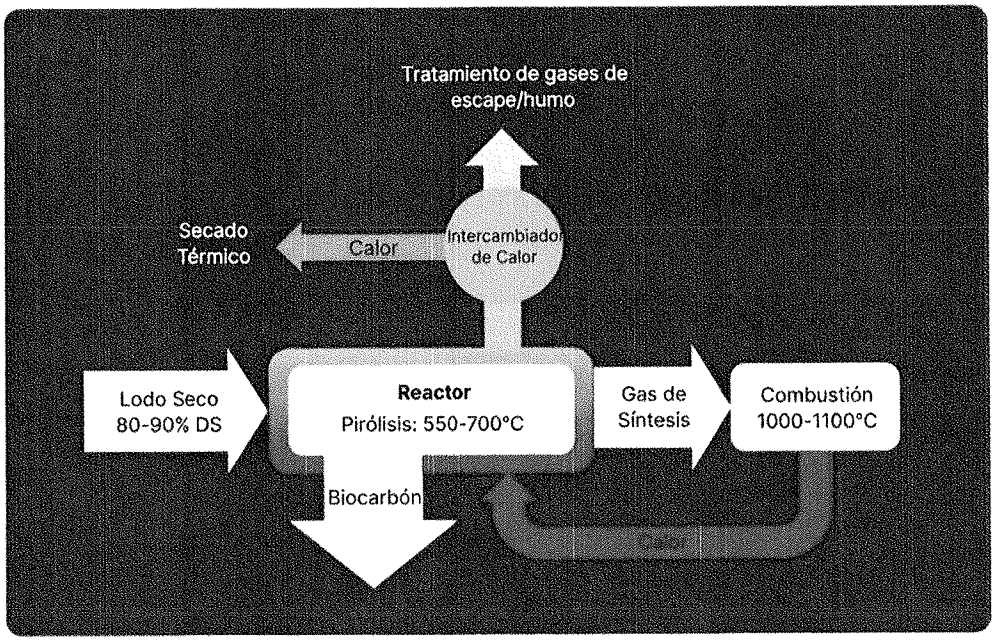


Figura 20. Pirólisis de lodos, conceptual



4.9 Almacenamiento de biogás

Propósito

Las membranas dobles o gasómetros de doble membrana para el almacenamiento de biogás tienen como propósito principal proporcionar un sistema flexible, seguro y eficiente para contener el biogás producido en procesos de digestión anaeróbica, permitiendo una acumulación variable según la producción y la demanda.
Consisten en una membrana interna que almacena directamente el biogás y una membrana externa inflada con aire que protege la interna de las condiciones ambientales regula la presión constante y mantiene la forma estructural del domo o cubierta.
Este diseño ofrece ventajas como bajo costo de inversión y mantenimiento, alta capacidad de almacenamiento, minimización de emisiones y olores, aislamiento térmico y operación a presión controlada, facilitando el uso continuo del biogás en generación de energía renovable sin necesidad de almacenamiento rígido costoso.

Dimensiones:

Membrana: ¾ de esfera de 30m de diámetro

Tabla 21. Dimensiones de la membrana de almacenamiento de biogás.

DIMENSIONES LINEA DE LODO PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS							CAUDAL PROMEDIO (LPS)			2550	
CLAVE	TIPO	UNIDAD DE TRATAMIENTO	U	Ø (M)	L (M)	A (M)	H2O (M)	HT (M)	S (M2)	V.T. (M3)	TRH (h)
MG	EQUIPO	Membrana de almacenamiento de biogás	1.00	30.00	NA	NA	13.00	14.50	707	9,189	1.00

Material de construcción

Tejidos de poliéster (PES) reforzados y recubiertos con PVC (policloruro de vinilo) de alta calidad, con tratamientos especiales en ambas caras para mejorar su resistencia

Tabla 22. Membrana de almacenamiento, equipo por instalar.

EQUIPAMIENTO LINEA DE LODOS PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS					
CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
MG	Membrana de almacenamiento de biogás	Soplador	5 kW	1	1
		Sistema de control de presión	0.1 KW	1	1

Figura21. Membrana dobla de almacenamiento de biogás, infraestructura similar a la propuesta

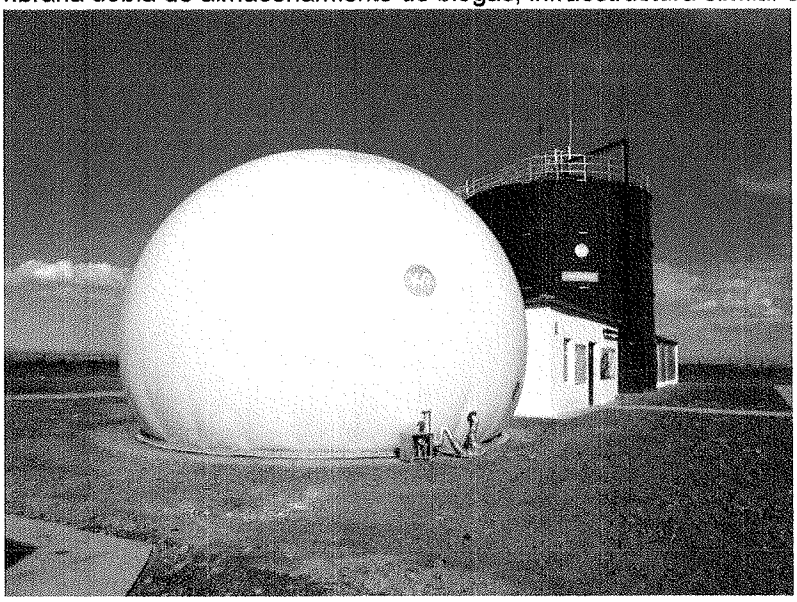
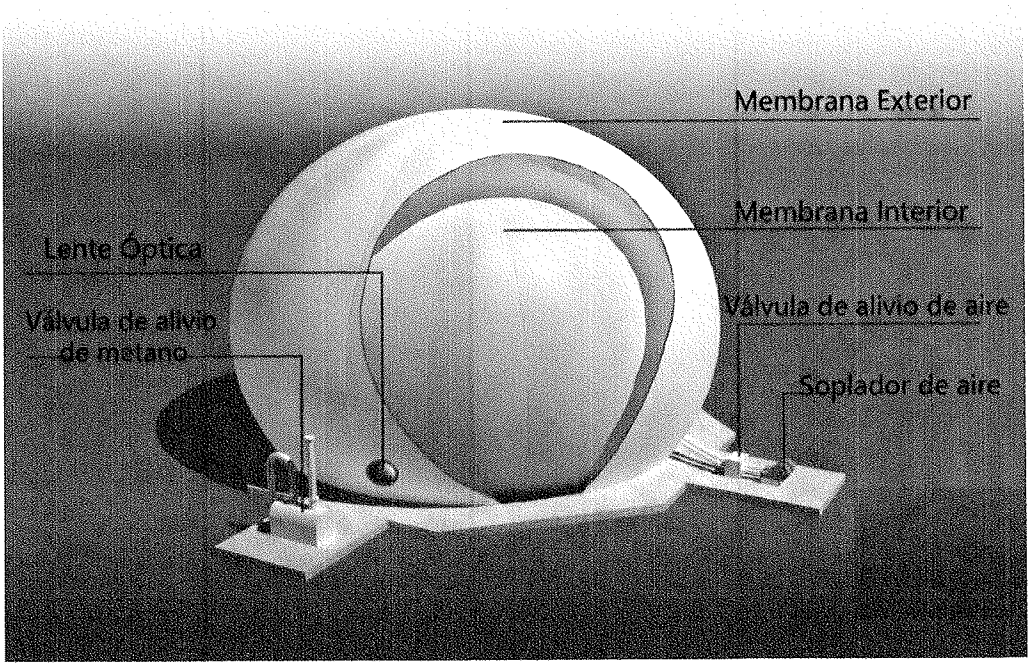


Figura22. Membrana doble de almacenamiento de biogás, conceptual



4.10 Lavado de biogás

Propósito

Purificar y enriquecer el biogás crudo para convertirlo en biometano de alta calidad. Este proceso aprovecha la mayor solubilidad del dióxido de carbono (CO_2) y del sulfuro de hidrógeno (H_2S) en agua comparado con el metano (CH_4), eliminando estas impurezas mediante contacto contracorriente en una columna de absorción presurizada.

Dimensiones:

Superficie necesaria: 480m2

Tabla 23. Dimensiones de la membrana de almacenamiento de biogás.

DIMENSIONES LINEA DE LODO PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS							CAUDAL PROMEDIO (LPS)			2550	
CLAVE	TIPO	UNIDAD DE TRATAMIENTO	U	Ø (M)	L (M)	A (M)	H2O (M)	HT (M)	S (M2)	V.T. (M3)	TRH (h)
LG	EDIFICIO	Lavado de gases	1.00	NA	32.00	15.00	NA	5.00	480	NA	NA

Material de construcción

Concreto armado en losa de operación, construcción estándar en edificio, acero AISI 304 en equipamiento

Tabla 24. Lavado de biogás, equipo por instalar.

EQUIPAMIENTO LINEA DE LODOS PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS					
CLAVE	**UNIDAD DE TRATAMIENTO**	**EQUIPAMIENTO**	**POTENCIA UNIDAD**	**OPERACIÓN**	**RESERVA**
LG	Lavado de gases	Compresor de biogás Columna de absorción Bomba de circulación agua Soplador de aire	324 kW	1	0

Figura 23. Lavado de biogás, infraestructura similar a la propuesta

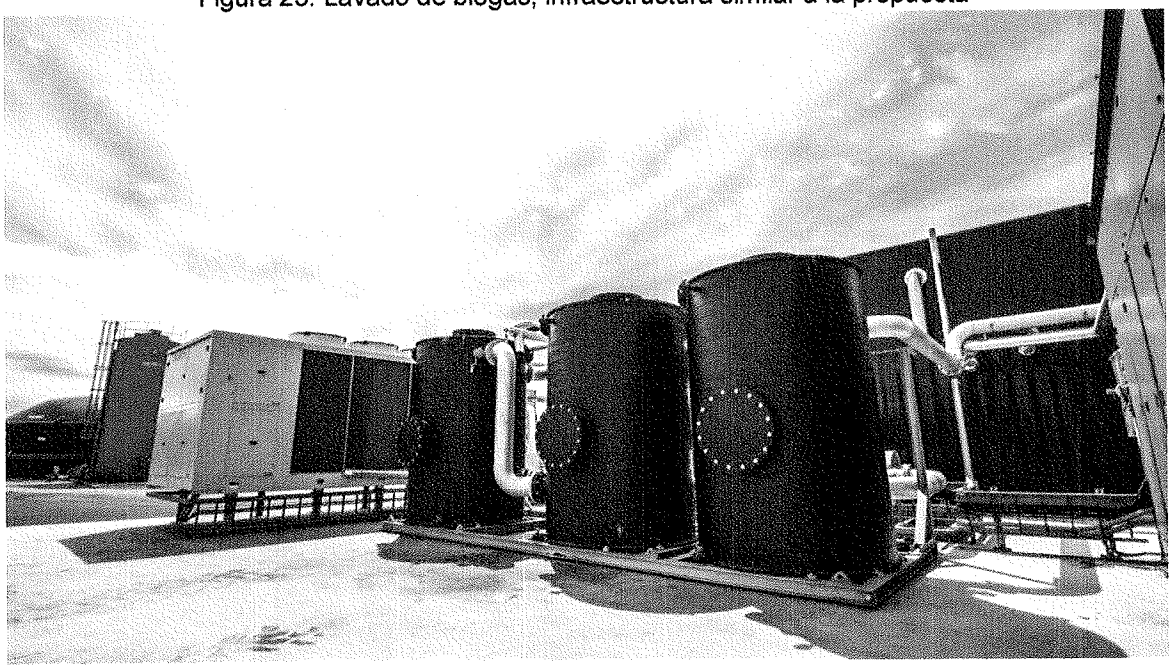
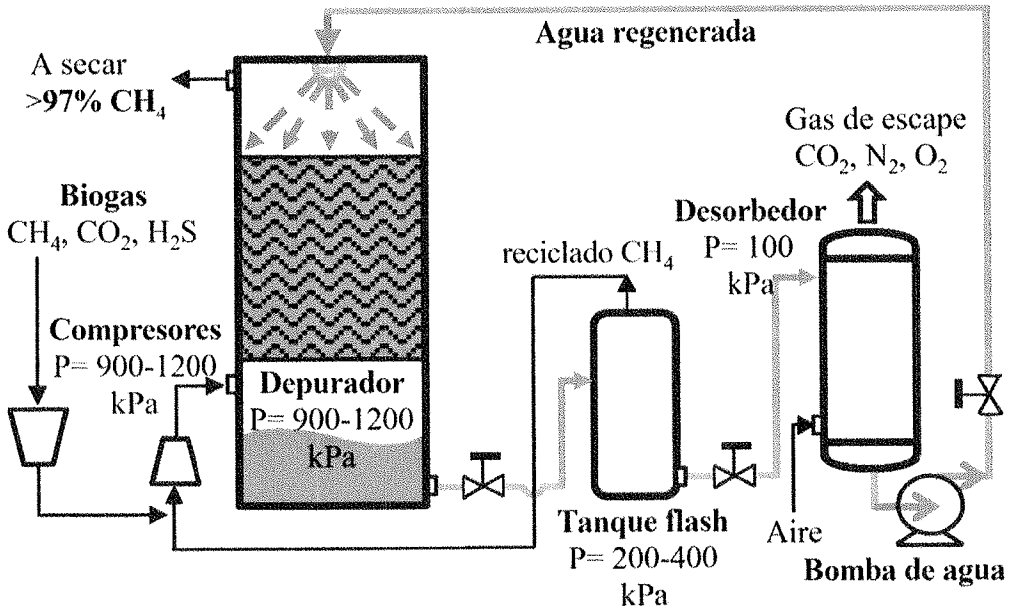


Figura 24. Lavado de biogás, conceptual



4.11 Cogeneración con biometano

Propósito

Generar simultáneamente electricidad y calor útil a partir de la combustión del biometano en motores de cogeneración o microturbinas, maximizando la eficiencia energética global del proceso. Este sistema aprovecha el biometano purificado para producir energía eléctrica que puede autoconsumirse o inyectarse a la red, mientras que el calor residual se recupera para calefacción de digestores anaeróbicos.

Dimensiones:

Superficie necesaria: 576m2

Tabla 25. Dimensiones del área para cogeneración con biometano.

DIMENSIONES LINEA DE LODO PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS							CAUDAL PROMEDIO (LPS)			2550	
CLAVE	TIPO	UNIDAD DE TRATAMIENTO	U	Ø (M)	L (M)	A (M)	H2O (M)	HT (M)	S (M2)	V.T. (M3)	TRH (h)
COG	EDIFICIO	Edificio de cogeneración	1.00	NA	32.00	18.00	NA	5.00	576	NA	NA

Material de construcción

Concreto armado en losa de operación, construcción estándar en edificio, acero AISI 304 en equipamiento

Tabla 26. Cogeneración, equipo por instalar.

EQUIPAMIENTO LINEA DE LODOS PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS					
CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
COG	Cogeneración con biogás	Generadores de biometano	1000 kW	3	1

Figura 25. Cogeneración con biometano, infraestructura similar a la propuesta

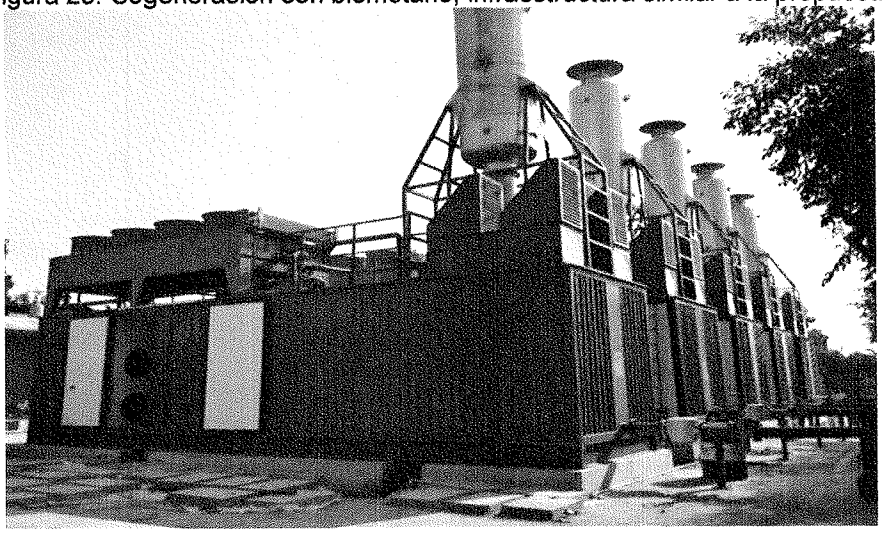


Figura 26. Cogeneración con biometano, conceptual

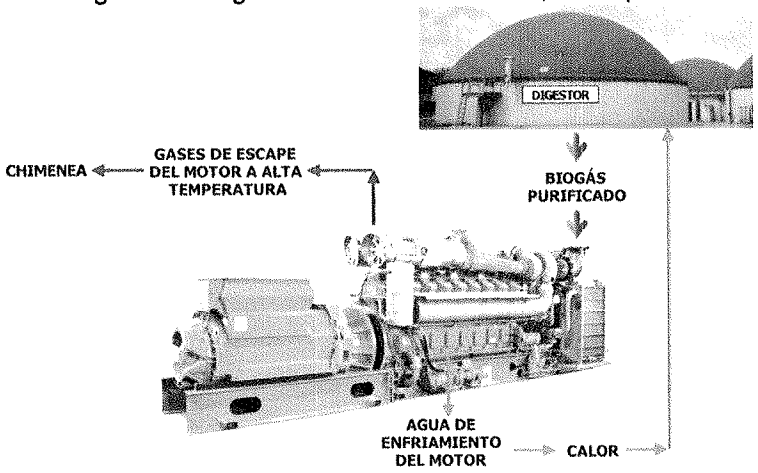


Tabla 27. Equipamiento del tren de lodo

EQUIPAMIENTO LINEA DE LODOS PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS					
CLAVE	UNIDAD DE TRATAMIENTO	EQUIPAMIENTO	POTENCIA UNIDAD	OPERACIÓN	RESERVA
TSP	Tanque de Sedimentación Primaria	Rastra y elemento motriz	0.75 kW	4	0
		Bomba de tornillo lodos	7.5 kW	4	1
		Desmenuzador de lodos	7.5 kW	2	0
EL	Equipos espesadores de lodos	Equipo para espesamiento de lodos	5 kW	5	1
		Preparadores de polimero	0.4 kW	4	1
		Mezcladores en linea	3 kW	4	1
TSS	Tanque de Sedimentación Secundaria	Rastra y elemento motriz	0.75 kW	4	0
		Bomba de recirculación	7.5 kW	4	1
		Bomba de purga de lodos	3 kW	4	1
TLM	Tanque de lodos mixtos	Bombas de cavidad progresiva	10kw	2	1
		Agitador compacto	5 kW	1	1
DL	Digestores anaeróbicos	Compresor mezcla	65 kW	6	0
		Lanzas de gas mezlca	0 kW	36	0
		Intercambiador de calor	33 kW	6	0
TLD	Tanque de lodos digeridos	Bombas de cavidad progresiva	10kw	2	1
		Agitador compacto	5 kW	1	1
ESL	Edificio de deshidratado de lodos	Tornillos Volute	8.2 kW	5	1
		Preparadores de polimero	0.4 kW	5	1
		mezcladores en linea	3 kW	5	1
PIR	Edificio de pirólisis	Equipos diversos (secador de lodos, tornillos dosificadores, Reactor de pirólisis de tornillo gemelo, transportador y enfriador de biochar, recuperador de calor)	1000 kW	1	0
MG	Membrana de almacenamiento de biogás	Soplador	5 kW	1	1
		Sistema de contról de presión	0.1 KW	1	1
LG	Lavado de gases	Compresor de biogás Columna de absorción Bomba de circulación agua Soplador de aire	324 kW	1	0

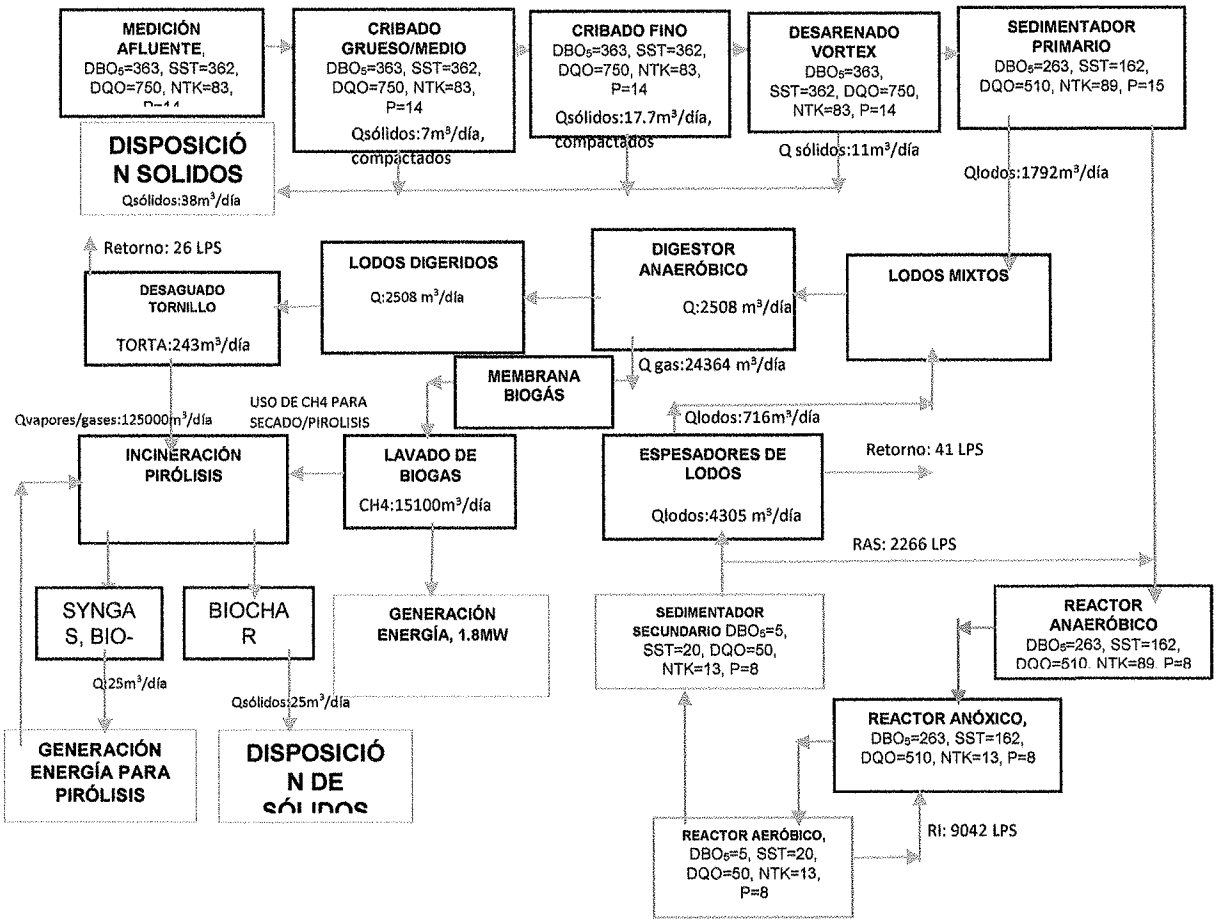
COG	Cogeneración con biogás	Generadores de biometano	1000 kW	3	1

Tabla 28. Dimensiones de las unidades de proceso tren de lodo

DIMENSIONES LINEA DE LODO PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS							CAUDAL PROMEDIO (LPS)			2550	
CLAVE	**TIPO**	**UNIDAD DE TRATAMIENTO**	**U**	**Ø (M)**	**L (M)**	**A (M)**	**H2O (M)**	**HT (M)**	**S (M2)**	**V.T. (M3)**	**TRH (h)**
TSP	TANQUE	Tanque de Sedimentación Primaria	4.00	41.00	NA	NA	4.50	5.00	5,281	23,765	2.59
EL	EDIFICIO	Espesadores de lodos	1.00	NA	20.00	10.00	NA	4.00	200	NA	NA
	EQUIPO	Equipo de espesado	5.00	NA	4.20	1.80	NA	2.00	38	NA	NA
	EQUIPO	Preparador de polimero	5.00	NA	1.00	1.00	NA	2.00	5	NA	NA
TSS	TANQUE	Tanque de Sedimentación Secundaria	4.00	54.00	NA	NA	4.50	5.00	9,161	41,224	4.49
TLM	TANQUE	Tanque de lodos mixtos	1.00	NA	12.00	12.00	3.00	3.50	144	432	0.05
DL	TANQUE	Digestores de lodos anaeróbicos	6.00	30.00	NA	NA	13.00	14.50	4,241	55,135	6.01
TLD	TANQUE	Tanque de lodos digeridos	1.00	NA	12.00	12.00	3.00	3.50	144	432	0.05
ESL	EDIFICIO	Edificio de deshidratación de lodos	1.00	NA	20.00	60.00	NA	NA	1,200	NA	NA
	EQUIPO	Tornillo Volute deshidratación	5.00	NA	7.00	3.00	NA	3.00	105	NA	NA
	EQUIPO	Preparador de polimero	5.00	NA	1.00	1.00	NA	2.00	5	NA	NA
PIR	EDIFICIO	Edificio de pirólisis	1.00	NA	20.00	60.00	NA	NA	1,200	NA	NA
MG	EQUIPO	Membrana de almaceniamiento de biogás	1.00	30.00	NA	NA	13.00	14.50	707	9,189	1.00
LG	EDIFICIO	Lavado de gases	1.00	NA	32.00	15.00	NA	5.00	480	NA	NA
COG	EDIFICIO	Edificio de cogeneración	1.00	NA	32.00	18.00	NA	5.00	576	NA	NA
*NA= no aplica, Ø diámetro, L=longitud, A=ancho, H2O=tirante, HT=altura muro, S=superficie, V.T.= Volumen total, TRH=tiempo de retención hidráulica									**A (M2)**	**V.T. (M3)**	**TRH (h)**
								TOTALES	23,487	130,177	14

5. Balance de Materia del tren de lodos

Figura 27. Balance de Materia PTAR Parque Santiago Cap. 2550LPS promedio.

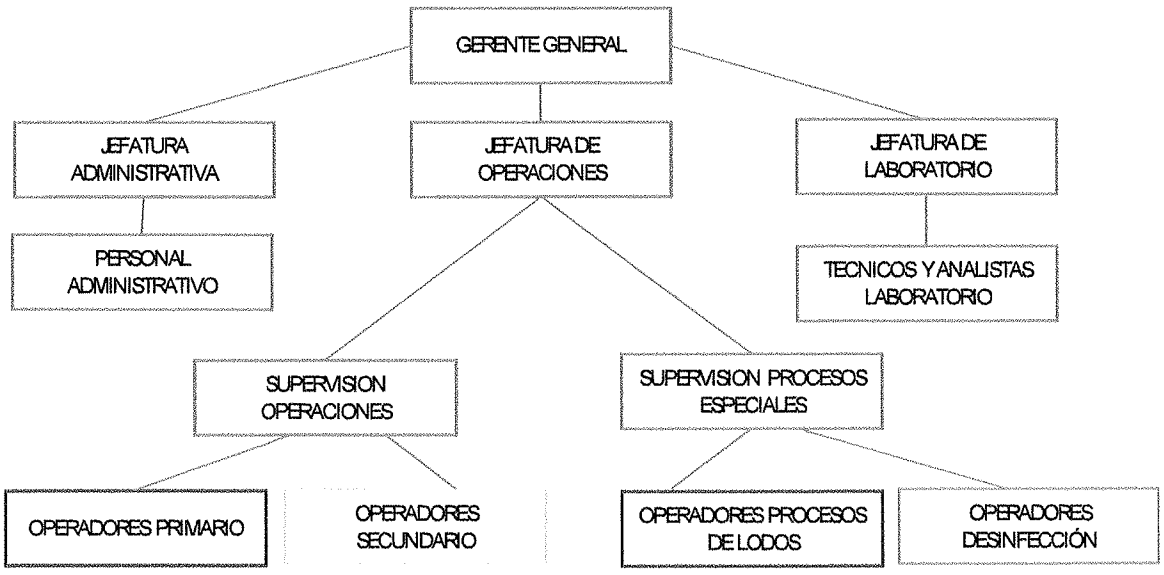


6. Operación y Mantenimiento para el tren de lodos

La operación y mantenimiento del tren de lodo debe garantizar continuidad del tratamiento completo, eficiencia energética, cumplimiento el marco normativo (NOM-004-SEMARNAT-2022) y minimización de riesgos ambientales.

6.1 Organigrama del personal de operación

Figura28. Organigrama del personal de operación de la PTAR



6.2 Estimación de consumo de energía del tren de lodos

Consumo firme promedio estimado: **210 kW**

Tabla 29. Consumo de energía eléctrica línea de lodos PTAR

Energía Eléctrica Operación Planta de Tratamiento		
Área / Categoría	**Unidades Principales Incluidas**	**Potencia en Uso Continuo (kW)**
Línea de Lodos	Espesadores, digestores (compresores biogás), bombas de lodos, soplador almacenamiento gas, lavado de gases, tornillo volute	210
Total	**Linea de lodos**	**210**

6.2 Estimación de Reactivos para el tren de lodos

Tabla 30. Masa de reactivos línea de lodos

Masa de Reactivos / Químicos de Proceso		
Reactivo / Químico	**Detalle principal**	**Cantidad aproximada**
Floculantes espesamiento	PAC para mejora de floculación	4.5Ton/mes (1500usd/Ton)
Floculantes tornillo lodos	PAC para mejora de floculación	16 Ton/mes (1500usd/Ton)
Misceláneos	Otros reactivos menores (antiespumantes, ajustadores pH, etc.)	variable

6.3 Reincorporación las corrientes internas de retorno del tren de lodos

Filtrados de deshidratación y espesamiento: retorno a ingreso de sedimentación primaria

Condensados y lavados de limpieza: retorno a sedimentación primaria.

6.4 Flexibilidad operativa y automatización.

La planta cuentara con redundancia para permitir mantenimiento sin interrupción.

Sistema SCADA integral para monitoreo remoto, alarmas y registro continuo de caudales, calidad efluente, consumos.

Mantenimiento predictivo recomendado (vibraciones, horas operación) y limpieza automática de equipos

7. Monitoreo y Laboratorio

El laboratorio de la PTAR se diseña como una instalación independiente, ubicada al final del predio para minimizar interferencias con áreas operativas de alto tráfico como el patio de maniobras, deshidratación y cogeneración.

Su propósito es realizar monitoreo rutinario para control de proceso en el caso del tren de lodos, se deberá atender lo indicado por la NOM-004-SEMARNAT-2002:

Tabla 31. Frecuencia de muestreo y análisis para lodos y biosólidos

Volumen generado por año (Ton/Año) en base seca	Frecuencia de muestreo y análisis	Parámetros a determinar
Hasta 1,500	Una vez al año	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 1,500 hasta 15,000	Una vez por semestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 15,000	Una vez por trimestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos

8. Conclusiones

El anteproyecto de la línea de tratamiento de lodo para procesar un caudal de aguas residuales de 2550 L/s demuestra una configuración robusta y eficiente, adecuada para cumplir con normativas estrictas de disposición de biosólidos. El tren propuesto asegura una operación robusta y flexible y contempla el retiro accesible de los mismos.

La opción de implementación de un sistema de pirólisis para el tratamiento de lodos de aguas residuales ofrece múltiples ventajas clave que lo posicionan como una tecnología sostenible y eficiente frente a métodos tradicionales. Permite reducir drásticamente el volumen de lodos hasta un 90 %, eliminar patógenos, metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes de forma segura, y transformar un residuo problemático en recursos valiosos: biochar (rico en carbono estable, ideal para mejorar suelos, secuestrar CO_2 o recuperar fósforo), bio-aceite y syngas utilizables como fuentes de energía renovable.

9. Referencias

- Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering, FIFTH EDITION, 2014.
- WEF MOP 8, Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, 2018.
- NOM-001-SEMARNAT-2021.
- NOM-004-SEMARNAT-2002
- NOM-003-SEMARNAT-1997

10. Anexos

- Diagrama de flujo detallados y balance de materia.
- Memoria completa de cálculos.

Comisión Estatal del Agua Jalisco	**MEMORIA DE CÁLCULO PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**	IHS	ARS
CLIENTE:	CEA JALISCO	ELABORO :	HSR/JARO/RSE
INFORMES:	**C5 PTAR OSORIO (PARQUE SANTIAGO 2550LPS)**	REVISION :	C
PTAR:	PTAR PARQUE SANTIAGO 3 CUENCAS (SAN ANDRÉS-OSORIO-SAN GASPAR),	APROBO :	
CAPACIDAD:	**2,550 LPS (220,320 M3/d)**	FECHA :	20-dic-25

CONTENIDO

1. BASES DE DISEÑO

1.1 CAUDALES - DISEÑO

1.1.1 Caudales de Afluente

1.2 CARGA CONTAMINANTE - AFLUENTE

1.2.1 Temperaturas Promedio

1.2.2 Calidad del Afluente

1.3 CARGA TOTAL - AFLUENTE

1.4 CALIDAD DE AGUA TRATADA

1.5 MEDICIÓN DE CAUDAL - CANAL PARSHALL

1.5.1 Selección del ancho de garganta (W) – Tabla estándar Parshall

1.5.2 Altura de cresta recomendada y tirante libre

1.5.3 Verificación de flujo sumergido

2. PRE-TRATAMIENTO - CRIBADO GRUESO

2.1 CRIBA DE GRUESOS (desbaste grueso)

2.2.1 Dimensionamiento

2.2 CRIBADO MEDIANO

2.2.1 Dimensionamiento

2.2.2 Generación de basuras

2.2.3 Banda trasportadora

3. PRE-TRATAMIENTO - CRIBADO FINO

3.1 CRIBAS FINAS AUTOMATICAS

3.1.1 Dimensionamiento

3.1.2 Producción de basuras

3.1.3 Transportador / compactador de finos

3.2 DESARENADORES VORTEX

3.2.1 Carga de arena a remover

3.2.2 Caudal de diseño para desarenadores

3.2.3 Dimensionamiento de desarenadores vortex

3.2.4 Sistema de aireación y extracción de arena

3.2.5. Resumen final – 4 desarenadores vortex

3.3 CLASIFICADOR DE ARENAS

3.4 EFLUENTE DESARENADORES

4. TRATAMIENTO PRIMARIO

4.1 SEDIMENTADORES PRIMARIOS

4.1.1 Bases de dimensionamiento

4.1.2 Balance de cargas

4.1.3 Afluente a primarios

4.1.4 Efluente de primarios

4.1.5 Bombeo de purga de lodos

4.1.6 Desmenuzador de lodos primarios

5. CALCULO REACTORES DE LODOS ACTIVADOS PROCESO A2O

5.1 REACTOR ANAERÓBICO EBPR

5.1.1 Base de diseño

5.1.2 Requerimientos de mezclado

5.2 REACTOR ANÓXICO

5.2.1 Balance de Nitrógeno

5.2.2 Nitrógeno Removido en Lodos Secundarios, Nwas

5.2.3 Nitrógeno en el efluente como NH_4

5.2.4 Nitrógeno en el efluente como NO_3

5.2.5 Nitrógeno Orgánico soluble en el efluente

5.2.6 Nitrógeno Total a Oxidar

5.2.7 Tasa máxima de crecimiento de las bacterias nitrificantes a las condiciones de operación, μ'm

5.2.8 Tasa de utilización de sustrato, K'

5.2.9 Tiempo de retención celular mínimo, θMc

5.2.10 Factor de utilización de sustrato para la oxidación del amoniaco, U

5.2.11 Concentración de amoniaco en el efluente, N

5.2.12 Tasa de eliminación de la DBO, U_{DBO}

5.2.13 Tiempo de retención hidráulica para la oxidación de la DBO

5.2.14 Tiempo de retención hidráulica para la Nitrificación

5.2.15 Denitrificación

5.2.15.1 Tasa global de Denitrificación

5.2.15.2 Tiempo de retención hidráulica para la Denitrificación

5.2.15.3 Calculo de la recirculación interna

5.2.16 Requerimientos de mezclado

5.3 REACTORES DE LODOS ACTIVADOS

5.3.1 Base de diseño

5.3.2 Alimentación a reactores biológicos

5.3.3 Efluente de clarificadores secundarios - diseño

5.3.4 Eficiencia de remoción del sistema biológico

5.3.5 Calculo volumen del reactor aeróbico

5.3.6 Produccion de Solidos:

5.3.7 Lodo Activado de desecho (WAS)

5.3.8 Resumen de volúmenes de reactores

5.4 REQUERIMIENTO DE OXIGENO

5.4.1 Requerimiento de oxígeno (AOR)

5.4.2. SOR = AOR / {(C'sw a Fa - C)/Csw} (1,024) T-20 b

5.4.3. OTE = a SOTE (1,024) T-20 / Cs20 {F Fa b CsT - C'O2}

5.4.4 Sopladores

5.4.5 Difusores

6.0 CLARIFICACION SECUNDARIA

6.1 CLARIFICADORES SECUNDARIOS

6.1.1 Base de diseño

6.1.2 Estimación de la tasa de recirculación

6.1.3 Bomba de recirculación de lodos -RAS-

6.1.4 Bomba de recirculación interna -zona anóxica-

6.1.5 Bomba de purga de lodos

7.0 FILTRACIÓN TERCIARIA

7.1 BATERIA DE FILTROS ROTATORIOS

7.2 BOMBAS DE BACKWASH

8.0 DESINFECCIÓN

8.1 RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

8.1.1 Criterios de diseño

8.1.2. Dimensionamiento del equipo UV

8.1.3 Configuración final del sistema UV

8.1.4 Dimensiones de los canales UV

8.2 GENERACIÓN Y DIFUSIÓN DE OZONO

8.2.1 Bases de diseño

8.2.2 Dosis administrada

8.2.3 Equipo generador O3 seleccionado

8.2.4 Necesidades de O2

8.2.5 Equipo de aireación

8.2.6 Difusores

8.2.7 Verificación de tiempo de contacto vs reducción de patógenos

9. TRATAMIENTO DE LODOS

9.1 ESPESADORES SECUNDARIOS

9.1.1 Producción de lodo excedente

9.1.2 Criterios de diseño

9.1.3. Cálculo de área y dimensiones

9.1.4. Dimensiones finales adoptadas

9.1.5. Verificación de parámetros

9.1.6. Resumen final – Espesadores de lodos secundarios

9.1.7 Opcion B: Equipo espesador VT series VT303

9.2 TANQUES DE LODOS MIXTOS Y DIGERIDOS

9.2.1 Producción de lodo primario y secundario

9.2.2 Volúmenes de los tanques de lodos mixtos y digeridos

9.2.3 Bombas de extracción de lodos mixtos

9.2.4 Bombas de extracción de lodos dgeridos

9.2.5 Agitación para el tanque de lodos mixtos

9.2.6 Agitación para el tanque de lodos digeridos

9.3 DIGESTORES ANAERÓBICOS

9.3.1. Producción y características del lodo alimentado

9.3.2. Criterios de diseño (mesofílico 35–36 °C)

9.3.3 Cálculo de volumen requerido

9.3.4. Dimensiones finales adoptadas

9.3.5 Sistema de mezcla

9.3.6 Calefacción (c)

9.3.7. Verificación de parámetros

9.3.8. Producción de biogás y energía

9.3.9. Resumen final – Digestores anaeróbicos mesofílicos

9.3.10 Almacenamiento de Biogás

10. LAVADO DE GASES

10.1 Biogás bruto producido

10.2 Contenido de CH_4 en biogás bruto

10.3 Contenido de CO_2

10.4 Contenido de H_2S (promedio)

10.5 Etapa 1: Pretratamiento (enfriamiento)

10.6 Etapa 2: Desulfuración biológica (biofiltro)

10.7 Etapa 3: Lavado con agua a presión

10.8 Caudal biogás a compresión (lavado)

10.9 Caudal agua de lavado

10.10 Consumo específico lavado + stripping

10.11 CH_4 después de lavado + flash + stripping

10.12 Etapa 4: Membranas de 3 etapas (polimida)

10.13 Consumo específico membranas

10.14 Pérdida total de CH_4 (todo el proceso)

10.15 Biometano final producido

10.16 Consumo eléctrico total upgrading

10.17 CO_2eq evitado (sustitución gas natural)

10.18 Superficie aproximada (fabricante)

11. COGENERACIÓN BIOGÁS

11.1 Biogás diario producido

11.2 Contenido de metano

11.3 Caudal de metano

11.4 Poder calorífico del metano

11.5 Energía térmica bruta diaria

11.6 Energía térmica útil al motor (95 % limpieza)

11.7 Rendimiento eléctrico neto seleccionado

11.8 Energía eléctrica bruta diaria

11.9 Potencia eléctrica instalada total

11.10 Número de motogeneradores

11.11 Potencia unitaria por motogenerador

11.12 Potencia firme (operación normal: 2 motores)

11.13 Generación eléctrica anual estimada

11.14 Autoconsumo planta cubierto

11.15 Emisiones CO_2eq evitadas anuales

12. DESAGÜE DE LODOS POR MEDIO DE TORNILLO DE VOLUTE

12.1 Caudal de lodo digerido de entrada

12.2 Caudal másico de lodo digerido de entrada (Q*densidad)

12.3 Concentración de sólidos de entrada

12.4 Sólidos base seca diarios (SS)

12.5 Masa húmeda de entrada

12.6 Sequedad objetivo final

12.7 Masa de torta deseada (20 % SS)

12.9 Agua eliminada diaria

12.10 Agua eliminada diaria a incorporar a primario

12.11 Destino de corriente de agua eliminada

12.12 Reducción volumétrica aproximada

12.12 Número de tornillos prensa instalados

12.13 Modelo seleccionado

12.14 Capacidad unitaria (SS)

12.15 Capacidad total instalada

12.16 Operación normal

12.17 Capacidad Operativa

12.18 Total kg SS/Capacidad operativa

12.19 Horas de operación diaria

12.20 Horas de limpieza diarias

12.21 Potencia Unitaria

12.22 Consumo eléctrico total instalación

12.23 Consumo de polímero catiónico (9kg/ton)

12.24 Consumo de polímero por hora

12.25 Concentración de polímero

12.26 Solución de polímero al 0.2%/h

12.27 Solución de polímero al 0.2%/h

12.28 Tanque de polímero TRH = 8h

12.29 Sistema de mezcla

12.30 Potencia sistema de mezcla

12.31 Unidades

12.32 Consumo energético diario

13. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

13.1 METCALF & EDDY, WASTEWATER ENGINEERING / TREATMENT, DISPOSAL AND REUSE

13.2 WEF MANUAL MOP 8, DESIGN OF MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS - FOURTH EDITION

13.3 WEF MANUAL MOP 8, DESIGN OF MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS - FIFTH EDITION

13.4 METCALF & EDDY, WASTEWATER ENGINEERING / TREATMENT, DISPOSAL AND REUSE - FOURTH EDITION

13.5 WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION, SPECIAL PUBLICATION

13.6 AERATION: PRINCIPLES AND PRACTICE, WATER QUALITY MANAGEMENT, James A. Mueller/William C. Boyle

1. BASES DE DISEÑO

1.1 CAUDALES - DISEÑO

1.1.1 Caudales de Afluente

Población Servida (Subcuencas San Andrés, Osorio y San Gaspar)	**955,840.00**	habitantes
Gasto Mínimo Qmin=0.5Qmedio	1,275.00	l/s
Gasto Medio - Subcuencas San Andrés y Osorio	**2,300.00**	l/s
Gasto Medio - Subcuenca San Gaspar	**250.00**	l/s
Gasto Medio - Diseño (3 cuencas)	2,550.00	l/s
Gasto Medio - Diseño (3 cuencas)	220,320.00	m3/d
Gasto Máximo instantaneo en caja de entrada y derivación	3,572.43	l/s
Qmaxi= M x Qmedio		
Coeficiente de Harmon M=1+(14/4+√P)	1.40	
Gasto máximo extraordinario (Qmaxe= Qmaxi x 1.5)	5,358.65	l/s
Gasto Máximo al primario (Q*FS) (derivación por demasías en caja de entrada si este caudal es alcanzado)	3,572.43	l/s

1.2 CARGA CONTAMINANTE - AFLUENTE

1.2.1 Temperaturas Promedio

Temperatura Máxima	32.50 °C
Temperatura Media	20.95 °C
Temperatura Mínima (Invierno)	10.90 °C

1.2.2 Calidad del Afluente

		Unidades
Temperatura diseño - agua residual	**20.95**	°C

TEMPERATURA MEDIA EN GUADALAJARA, JALISCO 20.95 °C

Mes	Temp. Media °C	Temp. Mín. °C	Temp. Máx. °C	Precipitación mm

Enero	17.7	10.9	24.7	18
Febrero	19.2	12.3	26.8	12
Marzo	21.4	14.2	29.5	7
Abril	24	16.5	32.2	4
Mayo	25	18	32.9	18
Junio	23.3	18.5	29.8	139
Julio	21.2	17.4	26.8	219
Agosto	21.3	17.3	26.7	195
Septiembre	20.9	16.9	26.1	165
Octubre	20.4	15.4	26.2	61
Noviembre	19.1	12.9	25.6	15
Diciembre	17.9	11.3	24.7	7
Anual	20.9 -	-		860

Altitud de la PTAR (topografía predio Parque Santiago)		**1,450.00** msnm
pH		**7.20** u.s
DBO5		**363.00** mg/l
DBO5 SOLUBLE		210.54 mg/l
DBO5 INSOLUBLE		152.46 mg/l
DQO		**750.00** mg/l
DQO SOLUBLE	*valor estimado	495.00 mg/l
Solidos sedimentables		**3.00** ml/l
SST		**362.00** mg/l
SSV	*valor estimado	253.40 mg/l
NTK		**83.00** mg/l
Nitrógeno Amoniacal		49.80 mg/l
Fósforo total		**14.00** mg/l
Grasas y Aceites		**35.00** mg/l
Coliformes Fecales		**7,000,000.00** NMP / 100 ml

1.3 CARGA TOTAL - AFLUENTE

DBO5	79,976.16 kg/d
DBO5 SOLUBLE	46,386.17 kg/d
DQO	165,240.00 kg/d
DQO SOLUBLE	109,058.40 kg/d
SST	79,755.84 kg/d
SSV	55,829.09 kg/d
Nitrogeno total	18,286.56 kg/d

N-Amoniacal	10,971.94 kg/d
Fósforo total	3,084.48 kg/d
Grasas y Aceites	7,711.20 kg/d
Coliformes Fecales	7,000,000.00 NMP / 100 ml

1.4 CALIDAD DE AGUA TRATADA

pH	**6.5 - 8.5** u. s
Temperatura	**< 30** °C
DBO5	**20.00** mg/l
SST	**12.00** mg/l
DQO	**100.00** mg/l
Sólidos Sedimentables	**< 1.0** ml/l
Materia flotante	**Ausente**
Grasas y Aceites	**10.00** mg/l
Nitrógeno Total	**12.68** mg/l
Fósforo Total	**8.86** mg/l
Coliformes Fecales	**200.00** NMP / 100 ml
Huevos de Helminto	**< 1.0** h/L

1.5 MEDICIÓN DE CAUDAL - CANAL PARSHALL

1.5.1 Selección del ancho de garganta (W) – Tabla estándar Parshall

Ancho garganta W	Observación	Caudal medio estándar
2.44 m (8 ft)	Queda corto	2.18 m^3/s
2.74 m (9 ft)	Justo, con poco margen	2.47 m^3/s
3.05 m (10 ft)	SELECCIONADO	3.10 m^3/s

Cálculo dimensiones	
Ancho de garganta (W)	3.05 m
Longitud total canal	11.28 m
Longitud sección convergente	6.40 m
Longitud sección divergente	3.05 m
Longitud garganta	1.83 m m
Profundidad total re	2.44 m
Caída de piso (garganta respecto a convergente)	0.31 m

1.5.2 Altura de cresta recomendada y tirante libre

Altura de cresta (P) recomendada: 1.83 m (6 ft) → garantiza flujo libre (no ahogado) hasta Q 3.10 m^3/s

Tirante libre mínimo sobre Ha: 0.40–0.50 m

Altura total de pared lateral sugerida: 1.225 m + 0.50 m + 0.30 m (seguridad) = 2.025 m

1.5.3 Verificación de flujo sumergido

Para canales Parshall de 10–50 ft, el límite de sumergencia es 80 %

Para Q = 2.550 m^3/s → Hb = 0.98 m (valor aproximado de tablas estándar Parshall 10 ft, escalado)

Relación Hb/Ha 0.98 / 1.225 = 0.80 → 80 %

2. PRE-TRATAMIENTO - CRIBADO GRUESO

2.1 CRIBA DE GRUESOS (desbaste grueso)

Número de equipos			**1.00**	u
Tipo de material			Ac. Inox. 304	
Control			Operación manual	
Angulo de inclinación	q		50.00	°
			0.87	rad
seno q			0.77	
Caudal de Tratamiento		Q medio	2,550.00	l/s
		Q máximo	3,572.43	l/s

2.1.1 Dimensionamiento

Espaciamiento de barras	b (claro libre entre rejillas)		150.00	mm
Espesor de barras	S		20.00	mm
Aceleración de gravedad	g		9.81	m/s2
Ancho de canal	LC	Por definir en proy	4.00	m
Ancho útil considerando soleras laterales de 3"			3.90	m
Factor de forma rejilla	CF		1.79	
Tirante máximo			2.00	m
Area hidráulica			7.80	m2
Altura máxima de plataforma			2.00	m
Longitud (altura) de la rejilla			2.61	m
Distancia centro a centro	f		170.00	mm
Claro libre			150.00	mm
Velocidad en la caja de rejillas	Ve		0.46	m/s
Carga de velocidad	hv = (Ve)2/2g		0.01	
Número de espacios	NESP = AC + EB / CB + EB		22.94	u

				18.00	u
	Número de barras	NBAR = NESP - 1		17.00	u
	Velocidad a través de las rejillas	NREJILLAS = Q / (NESP)(CB)(HC)		0.70	m/s
Nota:	La pérdida de carga es esta etapa es despreciable por la baja velocidad transversal y/o área hidráulica existente.				
	Factor de diseño propuesto para cribas de 20 cm separación			0.30	ft3/1000 Gal
				2.24	cm3/m3
	Generación de basuras		Q medio	0.49	m3/d
			Q máximo 4 h/d	0.53	m3/d

2.2 CRIBADO MEDIANO -

	Número de equipos			6.00	u
	Status		Operación	4.00	u
			Reserva	2.00	u
	Tipo de material			Ac. Inox 304 L	
	Control			Automático - Sonda de nivel / Timer	
	Motor			3.0 HP / 460 V / 60 Hz / 3 F	
	Angulo de inclinación			75.00	°
				1.31	rad
	Caudal de llegada		Q medio	2,550.00	l/s
			Q máximo - 4 h	3,572.43	l/s

2.2.1 Dimensionamiento

	Caudal / Tren de Cribado Grueso - Diseño		Q medio	637.50	l/s
			Q máximo - 4 h	893.11	l/s
	Velocidad a través de las barras (limpias)			0.95	m/s
	Espaciamiento o separación de barras	EP		20.00	mm
	Espesor de barras	E1		20.00	mm
	Ancho de barras	E2		15.00	mm
	Coeficiente de saturación	Co		1.00	
	Velocidad entrada a criba	V2 = V * EP / (EP + E1)		0.48	m/s
	Superficie requerida	(Q / V) x ((EP + E1)/EP) x Co)	Q medio	1.34	m2
			Q máximo - 4 h	1.88	m2
	Ancho de canal	LC		1.80	m
	Nivel de agua requerido	HW1	Q medio	0.75	m
		HW2	Q máximo - 4 h	1.04	m
	Altura de rejilla para cribado	HW1+ 10 cm (pérdida de carga)	Q medio	0.85	m
		HW1+ 10 cm (pérdida de carga)	Q máximo - 4 h	1.14	m
	Altura propuesta NMA (longitud de rejilla)			2.00	m
	Altura del NFT a Nivel de Descarga			3.00	m

Comisión Estatal del Agua Jalisco

MEMORIA DE CÁLCULO PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES IHS

CLIENTE:	CEA JALISCO	ELABORO :	HSR/JARO/RSE
INFORMES:	**C5 PTAR OSORIO (PARQUE SANTIAGO 2550LPS)**	REVISION :	C
PTAR:	PTAR PARQUE SANTIAGO 3 CUENCAS (SAN ANDRÉS-OSORIO-SAN GASPAR),	APROBO :	
CAPACIDAD:	**2,550 LPS (220,320 M3/d)**	FECHA :	20-dic-25

Altura de Nivel de Descarga a Motor			0.60 m
Altura máxima de plataforma			1.00 m
Altura Total (posición vertical 90°)			4.60 m
Distancia centro a centro	f		40.00 mm
Claro libre			20.00 mm
Velocidad en la caja de rejillas	Ve		1.90 m/s
hr = CF [s/b]4/3 sen q Vo2/2g - criba limpia		Q máximo - 4 h	14.45 cm

COMPROBACIÓN CON EL CALCULO DE RAKEMAX

Delta H = 1/(2*g*cd^2)*((Q/Anetto)^2-(Q/bg*h1)^2)

Pérdida de carga H con saturación = 1/(2*g*cd^2)*((Q/Anetto)^2-(Q/bg*h1)^2)

Para un gasto de por canal — Altura Aguas arriba 1.50 m

Nivel de saturación %	Pérdidas de carga-h [mm]	Nivel de agua al frer [mm]	velocidad entre barras [m/s]
10	39	1539	1.33
20	66	1566	1.47
30	101	1601	1.65
35	139	1639	1.73

Para gasto por canal — Altura Aguas arriba 1.60 m

Nivel de saturación %	Pérdidas de carga-h [mm]	Nivel de agua al frer [mm]	velocidad entre barras [m/s]
10	58	1658	1.38
20	98	1698	1.47
30	112	1712	1.61

Nivel de agua requerido para una saturación o ensuciamiento del 30%	Q medio	1.64 m
	Q máximo	1.71 m
Bordo libre		2.89 m
Nivel Alto de Canal (existente)		4.60 m

Nota:

2.2.2 Generación de basuras

Ref.Bibliográfica N 3.50 ft3/1000 Gal

Factor de diseño en cribas de 20.0 mm		Experiencia en PTAR´s - Mexico	26.18	cm3/m3
		Q medio	5.77	m3/d
		Q máximo - 4 h	6.15	m3/d
Peso Volumétrico Residuos			850.00	kg/m3
Peso de residuos húmedos		Q medio	4,903.65	kg/d
		Q máximo - 4 h	5,231.35	kg/d
Contenido de materias secas			0.10	
Masa base seca		Q medio	490.37	kg/d
		Q máximo - 4 h	523.13	kg/d
Fracción de materias orgánicas (SSV/SST)			0.10	
Concentración equivalente para Qmedio	SST		17.74	mg/l
	SSV		1.77	mg/l

Nota: Basado en experiencia de PTAR´s México y referenciado en literatura del MOP, el factor de retención de basuras propuesto es

lo que asegura una alta confiabilidad en la selección y dimensionamiento del equipo transportador/compactador con sistema lavador.

2.2.3 Banda Transportadora

Número de equipos	Operación	1.00	
Motor		3.0 HP / 460 V / 60 HZ / 3 F	
Material/Control		Ac. Inox. 304 L - Control Automático	
Tipo		Banda Transportadora	
Caudal a desplazamiento	Q máximo - 4 h	5.77	m3/d
	Operación de 6 h/c	0.96	m3/h
Capacidad de evacuación - diseño Fabricante		2.80	m3/h

3. PRE-TRATAMIENTO - CRIBADO FINO

CRIBADO FINO

3.1 CRIBAS FINAS AUTOMATICAS

Número de equipos		4.00	u
Status	Operación	3.00	u
	Stand-by	1.00	u
Tipo		EscaMax Hubber / Headworks /SAVECO	
Material		Ac. Inox. 304 L	
Motor criba		0.75 HP / 480 V / 60 HZ / 3 F	
Motor cepillo de la criba		2.0 HP / 480 V / 60 HZ / 3 F	
Angulo de inclinación		60.00	°

3.1.1 Dimensionamiento

Caudal medio				2,550.00 l/s
Caudal máximo				3,572.43 l/s
Caudal medio / criba fina				850.00 l/s
Caudal máximo / criba fina				1,190.81 l/s
Velocidad máxima a través de placa perforada				1.40 m/s
Diámetro de paso				6.00 mm
Superficie libre				51 %
Coeficiente geometrico - Cd				0.62
Ancho de canal	LC			2.00 m
Ancho de criba - por Fabricante				1.75 m
Velocidad en el canal	V2 = V * EP / (EP + E1)			0.60 m/s
Nivel de agua	HW1	Q medio		1.30 m
	HW2	Q máximo		1.45 m
Area efectiva de filtración				0.60

Delta H = 1/(2*g*cd^2)*((Q/Anetto)^2-(Q/bg*h1)^2)

Pérdida de carga H con saturación = 1/(2*g*cd^2)*((Q/Anetto)^2-(Q/bg*h1)^2)

Para un gasto de 1,125 l/s - canal — Altura Aguas arriba: 1.30 m

Nivel de saturación	velocidad en canal	Pérdidas de carga-h	Nivel de agua al frer	velocidad en orificios
%	[m/s]	[mm]	[mm]	[m/s]
10	0.39	223	1523	0.975
20	0.38	260	1560	1.07
30	0.37	310	1610	1.184
35	0.36	341	1641	1.25
40	0.35	377	1677	1.324

Para un gasto de 1,462.5 l/s - canal — Altura Aguas arriba: 1.45 m

Nivel de saturación	velocidad en canal	Pérdidas de carga-h	Nivel de agua al frer	velocidad en orificios
%	[m/s]	[mm]	[mm]	[m/s]
10	0.45	266	1716	1.118
20	0.44	314	1764	1.222
30	0.42	377	1827	1.348
35	0.41	415	1865	1.421

Nivel de agua requerido para una saturación del 40%

Q medio	1.68 m
Q máximo	1.87 m

Nivel propuesto - diseño			1.80 m
Bordo libre			0.25 m
Altura total de canal			2.05 m
Dimensiones del canal de cribado			2.0 m A x 2.05 m H

Nota: Con el diseño propuesto y modelo de criba fina EscaMax, se cumple para el gasto medio y máximo con tres (3) trenes, manteniendo un tercer tren equipado de relevo o stand-by. La operación automática de las cribas será mediante un control de nivel o Timer programado en el PLC maestro.

3.1.2 Producción de basuras

Factor de diseño			67.00 cm3/m3
Volumen de finos	Q medio		44.28 m3/d
	Q máximo - 4 hr		47.24 m3/d
Volumen de compactación de residuos - 60%	Q medio		17.71 m3/d
	Q máximo - 4 hr		18.90 m3/d
Peso volumétrico resíduos* Valor promedio de resíduos en las PTAR de México.			950.00 kg/m3
Peso de residuos			16,828.04 Kg/d
			17,952.59 Kg/d
Contenido de materias secas			0.55
Peso másico	Q medio		9,255.42 Kg/d
	Q máximo - 4 hr		9,873.92 Kg/d
Fracción de SSV/SST de los residuos			0.50
Concentración equivalente	SST		14.00 mg/l
	SSV		7.00 mg/l

3.1.3 Transportador / compactador de finos

Número de equipos	Operación		2.00
Motor tornillo			4.0 HP / 460 V / 60 HZ / 3 F
Motor WAP / Lavador - compactador			2.0 HP / 460 V / 60 HZ / 3 F
			Ac. Inox. 304 L
Control			Automático - Nivel
Tipo			Wash Press WAP 4 - HUBER u Otro
Caudal a desplazar	Q máximo - 4 h		18.90 m3/d
	Considerando una operación de 25 min/h ó 10 h/d		1.89 m3/h
Capacidad de evacuación - diseño Fabricante			2.80 m3/h

Nota: El equipo transportador - compactador de alta presión con sistema de lavado, opera en paralelo con las EscaMax de forma automática obteniendo hasta un 80% reducción de peso o volumen y con un contendio de materias secas hasta del 60%, haciendo un sistema alta mente eficiente. Estos equipos han sido ampliamente probados en Plantas de la República Mexicana

3.2 DESARENADORES VORTEX

3.2.1 Caudal de diseño para desarenadores

Qmáximo horario =	3572.43	LPS	3,572.43 LPS
Qpunta para diseño =	5100.00	LPS	5,100.00 LPS
4 desarenadores vortex (3 en servicio + 1 reserva)			
Caudal por unidad en servicio = 5,100 / 3 =1,700 L/s por vortex			1,700.00 LPS

3.2.2 Dimensionamiento de desarenadores vortex

Criterios de diseño estándar para remoción de arena ≥ 95 % de partícula 0.21 mm (d_{50} = 0.20–0.22 mm).

Los diámetros de 5.50 m son suficientes modelos PISTA® de 5.5 m manejan hasta ~30-38 MGD en peak con eficiencia mantenida gracias al baffle; 1,700 L/s está dentro del rango aceptable con margen conservador).

Parámetro	Total 4 unidades	
Caudal nominal por unidad	1,700.00	LPS
Diámetro interno del vortex	5.50	m
Profundidad total	4.80	m
Profundidad de agua	4.20	m
Borde libre	0.60	m
Diámetro tolva central de arena	1.20	m
Volumen útil por unidad	99.00	m3
Tiempo de retención hidráulico (a Qnominal)	65.00	seg
Velocidad tangencial periférica	0.80	m/s
Remoción garantizada	0.95	arena ≥ 0.20 mm
Producción esperada de arena húmeda por unidad (en servicio)	4.00	m^3/día

3.2.3 Sistema de aireación y extracción de arena

Caudal de aire por unidad: 25–30 Nm^3/h (presión 0.5 bar) → inyectores perimetrales

Bomba de extracción de arena: tipo sumergible aire-lift o bomba de cavidad progresiva

Capacidad por bomba: 15 m^3/h de lodo arenoso (60 % humedad)

Número de bombas: 4 (1 por vortex) + 1 reserva móvil

3.2.4. Resumen final – 4 desarenadores vortex

Ítem			
Número de unidades		4.00	u
Unidades en servicio		3.00	u
Unidades en reserva		1.00	u
Diámetro por unidad		5.50 m	m
Profundidad total		4.80 m	m
Caudal máximo por unidad		1,700 L/s	LPS
Capacidad total instalada		6,800 L/s	LPS
Arena removida (total planta)		12.00	m^3/día húmeda
Consumo de aire total		120.00	Nm^3/h
Potencia eléctrica instalada (bombas		48.00	KW total
Eficiencia de remoción		0.95	(d_{50} = 0.20 mm)
Factor de diseño / producción de arenas		7.00	ft3/Mgal
		0.05	m3/103m3
		52.37	L/1000 m3
Generación de arenas	Q medio	11.54	m3/d
	Q máximo - 4 h	12.31	m3/d
Generación semanal		80.77	m3/semana
Peso específico de arenas - valor promedio del MOP		1,350.00	kg/m3
Contenido de materias secas en arenas - 60%		9,345.79	kg/d
Contenido de volátiles	Menor al	0.10	
Concentración equivalente removida como	SST	42.42	mg/l
	SSV	4.24	mg/l

No se considera remoción de G y A, DBO5, SST, SSI en esta etapa del tratamiento, como factor de seguridad en el diseño del proceso.

3.3 CLASIFICADOR DE ARENAS

No. de equipos	Operación	2.00 u
Tipo		Tornillo sin fin - HUBER
Modelo		Ros F3-1
Motor		1.5 HP / 460 V / 60 HZ / 3 F
Máxima capacidad hidráulica agua-arenas / clasificador		57.60 m3/h
Máxima capacidad hidráulica agua-arenas / N clasificadores		115.20 m3/h
Eficiencia de separación		0.90 %
Tamaño de arenas		0.20 mm

Capacidad de extracción / por Fabricante		0.4 - 1.0	Ton/h
Tamaño de arenas		0.20	mm
Capacidad hidráulica de entrada / clasificador		25.00	m3/h
Volumen de arenas a recolectar / N desarenadores	Q máximo - 4 h	0.48	m3/h
		1,717.45	Kg/h

Nota: Debido a la gran cantidad de arenas que ingresarían a la Planta, se utilizaran dos (2) clasificadores lavadores de arenas, que serán dispuestas en un contenedor. Estos clasificadores son de la marca HUBER y han sido ampliamente utilizados en plantas de México

3.4 EFLUENTE DESARENADORES

	Q medio	2,550.00	l/s
	Q máximo	3,572.43	l/s
DBO5		363.00	mg/l
DBO5 SOLUBLE		210.54	mg/l
DQO		750.00	mg/l
SST		319.58	ml/l
SSV		249.16	mg/l
SSI		70.42	mg/l
Nitrógeno Total Kjeldahl		83.00	mg/l
Nitrógeno Amoniacal		49.80	mg/l
Fósforo total		14.00	mg/l
Coliformes Fecales		7,000,000.00	NMP / 100 ml

Nota: Tabla solo como referencia, para efectos de cálculo y factor de seguridad, no se consideran eficiencias de remoción de materia orgánica, SST, SSV o nutrientes en esta etapa.

4. TRATAMIENTO PRIMARIO

ETAPA EL EFLUENTE DEL DESARENADO Y CRIBADO FINO, PASA A GRAVEDAD A UNA CAJA DE DISTRIBUCIÓN, DONDE SE DISTRIBUYE EL EFLUENTE A CUATRO (4) SEDIMENTADORES PRIMARIOS CIRCULARES, PARA REMOVERÁ UN 30% DEL DBO5 Y UN 60% DE SST. ESTOS

4.1 SEDIMENTADORES PRIMARIOS

Número de Tren de Tratamiento a utilizar	4.00 u
Tipo	Circular de concreto reforzado
Dimensiones / Tren de Tratamiento	**41 m Diámetro x 5.0 m H2O**
Tipo Rastra	Circular con tracción central - Westech o equivalente
Motor	1.5 HP / 460 V / 60 Hz / 3 F

4.1.1 Bases de dimensionamiento

Caudales de alimentación	Q medio	2,550.00 l/s
	Q máximo	3,572.43 l/s
Caudal desde deshidratación de lodos		25.91 l/s

Table 15-1

Characteristics of various sidestreams from the thickening, stabilization and dewatering of raw and digested solids

Operation	Flowrate, Percent of plant influent	Value, mg/L TSS[a]	BOD[a]	TKN	NH4-N	NOx	TP	Ortho-P
Anaerobic digestion supernatant (two-stage, high-rate)	0.1–0.5	1000–11,500	500–5000	850–1800	800–1300	0	110–470[b,c]	100–350[b,c]

Concentración de nitrógeno en corriente de deshidratación (tabla 15-1 Metcalf)	1,200.00	mg/L
Masa de nitrógeno en corriente de deshidratación	31,089.83	mg/s
Masa de nitrógeno en corriente de deshidratación	2,686.16	kg/d
Aporte a la concentración de nitrógeno inicial	12.19	mg/L
Concentración de fósforo en corriente de deshidratación (tabla 15-1Metcalf)	220.00	mg/L
Masa de fósforo en corriente de deshidratación	5,699.80	mg/s
Masa de fósforo en corriente de deshidratación	492.46	kg/d
Aporte a la concentración de fósforo inicial	2.24	mg/L
Concentración de DBO5 en corriente de deshidratación (tabña 15-1Metcalf)	2,500.00	mg/L
Masa de DBO5 en corriente de deshidratación	64,770.49	mg/s
Masa de DBO5 en corriente de deshidratación	5,596.17	kg/d
Aporte a la concentración de DBO5 inicial	25.40	mg/L
Concentración de SST en corriente de deshidratación (tabla 15-1Metcalf)	5,000.00	mg/L
Masa de SST en corriente de deshidratación	129,540.97	mg/s
Masa de SST en corriente de deshidratación	11,192.34	kg/d
Aporte a la concentración de SST inicial	50.80	mg/L
Caudal desde espesadores de lodos (solo se considera aporte volumétrico)	41.54	l/s

CLIENTE:	CEA JALISCO	ELABORO :	HSR/JARO/RSE
INFORMES:	**C5 PTAR OSORIO (PARQUE SANTIAGO 2550LPS)**	REVISION :	C
PTAR:	PTAR PARQUE SANTIAGO 3 CUENCAS (SAN ANDRÉS-OSORIO-SAN GASPAR),	APROBO :	
CAPACIDAD:	**2,550 LPS (220,320 M3/d)**	FECHA :	20-dic-25

Caudal de rechazo filtros de disco (Solo aporte volumétrico)			81.00	l/s
Caudales de alimentación Qmedio+Qdeshidratado+Qespesado		Q medio	2,698.45	l/s
Carga Hidraúlica Superficial / Q medio - teórico	Ref. Bibliográfica No. 11.1d. / 2d.		30 - 50	m3/m2-d
Carga Hidráulica - diseño			**45.00**	m3/m2-d
Carga Hidraúlica Superficial / Q máximo - teórico			80 - 120	m3/m2-d
Carga sobre vertedero			125 - 500	m3/m-d
Caudal / N-1 sedimentador primario		Q medio	674.61	l/s
		Q máximo	909.97	l/s
Area requerida para CHS-diseño			1,295.25	m2
Diámetro resultante			**40.61**	m
Carga Hidraúlica Superficial / resultante		Q medio	45.00	m3/m2d
		Q máximo	60.70	m3/m2 d
Nivel de líquido - pared recta			**5.00**	m
Volumen resultante / N-1 sedimentador primario			6,476.27	m3
TRH resultante		Q medio	2.67	h
		Q máximo	1.98	h

4.1.2 Balance de cargas

Carga de SST - entrada / N Trenes de tratamiento (incluye corrientes laterales)	89,639.40	kg/d
Carga de SSV - entrada / N Trenes de tratamiento	62,747.58	kg/d
Eficiencia de remoción de SST - propuesta diseño	**0.60**	
Carga de SST - efluente primario	35,855.76	kg/d
Carga de SSV - efluente primario	25,099.03	kg/d
Carga de SST - removida	53,783.64	kg/d
Carga de SSV - removida	37,648.55	kg/d
SST del efluente primario	162.74	mg/l
SSV del efluente primario	113.92	mg/l
Relación SSV/SST	0.70	
Conc. Purga de Lodos	**3.00**	%
Volumen de Purga de Lodos	1,792.79	m3/d
NTK de entrada (incluye corrientes laterales)	20,972.72	kg/d
NTK de salida	19,609.49	kg/d
NTK removido por SST (10% NTK/SST)	1,363.23	kg N/d
N-Total de salida equivalente al Qmedio	6.19	mg/l
P-Total de entrada (incluye corrientes laterales)	3,576.94	kg/d
P-Total de salida	3,398.10	kg/d
P-Total removido por SST (5% P-Total / SST)	178.85	kg P/d
P-Total de salida equivalente al Qmedio	0.81	mg/l
Carga de DBO5 - entrada (incluye corrientes laterales)	85,418.06	kg DBO5/d

Carga de DBO5 - salida		58,084.28	kg DBO5/d
Eficiencia de remoción de DBO5 - propuesta		**32%**	
Carga de DBO5 - removida		27,333.78	kg DBO5/d
DBO5 de salida		263.64	mg/l
4.1.3 Afluente a primarios	Q medio	2,550.00	l/s
	Q máximo	3,572.43	l/s
DBO5 TOTAL		363.00	mg/l
SST		362.00	mg/l
SSV		253.40	mg/l
N-Total sedimentadores primarios + corriente de retorno		95.19	mg/l
NTK equivalente al Qmedio		95.19	mg/l
P-Total de los desarenadores + retorno		14.00	mg/l
		3,084.48	kg P/d
P-Total en corriente de retorno		492.46	kg P/d
P-Total que se pierde en el efluente final (SSV)		0.00	kg P/d
P-Total combinado		3,576.94	kg P/d
P-Total equivalente al Qmedio		16.24	mg/l
4.1.4 Efluente de primarios	Q medio	2,550.00	l/s
	Q máximo	3,572.43	l/s
DBO5 TOTAL		263.64	mg/l
SST		162.74	mg/l
SSV		113.92	mg/l
SSI		48.82	mg/l
N-Total		89.00	mg/l
P-Total		15.42	mg/l
G y A		30.00	mg/l
4.1.2.3 EFICIENCIAS DE REMOCIÓN			
DBO5 TOTAL		27%	
SST		55%	
SSV		55%	
N-Total		-7%	
P-Total		-10%	
4.1.5 Bombeo de purga de lodos			
No.de bombas instaladas		5.00	u

No. Equipos en Operación	Operación	4.00	u
No. Equipos en Stand-by	Stand-by	1.00	u
Tipo		Tornillo Netzsch y/o LOBULOS Böerger	
Motor		10.0 HP / 460 V / 60 Hz / 3 F	
Caudal de lodos primarios (3%)		1,792.79	m3/d
Horas de bombeo / d		10.00	h
Caudal resultante		29.16	l/s
Gasto / equipo		7.29	l/s
Carga hidráulica estimada + caida de presión (lodos primarios al 4.0%)		15.00	m
Presión descarga		1.50	Kg/cm2
Potencia		7.18	HP
Potencia propuesta		10.00	HP

Nota: Los lodos primarios son enviados al tanque de lodos mixtos, para posteriormente ser bombeados a Digestores
Este tanque estará previsto de 3 bombas de cavidad progresiva para el manejo de estos lodos.

4.1.6 Desmenuzador de lodos primarios

Número de equipos		2.00	u
No. Equipos en Operación	Operación	2.00	u
Motor		10 HP / 460 V / 60 HZ / 3F	
Caudal de operación		23 - 78	m3/h

5. CALCULO REACTORES DE LODOS ACTIVADOS PROCESO A2O

ETAPA EL EFLUENTE DE LOS (4) SEDIMENTADORES PRIMARIOS, PASA A GRAVEDAD HACIA UNA CAJA REPARTIDORA QUE ALIMENTA A CUATRO (4) TRENES DE REACTORES DE LODOS ACTIVADOS A2/O (ANAEROBIO, ANÓXICO, AEROBIO), DONDE SE REMOVERÁ LA MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES (N y P) BIOLOGICAMENTE. POSTERIORMENTE EL LICOR MEZCLA PASA A UNA ZONA DE CLARIFICACION FINAL CON CON UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE LODOS.

Parámetros de diseño típicos, Tabla 8-29 Metcalf & Eddie

Table 8-29
Typical design parameters for commonly used biological phosphorus removal processes

Design parameter/ process	SRT, d	MLSS, mg/L	τ, h			RAS, % of influent	Internal recycle, % of influent
			Anaerobic zone	Anoxic zone	Aerobic zone		
A/O	2–5	3000–4000	0.5–1.5	-	1–3	25–100	
A²/O	5–25	3000–4000	0.5–1.5	1–3	4–8	25–100	100–400
Modified Bardenpho	10–20	3000–4000	0.5–1.5	1–3 (1st stage) 2–4 (2nd stage)	4–12 (1st stage) 0.5–1 (2nd stage)	50–100	200–400
UCT	10–25	3000–4000	1–2	2–4	4–12	80–100	200–400 (anoxic) 100–300 (aerobic)
VIP	5–10	2000–4000	1–2	1–2	4–6	80–100	100–200 (anoxic) 100–300 (aerobic)
SBR	20–40	3000–4000	1.5–3	1–3	2–4		
Phostrip	5–20	1000–3000	10–12		4–10	50–100	10–20

5.1 REACTOR ANAERÓBICO EBPR

Número de Trenes de tratamiento		4.00 u
Tipo		Reactor Anaeróbico
Material		Tanque de Concreto
Dimensiones		

5.1.1 Base de diseño

Caudal de Alimentación / N Tren de tratamiento	Q medio	2,550.00 l/s
	Q máximo	3,572.43 l/s
	Q medio	220,320.00 m3/d

Comisión Estatal del Agua Jalisco

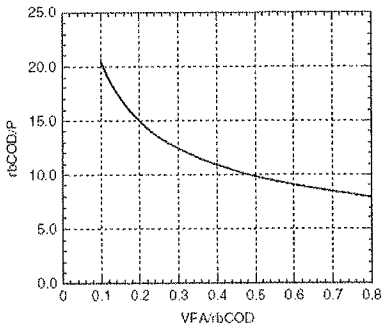
MEMORIA DE CÁLCULO PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES IHS

CLIENTE:	CEA JALISCO	ELABORO :	HSR/JARO/RSE
INFORMES:	**C5 PTAR OSORIO (PARQUE SANTIAGO 2550LPS)**	REVISION :	C
PTAR:	PTAR PARQUE SANTIAGO 3 CUENCAS (SAN ANDRÉS-OSORIO-SAN GASPAR),	APROBO :	
CAPACIDAD:	**2,550 LPS (220,320 M3/d)**	FECHA :	20-dic-25

Caudal de Alimentación / Tren	Q medio	637.50	l/s
	Q máximo	893.11	l/s
Recirculación de Lodos / N-1 Tren de tratamiento		566.67	l/s
Caudal Total de Alimentación / N-1 Tren de Tratamiento		1,204.17	l/s
Tiempo de retención propuesto - diseño (valor intermedio Tabla8-29 Metcalf&Eddie)		1.00	h
Volumen propuesto / Anaeróbico		4,335.00	m3
Volumen propuesto / Anaeróbico (4 trenes)		17,340.00	m4
Concentración Fósforo al afluente		15.42	mg/L
Carga de fósforo al afluente		3,398.10	Kg P
Relación rbDQO/DQO típica		20 a 35%	%
Relación rbDQO/DQO de diseño		28%	%
DQO estimada en influente		495.00	mg/L
rbDQO de diseño (28%)		136.13	mg/L
relación rbDQO/P ideal para obtener menos de xP<[0.5mg/L] en efluente sin adición de AGV		15 a 20	
relación rbDQO/P estimada en el influente		8.83	no ideal
rbDQO consumida por nitrato		11,202.05	Kg
Carga rbDQO		29,991.06	kg
Nitratos en el influente por RAS		11.00	mg/L
Nitratos en el influente por RAS		2,154.24	Kg NO3
Relación de consumo		5.20	kg rbDQO/Kg NO3
rbDQO remanente para consumo de P		18,789.01	Kg

Figure 8-38

Amount of rbCOD used for enhanced biological phosphorus removal is related to its volatile fatty acid content.



Contenido de Acidos Grasos Volátiles en rbDQO		10 a 80%	%
Acidos grasos volátiles/rbDQO de diseño (rango mínimo conservador)		15.00	%
Relación de remoción de fósforo fig 8-38		17.00	rbDQO/P
Remoción de fósforo en EBPR		1,105.24	Kg
Remoción de fósforo en EBPR		5.02	mg/L

Remoción de fósforo por otros microorganismos heterótrofos		
Sólidos Totales	42,097.86	Kg SS
Biomasa Volátil Total	21,368.51	Kg SSV
P-Total - perdido en los lodos de desecho - WAS	341.90	kg P
Remoción de fósforo por sintesis (0.016Px)	1.55	mg/L
Fósforo en el efluente= P.afluente-P.epbr-P.síntesis	8.86	mg/L
Límite promedio mensual NOM-001-SEMARNAT-2021, descarga en ríos	15.00	mg/L

5.1.2. Requerimientos de mezclado

No. Tren	4.00	u
Equipos / Tren de Tratamiento	2.00	u
Total de Mezcladores / 4 reactores anaeróbicos	8.00	u
Tipo Mezclador	Hiperboloide - INVENT®	
Motor	25 HP / 460 V / 60 HZ / 3 F	
Volumen / Reactor anaeróbico	4,335.00	m3
Intensidad de Mezclado	6.00	W / m3
	26.01	KW
Potencia Calculada	34.87	hp
Potencia propuesta	41.48	HP
No. Mezcladores	2.00	u
Potencia unitaria	20.74	HP

5.2 REACTOR ANÓXICO

OXIDACION NITRIFICACION EN UNA SOLA ETAPA

Datos:

Qt =	LPS, Caudal Total de Tratamiento	2,550.00	LPS
No. Trenes		**4**	u
Q =	LPS, Caudal de Tratamiento	637.5	LPS
So =	mg/l, DBO_5 de entrada	263.64	mg/l
Se =	mg/l, DBO_5 de salida	5.00	mg/l
NTo =	mg/l. Nitrógeno Total de Entrada *antes de primarios	83.00	mg/l
NTo =	mg/l. Nitrógeno Total de Entrada *despues de primarios	89.00	mg/l
NTe =	mg/l, Nitrógeno Total de Salida	12.68	mg/l
SSTo =	mg/l, Sólidos Suspendidos Totales de Entrada	162.74	mg/l
SSTe =	mg/l, Sólidos Suspendidos Totales de Salida de reactores	**20**	mg/l
$[O_2]$ =	mg/l, Oxígeno Soluble del Sistema	**1.5**	mg/l

μm =	1/d (tasa de crecimiento especifico 0.4 - 3.0)	**0.5**	1/d
Temp. Op.	°C	20.95	°C
Dif. Temp	°C	5.95	°C
KO_2 =	Constante media de velocidad del oxigeno disuelto	**1.3**	
Y =	NH4, mg SSV/mg Coeficiente de rendimiento células formadas/sustrato consun	**0.2**	NH4, mg SSV/mg
Kd =	1/d (coeficiente de degradación endógena 0.003 - 0.006)	**0.05**	1/d
FS =	Factor de seguridad	**2.5**	
K =	1/d (tasa máxima de utilización de sustrato)	**1.65**	1/d
X =	mg/l (SSVLM)	**4000**	mg/l (SSVLM)
y =	gr SSV/gr DBO	**0.6**	gr SSV/gr DBO

5.2.1 Balance de Nitrógeno

Nitrógeno removido en lodo de sedimentadores primarios

Se considera que la reducción del nitrógeno es del	**3.50%**	%
Lodo primario 4 trenes de tratamiento	**53,783.64**	Kg
NTK de entrada	20,972.72	kg/d
NTKo = mg/l. Nitrógeno Total de Entrada	89.00	mg/l.
NTKp =	1,882.43	kg/d
NTKp =	7.99	mg/l.

5.2.2 Nitrógeno Removido en Lodos Secundarios, Nwas

De sección 5.3.7

Producción de Lodos =	171.08	mg/l
Producción de Lodos por cuatro trerenes de tratamiento =	37,691.46	kg/d
Producción de Lodos por tren de tratamiento =	10,524.46	kg/d
Se considera que el contenido de nitrógeno en los lodos es del 5%	**5.00%**	
Nwas =	8.55	mg/l

5.2.3 Nitrógeno en el efluente como NH_4

Se consideran **0.68** mg/l

5.2.4 Nitrógeno en el efluente como NO_3

Se consideran **11** mg/l

5.2.5 Nitrógeno Orgánico soluble en el efluente

Se considera que el contenido de nitrógeno es del 5% de los TSSe

Norgs = 1 mg/l

5.2.6 Nitrógeno Total a Oxidar

NTKox = Nitrógeno Total 59.78 mg/l.

5.2.7 Tasa máxima de crecimiento de las bacterias nitrificantes a las condiciones de operación, μ'm

$\mu'm = (\mu m^{0.098(T-15)} DO) / (KO_2 + DO)$

Donde

μm =	1/d (tasa de crecimiento especifico 0.4 - 3.0)	0.5 1/d
DO =	mg/l, Oxígeno Soluble del Sistema	1.5 mg/l
KO_2 =	Constante media de velocidad del oxigeno disuelto	1.3
μ'm =	1/d	0.3576 1/d

5.2.8 Tasa de utilización de sustrato, K'

$K' = \mu'm / Y$

Donde:

Y =	NH4, mg SSV/mg Coeficiente de rendimiento células formadas/sustrato consun	0.2 NH4
K' =	1/d	1.79 1/d

5.2.9 Tiempo de retención celular mínimo, θMc

$\theta^M c = 1/(YK'-Kd)$

Donde:

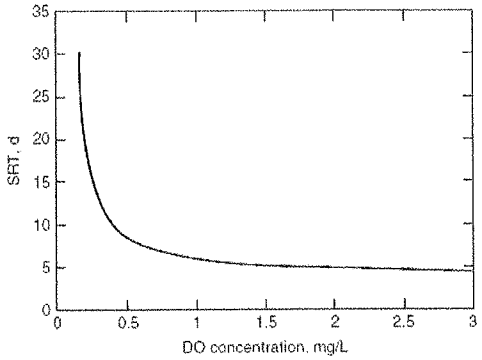
Kd =	1/d (coeficiente de degradación endógena 0.003 - 0.006)	0.05 1/d
$\theta^M c$ =	días	3.25 días

Considerando el factor de seguridad

θc =	días	8.13 días
θc =	días, Propuesto	**10.00** días

Figure 8-34

Effect of DO concentration on SRT required to achieve an effluent NH_4-N concentration of 1.0 mg/L at 20°C in a CMAS system based on kinetic coefficients in Table 8-14.



5.2.10 Factor de utilización de sustrato para la oxidación del amoniaco, U

$U = (1/\theta c + Kd)(1/Y)$

U = 0.7500 1/d

5.2.11 Concentración de amoniaco en el efluente, N

$N = UK_N / (K-U)$

KN = Constante de Nitrificación

K = 1/d (tasa máxima de utilización de sustrato) 1.65 1/d

$K_N = 10^{0.51T-1.158}$ — K_N = Constante de nitrificación 0.8137

N = Concentración de amoniaco 0.68 mg/l NH_4

5.2.14 Tiempo de retención hidráulica para la Nitrificación

$TRH_N = NTKo - NH4e / (UX)$

Donde:

NTKox =	mg/l. Nitrógeno Total de Entrada	59.78 mg/l
NH4e =	mg/l. Nitrógeno Amoniacal en el Efluente	0.68 mg/l.
U =	1 /d. Factor de utilización de sustrato para la oxidación del amoniaco	0.7500 1 /d.
X =	mg/l. SSVLM	4000 mg/l.
TRH_N =	días	0.2463 días
	hrs	5.91 hrs

5.2.15 Denitrifiación

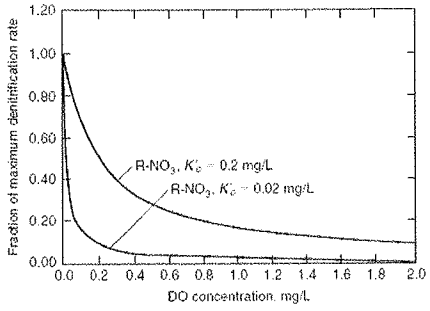
5.2.15.1 Tasa global de Denitrificación

$U'_{DN} = U_{DN}\ 1.09^{T-20}\ (1-OD_{DN})$

U_{DN} =	Tasa de denitrificación	**0.1** 1/d
OD_{DN} =	Oxigeno disuelto en la zona de denitrificación (estimación por teoría en pag 835 M&E)	**0.35** mg/l
U'_{DN} =	Tasa global de denitrificación	0.0705 1/d

8–7 Processes for Biological Nitrogen Removal | 835

Figure 8–35
Effect of mixed liquor DO concentration on maximum denitrification rates.



5.2.15.2 Tiempo de retención hidráulica para la Denitrificación

$TRH_{DN} = NTKox - NH_4e / (U'_{DN}X)$

TRH_{DN} =	Tiempo de retención hidráulica	0.2095 días
		5.03 hrs

5.2.15.3 Calculo de la recirculación interna

$IR = [(NH_{4o} - NH_{4e}) / NO_3] - 1$

Donde

NH4o =	mg/l. Nitrógeno amoniacal que entra al reactor	53.40 mg/l
NH4e =	mg/l. Nitrógeno amoniacal en el efluente	0.68 mg/l
NO_3 =	mg/l, Nitratos en el efluente	**11.00** mg/l
IR =		3.79
QRI	LPS por tren de tratamiento	2,418.14 LPS
QRI	LPS por 4 trenes	9,672.54 LPS

5.2.15.3B (OPCION B) Cálculo de la recirculación interna (Ecuación 8-62 M&E)

IR = (NOx/Ne)-1-RAS

Donde

NOx=	Nitratos producidos en zona aeróbica	59.78 mg/l
Ne=	Nitratos en efluente (usar 6 según M&E, pero usaremos 11 por ratio excesivo)	11.00 mg/l
RAS=		**0.89** Qras/Q
IR =		3.55
QRI	LPS por tren de tratamiento	2,260.59 LPS
QRI	LPS por 4 trenes	9,042.36 LPS

Nota de Metcalf&Eddie sobre ratios de recirculación, por lo tanto seguiremos con 11 mg/L en efluente

ters with a lower influent wastewater TKN concentration. Recycle ratios above 4 are not used for activated sludge/secondary clarifier systems, as the incremental removal of NO_3-N is low, and more DO is recycled from the aeration zone into the anoxic zone. The

5.2.16 Requerimientos de mezclado

No. Tren	4.00 u
Equipos / Tren de Tratamiento	4.00 u
Total de Mezcladores / 4 reactores anaeróbicos	16.00 u
Tipo Mezclador	Hiperboloide - INVENT®
Motor	25 HP / 460 V / 60 HZ / 3 F
Volumen por tren / Reactor anóxico	11,537.11 m3
Intensidad de Mezclado	6.00 W / m3
	69.22 KW

Potencia propuesta		99.43	HP
No. Mezcladores		4.00	u
Potencia unitaria		24.86	HP

5.3 REACTORES DE LODOS ACTIVADOS

5.3.1 Base de diseño

Trenes de tratamiento		4.00	u
Caudal total / N Tren de Tratamiento	Q medio	2,550.00	l/s
		220,320.00	m3/d
	Q máximo	3,572.43	l/s
Caudal Medio / Tren		637.50	l/s
Caudal Máximo / Tren		765.00	l/s

5.3.2 Alimentación a reactores biológicos

pH	7.40	u
Temperatura Mínima	20.95	°C
DBO5-T	263.64	mg/l
DBO5-S	158.18	mg/l
DQO-T	518.36	mg/l
DQO-S	311.02	mg/l
SST	162.74	mg/l
SSV	110.67	mg/l
SSI	48.82	mg/l
N-NH4	53.40	mg/l
NTK	89.00	mg/l
N-NO3	1.49	mg/l
P-Total	15.42	mg/l
Coliformes Fecales	7,000,000.00	NMP/100 ml

5.3.3 Efluente de clarificadores secundarios - diseño

pH	7.0 - 8.5	u
DBO5-T	**5.00**	mg/l
DBO5-S	3.00	mg/l
SST	**20.00**	mg/l
SSV	13.60	mg/l

SSI		**9.62**	mg/l
N-NO3		11.00	mg/l
N-NO2	* valor estimado	**1.10**	mg/l
N-Org		1.00	mg/l
N-NH4		0.68	mg/l
N-Total		13.78	mg/l
P-Total		8.86	mg/l

5.3.4 Eficiencia de remoción del sistema biológico

DBO5 TOTAL	0.98	
DBO5-S	0.98	
SST	0.88	
SSV	0.88	
N-Total	0.85	
P-Total	0.43	
DBO5/NKT	2.96	mg/mg
DQO/NTK	5.82	mg/mg
OD máximo para nitificación	2.00	mg/l
SSLM	4,000.00	mg/l
SSVLM	3,100.00	mg/l
Relación SSV/SST	0.78	mg/mg
KOD	1.00	mg/l

5.3.5 Calculo volumen del reactor aeróbico

$$V = Tc\ Q\ Y\ (So - Se) / (X\ (1 + Kd\ Tc))$$

No de trenes de tratamiento:		4	u
Qt =	Caudal total de tratamiento	2,550.00	lps
Tc =	Tiempo de Residencia Celular	10	días
Q =	Caudal de Diseño	637.5	lps
Y =	Coeficiente de Producción Celular	0.6	mg SSV/ mg DBO
So =	DBO Entrada	263.64	mg / l
Se =	DBO Salida	**5**	mg / l
SSTo =	SST entrada	162.74	mg / l
SSTe =	SST salida	**20**	mg / l
X =	SSVLM	4000	mg / l

Kd =	Coeficiente de Respiración Endogena	0.06	1 / día
Ssalida =	DBO soluble de salida por los SST	7.45	mg / l
V =	Volumen por tren	13,228.95	m3
TRH cal. =	Tiempo de retención hidráulica	5.76	hrs.
TRH nitrificación=		5.91	hrs.
TRH prop. =	Tiempo de retención hidráulica propuesto	6.00	hrs.
V Prop. =	Volumen propuesto	13,770.00	m3

Eficiencias de Remoción:

DBO =	56,982.68	Kg/d
DBO =	98.10	%
SST =	31,449.36	Kg/d
SST =	87.71	%
F / M =	0.26	gr DBO/gr SSV
CV =	1.05	Kg DBO / m3

5.3.6 Produccion de Solidos:

Px = Yobs Q (So - S) / 1000

Px =	Kg SSV/día, Producción de sólidos	
Q =	220320	m3/d, Caudal de Diseño
So =	263.636	mg/L, DBO de entrada
S =	5	mg/L DBO de salida

Yobs = Y / (1 + Kd θc)

Yobs =	Kg/Kg, Producción Observada		
Y =	Coeficiente de Producción Celular	0.60	Kg SSV/ Kg DBO
Kd =	Coeficiente de degradación endógena	0.06	1/día,
θc =	Tiempo de residencia celular	10.00	Días
Yobs =	Kg/Kg, Producción Observada	0.38	Kg/Kg
Px =	Kg SSV/día, Producción de sólidos	21,368.51	Kg SSV/día
Px =	Kg SST/día, Producción de sólidos	26,710.63	Kg SST/día

SST Inertes=			20.00 mg/l
SST Inertes=			4,406.40 Kg SST/día
SSV =			113.92 mg/l
SSV no Bio (35%)=			8,784.66 Kg SSV/día
SST en was (SSV no bio/0.8)			10,980.83 Kg SST/día
Px total =			42,097.86 Kg SST/día
Px/DBO5rem=			0.74 Kg SST / Kg DBOr

5.3.7 Lodo Activado de desecho (WAS)

SST Efluente =			20.00 mg/l
SST Efluente =			4,406.40 Kg SST/día
SST a DAL o espesadores (WAS)=	Concentración de sólidos (Px total - SSTe)		37,691.46 Kg SST/día
Caudal WAS=		0.85%	4,305.14 m3/día
		1.00%	3,659.36 m3/día
		1.50%	2,439.58 m3/día
		1.50%	2,439.58 m3/día
		3.00%	1,219.79 m3/día
		4.00%	914.84 m3/día
		5.00%	731.87 m3/día
		6.00%	609.89 m3/día
Recirculación:			
Concentración. Lodo R. =			8,500.00 mg/l
R calculada = Qr			0.89 Qr/Q
R propuesto= Qr			566.67 LPS

5.3.8 Resumen de volúmenes de reactores

	TRH (h)	%	
Reactor anaeróbico	1.89	15%	4,335.00 m3
Reactor anóxico	5.03	39%	11,537.11 m3
Reactor aeróbico	6.00	46%	13,770.00 m3
Tren completo	12.92	100%	29,642.11 m3

4 Trenes	12.92	118,568.43	m3

5.4 REQUERIMIENTO DE OXIGENO

5.4.1 Requerimiento de oxígeno (AOR)

$O_2 = Q\,(So-S)/F - 1.42\,Px$

Caudal promedio	2,550.00	LPS
Caudal promedio	220,320.00	m3/d
So - S =	258.64	mg/lt
So - S =	0.26	Kg/m3
f =	0.65	Factor Conversión DBO5 a DBOL (0.45-0.68)
Px =	21,368.51	Kg SSV/día
O_2 DBO =	**57,322.39**	Kg/día

O_2 para Nitrificar

DBO Red.	258.64	mg/lt
N total	89.00	mg/lt
N asimilable	12.93	mg/lt
N salida	13.78	mg/lt
N total a oxi.	62.29	mg/lt
Oxígeno para N total =	63,133.98	Kg/día
Recuperacion de O2=	39,801.86	Kg/día
Oxígeno para Nitrificar =	23,332.12	Kg/día
Oxigeno Total Requerido (AOR) =	80,654.51	Kg/día
Oxigeno Total Requerido (AOR) =	3,360.60	Kg/Hr

5.4.2. SOR = AOR / {(C'sw a Fa - C)/Csw} (1,024) T-20 b

AOR	Aire Teorico Requerido	80,654.51	Kg/d
C'sw	Solubilidad del oxígeno a la temperatura de operación	9.30	mg/lt
a	Factor de tensión superficial por salinidad	0.85	

	Fa	Factor de corrección por elevación para solubilidad del oxigeno	0.85	
	C	Concentración de oxígeno disuelto en el reactor	**1.50**	mg/lt
	Csw	Solubilidad del oxígeno disuelto en el agua limpia	9.20	mg/lt
	T	Temperatura de Operación	**20.95**	°C
	b	Factor de correción para transferencia de oxígeno	0.95	
	m.s.n.m.	Altura sobre el nivel del mar	**1,450.00**	m.
		Diferencia de Temperatura	0.95	°C
	SOR =		147,084.85	Kg/día
	Volumen =		527,882.10	m3/día
			12,953.53	Ft3/min.

5.4.3. OTE = a SOTE (1,024) T-20 / Cs20 {F Fa b CsT - C'O2}

	a	Factor de tensión superficial por salinidad	0.85	
	SOTE	Transferencia de oxigeno estándar, difusor 6%/m sumergencia	42.00	%
	Sumergencia	Sumergencia de los difusores	**7.00**	m
	Profundidad	Profundidad del tanque	**7.00**	m
	Sumergencia	Sumergencia de los difusores	23.09	Ft
	SOTE difusores	Ft Sumergencia x 2%	46.17	%
opcionB	SOTE difusores	M Sumergencia x 6%	42.00	%
	T	Temperatura de Operación	**20.95**	°C
	Cs20	Solubilidad del oxígeno disuelto en el agua limpia	9.20	mg/lt
	Fa	Factor de corrección por elevación para solubilidad del oxigeno	0.85	
	b	Factor de correción para transferencia de oxígeno	0.95	
	CsT	Solubilidad del oxígeno a la temperatura de operación	9.30	mg/lt
	C'O2	Concentración de oxígeno disuelto en el reactor	**1.50**	mg/lt
	F	Relación de solubilidades CsT/Cs20	1.01	
	m.s.n.m.	Altura sobre el nivel del mar	**1,450.00**	m.
		Diferencia de Temperatura	0.95	°C
	OTE =	%	24.054%	%

Requerimientos de aire bajo condiciones con la eficiencia de transferencia de difusores a 7m de sumergencia

Caudal aire=	2,194,580.36	m3/día
Caudal aire=	91,440.85	m3/h
Caudal aire=	1,524.01	m3/min
Caudal oxígeno=	611,480.32	Kg O2/día
Caudal aire=	53,852.09	Ft3/min. (SCFM)

Aire para Mezcla		0.98	Ft3/min. / m3
		10.03	m3/hr-m2

5.4.4 Sopladores

No. De Sopladores instalados		12.00	u
No. De Sopladores en operación		10.00	u
No. De Sopladores en reserva		2.00	u
Capacidad / equipo		219,458.04	m3/día
Capacidad / equipo		9,144.08	m3/h
		152.40	m3/min
		5,385.21	Ft3/min. (SCFM)
Potencia calculada			
Pw=[(w*R*To)/(8.41*n)]*[((P/Po)^0.283)-1]		2,228.49	KW
w	Flujo másico aire	30.51	kg/seg
R	Constante de los gases ideales	8.31	Kj/Kmol°K
8.41	constante para aire	8.41	Kg/Kmol
To	Temperatura de entrada	303.00	°K
Po	Presión de entrada en atm	0.95	atm
P	Presion de salida en atm	1.78	atm
n	eficiencia	0.80	**% (kaeser MP12000)**

P	Presion de salida en atm		
	Altura tirante agua	7.00	m
	Perdidas en tuberia	0.30	m
	Perdidas en accesorios	0.40	m
	Perdidas por difusores	0.30	m
	Perdidas por taponamiento de difusores y miscelaneos	**0.10**	m
	Total	8.10	m
	Presion de salida(8.1m +10.34m)/10.34m	1.78	atm

Potencia Sopladores		2,987.25	HP
Potencia Unitaria		298.73	HP
Potencia Seleccionada		300.00	HP
Equipo Seleccionado			
Tipo/modelo	Turbo	KAESER MP12000	
Motor		300 HP / 480 V / 60 HZ / 3 F	
		(Seleccionado directamente por fabricante)	

5.4.5 Difusores

SOR	6,128.54	Kg O2/h
Aire total / N Reactores	53,852.09	scfm
	13,463.02	Nm3/hr
	85,301.42	Nm3/h
Rango de flujo de aire	50 - 215	Nm3/h
Valor de diseño - promedio de Zonas	85.00	Nm3/h
Número de Panel Eflex-Invent SMB30	1,003.55	u
Número propuestos - diseño / 4 Reactores	1,100.00	u
Panel Eflex-Invent / Reactor	275.00	u
Dimensiones Pane Eflex SMB30	2.99 m L x 1.53 m	m
Densidad del Panel SMB30 (área de cobertura)	4.50	m2
OTR resultante / Panel Eflex SMB30	5.57	Kg/h
	1.02	Lb O2/h - mem
	12.27	Lb O2/h - E flex
Diámetro de la membrana	30.00	mm
Espesor de la membrana	> 1.7	mm
Numero de membranas / Eflex SMB30	12.00	u
Total de membranas / Reactor	3,300.00	u
Flujo promedio / membrana	12.92	Nm3/h-mem

6.0 CLARIFICACION SECUNDARIA

6.1 CLARIFICADORES SECUNDARIOS

ETAPA: EL LICOR MEZCLA DEL REACTOR DE LODOS ACTIVADOS, PASA A GRAVEDAD A UN CLARIFICADOR SECUNDARIO, DONDE LOS LODOS SEDIMENTAN A GRAVEDAD Y EXTRAÍDOS MEDIANTE UN SISTEMA DE RASTRAS QUE CONDUCEN EL LODO RADIALMENTE A UNA TOLVA CENTRAL, PARA POSTERIORMENTE CON UNA BOMBA CENTRIFUGA SER INCORPORADOS A LA CABEZA DEL ANAERÓBICO

Número / N Clarificadores	4.00	u
Tipo	Circular de Concreto	
Dimensiones base recta - losa de fondo	**54 m Diámetro x 5.0 m H2O**	
Tipo Rastra / succión	Tornamesa central - sistema COP	
Motor de la rastra	1.5 HP / 460 V / 60 HZ / 3F	

6.1.1 Base de diseño

Carga Hidráulica Superficial	Q medio	16.0 - 30.0	m3/m2-d
	Qmax	40.0 - 64.0	m3/m2-d
Indice de Lodos		62.50	ml/g-ms

SSLM - diseño			4.00	Kg./m3
Volumen de Lodos			250.00	ml/L
Caudal promedio			637.50	l/s
			55,080.00	m3/d
			2,295.00	m3/h
Caudal máximo ordinario			893.11	l/s
			3,215.19	m3/h
Carga hidráulica propuesta			1.00	m/h
			24.00	m3/m2-d
Area resultante total / clarificador			2,295.00	m2
Diámetro resultante			54.06	m
Area propuesta / diseño - clarificador			2,295.00	m2
Altura de agua			5.00	m
Volumen / Clarificador			11,475.00	m3
TRH		Q medio	5.00	h
		Q máximo - 4 hr	3.57	h
Carga Hidráulica Superficial / diseño		Q medio	24.00	m3/m2-d
Carga hidráulica superficial máxima		Q máximo - 4 hr	33.62	m3/m2-d

6.1.2 Estimación de la tasa de recirculación

Tasa de recirculación		convencional	0.25 - 1.0 Qm	
Caudal de alimentación / Clarificador		Q medio	637.50	l/s
		Q medio	55,080.00	m3/d
		SSLM	4,000.00	mg/l
		SSRAS	**8,500.00**	mg/l
SSLM (Q + Qr) = SSRAS Qr		Qr / Q =	0.89	
Caudal de recirculación / Clarificador			48,960.00	m3/d
Caudal de recirculación - propuesto diseño (0.89 Q)			566.67	l/s
Carga de sólidos - Lodos Activados remoción nutrientes en el modelo A2/O			5.0 - 8.0	Kg. SST/m2-h
Nota: Basado en la Table 8.7 Typical design information for secondary clarifiers for the activated sludge process.				
Carga másica de sólidos / Clarificador			17,340.00	Kg. SST/h
Carga de sólidos resultante / clarificador		Q medio	1.89	Kg. SST/m2-h
Carga de sólidos resultante / clarificador (20 - 150kg SST/m2*d)			45.33	Kg. SST/m2-d

6.1.3 Bomba de recirculación de lodos -RAS-

Número de equipos en operación			4.00	u
Número total de equipos instalados		2 bombas / clarificador	8.00	u
		1 de reserva común	1.00	u

Tipo			Sumegible de cárcamo seco - Flygh
Tipo			Cárcamo seco - Flygh mod. Z34-00
Potencia - fabricante			40.0 HP / 460 V / 60 Hz / 3 F
Caudal recirculación		2,266.67	l/s
Caudal / clarificador		566.67	l/s
Caudal / bomba o tren de lodos activados		566.67	l/s
Carga hidráulica estimada + caida de presión + viscosidad de lodos al 0.85%		3.50	m
Presión descarga		0.35	Kg/cm2
Potencia consumida		36.32	HP
Potencia propuesta		40.00	HP

6.1.4 Bomba de recirculación interna -zona anóxica-

Número de equipos en operación		4.00	u
Número total de equipos adquiridos	1 bomba recirculación interna / Tren	5.00	u
	Reserva en Almacen	1.00	u
Tipo			Propela - Flygh PP-4680
Potencia - fabricante			60.0 HP / 460 V / 60 Hz / 3 F
Caudal licor mezcla al 0.4% - diseño / tren anóxico		2,418.14	l/s
Carga hidráulica estimada + caida de presión		1.10	m
Presión descarga		0.11	Kg/cm2
Potencia consumida		48.71	HP
Potencia propuesta		60.00	HP

6.1.5 Bomba de purga de lodos

Número de equipos adquiridos		6.00	u
Número total de equipos	Operación de 1 bomba / clarificador	4.00	u
	Stand-by	1.00	u
	Reserva en Almacen	1.00	u
Tipo			Sumegible - Flygh NZ3120
Potencia			5 HP / 460 V / 60 Hz / 3 F
Caudal lodos al 0.85% - diseño		4,305.14	m3/d
		49.83	l/s
Caudal / bomba		12.46	l/s
Tiempo de operación / d		20.00	h/d
Caudal / bomba - 20 h/d		14.95	l/s
Carga hidráulica estimada + caida de presión		11.00	m

Presión descarga	1.10	Kg/cm2
Potencia consumida	3.07	HP
Potencia propuesta	5.00	HP

7.0 FILTRACIÓN TERCIARIA

ETAPA: EL EFLUENTE TRATADO DE LOS CLARIFICADORES CIRCULARES, PASA A GRAVEDAD A UNA BATERIA DE DISC FILTERS HUBER PARA EL PULIMIENTO FINAL DEL EFLUENTE FINAL.

7.1 BATERIA DE FILTROS ROTATORIOS

Caudal de entrada		2,550.00	LPS
Corrientes eliminadas (Volumen de lodo destruido y secado)+ (vol. Basura y arena)		3.52	LPS
Número de equipos		**13.00**	u
Número total de equipos	Operación	**12.00**	u
	Reserva en Almace	1.00	u
Tipo - Micro Screen RoDisc		Disco Rotatorio de 10 micras	
		RoDisc 16 - HUBER	
Potencia RoDisc		1.5 HP / 460 V / 60 Hz / 3 F	
Gasto / RoDisc		225.00	l/s
Caudal / N-1 RoDisc		2,700.00	l/s
Caudal rechazo		0.03	
		81.00	l/s
Concentración máxima SST	Entrada	20.00	mg/l
	Salida	4.00	mg/l
SST removidos		16.00	mg/l
Eficiencia remoción SST		0.80	
Carga SST		3,732.48	Kg SST/d
Conc. SST rechazo		533.33	mg/l
destino		Primario	
Eficiencia remoción Coliformes Fecales		0.80	

CLIENTE:	CEA JALISCO	ELABORO :	HSR/JARO/RSE
INFORMES:	**C5 PTAR OSORIO (PARQUE SANTIAGO 2550LPS)**	REVISION :	C
PTAR:	PTAR PARQUE SANTIAGO 3 CUENCAS (SAN ANDRÉS-OSORIO-SAN GASPAR),	APROBO :	
CAPACIDAD:	**2,550 LPS (220,320 M3/d)**	FECHA :	20-dic-25

	Coliformes Fecales	Entrada	7,000,000.00	NMP/100 ml
		Salida	1,400,000.00	NMP/100 ml
	Malla		10.00	mm
	No. Discos		16.00	u
	Diam. Disco		2.24	m
	Platos / Disco		24.00	u
	Total Platos @ 2,700 l/s		288.00	u
	Area de Filtración / Disco		5.60	m2
	Area / RoDisc		89.60	m2
	Area Total / N RoDisc		1,075.20	m2
	CHS		216.96	m3/m2-d
	Dimensiones RoDisc			
	Ancho total / RoDisc		2.25	m
	Altura RoDisc		2.44	m
	Largo RoDisc		6.11	m
	Ancho requerido / RoDisc		3.10	m
	Dimensiones Ancho de Bateria RoDisc		40.30	m
	Largo de Bateria		7.00	m
	Altura propuesta		4.00	m
			40.3 m A x 7.0 m L x 4.0 m H	
	Canal de alimentación		40.3 m A x 2.0 m L x 4.0 m H	

7.2 BOMBAS DE BACKWASH

	Número		13.00	u
	Equipos	Operación	12.00	u
		Reserva	1.00	u
	Tipo		Multietapa - Grundfos	
	Motor		10.0 HP / 220 V / 60 Hz / 3 F	
	Modelo		MTR-20-16/7	
	Caudal sol´n requerida		4.60	l/s
	Presión de lavado		7.5 - 8.0	Kg/cm2
	Tiempo de operación		0.25	
	Potencia consumida - retrolavado (backwash)		1.87	KWh

8.0 DESINFECCIÓN

ETAPA: EL EFLUENTE TRATADO DE LOS CLARIFICADORES CIRCULARES Y FILTROS DE DISCO, PASA POR GRAVEDAD A LOS CANALES UV

8.1 RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Efluente de filtros de disco cumple SST ≤ 12 mg/L			
Caudal: 2 550 L/s (220,320 m^3/d) – 4 canales idénticos en paralelo		2,550.00	lps
Calidad del efluente secundario			
Parámetro	Valor de diseño		
SST	≤ 12 mg/L	12.00	mg/L
Transmitancia UV (%T254 nm)	62 % (valor seguro)	0.62	%
Coliformes fecales entrada	$10^6 – 10^7$ NMP/100 mL	1,400,000.00	NMP/100 mL
Dosis UV requerida	40 mJ/cm^2 (reducción 4-log)	40.00	40 mJ/cm^2

8.1.1 Criterios de diseño

Dosis de diseño = 40 mJ/cm^2	40.00	mJ/cm^2
Tecnología: lámparas de amalgama de baja presión alta intensidad		
Profundidad útil de agua en canal: 1,00 m		
Velocidad máxima en canal: ≤ 0,50 m/s		

8.1.2. Dimensionamiento del equipo UV

Capacidad por lámpara 600W (40mj/cm2)	0.16 KW / LPS	3.75	LPS
Lamparas necesarias		680.00	Lamparas
Parámetro	Cálculo / Valor adoptado		
Transmitancia UV promedio	0.62	0.62	
Dosis de diseño	40 mJ/cm^2	40.00	mj/cm2
Número de bancos UV por canal	2 bancos en serie (redundancia)	8.00	Bancos
Número de módulos por banco	10 módulos de 12 lámparas c/u	120.00	lámp/banco
Potencia unitaria lámpara amalgama	600 W (eléctrica)	600.00	W
Potencia eléctrica por banco	120 × 600 W × 1.15 (balastos)	82.80	KW

Potencia instalada total (8 bancos)	8bancos × 120lamp * 0.6KW	576.00	KW
Lamparas instaladas	8 bancos instalados	960.00	Lamparas
Lamparas activas	6 bancos activos (3 canales)	720.00	Lamparas
Potencia operativa normal (caudal medio)	6 bancos activos	432.00	KW
Lamparas instaladas		960.00	lámparas
Lamparas operativas		720.00	lámparas

8.1.3 Configuración final del sistema UV

Ítem	Especificación final
Número de canales UV	4.00 canales independientes
Bancos UV instalados	8.00 (2 por canal)
Número total de lámparas	960.00 lámparas amalgama 600 W
Potencia eléctrica instalada	576.00 KW
Potencia eléctrica en operación normal	432.00 KW
Limpieza automática	Sistema mecánico-químico (ácido cítrico)
Control	Modulante 30 – 100 % + encendido/apagado automático por caudalímetro
Dosis UV garantizada (EOL)	≥ 40 mJ/cm² a 2,550 L/s y 62 % T
Coliformes fecales en salida	≤ 200 NMP/100 mL (cumple NOM-001 y NOM-003)
Vida util lámparas	16,000.00 h

8.1.4 Dimensiones de los canales UV

Caudal por canal: 725 L/s (0.725 m³/s).	637.50	LPS
Profundidad útil: 1.00 m.	1.00	m
Velocidad máxima: 0.50 m/s.	0.50	m/s
Ancho del canal: 0.725 / (1.00 × 0.50) = 1.45 m.	1.45	m
Altura total del canal: 2.00 m (1.00 m agua + 0.50 m bordo libre + 0.50 m fondo).	2.00	m
Longitud total del canal: 15 m (zona activa UV 10 m con 2 bancos en serie ajustados).	15.00	m

8.2 GENERACIÓN Y DIFUSIÓN DE OZONO

8.2.1 Bases de diseño

Efluente de filtros de disco cumple SST ≤ 12 mg/L		
Caudal: 2 550 L/s (220,320 m³/d) – 4 canales idénticos en paralelo	2,550.00	lps
Altura tirante de agua en camaras de contacto de ozono (4.6m-6m Mecalf&Eddie)	5.50	m

Número de camaras de contacto de ozono			5.00	unidades
Tiempo de retención de la primera cámara (2min-4min)			3.00	min
Volumen de la primera cámara			459.00	m3
Tiempo de retención de la segunda a quinta cámaras de contacto			4.00	min c/u
Tiempo de retención de la segunda a quinta cámaras de contacto			16.00	min
Volumen de la segunda a quinta cuarta cámara de contacto			612.00	m3 c/u

8.2.2 Dosis administrada

Dosis O3 requerida O3d=(Qgas/Qmed)*([O3e]-[O3s])	(12-62) Metcalf		13.00	mg/L
ozono residual en tablas de pruebas Metcalf			10.30	mg/L
ozono perdido			21%	%

$$\frac{Q_g}{Q_l}(C_{g,in} - C_{g,out})$$

Qgas		18,595.47	L/min
Qgas		657.04	CFM
Qmed		153,000.00	L/min
[O3e]		135.00	mg/L
[O3s]		28.04	mg/L

8.2.3 Equipo generador O3 seleccionado

Producción de ozono Equipo modelo CH-DA-30Y		30.00	Kg O3/h
Necesidad de ozono efluente secundario (dosis 13mg/L)		119.34	Kg O3/h
Numero de equipos necesarios en teoría (factor de seguridad 1.3)		5.17	
Alimentación y entrega de Aire (datos fabricante)		250.00	Nm3/h
		147.25	CFM
Alimentación y entrega de aire equipos necesarios		761.49	CFM
Deficit o superavit con cálculo de aire requerido		104.45	CFM
Equipos en Operación		**5.00**	u
Equipos en reserva		**1.00**	u
Uso de energía de los equipos de generación de O3	7 Kwh/kgO3	1,050.00	KW firmes

8.2.4 Necesidades de O2

Requerimientos de O2 para generación de O3, 3O2 ->2O3, eficiencia 10%		10.00	Kg O2/Kg O3h
Necesidad de ozono efluente secundario (dosis 13mg/L)		119.34	Kg O3/h
Necesidad de oxígeno		1,193.40	Kg/h
Necesidad de oxígeno		28,641.60	Kg/d
Necesidad de oxígeno		200.49	TON / semana
Capacidad másica de un tanque de 100m3 de oxígeno líquido		110.00	TON
Numero de tanques para suministro semanal		2	u
Capacidad del equipo de separación por criogenia		802	Ton /mes
Utilización de energía		350	kW/tonO2

Utilización de energía			9,356	kWh/d
Utilización de energía			390	kW firmes

8.2.4 Equipo de aireación

Potencia requerida para aire difusión

Potencia calculada

Pw=[(w*R*To)/(8.41*n)]*[((P/Po)^0.283)-1] 27.54 KW

w	Flujo másico aire	0.42	kg/seg
R	Constante de los gases ideales	8.31	Kj/KmolºK
8.41	constante para aire	8.41	Kg/Kmol
To	Temperatura de entrada	303.00	ºK
Po	Presión de entrada en atm	0.95	atm
P	Presion de salida en atm	1.69	atm
n	eficiencia	0.80	**% (kaeser)**

P Presion de salida en atm

Altura tirante agua	6.00	m
Perdidas en tuberia	0.30	m
Perdidas en accesorios	0.40	m
Perdidas por difusores	0.30	m
Perdidas por taponamiento de difusores y miscelaneos	**0.10**	m
Total	7.10	m
Presion de salida	1.69	atm

Potencia Sopladores		36.92	HP
Potencia Unitaria		36.92	HP
Potencia Seleccionada		**40.00**	HP
Equipo Seleccionado			
Tipo/modelo	lobular	KAESER	
Motor		40 HP / 480 V / 60 HZ / 3 F	

8.2.5 Difusores

Aire total	761.49	scfm
	190.37	Nm3/hr
	1,206.19	Nm3/h
Rango de flujo de aire	50 - 215	Nm3/h
Valor de diseño - promedio de Zonas	85.00	Nm3/h
Número de Panel Eflex-Invent SMB30	14.19	u
Número propuestos - diseño	16.00	u

CLIENTE:	CEA JALISCO	ELABORO :	HSR/JARO/RSE
INFORMES:	**C5 PTAR OSORIO (PARQUE SANTIAGO 2550LPS)**	REVISION :	C
PTAR:	PTAR PARQUE SANTIAGO 3 CUENCAS (SAN ANDRÉS-OSORIO-SAN GASPAR),	APROBO :	
CAPACIDAD:	**2,550 LPS (220,320 M3/d)**	FECHA :	20-dic-25

Dimensiones Pane Eflex SMB30			2.99 m L x 1.53 m	m
Densidad del Panel SMB30 (área de cobertura)			4.50	m2
OTR resultante / Panel Eflex SMB30			0.00	Kg/h
			0.00	Lb O2/h - mem
			0.00	Lb O2/h - E flex
Diámetro de la membrana			30.00	mm
Espesor de la membrana			> 1.7	mm
Numero de membranas / Eflex SMB30			12.00	u
Total de membranas			192.00	u
Flujo promedio / membrana			3.14	Nm3/h-mem

8.2.6 Verificación de tiempo de contacto vs reducción de patógenos

Cryptosporidium (más recalcitrante que e.colli)	reduccion requerida		2	log
	CT con ozono para 2log 8-8.5			mg*min/L
	ozono residual 2da camara 4*e^-.116*t		2.52	mg/L
	ozono residual 3er camara 4*e^-.116*t		1.58	mg/L
	ozono residual 4ta camara 4*e^-.116*t		0.99	mg/L
	ozono residual 5ta camara 4*e^-.116*t		0.63	mg/L
reduccion de patogenos		CT=	13.72	mg*min/L
log(Ne/Ns)=-Λ*CT	Coeficiente de letalidad para Cryptosporidium Λ		0.26	L/mg
	reducción de patogenos		**3.51**	**Log ok> 2log**

9. TRATAMIENTO DE LODOS

ETAPA: LOS LODOS DE CLARIFICADORES PRIMARIOS (LODO CRUDO) Y SECUNDARIOS, SON BOMBEADOS AL TANQUE DE LODOS MIXTOS , SE ENVIARÁN A LOS DIGESTORES EN DONDE 50% SERÁN DESTRUIDOS Y 50% SE ENVIARAN AL TANQUE DE LODOS DIGERIDOS PARA SU POSTERIOR DESAGUADO Y ENVÍO A PIRÓLISIS DE LODOS

9.1 ESPESADORES SECUNDARIOS

9.1.1 Producción de lodo excedente

Producción neta diaria de lodo biológico excedente	37,691.46	Kg SS/d
Caudal de lodo excedente a espesar (lodo secundario seccion 5.3.7)	4,305.14	m3/d
Masa de lodo a espesar	37,691.46	Kg SS/d
Concentración de lodo en entrada a espesadores = 0,85 % SS (8 500 mg/L)	0.85%	
Caudal de lodo espesado	753.83	m3/d

9.1.2 Equipo espesador VT series VT303

Potencia equipo	4.45	KW
Capacidad para espesar desde 0.85% a 5%	90.00	m3/h
Caudal a espesar	4,305.14	m3/d
Caudal a espesar	179.38	m3/h
Equipos necesarios en operación 24/7	1.99	equipos
Equipos necesarios a medio turno 12h / d	**3.99**	equipos
Captura de sólidos	**95%**	%
Dósis de polímero	**4.00**	gr/ Kg SS
Dósis de polímero	**4.52**	TON/mes
Consumo de polímero por hora	6.28	Kg/h
Concentración de polímero	0.20%	%
Solución de polímero al 0.2%/h	3,140.95	Kg/h
Solución de polímero al 0.2%/h	3.13	m3/h
Preparador de polímero Volute AF-70SG	1.35	m3/h
unidades necesarias 24/7	2.32	u
unidades necesarias 12/7	4.63	u
Unidades seleccionadas	**5.00**	u
Potencia de operación por equipo	**0.70**	kw
Potencia de operación 5 equipos	3.50	kw
Consumo energético diario	42.00	KWh/d
Sistema de mezcla	En linea Huber IPM	
Potencia sistema de mezcla	**3.00**	KW
Unidades	**4.00**	u
Consumo energético diario	144.00	KWh/d

9.1.3. Resumen final – Espesadores de lodos secundarios

Espesadores instalados	**5.00**	u
Espesadores en operación	**4.00**	u
Equipos en reserva	**1.00**	equipos
Caudal de lodo alimentado	4,305.14	m3/d
Masa de lodo alimentado	37,691.46	Kg SS/d
Captura de sólidos	0.95	
Caudal de salida lodo espesado	716.14	m3/d
Masa de lodo espesado	35,806.89	Kg SS/d
Corriente a incorporar a primario	3,589.00	m3/d

Corriente a incorporar a primario	41.54 LPS
Concentración de salida	50 000 mg/L (5 % SS)

9.2 TANQUES DE LODOS MIXTOS Y DIGERIDOS

9.2.1 Producción de lodo primario y secundario

Origen	
Sedimentadores primarios	53,783.64 kg SS/día remov
Espesadores secundarios (espesado)	35,806.89 kg SS/día remov
Tiempo de retención en tanques: 4 h.	4.00 h
Sedimentadores primarios	3% % sólidos en lodo
Espesadores secundarios (espesado)	5% % sólidos en lodo

9.2.2 Volúmenes de los tanques de lodos mixtos y digeridos

CAUDAL LODOS PRIMARIOS	1,792.79 M3/d
CAUDAL LODOS SECUNDARIOS A ESPESADORES	4,305.14 M3/d
CAUDAL ESPESADORES SECUNDARIOS	716.14 M3/d
CAUDAL A TANQUE DE LODOS MIXTOS	2,508.93 M3/D
TR	4.00 H
VOLUMEN TANQUE LODOS MIXTOS	418.15 M3
Bombas de extracción lodo espesado:	3 bombas de cavidad progresiva (2 en servicio + 1 reserva)
CAUDAL A TANQUE DE LODOS DIGERIDOS	2,483.43 M3/d
TRH	4.00 H
VOLUMEN TANQUE LODOS DIGERIDOS	413.90 M3
Bombas de extracción lodo espesado:	3 bombas de cavidad progresiva (2 en servicio + 1 reserva)

9.2.3 Bombas de extracción de lodos mixtos

Número		3.00 u
Equipos	Operación	2.00 u

	Reserva	1.00	u
Tipo		Netzsch - Cavidad Progresiva	
Motor		15 HP / 480 V / 60 Hz / 3 F	
Modelo		NM105POR	
Caudal de lodo diario		2,508.93	M3/d
Caudal de lodo diario		29.04	LPS
Destino de los lodos		Digestores	
Horas de operación		12.00	h
Caudal requerido		58.08	LPS
Caudal requerido		209.08	m3/h
Caudal requerido por bomba Caudal/(factor seguridad 1.5)		38.72	lps
Capacidad de las dos bombas		77.44	lps
cdt		17.00	m
POTENCIA CALCULADA POR BOMBA		13.61	hp
Tiempo de operación		12.00	h
Energía consumida		244.97	KWh/d

9.2.4 Bombas de extracción de lodos digeridos

Número		3.00	u
Equipos	Operación	2.00	u
	Reserva	1.00	u
Tipo		Netzsch - Cavidad Progresiva	
Motor		15 HP / 480 V / 60 Hz / 3 F	
Modelo		NM105 POR	
Caudal de lodo diario		2,483.43	M3/d
Caudal de lodo diario		28.74	LPS
Destino de los lodos		Desague	
Horas de operación		12.00	h
Caudal requerido		57.49	LPS
Caudal requerido		206.95	m3/h
Caudal requerido por bomba Caudal/(factor seguridad 1.5)		38.32	lps
Capacidad de las dos bombas		76.65	lps
cdt		12.00	m
POTENCIA CALCULADA POR BOMBA		9.51	hp
Tiempo de operación		12.00	h
Energía consumida		171.16	KWh/d

CLIENTE:	CEA JALISCO	ELABORO :	HSR/JARO/RSE
INFORMES:	**C5 PTAR OSORIO (PARQUE SANTIAGO 2550LPS)**	REVISION :	C
PTAR:	PTAR PARQUE SANTIAGO 3 CUENCAS (SAN ANDRÉS-OSORIO-SAN GASPAR),	APROBO :	
CAPACIDAD:	**2,550 LPS (220,320 M3/d)**	FECHA :	20-dic-25

9.2.5 Agitación para el tanque de lodos mixtos

Número		2.00 u
Equipos	Operación	1.00 u
	Reserva	1.00 u
Tipo de agitador		Agitador compacto Flygt 4650
Potencia		5.00 KW
Intensidad de agitación		0.012 Kw/m3

9.2.6 Agitación para el tanque de lodos digeridos

Número		2.00 u
Equipos	Operación	1.00 u
	Reserva	1.00 u
Tipo de agitador		Agitador compacto Flygt 4650
Potencia		5.00 KW
Intensidad de agitación		0.012 Kw/m3

9.3 DIGESTORES ANAERÓBICOS

9.3.1. Producción y características del lodo alimentado

Origen del lodo	
Masa lodo primario	53,783.64 kg SS/d
Masa lodo secundario espesado	35,806.89 kg SS/d
Volumen de ldoos	2,508.93 m3/d
% sólidos Lodo primario	0.03 kg SS/d
%sólidos lodo secundario espesado	0.05 kg SS/d
MASA TOTAL ALIMENTADO	89,590.52 kg SS/d
% DE SÓLIDOS TOTAL ALIMENTADO	3.80% %

9.3.2. Criterios de diseño (mesofílico 35–36 °C)

Tiempo de retención hidráulica mínimo: 20 días

TRH adoptado: 22 días (seguridad operacional)

Carga volumétrica máxima permitida: 2.8 kg SV/m^3·d

% volátiles del lodo alimentado: 74 % promedio

Reducción de SV esperada: 50 %

Rendimiento de biogás adoptado: 0.74 m^3 biogás / kg SV destruido ← valor muy conservador

CLIENTE:	CEA JALISCO	ELABORO :	HSR/JARO/RSE
INFORMES:	**C5 PTAR OSORIO (PARQUE SANTIAGO 2550LPS)**	REVISION :	C
PTAR:	PTAR PARQUE SANTIAGO 3 CUENCAS (SAN ANDRÉS-OSORIO-SAN GASPAR),	APROBO :	
CAPACIDAD:	**2,550 LPS (220,320 M3/d)**	FECHA :	20-dic-25

9.3.3 Cálculo de volumen requerido

Concepto		
Sólidos alimentados	89,590.52	kg SS
Sólidos no volátiles alimentados	26,877.16	kg
Sólidos volátiles alimentados	62,713.37	kg SV/d
Volumen por carga volumétrica	22,397.63	m3
Volumen por TRH 22 días	55,196.36	m3
Criterio restrictivo	TRH	
Volumen útil total adoptado	55,196.36	m3

9.3.4. Dimensiones finales adoptadas

Ítem	Valor por unidad	unidad
Tipo	Cilíndrico techo fi	—
Unidades	6.00	unidad
Diámetro	30.02	m
Altura útil de lodo	**13.00**	m
Altura total interna	14.50	m
Volumen útil unitario (m3)	9,199.39	m3
Volumen total (m3)	55,196.36	m3
Relación H/D	1 : 3	—

9.3.5 Sistema de mezcla — 10 lanzas de gas + cañón central

Potencia de mezcla instalada paramétrica	0.005 kW/m^3 →	275.98	KW
Cadual de gas para mezcla	(Rango 0.004-0.007m3 biogás/min*m3 digestor)	0.005	m3/min*m3
Cadual de gas para mezcla		4.60	m3/min
Cadual de gas para mezcla		9,744.92	CFM
Presión de entrada (Pe)		85,100.00	Pascales
Presion de salida (Ps)		185,100.00	Pascales
Potencia de mezcla calculada	(P=(k/(k-1)*(Q*Pe)*[(Ps/Pe)^((k-1)/k)-1] / eficiencia		

k biogas= 1.3 Ps/Pe 2.175088132 Q*Pe 391434.2124 — 391.94 KW potencia compresor

Fuente ecuación: Ecuación estándar para cálculo de compresores

9.3.5b Sistema de mezcla (opcion b) — 10 lanzas de gas + cañón central

Potencia de mezcla instalada paramétrica	0.005 kW/m^3 →	46.00	KW
Tipo de agitador		Agitador Flygt	
Potencia		15.00	KW
unidades por digestor		3.066	unidades

9.3.6 Calefacción (c)

Intercambiadores externos espiral

#	Concepto	Notas / Suposiciones clave		
c1	Volumen del digestor		9,199.39	m^3
c2	Temperatura de operación (mesofílica)	Estándar para digestores mesofílicos	**35.00**	°C
c3	Temperatura menos favorable, promedios reportados			

Estación aeropuerto	Diciembre	Enero	Febrero	PROMEDIO
Temperatura promedio	17 °C	15 °C	18 °C	16.7
Estación CUCEI	Diciembre	Enero	Febrero	PROMEDIO
Temperatura promedio	18 °C	17 °C	19 °C	18

c3	Temperatura ambiente promedio	menos favorable Guadalajara, Jal			17.33	°C
c4	Diferencia de temperatura (ΔT)	35 – 20.95 °C			17.67	°C
c5	Área superficial total estimada	digestor: diámetro			2,075.00	m^2
	diámetro 30.02	m	altura	14.50 m		
c6	Coeficiente de transmisión térmica (U)	Aislamiento estándar rango literatura: 0.6–0.8 $W/m^2 \cdot K$			**0.70**	$W/(m^2 \cdot K)$
	Fuente: Tabla 13-35 Metcalf					
c7	Potencia de pérdidas térmicas (Q)	$Q = U \times A \times \Delta T$			25.66	kW
c8	Energía diaria para compensar pérdidas	Potencia × 24 h			615.86	kWh/día
c9	Energía mensual aproximada (30 días)	Energía diaria × 30			18,475.81	kWh/mes
c10	Potencia firme necesaria por digestor	P/0.8			32.08	KW
c11	Potencia firme necesaria digestores	6.00 digestores			192.46	KW

9.3.7. Verificación de parámetros

Parámetro	Límite diseño		
TRH	≥ 20 días	22.00	días
Carga volumétrica SV	≤ 2.8	1.91	$kg\ SV/m^3 \cdot d$

9.3.8. Producción de biogás

Concepto	Cálculo		
SV alimentados	X × 0.74 =	66,296.99	kg SV/d
SV destruidos (50 %)	X × 0.50 =	33,148.49	kg SV/d
Biogás producido	X× 0.74 m^3/kg =	24,364.14	m^3/d
Metano (64 % típico)	X × 0.64 =	15,593.05	$m^3\ CH_4/d$

9.3.9. Resumen final – Digestores anaeróbicos mesofílicos

Descripción			
Número de digestores		6.00	u
Diámetro unitario		30.02	m
Volumen útil total		55,196.36	m^3
TRH		22.00	d
Carga volumétrica		1.91	kg SV/m^3·d
Biogás producido		24,364.14	25,400 m^3/d (64 % CH_4)
Caudal de lodos mixtos entrada		2,508.93	m3/d
Caudal de lodos digeridos salida	(Qentrada -(Kg Destrucción SV/densidad sólidos)	2,483.43	m3/d
Sólidos de entrada	(Primarios + Secundarios)	89,590.52	Kg SS
Sólidos destruídos		33,148.49	Kg SS
Sólidos de Salida	(S.entrada-S.destruidos)	56,442.03	Kg SS

9.3.10 Almacenamiento de Biogás

Se instalará una membrana doble (Gas Holder) para almacenar biogás y enviarlo a lavado de gases

Características del Gas Holder

Parámetro	Notas / Cálculo	
Producción diaria de biogás	Dato de partida	24,364.14 m^3/día
Producción horaria	X / 24	1,015.17 m^3/h
Volumen útil requerido	4 horas de retención	4,060.69 m^3
Configuración	Doble membrana para biogás crudo	1 gas holder independiente (forma 3/4 esfera)
Diámetro aproximado	Basado en factor 50% hemisferio: r = (3V/π)^{1/3}	31.42 m
Altura total aproximada	Incluye base concreta 0,5-1 m	25.14 m
Presión de operación (gas)	Baja presión	5-50 mbar
Presión aire entre membranas	Mantenida por sopladores	2-5 mbar superior
Material membranas	Resistente UV, H_2S (hasta 8,000 ppm)	Tejido poliéster + PVC/PVDF
Vida útil estimada	Con mantenimiento	15-20 años
Componentes de seguridad		Válvulas sobre/subpresión, detectores CH_4, medición nivel ultrasónica Incluye PLC y sopladores duty/standby
Cargas externas		Viento, nieve, sismos (según normas locales)

10. LAVADO DE GASES

Objetivo: Eliminar la mayor cantidad posible de CO_2 y H_2S del biogás producido por los 6 digestores anaeróbicos mesofílicos, para obtener un biometano con ≥ 97–98 % CH_4 (calidad red de gas natural o vehículo) y minimizar pérdidas de metano (< 0,5–1 %).

Equipos y características del lavado de gases

#	Parámetro / Etapa	Valor principal (aprox.)	Unidad / Notas principales
10.1	Biogás bruto producido	24,364.14	m^3/día
10.2	Contenido de CH_4 en biogás bruto	15,593.05	m^3 CH_4 / día (64 %)
10.3	Contenido de CO_2	8,040.17	m^3/día (33 %)
10.4	Contenido de H_2S (promedio)	92.58	Kg/d, Reducir a < 5 mg/Nm^3 final
10.5	Etapa 1: Pretratamiento (enfriamiento)	Condensado 3.0–3.4	m^3/h a 8–10 °C
10.6	Etapa 2: Desulfuración biológica (biofiltro)	Volumen 41–43 m^3	H_2S de 2,800 → < 200 mg/Nm^3
10.7	Etapa 3: Lavado con agua a presión	Presión 9–10 bar g	Torre Ø ≈ 1.6 m × 23–24 m
10.8	Caudal biogás a compresión (lavado)	1,103.00	Nm^3/h
10.9	Caudal agua de lavado	344–385	m^3/h
10.10	Consumo específico lavado + stripping	0.16–0.18	kWh/Nm^3 biogás
10.11	CH_4 después de lavado + flash + stripping	96.5–97.0 %	Pérdida en etapa ≈ 1.6–1.8 %
10.12	Etapa 4: Membranas de 3 etapas (polimida)	Presión 12–14 bar g	Recuperación CH_4 ≈ 99.5 % en esta etapa
10.13	Consumo específico membranas	0.07–0.09	kWh/Nm^3 biogás
10.14	Pérdida total de CH_4 (todo el proceso)	0.7–0.8 %	102–116 m^3 CH_4 perdido / día
10.15	Biometano final producido	15,125.26	m^3/día a ≥ 97.8 % CH_4
10.16	Consumo eléctrico total upgrading	7,796.53	kWh/día (0.31–0.32 kWh/Nm^3 biogás)

10.16	Consumo eléctrico total upgrading	324.86	kWh/ firmes
10.17	CO_2eq evitado (sustitución gas natural)	28.64	t CO_2eq / año
10.18	Superficie aproximada (fabricante)	600.00	m2

11. COGENERACIÓN BIOGÁS

#	Parámetro / Concepto	Valor principal (aprox.)	Unidad / Notas principales
11.1	Biogás diario producido	24,364.14	m^3/día
11.2	Contenido de metano	0.64	—
11.3	Caudal de metano	15,125.26	m^3 CH_4 / día
11.4	Poder calorífico del metano	9.70	kWh/m^3 CH_4
11.5	Energía térmica bruta diaria	146,715.02	kWh térmicos / día
11.6	Energía térmica útil al motor (95 % limpieza)	124,707.77	kWh térmicos / día
11.7	Rendimiento eléctrico neto seleccionado	42%	Motor de gas de combustión interna
11.8	Energía eléctrica bruta diaria	61,620.31	kWh eléctricos / día
11.9	Potencia eléctrica instalada total	2,805.00	kW (3 × 935 kW)
11.10	Número de motogeneradores	3 unidades	Jenbacher JMS 620 o equivalente
11.11	Potencia unitaria por motogenerador	935.00	kWe cada uno
11.12	Potencia firme (operación normal: 2 motores)	1,870.00	kW (2 + 1 reserva)
11.13	Generación eléctrica anual estimada	11.22	GWh/año (6,000 h /año)
11.14	Autoconsumo planta cubierto	62%	Consumo promedio planta 3000KW
11.15	Emisiones CO_2eq evitadas anuales	15,600 – 16,300	toneladas / año

12. DESAGÜE DE LODOS POR MEDIO DE TORNILLO DE VOLUTE

#	Parámetro / Concepto	Valor principal (aprox.)	Unidad / Notas principales
12.1	Caudal de lodo digerido de entrada	2,483.43	m^3/día
	Caudal por equipo	620.86	m^3/día
12.2	Caudal másico de lodo digerido de entrada (Q*densidad)	2,520.68	TON/día
12.3	Concentración de sólidos de entrada	2.3%	%
12.4	Sólidos base seca diarios (SS)	56,442.03	kg SS/d
12.5	Masa húmeda de entrada	2,520.68	TON/d
12.6	Sequedad objetivo final	20%	%SS Valor garantizado típico México
12.7	Masa de torta deseada (20 % SS)	282.21	TON torta/d
	VOLUMEN DE TORTA	243.28	M3 TORTA
	densidad del lodo	1.16	kg/L
12.9	Agua eliminada diaria	2,238.47	ton H_2O/d
12.10	Agua eliminada diaria a incorporar a primario	25.91	LPS
12.11	Destino de corriente de agua eliminada	tanque de captación e incorporación por gravedad a primario	
12.12	Reducción volumétrica aproximada	89%	Respecto al lodo líquido de entrada
12.12	Número de tornillos prensa instalados	5.00	4 operativos + 1 reserva
12.13	Modelo seleccionado	Volute ES-354	Tecnología tornillo prensa
12.14	Capacidad unitaria (SS)	1,040.00	kg SS/h por máquina
12.15	Capacidad total instalada	5,200.00	kg SS/h
12.16	Operación normal	4.00	máquinas simultáneas
12.17	Capacidad Operativa	4,160.00	kg SS/h
12.18	Total kg SS/Capacidad operativa	13.57	h/d
12.19	Horas de operación diaria	12.00	h/d
12.20	Horas de limpieza diarias	4.00	h/d
12.21	Potencia Unitaria	8.20	KW
12.22	Consumo eléctrico total instalación	393.60	kWh/d

12.23	Consumo de polímero catiónico (9kg/ton)	507.98	kg/día (dosis 9 kg/ton SS)
	Consumo de polímero por hora (operando 12h)	42.33	Kg/h
	Concentración de polímero	0.20%	%
	Solución de polímero al 0.2%/h	21,165.76	Kg/h
	Solución de polímero al 0.2%/h	21.08	m3/h
12.24	Preparador de polímero Volute Midi160-24	5.00	m3/h
	unidades necesarias 12/7	4.22	u
	Unidades seleccionadas	**5.00**	u
	Potencia de operación por equipo	**0.40**	kw
	Potencia de operación 5 equipos	2.00	kw
	Consumo energético diario	24.00	KWh/d
12.25	Sistema de mezcla	En linea Huber IPM	
	Potencia sistema de mezcla	3.00	KW
	Unidades	4.00	u
	Consumo energético diario	144.00	KWh/d

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

LOS PARAMETROS DE DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO, ESTAN BASADOS EN LA LITERATURA ESPECIALIZADA DEL WEF MANUAL MOP 8 - METCALF & EDDY FOURTH EDITION

13.1 METCALF & EDDY — WASTEWATER ENGINEERING / TREATMENT, DISPOSAL AND REUSE

a)	Average and maximum volume or coarse screenings collected per unit wastewater	Fig. 9.4	Pag. 453
b)	Typical design information for secondary clarifiers	Table 10-12	Pag. 588

13.2 WEF MANUAL MOP 8 — DESIGN OF MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS - FOURTH EDITION

a)	Volumes of course screenings as function of openings bars	Figure 9.7	Pag. 9-15
b)	Estimated grit quantities	Table 9.12	Pag. 9-36
c)	Clarifier overflow rate	Table 11.5	Pag. 11-106
d)	Design parameters for actived sludge process.	Table 11.7	Pag. 11-40
f)	Typical gravity thickening data for various types sludges	Table 20.1	Pag. 20-10
g)	Typical gravity belt thickening performance	Table 20.8	Pag. 20-81
h)	Typical hydraulic loading ranges for gravity belt thickeners	Table 20.9	Pag. 20-82
i)	Typical performance data for a belt filter press	Table 21.3	Pag. 21-24

13.3 WEF MANUAL MOP 8 — DESIGN OF MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS - FIFTH EDITION

a)	Kirshmer´s values of B	Table 11.2	Pag. 11-35
b)	Screens retention values (SRV) for various screens	Table 11.3	Pag. 11-39

c)	Aerated grit basin recommended design criteria	Table 11.4	Pag. 11-52
d)	Typical primary treatment removal rates	Table 12.1	Pag. 12-4
e)	Primary clarifier suspended solids removals versus overflow rates	Figure 12.6	Pag. 12-11
f)	Activated sludge kinetic coefficients for heterotrofic bacteria at 20°C	Table 14.5	Pag. 14-39
g)	Activated sludge nitrification kinetic coefficients at 20°C	Table 14.6	Pag. 14-44
h)	Net sludge production versus solids retention time and temperature	Figure 14.20	Pag. 14-53
i)	Typical design parameters for commonly used biological phosphorus removal	Table 14.10	Pag. 14-58
j)	Effect of anaerobic HRT on biological phosphorus removal	Figure 14.31	Pag. 14-67
k)	Monod kinetic coefficients	Table 14.16	Pag. 14-82
l)	Design od clarifiers secondary		Pag. 14-215

13.4 METCALF & EDDY WASTEWATER ENGINEERING / TREATMENT, DISPOSAL AND REUSE - FOURTH EDITION

a)	Quantities of screenings removed with course screens	Table 5-7	Pag. 329
b)	Quantities of screenings removed with fine bar	Table 5-8	Pag. 329
c)	Typical design information for aerated grit chambers	Table 5-15	Pag. 389

13.5 WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION SPECIAL PUBLICATION

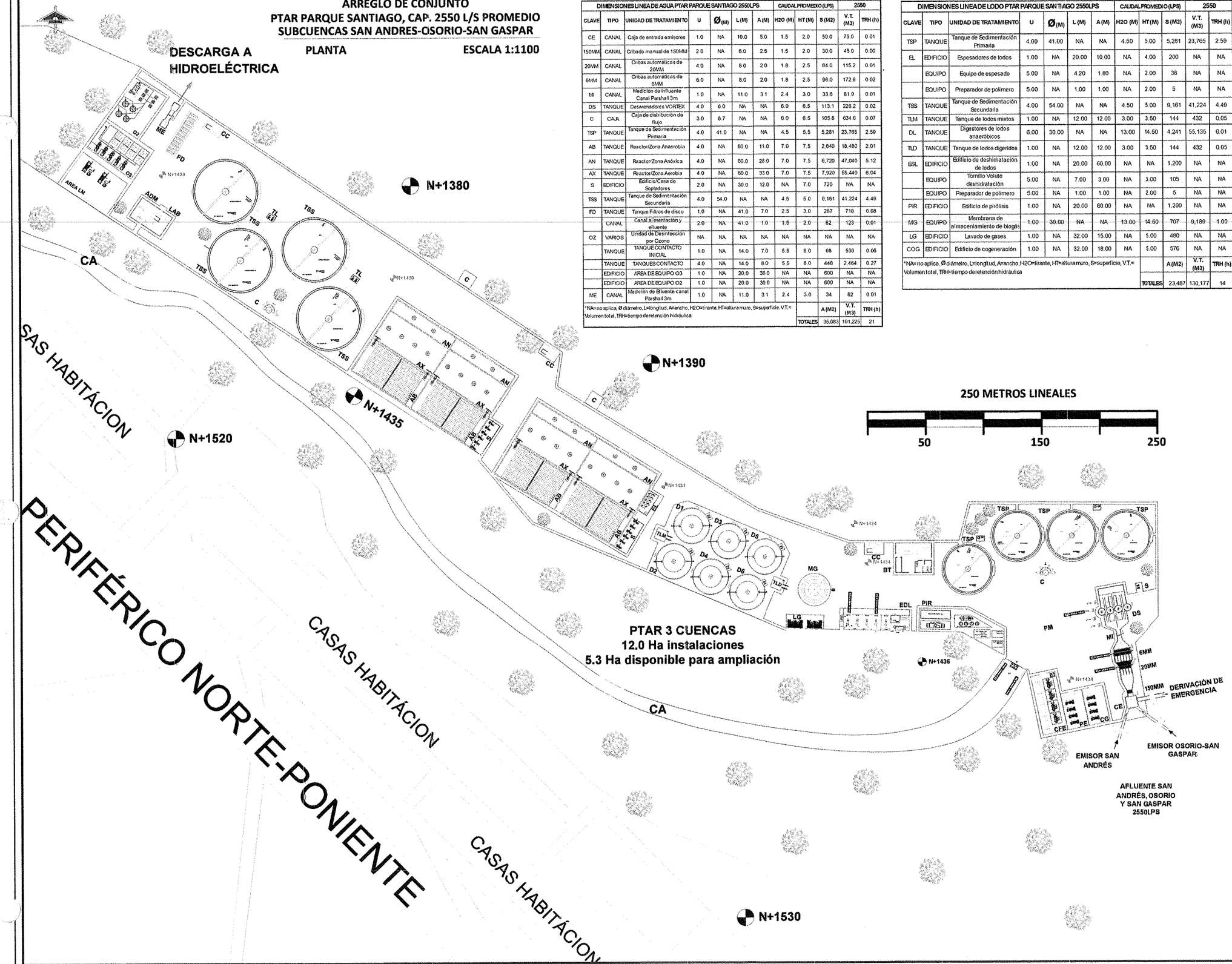
BIOLOGICAL AND CHEMICAL SYSTEM FOR NUTRIENT REMOVAL

13.6 AERATION: PRINCIPLES AND PRACTICE, WATER QUALITY MANAGEMENT, James A. Mueller/William C. Boyle, CRC PRESS

a)	Factors Affecting Oxygen Transfer	Pag. 21
b)	Oxygen Transfer Coefficient, Kla	Pag. 26
c)	Standard Oxygen Transfer Rate, SOTR	Pag. 33
	Standard Aeration Efficiency, SAE	Pag. 34

ARREGLO DE CONJUNTO
PTAR PARQUE SANTIAGO, CAP. 2550 L/S PROMEDIO
SUBCUENCAS SAN ANDRES-OSORIO-SAN GASPAR

PLANTA ESCALA 1:1100



DIMENSIONES TREN DE AGUA

DIMENSIONES LINEA DE AGUA PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS								CAUDAL PROMEDIO (LPS)		2550	
CLAVE	TIPO	UNIDAD DE TRATAMIENTO	U	Ø (M)	L (M)	A (M)	H2O (M)	HT (M)	S (M2)	V.T. (M3)	TRH (h)
CE	CANAL	Caja de entrada emisores	1.0	NA	10.0	5.0	1.5	2.0	50.0	75.0	0.01
150MM	CANAL	Cribado manual de 150MM	2.0	NA	6.0	2.5	1.5	2.0	30.0	45.0	0.00
20MM	CANAL	Cribas automáticas de 20MM	4.0	NA	8.0	2.0	1.8	2.5	64.0	115.2	0.01
6MM	CANAL	Cribas automáticas de 6MM	6.0	NA	8.0	2.0	1.8	2.5	96.0	172.8	0.02
MI	CANAL	Medición de influente Canal Parshall 3m	1.0	NA	11.0	3.1	2.4	3.0	33.6	81.9	0.01
DS	TANQUE	Desarenadores VORTEX	4.0	6.0	NA	NA	6.0	6.5	113.1	226.2	0.02
C	CAJA	Caja de distribución de flujo	3.0	6.7	NA	NA	6.0	6.5	105.8	634.6	0.07
TSP	TANQUE	Tanque de Sedimentación Primaria	4.0	41.0	NA	NA	4.5	5.5	5,281	23,765	2.59
AB	TANQUE	Reactor/Zona Anaerobia	4.0	NA	60.0	11.0	7.0	7.5	2,640	18,480	2.01
AN	TANQUE	Reactor/Zona Anóxica	4.0	NA	60.0	28.0	7.0	7.5	6,720	47,040	5.12
AX	TANQUE	Reactor/Zona Aerobia	4.0	NA	60.0	33.0	7.0	7.5	7,920	55,440	6.04
S	EDIFICIO	Edificio/Casa de Sopladores	2.0	NA	30.0	12.0	NA	7.0	720	NA	NA
TSS	TANQUE	Tanque de Sedimentación Secundaria	4.0	54.0	NA	NA	4.5	5.0	9,161	41,224	4.49
FD	TANQUE	Tanque Filtros de disco	1.0	NA	41.0	7.0	2.5	3.0	287	716	0.08
	CANAL	Canal alimentación y efluente	2.0	NA	41.0	1.0	1.5	2.0	82	123	0.01
OZ	VARIOS	Unidad de Desinfección por Ozono	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	TANQUE	TANQUE CONTACTO INICIAL	1.0	NA	14.0	7.0	5.5	6.0	98	539	0.06
	TANQUE	TANQUES CONTACTO	4.0	NA	14.0	8.0	5.5	6.0	448	2,464	0.27
	EDIFICIO	AREA DE EQUIPO O3	1.0	NA	20.0	30.0	NA	NA	600	NA	NA
	EDIFICIO	AREA DE EQUIPO O2	1.0	NA	20.0	30.0	NA	NA	600	NA	NA
ME	CANAL	Medición de Efluente canal Parshall 3m	1.0	NA	11.0	3.1	2.4	3.0	34	82	0.01
									A(M2)	V.T. (M3)	TRH (h)
								TOTALES	35,083	101,225	21

*NA= no aplica, Ø diámetro, L=longitud, A=ancho, H2O=tirante, HT=altura muro, S=superficie, V.T.= Volumen total, TRH=tiempo de retención hidráulica

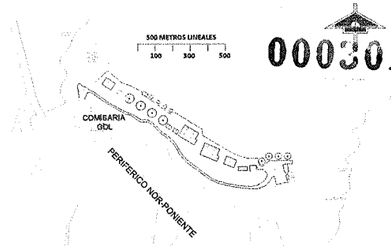
DIMENSIONES TREN DE LODO

DIMENSIONES LINEA DE LODO PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS							CAUDAL PROMEDIO (LPS)		2550	
CLAVE	TIPO	UNIDAD DE TRATAMIENTO	U	Ø (M)	L (M)	A (M)	H2O (M)	HT (M)	S (M2)	V.T. (M3)	TRH (h)
TSP	TANQUE	Tanque de Sedimentación Primaria	4.00	41.00	NA	NA	4.50	5.00	5,281	23,765	2.59
EL	EDIFICIO	Espesadores de lodos	1.00	NA	20.00	10.00	NA	4.00	200	NA	NA
	EQUIPO	Equipo de espesado	5.00	NA	4.20	1.80	NA	2.00	38	NA	NA
	EQUIPO	Preparador de polimero	5.00	NA	1.00	1.00	NA	2.00	5	NA	NA
TSS	TANQUE	Tanque de Sedimentación Secundaria	4.00	54.00	NA	NA	4.50	5.00	9,161	41,224	4.49
TLM	TANQUE	Tanque de lodos mixtos	1.00	NA	12.00	12.00	3.00	3.50	144	432	0.05
DL	TANQUE	Digestores de lodos anaeróbicos	6.00	30.00	NA	NA	13.00	14.50	4,241	55,135	6.01
TLD	TANQUE	Tanque de lodos digeridos	1.00	NA	12.00	12.00	3.00	3.50	144	432	0.05
ESL	EDIFICIO	Edificio de deshidratación de lodos	1.00	NA	20.00	60.00	NA	NA	1,200	NA	NA
	EQUIPO	Tornillo Volute deshidratación	5.00	NA	7.00	3.00	NA	3.00	105	NA	NA
	EQUIPO	Preparador de polimero	5.00	NA	1.00	1.00	NA	2.00	5	NA	NA
PIR	EDIFICIO	Edificio de pirólisis	1.00	NA	20.00	60.00	NA	NA	1,200	NA	NA
MG	EQUIPO	Membrana de almacenamiento de biogás	1.00	30.00	NA	NA	13.00	14.50	707	9,189	1.00
LG	EDIFICIO	Lavado de gases	1.00	NA	32.00	15.00	NA	5.00	480	NA	NA
COG	EDIFICIO	Edificio de cogeneración	1.00	NA	32.00	18.00	NA	5.00	576	NA	NA
									A (M2)	V.T. (M3)	TRH (h)
								TOTALES	23,487	130,177	14

*NA= no aplica, Ø diámetro, L=longitud, A=ancho, H2O=tirante, HT=altura muro, S=superficie, V.T.= Volumen total, TRH=tiempo de retención hidráulica

250 METROS LINEALES

50 150 250



LOCALIZACIÓN SIN ESCALA

SIMBOLOGÍA UNIDADES

CE: CAJA EMISOR
20MM: CRIBA DE 20MM
6MM: CRIBA DE 6MM
MI: MEDICION AFLUENTE
DS: DESARENADOR
TSP: TANQUE SEDIMENTACIÓN PRIMARIA
AN: REACTOR ANAERÓBICO
AX: REACTOR ANÓXICO
AB: REACTOR AERÓBICO
S: EDIFICIO DE SOPLADORES
TSS: TANQUE SEDIMENTACION SECUNDARIA
O3: DESINFECCIÓN OZONO
EL: ESPESADOR DE LODOS
ME: MEDICIÓN DE EFLUENTE
ALM: ÁREA LINEA MORADA
V: VIGILANCIA
FD: FILTROS DE DISCO
MAG: MEMBRANA GASES
PIR: PIROLISIS LODOS
C: CAJA DE DISTRIBUCIÓN
D: DIGESTOR ANAERÓBICO
LM: TANQUE LODOS MIXTOS
LD: TANQUE DE LODOS DIGERIDOS
TL: TANQUE DE LODOS
CG: COGENERACIÓN GAS NAT
PE: PLANTA EMERGENCIA
CFE: SUBESTACIÓN ELÉCTRICA
LAB: EDIFICIO LABORATORIO
ADM: EDIFICIO ADMINISTRACIÓN
BT: EDIFICIO BODEGA Y TALLER
PM: PATIO DE MANIOBRAS
V: VIGILANCIA
CA: CAMINO DE ACCESO
ALM: ÁREA LINEA MORADA
LG: LAVADO DE GASES
O2: CRIOGENIA OXÍGENO
EDL: EDIFICIO DESHIDRATACION DE LODOS
CC: CUARTO DE CONTROLES

SIMBOLOGÍA

ARBOL/ARBUSTO
DIRECCIÓN FLUJO
N+1434 COTA DE PLATAFORMA

REPRESENTANTE LEGAL:

ING. FERNANDO RUEDA RUBIO
CÉDULA PROFESIONAL: 7655126

DATOS DE PROYECTO

C.5 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARQUE SANTIAGO (SUBCUENCAS SAN ANDRÉS-OSORIO-SAN GASPAR)

2550LPS PROM.

CEA-051 ARREGLO DE CONJUNTO

IHS
INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA Y SERVICIOS, S. A. DE C. V.
San Ramón Norte #454, Colonia Centro Real, C. P. 45040, Zapopan, Jal.
contacto@ihsservicios.com | Teléfono: +52 33 3673 1704/5/7/9

ARS INGENIERÍA ESPECIALIZADA

PROYECTO

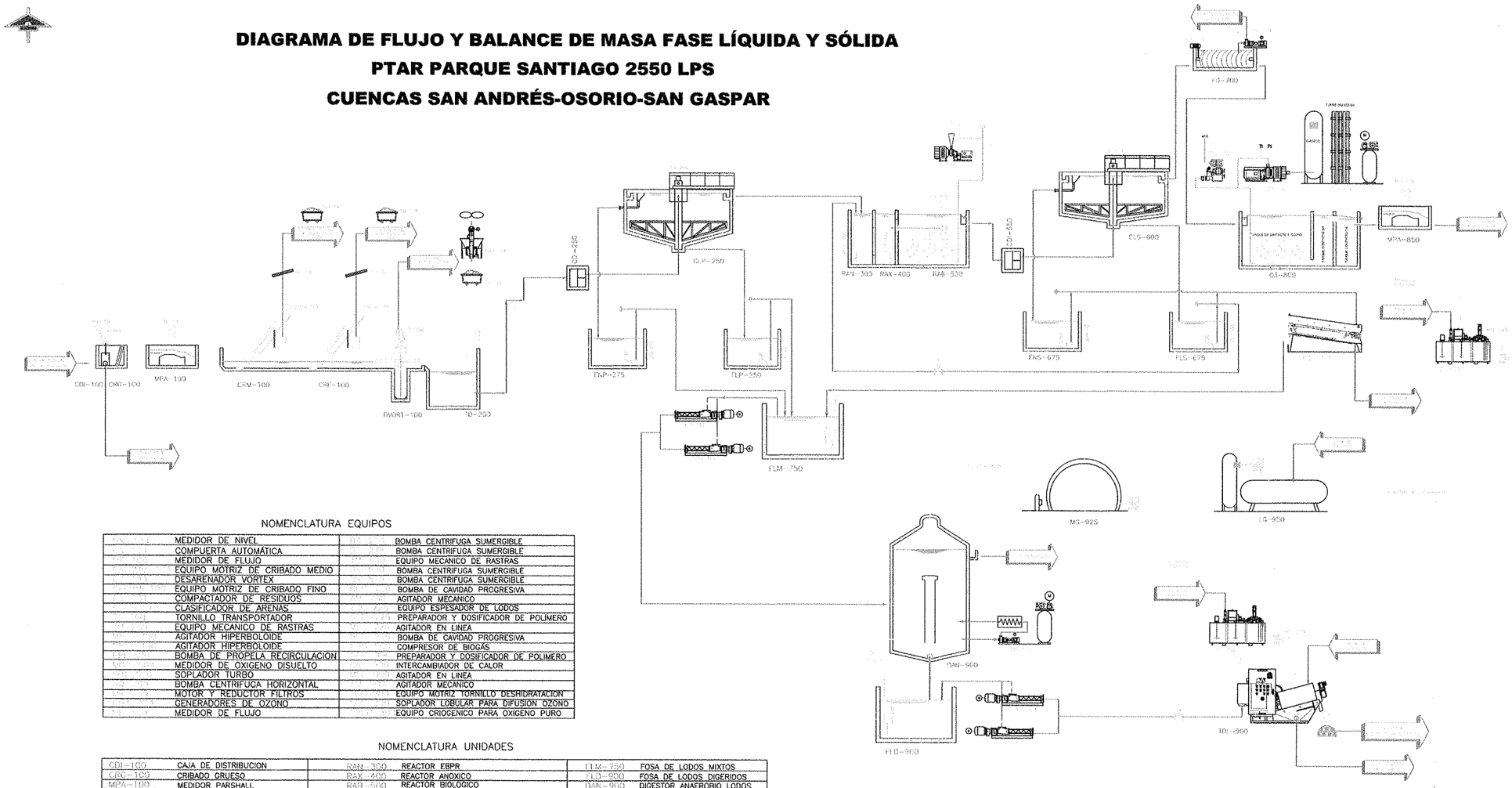
ELABORACIÓN DE LAS INGENIERÍAS BÁSICAS PARA EL SANEAMIENTO DE SUBCUENCAS SAN ANDRÉS, OSORIO Y SAN GASPAR

CONTENIDO

ARREGLO DE CONJUNTO
PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS,
SUBCUENCAS SAN ANDRÉS-OSORIO-SAN GASPAR

FECHA	ESCALA	LÁMINA
DICIEMBRE 2025	1:1100	1/1

DIAGRAMA DE FLUJO Y BALANCE DE MASA FASE LÍQUIDA Y SÓLIDA
PTAR PARQUE SANTIAGO 2550 LPS
CUENCAS SAN ANDRÉS-OSORIO-SAN GASPAR



NOMENCLATURA EQUIPOS

	MEDIDOR DE NIVEL		BOMBA CENTRIFUGA SUMERGIBLE
	COMPUERTA AUTOMÁTICA		BOMBA CENTRIFUGA SUMERGIBLE
	MEDIDOR DE FLUJO		EQUIPO MECANICO DE RASTRAS
	EQUIPO MOTRIZ DE CRIBADO MEDIO		BOMBA CENTRIFUGA SUMERGIBLE
	DESARENADOR VORTEX		BOMBA CENTRIFUGA SUMERGIBLE
	EQUIPO MOTRIZ DE CRIBADO FINO		BOMBA DE CAVIDAD PROGRESIVA
	COMPACTADOR DE RESIDUOS		AGITADOR MECANICO
	CLASIFICADOR DE ARENAS		EQUIPO ESPESADOR DE LODOS
	TORNILLO TRANSPORTADOR		PREPARADOR Y DOSIFICADOR DE POLIMERO
	EQUIPO MECANICO DE RASTRAS		AGITADOR EN LINEA
	AGITADOR HIPERBOLOIDE		BOMBA DE CAVIDAD PROGRESIVA
	AGITADOR HIPERBOLOIDE		COMPRESOR DE BIOGÁS
	BOMBA DE PROPELA RECIRCULACION		PREPARADOR Y DOSIFICADOR DE POLIMERO
	MEDIDOR DE OXIGENO DISUELTO		INTERCAMBIADOR DE CALOR
	SOPLADOR TURBO		AGITADOR EN LINEA
	BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL		AGITADOR MECANICO
	MOTOR Y REDUCTOR FILTROS		EQUIPO MOTRIZ TORNILLO DESHIDRATACION
	GENERADORES DE OZONO		SOPLADOR LOBULAR PARA DIFUSION OZONO
	MEDIDOR DE FLUJO		EQUIPO CRIOGENICO PARA OXIGENO PURO

NOMENCLATURA UNIDADES

CDI-100	CAJA DE DISTRIBUCION	RAN-300	REACTOR EBPR	FLM-750	FOSA DE LODOS MIXTOS
CRG-100	CRIBADO GRUESO	RAX-400	REACTOR ANOXICO	FLD-900	FOSA DE LODOS DIGERIDOS
MPA-100	MEDIDOR PARSHALL	RAB-500	REACTOR BIOLOGICO	DAN-900	DIGESTOR ANAEROBIO LODOS
CRM-100	CRIBADO MEDIO	CDI-550	CAJA DE DISTRIBUCION	TDL-900	TORNILLO DESHIDRATACION
CRF-100	CRIBADO FINO	CLS-600	SEDIMENTADOR SECUNDARIO	LG-950	LAVADO DE GASES
DVORT-100	SISTEMA DE DESARENADO	FD-700	FILTROS DE DISCO ROTATORIOS	MG-925	MEMBRANA ALMACEN BIOGAS
TD-200	TANQUE DE DISTRIBUCIÓN	O3-800	DESINFECCION CON OZONO		
CDI-250	CAJA DE DISTRIBUCION	MPA-850	MEDIDOR PARSHALL		
CLP-250	SEDIMENTADOR PRIMARIO	FNS-675	FOSA DE NATA SECUNDARIA		
FNP-275	FOSA DE NATA PRIMARIA	FLS-675	FOSA DE LODO SECUNDARIO		
FLP-250	FOSA DE LODO PRIMARIO	ESL-725	ESPESADOR DE LODO		

BALANCE DE MATERIA FASE LÍQUIDA

	CDI-100	CRG-100	CRM-100	CRF-100	DVORT-100	TD-200	CLP-250	RAN-300	RAX-400	RAB-500	CLS-600	FD-700	O3-800	MPA-850
CAUDAL AFLUENTE (LPS)	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00
CAUDAL EFLUENTE (LPS)	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00	2,550.00
INGRESOS RECIRCULACIÓN (LPS)	0	0	0	0	0	0	57.89	2266	7730	0	0	0	0	0
EXTRACCIÓN RESIDUOS (m3/d)	0	0.49	5.77	17.71	11.54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EFLUENTE DBO5 (mg/L)	363.00	363.00	363.00	363.00	363.00	363.00	246.84	247.84	247.84	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
EFLUENTE SST (mg/L)	362.00	362.00	362.00	362.00	362.00	362.00	144.80	144.80	144.80	20.00	20.00	4.00	4.00	4.00
EFLUENTE NITRÓGENO T. (mg/L)	83.00	83.00	83.00	83.00	83.00	83.00	75.40	75.40	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08	12.08
EFLUENTE FÓSFORO T. (mg/L)	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	13.30	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24
COLIFORMES (NMP/100mL)	7M	7M	7M	7M	7M	7M	7M	7M	7M	7M	7M	1.4M	<240	<240

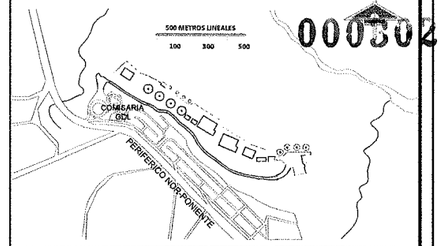
BALANCE DE MATERIA FASE SÓLIDA

	CLP-250	CLS-600	ESL-725	FLM-750	DAN-900	FLD-900	TDL-900
CAUDAL AFLUENTE (LPS)	2,550.00	2,550.00	42.17	25.60	25.60	25.37	25.37
CAUDAL EFLUENTE (LPS)	2,550.00	2,550.00	7.16	25.60	25.37	25.37	2.48
RETORNO DE LIXIVIADOS Y SOBRENADANTE (LPS)	0	0	35.01	0	0	0	22.80
EFLUENTE LODOS (m3/d)	1,595.00	3,644.00	619.00	2,214.00	2,192.00	2,192.00	214.63
SÓLIDOS BASE SECA	0	0	0	0	0	0	49,662.80
TORTA DE LODOS AL 20% SS (TON)	0	0	0	0	0	0	248.31

BALANCE DE MATERIA FASE GASEOSA

	DAN-900	MG-925	LG-950
FLUJO MÁSICO SSV AFLUENTE (Kg/d)	58,334.00	0	0
FLUJO MÁSICO SSV EFLUENTE (Kg/d)	29,167.00	0	0
MASA SSV DESTRUIDA (Kg/d)	29,167.00	0	0
CAUDAL BIOGAS AFLUENTE (m3/d)	0	21,437.00	21,437.00
CAUDAL BIOGAS EFLUENTE (m3/d)	21,437.00	21,437.00	0
CAUDAL BIOMETANO RECUPERADO (m3/d)	0	0	13,720.00

000304



LOCALIZACIÓN SIN ESCALA

SIMBOLOGÍA UNIDADES

NOMENCLATURA

PTG	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	TDC	TANQUE DE CARGA
CRM	CRIBADO MEDIO	ED	EQUIPO DESHIDRATACION
CRF	CRIBADO FINO	MEBP	MEMBRANA DE EMPAQUE
DVORT	DESARENADOR VORTEX	BS	BOMBA DE SUCCION
TD	TANQUE DE DISTRIBUCION	ER	EQUIPO ATENUADOR DE RUIDOS
SDP	SEDIMENTADOR PRIMARIO	BC	BOMBA DE CIRCULACION
FLP	FOSA DE LODOS PRIMARIOS	AM	AGITADOR MECANICO
FNP	FOSA DE NATAS PRIMARIAS	BH	BOMBA DE HUSILLO
RAX	REACTOR ANOXICO	EM	EQUIPO MEZCLADOR
RBL	REACTOR BIOLOGICO	DP	DIFUSOR DE PLACAS
MBR	MEMBRANA BIOLOGICA	EC	EQUIPO DE CLORACION
UV	DESINFECCION POR RADIACION UV	MF	MEDIDOR DE FLUJO
MPA	MEDIDOR PARSHALL	OD	OXIGENO DISUELTO
BAN	BIODIGESTOR ANAEROBIO	ESL	ESPESADOR DE LODOS
CDI	CAJA DE DISTRIBUCION	FLD	FOSA DE LODOS DIGERIDOS
FD	FILTROS DE DISCO ROTATORIOS	LG	LAVADO DE GASES
FLM	FOSA DE LODOS MIXTOS		
MG	MEMBRANA GASOMETRICA		

NOTAS

REPRESENTANTE LEGAL:

ING.FERNANDO RUEDA RUBIO
CÉDULA PROFESIONAL: 7655126

DATOS DE PROYECTO

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARQUE SANTIAGO

CEA-046, CEA-047
ANTEPROYECTO

PTAR

OSORIO-SAN ANDRES-SAN GASPAR

2550LPS

IHS
INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA Y SERVICIOS, S. A. DE C. V.
San Ramón Norte 448A, Colonia Camino Real, C.P. 45645, Zapopan, Jal.
contacto@ihsservicios.com | Teléfonos: +52 33 3873 1704/09 ext 99

ARS
UNIDOS POR MÁS MÉXICO

PROYECTO

ELABORACIÓN DE LAS INGENIERÍAS BÁSICAS PARA EL SANEAMIENTO DE SUBCUENCAS SAN ANDRÉS, OSORIO Y SAN GASPAR

CONTENIDO

DIAGRAMA DE FLUJO Y BALANCE DE MATERIA PTAR PARQUE SANTIAGO 2550LPS, CUENCAS OSORIO-SAN ANDRÉS-SAN GASPAR

FECHA	ESCALA	LÁMINA
DICIEMBRE 2025	S/E	1/1

Comisión Estatal del Agua Jalisco

ELABORACIÓN DE LAS INGENIERÍAS BÁSICAS PARA EL SANEAMIENTO DE SUBCUENCAS VADO Y COYULA

NO. DE CONTRATO CEA-IBA-EST-LP-017-25

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

7.7 INFORME FINAL

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

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

Comisión Estatal del Agua Jalisco

Contenido

1. Diagnóstico y Calidad del Agua 6
1.1. Trabajos de Gabinete y Recorridos de Campo 6
1.1.1. Fundamentos y Metodología de la Investigación de Gabinete 6
1.1.2. Protocolo Técnico de Inspección en Campo y Criterios de Validación 7
1.2. Diagnóstico, Verificación y Caracterización de las Descargas Existentes (Cuenca Coyula) 9
1.2.1. Inventario Técnico y Localización Espacial de Vertimientos Prioritarios 9
1.2.2. Diagnóstico del Estado Físico y Operativo de la Infraestructura Conductora 11
1.3. Evaluación de Resultados de Campo y de Laboratorio 13
1.3.1. Campaña Analítica de Muestreo y Metodología Estadística de Procesamiento 13
1.3.2. Análisis Técnico por Parámetro Fisicoquímico y Microbiológico 14
1.4. Definición de la Calidad del Agua Residual Cruda 18
1.4.1. Establecimiento de Parámetros Conceptuales del Influente y Metas de Calidad 18
1.4.2. Análisis de Resiliencia Operativa y Consistencia de Carga del Sistema 21
2. Topografía y Selección de Sitios 22
2.1. Memoria Descriptiva del Levantamiento Topográfico 22
2.1.1. Objeto y Alcance de los Trabajos Topográficos 22
2.1.2. Marco Normativo y Sistema de Referencia Geodésica 23
2.1.3. Metodología de Control en Campo e Instrumentación 23
2.1.4. Levantamiento de Detalles, Procesamiento y Entrega de Productos 23
2.2. Integración del Plano Base de la Zona de Estudio 24
2.2.1. Metodología de Conformación y Fuentes de Datos 24
2.2.2. Componentes de la Infraestructura Sanitaria Representados 24
2.2.3. Criterios de Diseño, Trazo de Líneas y Optimización Topográfica 25
2.2.4. Depuración, Actualización de Descargas y Utilidad Hidráulica 25
2.3. Identificación y Selección de Sitios Potenciales para las PTAR 26
2.3.1. Problemática Sanitaria y Proyecciones de Crecimiento Demográfico 26
2.3.2. Criterios de Evaluación y Análisis de Alternativas de Sitios 26
2.3.3. Diagnóstico Técnico de las Alternativas de Macro-Sitios Seleccionadas 29
2.4. Criterios para el Arreglo de Conjunto de las Unidades de Proceso 30
2.4.1. Fundamentos Técnicos del Diseño de Distribución de Plantas 30
2.4.2. Variables Topográficas, Ambientales y de Operación Integradas 30
2.4.3. Especificaciones del Plano Funcional de Conjunto 31

3. Ingeniería de Procesos (A^2O) 32
3.1. Bases de Diseño Hidráulico, Demográfico y Modelación de Carga Contaminante 32
3.1.1. Análisis Macroeconómico de Caudales al Año Horizonte 2050 32
3.1.2. Línea Base del Influente Crudo y Metas de Vertido Conforme a la NOM-001-SEMARNAT-2021 32
3.2. Evaluación de Alternativas Tecnológicas y Justificación del Proceso Seleccionado 35
3.3. Ingeniería de Detalle Funcional del Tren de Agua 37
3.3.1. Pretratamiento Mecanizado Compacto 37
3.3.2. Tratamiento Primario: Sedimentación Gravitacional 37
3.3.3. Tratamiento Biológico Avanzado: Reactor A^2O 38
3.3.4. Clarificación Secundaria: Separación de Biomasa 40
3.3.5. Filtración Terciaria y Pulimiento del Efluente 40
3.3.6. Sistema Avanzado de Desinfección por Ozono 41
3.3.7. Estructura de Aforo y Emisor de Descarga Final 41
3.4. Ingeniería de Detalle Funcional del Tren de Lodos (Biosólidos) 42
3.4.1. Espesamiento Mecánico Continuo de Lodos 42
3.4.2. Estabilización Biológica Avanzada: Digestión Anaerobia 42
3.4.3. Deshidratación Mecánica de Biosólidos 43
3.5. Matriz de Homologación de Equipamiento Electromecánico 44
Sección 4. Ingeniería Hidráulica y Fenómenos Transitorios 47
4.1. Ingeniería Hidráulica del Tren de Procesos de las Plantas de Tratamiento 47
4.1.1. Criterios de Diseño, Fundamentos Hidráulicos y Ecuaciones Base 47
4.1.2. Justificación Técnica y Económica de la Procura de Materiales 48
4.1.3. Límites Velocitarios Normativos y Envolventes de Carga Desfavorables 48
4.1.4. Perfil Hidráulico Comparativo e Hidrodinámica de las PTAR 49
4.2. Memorias de Cálculo Hidráulico de Estaciones de 51
4.2.1. Desglose Analítico e Integración de Resultados por Cárcamo 51
4.2.2. Flexibilidad de Operación y Seguridad Civil de las Estaciones 52
4.3. Análisis del Fenómeno Transitorio (Golpe de Ariete) 53
4.3.1. Fundamentos del Golpe de Ariete y Escenario Crítico de Simulación 53
4.3.2. Estrategia de Diseño Basada en la Resistencia Intrínseca de la Tubería 54
4.3.3. Propiedades Mecánicas del Material y Parámetros del Modelo 54
4.3.4. Dictamen Técnico y Validación Estructural del Sistema 55
5. Anteproyecto Eléctrico y SCADA 56

5.1. Criterios de Diseño, Normatividad y Parámetros Eléctricos Generales 56
5.1.1. Objetivo y Alcance General del Anteproyecto Eléctrico 56
5.1.2. Marco Normativo y de Regulación Aplicable 56
5.1.1. Parámetros Técnicos Base del Sistema 58
5.2. Estudio de Demanda y Cuadro de Cargas Consolidado 58
5.2.1. Metodología de Integración del Cuadro de Cargas 58
5.2.2. Cuadro de Cargas e Identificación de Equipos Principales (PTAR El Vado - 160 L/s) 59
5.3. Selección de Subestación, Análisis de Continuidad y Potencia de Transformadores 61
5.3.1. Estudio Técnico-Económico para la Configuración de la Subestación 61
5.3.2. Selección y Cálculo de Capacidad de los Transformadores 61
5.3.3. Sistema de Energía de Emergencia y Respaldo Técnico 62
5.4. Cálculos de Ingeniería: Alimentadores, Caída de Tensión y Cortocircuito 63
5.4.1. Dimensionamiento de Alimentadores por Ampacidad y Derrateo 63
5.4.2. Verificación por Criterio de Caída de Tensión (%VD) 63
5.4.3. Estudio Básico de Cortocircuito y Capacidad Interruptiva 65
5.5. Ingeniería de Seguridad: Puesta a Tierra y Protección Atmosférica 66
5.5.1. Diseño del Sistema de Puesta a Tierra (Malla de Tierra) 66
5.5.2. Sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas (SPCDA) 67
5.6. Definición Conceptual del Sistema de Control, Automatización y SCADA 67
5.6.1. Filosofía de Operación y Arquitectura del Sistema de Control 67
5.6.2. Red de Instrumentación en Línea y Estaciones de Verificación 68
5.6.3. Especificación Técnica de la Estación de Medición de Flujo de Salida (FIT-01) 68
Sección 6. Tenencia de la Tierra y Aspectos Legales 70
6.1. Marco Jurídico, Antecedentes Normativos y Metodología de Investigación Del Suelo 70
6.1.1. Fundamento Constitucional y Legislación Agraria y Civil Aplicable 70
6.1.2. Metodología de Diagnóstico de Campo y Vinculación Técnico-Jurídica 71
6.2. Diagnóstico Técnico de Predios para Infraestructura Principal y Cárcamos 72
6.2.1. Terreno para la Construcción de la Planta de Tratamiento (PTAR) El Vado 72
6.2.2. Predio Sirviente para la Construcción del Cárcamo de Bombeo El Vado 73
6.2.3. Predio Sirviente para la Construcción del Cárcamo de Bombeo Coyula 73
6.3. Rigor Geométrico: Cuadros de Construcción de Predios Sirvientes 74
6.4. Catastro de Franjas de Servidumbre de Paso para Colectores y Líneas de Impulsión 76
6.4.1. Definición Legal de la Servidumbre Legal de Paso para 76
6.4.2. Base de Datos Cartográfica "Shapefile" e Indexación de Atributos SIG 76

6.4.3. Estrategia y Plan de Gestión de Adquisiciones de Derechos de Vía 77
Sección 7. Presupuestos y Especificaciones 78
7.1. Metodología de Integración del Catálogo de Conceptos y Cantidades de Obra 78
7.1.1. Criterios de Cuantificación y Estructuración del Catálogo 78
7.1.2. Protocolo para el Desarrollo de Conceptos No Contenidos en el Catálogo de CONAGUA 79
7.2. Estimación del Presupuesto Base de Inversión Inicial 80
7.2.1. Criterios de Tasación y Aplicación de Precios Unitarios 80
7.2.2. Presupuesto Base Consolidado de Inversión por Macro-Sitio 80
7.3. Costos de Operación, Mantenimiento (O&M) y Reposiciones 81
7.3.1. Metodología de Análisis de Costos de O&M e Indicadores Unitarios 81
7.3.2. Evaluación Económica de Alternativas de Tratamiento (PTAR El Vado - 160 L/s) 81
7.3.3. Interpretación Ingenieril de la Matriz de Costos 83
7.4. Especificaciones Técnicas Generales de Construcción 83
7.4.1. Vinculación con los Conceptos de Obra Normativos de CONAGUA 83
7.4.2. Especificaciones Particulares para Conceptos Especiales de Proceso y SCADA 84

1. Diagnóstico y Calidad del Agua

1.1. Trabajos de Gabinete y Recorridos de Campo

1.1.1. Fundamentos y Metodología de la Investigación de Gabinete

El desarrollo del proyecto básico de saneamiento para las subcuencas de El Vado y Coyula, integradas formalmente en la Región Hidrológica Lerma-Santiago, requirió como etapa inicial la ejecución de una exhaustiva fase de investigación y análisis de gabinete. Esta aproximación metodológica se fundamentó en la recopilación, revisión crítica, clasificación y sistematización de la totalidad de la información documental, estadística y cartográfica disponible en los registros del organismo operador y de las autoridades municipales de Tonalá, Jalisco.

El objetivo central de esta evaluación cuantitativa consistió en caracterizar de forma detallada el estado físico, operativo y de cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario dentro de la zona de influencia directa del proyecto. El análisis espacial y administrativo se focalizó con precisión geométrica y catastral en los distritos urbanos denominados:

- **TON-1**
- **TON-2**
- **TON-3**
- **TON-4**
- **TON-6**
- **TON-9**
- **TON-11**
- **TON-14**

Mediante el procesamiento de las series históricas de volúmenes de agua potable consumidos, facturados y medidos por el organismo operador en las demarcaciones referidas, la ingeniería de gabinete procedió a la determinación matemática de la dotación real de agua por habitante al día (L/hab/día). Este indicador fue analizado e indexado de manera independiente para cada distrito con la finalidad de ponderar las marcadas variaciones socioeconómicas, los patrones de consumo doméstico y las densidades poblacionales características de cada sector habitacional.

Establecida la dotación real ajustada, se aplicaron los coeficientes de retorno técnico normativos para estimar con un alto grado de certidumbre las aportaciones correspondientes de aguas residuales vertidas hacia las redes de recolección sanitaria municipales.

Las proyecciones demográficas resultantes, calculadas para horizontes de planeación de corto, mediano y largo plazo, se correlacionaron directamente con los escenarios de demanda futura de agua potable y con la consecuente curva de generación de gastos sanitarios de diseño.

Para asegurar la resiliencia y la precisión matemática del modelo predictivo de caudales, las variables de aportación se vincularon de forma directa con las condiciones meteorológicas, climatológicas e hidrológicas de la región.

El municipio de Tonalá se encuentra inserto en un régimen climático catalogado formalmente como semicálido subhúmedo, experimentando una marcada estacionalidad de lluvias concentrada de manera predominante durante el periodo de verano.

Los datos estadísticos institucionales validados establecen una precipitación media anual del orden de los 893 mm, acompañada de una temperatura media anual aproximada de 20.7 °C.

Esta variación climatológica anual ejerce una influencia física directa sobre los hábitos de consumo de la población e introduce fluctuaciones macroeconómicas e hidráulicas significativas tanto en los caudales de aportación volumétrica como en los niveles de concentración físico-química de los contaminantes conducidos por el alcantarillado.

1.1.2. Validación

Con el propósito de validar de forma directa las hipótesis hidráulicas y la cartografía preliminar integrada en la fase de gabinete, se estructuró y ejecutó un riguroso protocolo de recorridos técnicos de inspección y validación en campo. Estas comisiones de ingeniería civil y ambiental recorrieron de manera sistemática la totalidad de las márgenes de los cauces superficiales, redes de arroyos naturales y las trayectorias de los colectores marginales existentes que conforman las subcuencas de El Vado y Coyula. Las actividades técnicas sustantivas ejecutadas en sitio respondieron a los siguientes alcances y criterios ingenieriles:

- **Georreferenciación y Catastro de Infraestructura Hídrica:** Localización física y fijación de coordenadas espaciales exactas en el sistema UTM (Universal Transverse Mercator) de cada una de las descargas marginales, colectores principales, subcolectores, pozos de visita especiales y estructuras de demasías o alivio existentes, evaluando simultáneamente su nivel de servicio, sección hidráulica remanente y estado de integridad estructural.

- **Identificación y Registro de Aportaciones Irregulares:** Detección, documentación fotográfica y posicionamiento de vertimientos clandestinos, descargas directas provenientes de desarrollos habitacionales recientes, giros comerciales no inventariados o conexiones cruzadas que no estuvieran incorporadas en los planos y padrones cartográficos oficiales proporcionados por el municipio.

- **Diagnóstico Cualitativo de Impacto Ambiental en Cuerpos Receptores:** Evaluación visual e ingenieril del grado de degradación biológica y físico-química infligida por el vertido de aguas negras crudas sobre los ecosistemas acuáticos locales, documentando procesos de azolvamiento severo, acumulación de residuos sólidos antrópicos, generación de condiciones de anoxia y desprendimiento de gases producto de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica acumulada en los cauces.

- **Análisis de Viabilidad de Trazo e Interceptación Hidráulica:** Evaluación en sitio de las pendientes naturales del terreno, puntos de ruptura topográfica, interferencias o barreras físicas artificiales (vías de comunicación, edificaciones) y restricciones legales de derecho de vía. Este levantamiento es indispensable para formular la alternativa óptima de captación e interceptación de los caudales para su conducción eficiente por gravedad, definiendo asimismo la localización estratégica de los cárcamos de bombeo, estructuras de retención de sólidos y líneas de impulsión necesarias para dirigir las aguas crudas hacia los macro-sitios seleccionados para la edificación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

Desde la perspectiva específica de la ingeniería geológica y la geotecnia, los reconocimientos y calas visuales efectuados durante los recorridos de campo aportaron datos litoestratigráficos preliminares de alta relevancia para el diseño constructivo y estructural de las redes de alcantarillado profundo y obras de arte complementarias.

Se identificó una severa y marcada diferenciación en las características mecánicas del subsuelo entre ambas subcuencas de estudio: mientras que en la subcuenca de Coyula se constató una configuración geológica compuesta predominantemente por depósitos de tobas (materiales de moderada a baja cohesión y fácil excavabilidad), en la subcuenca de El Vado se observaron afloramientos masivos y formaciones rocosas consolidadas de origen basáltico.

Esta variabilidad litoestratigráfica impone condiciones mecánicas radicalmente distintas para los trabajos de excavación, el diseño de los sistemas de ademe o apuntalamiento, el control de la estabilidad de taludes en zanjas profundas, y la selección de los materiales de apoyo, plantillas y rellenos compactados para las tuberías.

Estas condiciones introducen variables de diseño que impactan directamente las matrices de costos debido a la necesidad de prever equipos de rotura de roca y la remoción de macizos consolidados y depósitos de bolaría.

Para fines del diseño de ingeniería básica de los sistemas de interceptores, colectores marginales y el dimensionamiento de los procesos de la PTAR Coyula, la autoridad estatal determinó concentrar la totalidad de las aportaciones dispersas de la subcuenca Coyula en cuatro descargas principales de carácter prioritario. La definición espacial, cartográfica y técnica de estos puntos de vertido se consolida formalmente en la siguiente matriz delocalización:

ID Descarga	Subcuenca	Municipio	Denominación de la Descarga / Fuente de Aportación	Coord. X (UTM - m)	Coord. Y (UTM - m)	Descripción Técnica y Naturaleza del Vertido
2	Coyula	Tonalá	Fraccionamiento Residencias El Prado	686,016	2,288,321	Efluente con características de septicidad avanzada, proveniente de un sistema de fosa séptica anaeróbica colectiva con deficiencias operativas y tratamiento parcial.
6	Coyula	Tonalá	Av. Vía de la Plata (Fracc. Paseos de Santiago,	687,483	2,286,487	Aguas residuales crudas de origen estrictamente doméstico y residencial, sin tratamiento previo.
8	Coyula	Tonalá	Camino de operación	686,209	2,285,141	Caudal de aguas negras municipales crudas, conducidas e interceptad as por el Colector Tonalá.

Asimismo, ante la ausencia de planos as-built fidedignos y de información documental validada respecto a las redes de servicios públicos de energía en media y alta tensión, el equipo de campo procedió a realizar un detallado inventario físico de la infraestructura de potencia disponible en las inmediaciones de los puntos de descarga y de los sitios preseleccionados para las plantas.

Esta validación técnica en sitio incluyó la identificación y mapeo de trayectorias de líneas de distribución de media tensión (13.2 kV / 23 kV), la ubicación de transformadores, subestaciones y postería propiedad de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Este relevamiento resulta indispensable para determinar la factibilidad técnica del suministro eléctrico, las necesidades de acometida y la viabilidad del suministro de potencia requerido para garantizar la operación continua y sin interrupciones de los equipos electromecánicos de los cárcamos de bombeo y los sistemas de aireación de las futuras PTAR.

Los alcances del pre-diseño y de la ingeniería básica desarrollados a partir de este diagnóstico integral se orientaron rigurosamente a estructurar una solución hidráulica y ambiental unificada. El esquema de ingeniería propuesto contempla la interceptación de los colectores fragmentados actuales, la conducción eficiente y segura de los gastos sanitarios nominales y extraordinarios, la eliminación definitiva de los vertimientos directos a los arroyos para mitigar los pasivos ambientales históricos, y la optimización geométrica de las redes bajo criterios estrictos de eficiencia hidráulica, autolavado y sostenibilidad técnica.

Los resultados consolidados de esta fase representan el soporte técnico, operativo y económico definitivo para la posterior elaboración de los proyectos ejecutivos de detalle, facilitando la correcta gestión de recursos financieros ante las instancias correspondientes y la priorización de las inversiones en materia de infraestructura de saneamiento para las subcuencas El Vado y Coyula, bajo el amparo de la política hídrica de la Región Hidrológica Lerma-Santiago.

1.2. Diagnóstico, Verificación y Caracterización de las Descargas Existentes (Cuenca Coyula)

1.2.1. Inventario Técnico y Localización Espacial de Vertimientos Prioritarios

En estricto cumplimiento con los inventarios institucionales y los lineamientos de ordenamiento hídrico establecidos por la Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEA), se procedió a la verificación física, medición de campo y posicionamiento georreferenciado mediante instrumentación satelital de los vertimientos activos localizados en la zona de influencia directa del proyecto.

ID Descarga	Subcuenca	Municipio	Denominación de la Descarga / Fuente de Aportación	Coord. X (UTM - m)	Coord. Y (UTM - m)	Descripción Técnica y Naturaleza del Vertido
22	Coyula	Tonalá	Puente arroyo Coyula (Descarga de Granjas)	684,776	2,285,381	Aguas residuales de composición mixta (doméstica combinada con arrastres orgánicos de actividades pecuarias y granjas locales).

1.2.2. Diagnóstico del Estado Físico y Operativo de la Infraestructura Conductora

La evaluación de ingeniería civil e hidráulica efectuada en cada uno de los nodos de vertido prioritarios de la subcuenca Coyula permitió documentar el estado de conservación, materiales constitutivos, diámetros nominales y las patologías estructurales presentes en las líneas de alcantarillado sanitario asociadas:

- **Descarga 22 (Puente arroyo Coyula - Descarga de Granjas):** Se emplaza de forma directa sobre la sección marginal del arroyo Coyula, situándose a una distancia física aproximada de 20 metros con respecto al eje de simetría de la calle Hidalgo.

  El vertido se realiza a cielo abierto hacia el cauce natural a través de un colector constituido por tubería de Polietileno de Alta Densidad (PAD) corrugado, con un diámetro nominal de 30 pulgadas (750 mm).

  La línea opera de manera continua con un tirante hidráulico parcial, denotando acumulación de sedimentos y arenas en la plantilla interna debido a la reducción drástica de las velocidades de flujo durante el periodo de estiaje.

- **Descarga 08 (Camino de operación de Acueducto - Norte de Fracc. Los Viñedos):** Esta estructura de vertido se localiza sobre el cauce natural encargado de recibir las escorrentías pluviales y sanitarias del fraccionamiento Misión de los Viñedos y del área de influencia vial del Nuevo Periférico.

  El colector en este tramo tiene la función de captar, unificar y conducir los caudales sanitarios generados por los desarrollos habitacionales Misión del Campanario, Jardines de la Cruz Oriente y Misión de los Viñedos, utilizando una tubería de PAD corrugado de 30 pulgadas (750 mm) de diámetro.

El diagnóstico físico reveló una falla estructural de gravedad crítica: la interconexión con el colector propio de Misión de los Viñedos sufrió daños severos derivados de actos de vandalismo e incendio intencional.

El calor extremo provocó la fusión parcial del polímero termoplástico, la pérdida de la sección circular geométrica, el colapso absoluto de las juntas de hermeticidad y la consecuente exfiltración masiva de aguas negras hacia el subsuelo, interrumpiendo de forma permanente la continuidad hidráulica de la línea conductora.

- **Descarga 06 (Av. Vía de la Plata - Fracc. Paseos de Santiago, Etapa 7a):** Ubicada geográficamente en la sección nororiente del desarrollo habitacional URBI. El colector existente desborda los volúmenes sanitarios generados en las etapas 4 y 5 de dicho fraccionamiento a través de una tubería de Cloruro de Polivinilo (PVC) con un diámetro nominal de 16 pulgadas (400 mm).

  La evaluación técnica en sitio constató que el desarrollo cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales originalmente ejecutada para sanear los caudales de las etapas 1, 2 y 3; no obstante, dicha infraestructura civil se encuentra actualmente fuera de servicio e inoperante por abandono electromecánico y falta de mantenimiento.

  En paralelo, se documentó que se encuentra en proceso constructivo y de obra civil una segunda planta de tratamiento orientada específicamente a absorber y estabilizar los caudales residuales de las etapas 4 y 5 mencionadas.

- **Descarga 02 (Fraccionamiento Residencias El Prado):** Este punto de vertido se sitúa en el límite oriental del fraccionamiento Residencial El Prado. Su función consiste en captar y unificar los aportes de la red de alcantarillado de la colonia Francisco Villa y del propio fraccionamiento, descargando mediante una tubería de PVC de 20 pulgadas (500 mm) de diámetro.

  El efluente proviene directamente del rebose de una fosa séptica anaeróbica de carácter colectivo, razón por la cual el agua residual manifiesta índices de septicidad avanzados, concentraciones nulas de oxígeno disuelto y un persistente desprendimiento de ácido sulfhídrico (H_2S), gas altamente corrosivo para la infraestructura de concreto aguas abajo.

1.3. Evaluación de Resultados de Campo y de Laboratorio

1.3.1. Campaña Analítica de Muestreo y Metodología Estadística de Procesamiento

El programa de caracterización cualitativa y cuantitativa del agua residual contempló el desarrollo de una rigurosa campaña analítica que abarcó el muestreo sistemático de un total de 11 descargas distribuidas en la zona de estudio.

Con el fin de asegurar que las muestras reflejaran fielmente el comportamiento dinámico del influente, se recolectaron muestras compuestas proporcionales al caudal medido en ciclos continuos de 24 horas.

Los análisis químicos, físicos y microbiológicos fueron ejecutados por un laboratorio analítico debidamente acreditado. El procesamiento estadístico de los datos consistió en determinar inicialmente los promedios ponderados en función del gasto instantáneo para cada descarga individual y, posteriormente, en realizar una macro-ponderación matemática para consolidar de forma independiente las aportaciones que confluyen hacia los dos sistemas de colectores y macro-sitios de tratamiento proyectados: la PTAR Coyula (alimentada por 4 descargas monitoreadas) y la PTAR El Vado (alimentada por 6 descargas monitoreadas).

Los resultados analíticos obtenidos se sometieron a una rigurosa evaluación comparativa tomando como marco de referencia técnico el tratado internacional de ingeniería sanitaria *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (Metcalf & Eddy, adaptado por Tchobanoglous, 2003), específicamente los valores típicos de concentración tabulados para aguas residuales domésticas sin tratar (Table 3.18, Typical composition of untreated domestic wastewater).

A continuación, se presenta el desglose analítico, diagnóstico e interpretación ingenieril de los resultados por parámetro:

1.3.2. Análisis Técnico por Parámetro Fisicoquímico y Microbiológico

- **Temperatura del Agua:** El procesamiento estadístico de las lecturas de campo arrojó un promedio ponderado general de 20.90 °C. Las variaciones registradas a lo largo de los ciclos de muestreo se mantuvieron dentro de márgenes normales y predecibles, ligadas de forma directa a la oscilación de la temperatura ambiente y a los hábitos domésticos de descarga. Debido a que no se evidenciaron anomalías térmicas ni picos de temperatura elevada en ninguna de las descargas evaluadas, se descarta la presencia de aportes industriales significativos o vertidos de aguas de enfriamiento de procesos comerciales en la red de alcantarillado.

  Desde el punto de vista del diseño biológico, este nivel térmico es óptimo para mantener las tasas cinéticas de crecimiento bacteriano y la viscosidad cinemática del agua dentro de los rangos ideales de operación de reactores de lodos activados.

- **Potencial de Hidrógeno (pH):** Los valores analíticos determinados en laboratorio y validados in situ manifestaron una estricta estabilidad, confinándose de manera constante en un rango de neutralidad entre 7.0 y 7.60 unidades de pH.

  Esta homogeneidad confirma la ausencia de descargas clandestinas de naturaleza ácida o alcalina fuerte. Asimismo, demuestra una adecuada capacidad amortiguadora o tampón en el agua municipal, factor crítico para garantizar la estabilidad de los procesos bioquímicos de nitrificación y digestión celular en el sistema secundario proyectado, los cuales requieren rangos de pH estables para evitar la inhibición enzimática de la biomasa.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5):** El monitoreo analítico reportó concentraciones promedio ponderadas totales de 296.00 mg/L para la subcuenca Coyula y de 298.91 mg/L para El Vado. Al evaluar de forma específica la fracción soluble de la carga orgánica biodegradable (DBO5 soluble), los valores promedio se fijaron en 128.00 mg/L y 139.00 mg/L respectivamente.

  De acuerdo con los criterios taxonómicos de Metcalf & Eddy, estas concentraciones clasifican al agua residual dentro de un espectro de concentración de media a alta (cuyo rango típico de referencia oscila entre 220 y 400 mg/L), comportamiento característico de efluentes sanitarios urbanos sin dilución pluvial significativa.

  El análisis estadístico de distribución determinó que el Percentil 80 (P80) se ubica en 309.00 mg/L para Coyula y en 331.85 mg/L para El Vado, valores que establecen la certidumbre técnica requerida para fijar los criterios de carga orgánica de diseño.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Las concentraciones promedio ponderadas de la DQO total registraron valores de 688.00 mg/L para la cuenca Coyula y de 648.00 mg/L para la cuenca El Vado, mientras que sus respectivas fracciones solubles reportaron valores de 265.00 mg/L y 267.00 mg/L.

  Estos resultados se insertan de manera sólida dentro del rango estándar medio-fuerte para aguas residuales municipales crudas (508 a 1,016 mg/L). La relación matemática DBO5/DQO total calculada para el influente compuesto se sitúa en un intervalo de 0.43 a 0.46. Este índice confirma de manera concluyente la alta biodegradabilidad del agua residual, validando técnicamente la selección de un sistema de estabilización biológica como proceso secundario.

  El análisis estadístico de percentiles acotó el valor de certidumbre del Percentil 80 (P80) en el rango de 694.85 mg/L a 757.43 mg/L.

- **Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Volátiles (SSV):** Los SST registraron un promedio ponderado de 242.00 mg/L en Coyula y de 217.00 mg/L en El Vado, alineándose con precisión dentro del espectro de diseño típico municipal (195 a 289 mg/L), con valores de Percentil 80 (P80) calculados en 237.51 mg/L y 228.00 mg/L respectivamente.

  En cuanto a la fracción orgánica de dichos sólidos, los Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) reportaron promedios de 146.73 mg/L para Coyula y de 155.00 mg/L para El Vado.

  La relación empírica constante SSV/SST se ubicó dentro del margen del 60% al 80%, corroborando que la mayor parte de la masa de sólidos suspendidos está constituida por materia orgánica insoluble fácilmente oxidable por la biomasa del reactor, reportando un P80 para los SSV situado entre los 162.22 mg/L y los
  167.20 mg/L.

- **Sólidos Sedimentables (SS):** Las determinaciones analíticas efectuadas mediante cono Imhoff revelaron concentraciones inusualmente bajas en todas las estaciones de monitoreo, reportando promedios ponderados de 0.25 mL/L en la cuenca Coyula y de 0.21 mL/L en la cuenca El Vado.

  Al contrastar estos valores con el rango estándar típico reportado en la literatura de ingeniería sanitaria para aguas municipales sin tratar (12 a 23 mL/L), se evidencia una marcada deficiencia de sólidos rápidamente sedimentables en los puntos terminales de descarga.

  Este fenómeno técnico indica que una porción considerable de las arenas y sólidos gruesos arrastrados por el flujo sufre un proceso de sedimentación y retención previa a lo largo del perfil longitudinal de las tuberías y colectores debido a bajas velocidades de arrastre hidráulico en periodos de estiaje.

  El Percentil 80 se mantuvo confinado en el intervalo de 0.40 mL/L a 0.27 mL/L.

- **Grasas y Aceites (G y A):** Se cuantificaron concentraciones promedio ponderadas de 50.92 mg/L para la subcuenca Coyula y de 45.83 mg/L para El Vado, reportando valores de Percentil 80 (P80) de 59.68 mg/L y 51.67 mg/L respectivamente.

  Estos niveles se evalúan como moderados a bajos en relación con el rango típico doméstico de referencia (76 a 153 mg/L). Este escenario cualitativo resulta favorable para la ingeniería del proceso, ya que minimiza los riesgos operativos asociados a la colmatación de rejillas de desbaste fino, acumulación excesiva de natas flotantes en los clarificadores secundarios o la interferencia en la transferencia de oxígeno por recubrimiento graso en las membranas de los difusores de burbuja fina.

- **Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK):** El comportamiento analítico de los nutrientes nitrogenados evidenció una elevada homogeneidad espacial, reportando valores promedio ponderados de 43.00 mg/L como N para la cuenca Coyula y de 49.00 mg/L como N para El Vado.

  Estos resultados se insertan firmemente dentro del espectro estándar de aguas municipales sin tratar (rango de referencia: 35 a 69 mg/L).

  La presencia de estas concentraciones de nitrógeno orgánico y amoniacal hace mandatorio el diseño de un proceso biológico con capacidades cinéticas de nitrificación y desnitrificación biológica para cumplir con los límites de descarga.

  El procesamiento estadístico fijó el Percentil 80 (P80) de este contaminante entre los 36.15 mg/L y los 67.35 mg/L.

- **Fósforo Total (PT):** Registró concentraciones promedio ponderadas de 8.35 mg/L como P en la subcuenca Coyula y de 8.12 mg/L como P en la subcuenca El Vado. Estos niveles corresponden técnicamente a una clasificación de agua residual con carga de nutrientes de media a fuerte (rango típico bibliográfico: 5.6 a 11.0 mg/L).

  La fuente principal de este contaminante se asocia directamente a las descargas de uso doméstico que contienen detergentes sintéticos y productos de limpieza fosfatados, lo cual requerirá la integración de zonas anaeróbicas para la remoción biológica mejorada de fósforo (EBPR) o la dosificación de coagulantes químicos para su precipitación.

  El valor calculado para el Percentil 80 se ubicó entre 8.59 mg/L y 9.16 mg/L.

- **Alcalinidad Total, Cloruros y Sulfatos:** La alcalinidad total promedio reportó valores de 73.85 mg/L como $CaCO_3$ para Coyula y 68.30 mg/L como $CaCO_3$ para El Vado, manteniéndose dentro del margen normal (20 a 200 mg/L) con un P80 posicionado entre 73.63 y 82.55 mg/L. Los cloruros registraron promedios ponderados de 68.97 mg/L y 70.17 mg/L respectivamente, quedando significativamente por debajo del límite de 200 mg/L asociado habitualmente al agua potable y con percentiles entre 64.92 y 80.64 mg/L.

En lo referente a los sulfatos, se determinaron promedios de 164.45 mg/L en Coyula y de 163.28 mg/L en El Vado, concentraciones típicas para uso doméstico que se encuentran por debajo del umbral crítico que propicia la generación masiva de ácido sulfhídrico por reducción bacteriana anaeróbica, reportando un P80 situado entre los 174.82 mg/L y los 184.94 mg/L.

- **Huevos de Helminto y Parámetros Microbiológicos:** La cuantificación analítica de huevos de Helminto arrojó concentraciones sumamente bajas en todas las estaciones de monitoreo, reportando valores menores a una unidad (< 1 H/L) tanto en Coyula como en El Vado.

  Esta condición cualitativa inicial representa una ventaja técnica significativa para el dimensionamiento del sistema de desinfección, asegurando el cumplimiento directo de los límites normativos más estrictos para el reúso del agua en servicios públicos. En contraste directo, las concentraciones de Coliformes Fecales de la línea base resultaron críticas y saturaron de forma sistemática el límite superior del método analítico de tubos múltiples de fermentación, expresándose en todos los reportes de laboratorio como valores iguales o superiores a ≥ 2,400 NMP/100 mL.

  Estos resultados microbiológicos son totalmente consistentes con los rangos biológicos esperados en aguas negras crudas sin dilución, los cuales oscilan olímpicamente entre $1x10^4$ y $1x10^8$ NMP/100 mL.

- **Metales Pesados y Toxicidad Aguda:** Los análisis de espectrofotometría de absorción atómica demostraron de manera concluyente que las concentraciones de metales pesados (tales como Cadmio, Plomo, Cromo, Níquel, Cobre, Zinc, Mercurio y Arsénico) se ubicaron en su totalidad por debajo de los límites de detección analítica del laboratorio y muy rezagadas respecto a los límites máximos permisibles fijados por la normatividad ambiental aplicable.

  Debido a la ausencia de valores significativos, se determinó omitir un procesamiento estadístico detallado de estas variables. Respecto a la toxicidad aguda, los ensayos biológicos reportaron concentraciones promedio ponderadas confinadas en un rango seguro de 2 a 15 Unidades de Toxicity (UT), valores que se encuentran por debajo de los límites de restricción técnica de la norma y reafirman la viabilidad del tratamiento biológico por lodos activados al confirmarse la ausencia de agentes inhibidores de la actividad bacteriana.

1.4. Definición de la Calidad del Agua Residual Cruda de Diseño

1.4.1. Establecimiento de Parámetros Conceptuales del Influente y Metas de Calidad

A partir de la consolidación integral del diagnóstico cualitativo de las descargas operativas, los resultados ponderados de las campañas analíticas de aforo y muestreo, y la modelación matemática de las proyecciones demográficas de los distritos urbanos de Tonalá, se procedió a fijar formalmente los parámetros analíticos que constituirán la base de calidad del agua residual cruda de diseño (influente de diseño).

Estos valores paramétricos establecen las bases conceptuales y datos de entrada indispensables para realizar el dimensionamiento físico, el cálculo de las constantes cinéticas de los reactores biológicos, los requerimientos de transferencia de oxígeno para sopladores, el volumen de sedimentación y la tasa de producción diaria de lodos residuales.

Para la infraestructura correspondiente a la PTAR Coyula, se ha adoptado formalmente un gasto nominal de diseño de 250 L/s (equivalente a un volumen de 21,600 m^3/día). Para la PTAR El Vado, se definió un gasto nominal de diseño de 160 L/s (equivalente a un volumen de 13,824 m^3/día). Estos caudales volumétricos configuran la base de cálculo hidráulica del proyecto.

Con base en la marcada homogeneidad técnica demostrada en los promedios ponderados analíticos de ambas subcuencas, y con la finalidad de estandarizar los criterios de operación, los manuales de mantenimiento y los procesos de adquisición y procura de equipos electromecánicos de ambas instalaciones, se determinó adoptar una caracterización analítica unificada y equivalente para el influente de diseño de ambos sistemas de tratamiento

Los valores paramétricos adoptados formalmente como bases de diseño e ingeniería se presentan de manera detallada en la siguiente matriz técnica:

Parámetro Indicador de Contaminación	Unidad de Medida	Valor Influyente Adoptado (PTAR Coyula)	Valor Influyente Adoptado (PTAR El Vado)	Meta de Calidad del Agua Tratada (Efluente)	Eficiencia Global Mínima Requerida (%)
Gasto Nominal de Diseño de la Planta	L/s	250	160	*N/A*	*N/A*
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	250	250	60	76.0%
Demanda	mg/L	300	300	< 20	> 93.3%

Parámetro Indicador de Contaminación	Unidad de Medida	Valor Influyente Adoptado (PTAR Coyula)	Valor Influyente Adoptado (PTAR El Vado)	Meta de Calidad del Agua Tratada (Efluente)	Eficiencia Global Mínima Requerida (%)
Bioquímica de Oxígeno (DBO5)					
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	650	650	150	76.9%
Grasas y Aceites (G y A)	mg/L	50	50	15	70.0%
Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)	mg/L	50	50	25	50.0%
Fósforo Total (PT)	mg/L	8	8	15	0.0% (Meta > Influyente)
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	≥ 2,400	≥ 2,400	< 250	> 89.5%
Carbono Orgánico Total (COT)	mg/L	*No especificado*	*No especificado*	38	*N/A*

1.4.2. Análisis de Resiliencia Operativa y Consistencia de Carga del Sistema

La definición de la calidad del agua residual cruda detallada en la matriz técnica anterior se considera estrictamente representativa de las condiciones operativas continuas esperadas para el sistema, integrando de forma estadística las variaciones normales por cambios estacionales y el impacto de las descargas dominantes identificadas y validadas durante la campaña analítica de campo.

Este modelo de carga proporciona un marco de certidumbre indispensable para la ingeniería de detalle de un proceso de tratamiento secundario avanzado, tal como el arreglo de reactores de tipo Anaerobio-Anóxico-Oxigenado (A^2O), el cual se encuentra orientado específicamente a la remoción combinada de materia orgánica por vía heterótrofa y la eliminación de nutrientes mediante rutas biológicas de nitrificación y desnitrificación.

La comparación directa entre las concentraciones brutas del influente y las metas numéricas fijadas para el efluente final tratado evidencia la necesidad técnica de alcanzar eficiencias globales de remoción sumamente elevadas, destacando la obligatoriedad de un abatimiento drástico en la demanda bioquímica de oxígeno (eficiencia superior al 93.3%), una clarificación avanzada de sólidos suspendidos totales (remoción del 76.0%) y una desactivación patógena rigurosa para deprimir la carga microbiológica (reducción mayor al 89.5%).

En etapas de ingeniería de detalle subsecuentes, una vez que se disponga de la información complementaria relativa a la modulación hidráulica final —gastos mínimos nocturnos, máximos horarios y gastos máximos extraordinarios derivados de los modelos de tránsito de avenidas sanitarias en interceptores— se procederá a realizar la verificación de consistencia de esta definición respecto a los escenarios dinámicos de fluctuación de carga y gasto, asegurando la resiliencia y estabilidad del proceso biológico ante la ocurrencia de choques de carga orgánica o hidráulica.

2. Topografía y Selección de Sitios

2.1. Memoria Descriptiva del Levantamiento Topográfico

2.1.1. Objeto y Alcance de los Trabajos Topográficos

El desarrollo de las ingenierías básicas para la estructuración y optimización de los sistemas de colectores y alejamiento de aguas residuales en las cuencas denominadas "El Vado" y "Coyula", localizadas en el estado de Jalisco, requirió la ejecución de un levantamiento topográfico de precisión adaptado para estudios de preingeniería básica. El propósito central de estos trabajos consistió en la generación de una base de datos geométrica, planimétrica y altimétrica de alta confiabilidad técnica.

Esta base sirve como insumo fundamental para modelar y evaluar la viabilidad de las diferentes alternativas conceptuales de trazo de colectores e interceptores sanitarios marginales.

El alcance de los trabajos desarrollados en campo y gabinete abarcó las siguientes etapas consecutivas:

- Establecimiento de un sistema de control topográfico horizontal y vertical amarrado a la red geodésica oficial.
- Monumentación permanente y resguardo en campo de puntos estratégicos de referencia planimétrica y altimétrica.
- Desarrollo y cierre de poligonales de apoyo mediante estación total para la densificación de los vértices de control en zonas críticas de trazo.
- Ejecución de levantamientos de detalle del terreno natural, infraestructuras existentes, cruces con vialidades y perfiles longitudinales de cauces mediante el método de radiaciones desde las estaciones de apoyo.
- Procesamiento de datos en gabinete e integración de la información en planos topográficos georreferenciados en formato CAD (Diseño Asistido por Computadora).
-

Es indispensable precisar que, contractualmente, el alcance de estos trabajos se acota a la generación de insumos de preingeniería conceptual. Por lo tanto, no incluye el desarrollo de ingenierías de detalle constructivo, memorias hidráulicas definitivas ni planos as-built para obra, constituyendo la base de validación para la toma de decisiones técnicas de planeación.

2.1.2. Marco Normativo y Sistema de Referencia Geodésica

Para asegurar la trazabilidad espacial y la perfecta compatibilidad de la cartografía generada con los sistemas de información geoespacial de carácter oficial y los catastros municipales de Tonalá, el control geodésico del levantamiento fue vinculado estrictamente al marco de referencia oficial **DATUM84 ITRF-92**. Todas las coordenadas planimétricas se expresan en el sistema de proyección universal transversal de Mercator (UTM), y las elevaciones hacen referencia al nivel medio del mar (msnm).

Los procedimientos e instrumentación se apegaron a los criterios técnicos validados para estudios hídricos e infraestructura sanitaria de la Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEA). Las tolerancias angulares y lineales se confinaron dentro de los rangos requeridos para estudios de preingeniería básica, priorizando la precisión en el perfilado altimétrico vertical de las márgenes de los arroyos, condición matemática indispensable para asegurar la viabilidad del flujo por gravedad en los futuros colectores sanitarios.

2.1.3. Metodología de Control en Campo e Instrumentación

El control topográfico horizontal y vertical se estableció mediante una metodología híbrida de medición que optimizó los rendimientos en campo y la precisión geométrica:

- **Control Geodésico Primario (GNSS):** Se emplearon sistemas de posicionamiento satelital global GNSS con receptores de doble frecuencia marca Topcon, modelo GR-5. Mediante el método de posicionamiento estático diferencial post-procesado, se fijaron las coordenadas y elevaciones de las bases de control primario, amarradas a las estaciones de la Red Geodésica Nacional Activa del INEGI.
- **Poligonales de Apoyo y Densificación:** A partir de los vértices GNSS establecidos, se desarrollaron poligonales cerradas de apoyo técnico utilizando estaciones totales electrónicas marca Leica, modelo TS-06 Plus. Este equipo cuenta con una precisión angular de 2 segundos y un distanciómetro láser integrado de alto alcance, lo que garantizó cierres lineales y angulares holgadamente por debajo de las tolerancias de cálculo establecidas para la ingeniería básica.

2.1.4. Levantamiento de Detalles, Procesamiento y Entrega de Productos

El levantamiento de los detalles topográficos y accidentes del terreno se realizó por el método de radiaciones directas desde las estaciones de las poligonales de apoyo. Se registraron de manera puntual los niveles de la plantilla de colectores existentes, coronas de pozos de visita, estructuras de descarga, infraestructura eléctrica visible, puentes, caminos de operación y secciones transversales de los cauces naturales de Coyula y El Vado.

El procesamiento de los datos de campo se ejecutó en gabinete utilizando software especializado para topografía y diseño asistido por computadora. Se calcularon las coordenadas X, Y, Z de cada punto radiado tras la compensación matemática de las poligonales de apoyo.

El producto final consiste en un plano topográfico integral georreferenciado en formato digital CAD que incluye curvas de nivel detalladas, perfiles longitudinales y la ubicación exacta de las singularidades físicas del terreno. De acuerdo con las cláusulas de preingeniería básica, la información cruda de observación (archivos RINEX, libretas de campo físicas o bitácoras de calibración instrumental) permanece como respaldo de control de calidad interno del ejecutor, garantizando que la monumentación física instalada en campo provee la trazabilidad suficiente para cualquier verificación o densificación futura en fases ejecutivas avanzadas.

2.2. Integración del Plano Base de la Zona de Estudio

2.2.1. Metodología de Conformación y Fuentes de Datos

La estructuración del plano base integral de la zona de estudio se consolidó mediante la superposición y correspondencia matemática de dos fuentes esenciales de información: la cartografía y registros documentales recopilados durante la fase de gabinete ante la CEA y el municipio, y la base de datos geométrica georreferenciada obtenida en los recorridos de validación y levantamientos topográficos de campo.

Este plano base unifica en un solo modelo digital la delimitación hidrográfica y la totalidad de la infraestructura hidráulico-sanitaria existente y proyectada para las subcuencas de El Vado y Coyula.

2.2.2. Componentes de la Infraestructura Sanitaria Representados

El plano base espacializa de manera sistemática los siguientes elementos de infraestructura:

- Trazos de la red de alcantarillado sanitario secundario operantes en las colonias y desarrollos de la periferia.
- Ejes y perfiles de los colectores principales proyectados y existentes funcionando a gravedad.
- Emisores marginales, cárcamos de bombeo sanitarios, líneas de impulsión a presión y estructuras especiales (cajas de caída, pozos de visita especiales).
- Puntos de descarga residual cruda validados por la Comisión Estatal del Agua de Jalisco y aquellos detectados de forma adicional por el equipo de ingeniería.

2.2.3. Criterios de Diseño, Trazo de Líneas y Optimización Topográfica

Como criterio fundamental de ingeniería hidráulica para el trazo de las conducciones del plano base, las líneas se definieron iniciando geométricamente en el punto de descarga más alejado (aguas arriba) con respecto al sitio seleccionado para la macro-infraestructura de tratamiento o punto de concentración final.

A partir de este origen superior, el desarrollo de los ejes de los colectores se proyectó siguiendo de manera estricta la topografía natural del terreno y el sentido de los escurrimientos superficiales. Las líneas incorporan progresivamente los aportes de las descargas intermedias detectadas en los recorridos, cumpliendo con la premisa técnica de captar el 100% de los gastos sanitarios generados en el interior de cada subcuenca.

Este planteamiento geométrico optimiza las pendientes naturales disponibles, permitiendo que el sistema funcione de manera predominantemente por gravedad. Con esto se reduce la necesidad de implementar estaciones de bombeo únicamente a aquellos tramos específicos donde la configuración topográfica o la presencia de contrapendientes críticas lo hacen técnicamente indispensable.

En tales puntos singulares, se integran de forma justificada cárcamos de bombeo con sus respectivas líneas de impulsión y emisores a presión.

2.2.4. Depuración, Actualización de Descargas y Utilidad Hidráulica

El proceso de verificación en campo y el análisis detallado de las cotas topográficas permitieron realizar una depuración crítica del inventario inicial de descargas.

Un caso técnico relevante fue la evaluación de la **Descarga No. 12**: tras nivelar topográficamente el sitio, se demostró que su ubicación física se encuentra fuera del parteaguas o límite de la cuenca hídrica de aportación correspondiente. En consecuencia, se determinó su descarte definitivo del proyecto al comprobarse que no contribuye hidráulicamente al sistema.

En su lugar, se incorporó formalmente al plano base una descarga adicional detectada durante los levantamientos físicos en campo, la cual se encuentra plenamente dentro del área de influencia y fue considerada para el trazo y cálculo de diámetros de los colectores.
La superposición analítica de la delimitación de las subcuencas con la infraestructura sanitaria en el plano base facilita el diagnóstico hidráulico del sistema. Permite identificar de manera visual zonas sin cobertura, focos de vertido dispersos, deficiencias de capacidad en tuberías obsoletas y oportunidades de consolidación de colectores y emisores.
Por lo tanto, el plano base se constituye como la herramienta analítica fundamental para la planeación y definición de soluciones técnicas del proyecto, sirviendo como soporte matemático para calcular longitudes de tubería, ubicar obras especiales, diseñar interconexiones y priorizar las acciones orientadas al manejo integral de las aguas residuales en el municipio de Tonalá.

2.3. Identificación y Selección de Sitios Potenciales para las PTAR

2.3.1. Problemática Sanitaria y Proyecciones de Crecimiento Demográfico

El desarrollo de las ingenierías básicas para el saneamiento de las subcuencas Coyula (superficie de 2,879 hectáreas) y El Vado (superficie de 2,861 hectáreas) responde a un severo diagnóstico de pasivos ambientales en el municipio de Tonalá, Jalisco.

Ambas subcuencas manifiestan deficiencias estructurales críticas: vertidos directos de aguas negras crudas a cielo abierto en arroyos naturales, insuficiencia o inexistencia de colectores marginales de captación, y colapsos estructurales por fatiga o vandalismo en las líneas de conducción existentes. Esta problemática se agrava al contrastarla con la dinámica demográfica y el crecimiento poblacional proyectado al año horizonte 2050, el cual demanda el diseño de infraestructura con capacidades hidráulicas y biológicas suficientes para absorber los gastos futuros.

Las variables poblacionales adoptadas formalmente como base de diseño se desglosan a continuación:

- **Subcuenca Coyula:** Población estimada para el año base 2025 de 85,865 habitantes, proyectándose un incremento demográfico de más del doble para el año horizonte 2050, alcanzando los 196,751 habitantes.
- **Subcuenca El Vado:** Población estimada para el año base 2025 de 42,644 habitantes, estimándose un crecimiento acelerado que alcanzará los 104,368 habitantes para el año horizonte 2050.

2.3.2. Criterios de Evaluación y Análisis de Alternativas de Sitios

Para la localización de los macro-sitios destinados a albergar las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, se evaluaron diversos predios ubicados dentro del ámbito geográfico de las cuencas de aportación.

El proceso de selección descartó varias alternativas de predios debido a restricciones topográficas adversas. Dichos sitios descartados, si bien se encontraban dentro de la cuenca hidrográfica, imponían perfiles de conducción complejos que obligaban a realizar excavaciones a profundidades excesivas o a salvar contrapendientes pronunciadas.

Esto dificultaba la conducción eficiente del gasto sanitario por gravedad e incrementaba drásticamente la necesidad de escalonar estaciones de bombeo intermedias, elevando los costos de inversión (CAPEX) y los costos operativos y de consumo energético (OPEX) a largo plazo.

En contraste, las alternativas seleccionadas se emplazan en las partes bajas de los valles, permitiendo que los trazos de los interceptores se desarrollen de manera paralela a los cauces naturales o sobre derechos de vía de vialidades existentes, optimizando la accesibilidad constructiva y reduciendo afectaciones a terceros. La pendiente natural del terreno favorece la convergencia de los caudales por gravedad hacia los puntos propuestos para las PTAR, minimizando la dependencia de sistemas electromecánicos de bombeo de gran potencia y requiriéndose únicamente una estación de impulsión puntual en cada una de las subcuencas. Para sistematizar la toma de decisiones, la CEA aplicó una matriz técnica de evaluación y ponderación multi-criterio, basada en una escala de calificación del 1 (Muy Desfavorable) al 5 (Muy Favorable). Los pesos específicos y criterios de evaluación adoptados se detallan en la siguiente estructura analítica:

Criterio de Evaluación Técnica y Legal	Descripción Operativa del Criterio	Peso Específico (%)
Factibilidad Hidráulica	Evaluación de la posibilidad de conducción a gravedad, requerimientos mínimos de impulsión y eficiencia del trazo de colectores.	30%
Factibilidad Topográfica	Análisis de pendientes favorables del terreno natural, profundidades de excavación de zanjas y complejidad constructiva general.	20%
Factibilidad Ambiental	Evaluación de interferencias con Áreas Naturales Protegidas (ANP), afectación a la vegetación nativa y nivel de medidas de mitigación requeridas.	20%
Factibilidad Constructiva	Accesibilidad física para maquinaria pesada, cercanía a redes viales existentes y facilidad de implantación geométrica de las estructuras.	15%
Viabilidad Jurídica	Análisis del régimen de propiedad de la tierra, situación catastral y factibilidad legal de adquisición o expropiación.	10%
Potencial de Crecimiento	Superficie de terreno excedente disponible para albergar ampliaciones futuras de los módulos de proceso de la planta.	5%

La aplicación cuantitativa de esta matriz multi-criterio determinó el descarte de las opciones desfavorables y la selección formal de los predios óptimos, según el siguiente balance estadístico de puntuación ponderada:

Criterio Seleccionado	Peso (%)	Calif. Sitio Descartado	Puntaje Sitio Descartado	Calif. Sitio Seleccionado	Puntaje Sitio Seleccionado
Factibilidad Hidráulica	30%	2	60	5	150
Factibilidad Topográfica	20%	2	40	4	80
Factibilidad Ambiental	20%	3	60	3	60
Factibilidad Constructiva	15%	2	30	4	60
Viabilidad Jurídica	10%	3	30	4	40
Potencial de Crecimiento	5%	2	10	5	25
TOTAL PONDERADO	**100%**	—	230	—	415

2.3.3. Diagnóstico Técnico de las Alternativas de Macro-Sitios Seleccionadas

A. Macro-Sitio PTAR Coyula

El predio definitivo seleccionado para la implantación de la infraestructura de la PTAR Coyula se localiza de forma georreferenciada en las coordenadas geográficas **103°12'30.53" Longitud Oeste y 20°40'35.70" Latitud Norte**.

El sitio posee una superficie total disponible de 272,033.16 m², de la cual la huella física de diseño de la ingeniería básica requiere la ocupación de un área neta de 58,751.90 m² para el despliegue de las unidades de proceso primario, secundario y disposición de lodos.

En el ámbito jurídico, el predio corresponde al régimen de propiedad privada y cuenta con escritura pública debidamente registrada, lo que confiere una sólida viabilidad legal para su adquisición mediante compraventa directa.

Desde la perspectiva ambiental, se confirmó que el terreno se sitúa completamente fuera de los polígonos decretados como Áreas Naturales Protegidas (ANP); no obstante, el levantamiento ecológico identificó una cobertura forestal clasificada como Selva Baja Caducifolia.

En consecuencia, el proyecto ejecutivo deberá integrar las correspondientes manifestaciones de impacto ambiental y prever las medidas de mitigación, rescate de flora y compensación forestal dictadas por la normatividad ambiental vigente.

B. Macro-Sitio PTAR El Vado

El predio seleccionado para el desarrollo físico de la PTAR El Vado se ubica geográficamente en las coordenadas **103°9'24.39" Longitud Oeste y 20°36'55.55" Latitud Norte**, disponiendo de una superficie total de 160,000.057 m².

El dimensionamiento civil preliminar estima un requerimiento de área neta de 44,929 m² para la correcta implantación de las obras proyectadas. Al igual que en el caso anterior, el terreno se rige bajo el régimen de propiedad privada.

El diagnóstico de compatibilidad ambiental determinó una restricción de carácter crítico: una fracción del área originalmente delimitada para el predio invade el polígono de protección de la reserva ecológica federal denominada Área Natural Protegida del Río Santiago-Verde.

Con el fin de garantizar el estricto cumplimiento del marco legal y evitar pasivos jurídicos o la denegación de las autorizaciones ambientales, la ingeniería básica determinó restringir la huella de implantación de la planta modificando el límite geométrico.

Se estableció la necesidad de gestionar la adquisición de una porción adicional de terreno privado colindante orientada hacia el flanco oeste del predio original. Esta reconfiguración geométrica desplaza la infraestructura fuera del área protegida, manteniendo intacta la disponibilidad superficial total requerida para el funcionamiento operativo y las futuras ampliaciones al año 2050.

2.4. Criterios para el Arreglo de Conjunto de las Unidades de Proceso

2.4.1. Fundamentos Técnicos del Diseño de Distribución de Plantas

A partir de la definición de las dimensiones físicas de las estructuras civiles obtenidas en el dimensionamiento cinético, hidráulico y operativo de los procesos de tratamiento, se procedió a estructurar el arreglo de conjunto de las unidades de la planta.

El plano de arreglo de conjunto espacializa de forma detallada la ubicación geométrica relativa de cada una de las obras de arte, tanques, reactores y edificios complementarios, asegurando la optimización de los flujos de agua, líneas de lodos, redes de aireación e interconexiones electromecánicas.

2.4.2. Variables Topográficas, Ambientales y de Operación Integradas

La distribución espacial de las estructuras sobre los macropredios seleccionados se diseñó integrando de manera simultánea las siguientes restricciones y variables de ingeniería:

- **Topografía a Detalle y Curvas de Nivel:** Adecuación de los niveles de desplante de las estructuras a las pendientes reales del terreno natural levantado por la estación total, minimizando los volúmenes de corte y relleno de tierras (balance de movimiento de tierras) y garantizando que el flujo de agua entre las unidades de proceso consecutivas se realice por gravedad pura, eliminando bombeos intermedios dentro de la línea de agua de la planta.

- **Orientación del Predio y Vientos Dominantes:** Localización estratégica de las unidades propensas a la generación de olores (como los sistemas de desbaste grueso, canales de llegada de agua cruda y espesadores de lodos) en zonas que, con respecto a los vientos dominantes de la región, queden orientadas en dirección contraria a los edificios administrativos de la planta y a los asentamientos humanos colindantes.

- **Requerimientos de Vialidades y Accesibilidad Operativa:** Diseño de un circuito vial perimetral e interno pavimentado que garantice el libre tránsito y radios de giro adecuados para vehículos pesados encargados de la extracción de lodos deshidratados, descarga de reactivos químicos y camiones de mantenimiento electromecánico, integrando accesos controlados y áreas de estacionamiento.

- **Acometida Eléctrica y Redes de Servicios de Planta:** Disposición de las unidades de alto consumo de potencia (sopladores de aireación, cárcamos de bombeo de recirculación) en la proximidad del área reservada para la subestación eléctrica principal y la acometida de media tensión de la CFE, reduciendo las caídas de voltaje y optimizando las canalizaciones de fuerza y control (redes SCADA).
-
- **Previsión de Ampliaciones Futuras y Flexibilidad del Proceso:** Distribución modular de los reactores y clarificadores que reserve espacio físico libre contiguo para la duplicación de los trenes de tratamiento hacia el año horizonte 2050, asegurando que las interconexiones actuales incluyan válvulas y compuertas de desvío para facilitar el mejoramiento futuro de la calidad del efluente o el incremento de la capacidad de tratamiento sin paralizar la operación de la planta.
-

2.4.3. Especificaciones del Plano Funcional de Conjunto

El plano funcional de arreglo de conjunto constituye el entregable gráfico maestro de la sección topográfica y de sitio. Este documento técnico incorpora con precisión milimétrica:

- La ubicación geométrica exacta de las obras principales que conforman el tren de tratamiento (obra de llegada, rejillas, desarenadores, reactores biológicos, clarificadores secundarios, canales de desinfección).

- La orientación angular de cada edificación y sus coordenadas de desplante amarradas al sistema UTM.

- El trazo de los accesos principales, vialidades operativas internas, banquetas de intercomunicación y delimitación perimetral del predio mediante cercado de seguridad.

- La localización de las unidades, áreas verdes de amortiguamiento y edificios auxiliares indispensables para el funcionamiento del sistema (edificio de sopladores, taller de mantenimiento, laboratorio de control de calidad, caseta de vigilancia y oficinas administrativas).

3. Ingeniería de Procesos (A^2O)

3.1. Bases de Diseño Hidráulico, Demográfico y Modelación de Carga Contaminante

3.1.1. Análisis Macroeconómico de Caudales al Año Horizonte 2050

La estructuración definitiva de las ingenierías de detalle para las plantas de tratamiento de aguas residuales se sustenta sobre las proyecciones de caudal formalmente aprobadas por la Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEA).

Estas variables cuantitativas integran los modelos de crecimiento demográfico, las dotaciones de agua potable calculadas por distrito hidrométrico (desde TON-1 hasta TON-14) y los coeficientes de retorno sanitarios validados para el municipio de Tonalá, fijando la capacidad de diseño al año horizonte 2050. Los caudales nominales adoptados que rigen el balance hidráulico general y el dimensionamiento físico de las estructuras civiles en ambos macro-sitios corresponden a:

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Coyula:** Diseñada para absorber un gasto nominal continuo de **250 L/s**, lo que representa una capacidad de conducción y estabilización volumétrica diaria de 21,600 m^3/día. El sistema contempla una modulación flexible para operar de manera eficiente desde los caudales mínimos nocturnos hasta los gastos máximos horarios estimados por el tránsito de avenidas sanitarias.

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Vado:** Configurada con una capacidad nominal de diseño de **160 L/s**, equivalente a un volumen neto de operación de 13,824 m^3/día. Su distribución arquitectónica y electromecánica se encuentra dispuesta en módulos paralelos independientes para asimilar de forma escalonada el incremento de las aportaciones residenciales conforme se consoliden los desarrollos habitacionales de su cuenca de captación.

3.1.2. Línea Base del Influente Crudo y Metas de Vertido Conforme a la NOM-001-SEMARNAT-2021

La caracterización físico-química y microbiológica del agua residual cruda se consolidó mediante el procesamiento estadístico de los datos analíticos de laboratorio obtenidos durante las campañas de monitoreo compuesto de 24 horas en un total de 11 descargas activas. E

l comportamiento cualitativo general se acopló con los rangos reportados en la literatura especializada internacional (*Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*, adaptado por Tchobanoglous) para matrices de agua residual municipal con concentraciones de carga orgánica de clasificación media a alta.

El diseño del proceso biológico avanzado está rigurosamente dimensionado para mitigar los impactos ambientales en los cuerpos receptores federales y asegurar que el efluente final cumpla de forma estricta con las metas de calidad "20/20" y las restricciones de carbono orgánico total exigidas por el marco normativo ambiental mexicano vigente.

Los criterios paramétricos adoptados formalmente se detallan en la siguiente matriz:

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

Parámetro Indicador de Contaminación	Símbolo Técnico	Unidades de Medida	Concentración Influente (Agua Residual Cruda)	Límite Meta Efluente (Agua Tratada)	Eficiencia Global de Remoción Requerida
Demanda Bioquímica de Oxígeno(5 días)	DBO_5	mg/L	300	< 20	**93.33%**
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/L	250	60	**76.00%**
Demanda Química de Oxígeno (Total)	DQO	mg/L	650	150	**76.92%**
Grasas y Aceites (Extractables)	G y A	mg/L	50	15	**70.00%**
Nitrógeno Total Kjeldahl (como N)	NTK	mg/L	50	25	**50.00%**
Fósforo Total (como P)	PT	mg/L	8	15	*Cumplimiento Directo**
Carbono Orgánico	COT	mg/L	*No Especificado*	38	—

Parámetro Indicador de Contaminación	Símbolo Técnico	Unidades de Medida	Concentración Influente (Agua Residual Cruda)	Límite Meta Efluente (Agua Tratada)	Eficiencia Global de Remoción Requerida
Total					
Coliformes Fecales (Densidad)	C.F.	NMP/100 mL	≥ 2,400	< 250	> 89.58%

**Nota Técnica: Si bien el valor influyente de Fósforo Total (8 mg/L) se encuentra cuantitativamente por debajo del límite máximo permisible en la meta regulatoria del efluente (15 mg/L), el arreglo físico y el cálculo cinético del reactor biológico incorpora zonas específicas de anoxia y anaerobia destinadas a inducir la eliminación biológica mejorada de fósforo (EBPR), mitigando los riesgos de eutrofización y proliferación de maleza acuática en los arroyos de Coyula y El Vado.*

3.2. Evaluación de Alternativas Tecnológicas y Justificación del Proceso Seleccionado

Con el objetivo de definir el esquema de tratamiento idóneo para absorber las variaciones de carga y garantizar la sustentabilidad técnica de las obras hídricas, se desarrollaron modelos analíticos preliminares y memorias de predimensionamiento detalladas para tres tecnologías de flujo continuo mecanizado que permiten cumplir con las normas de control de la contaminación:

1. **Lodos Activados Convencionales con Remoción de Nutrientes:** Régimen de flujo pistón continuo con mezcla completa y aireación mediante sopladores.

   Si bien ofrece eficiencias de remoción orgánica estables (85% a 95%), requiere volúmenes de reacción muy elevados y un consumo de energía eléctrica elevado para sostener la demanda uniforme de oxígeno a lo largo del tanque, incrementando de manera drástica el costo operativo (OPEX) y la huella física de implantación civil (CAPEX).

2. **Lodos Activados con Lecho Móvil (MBBR - Moving Bed Biofilm Reactor):** Sistema de flujo continuo con biomasa fija soportada sobre elementos plásticos tipo *carrier* en suspensión.

   Presenta ventajas en cuanto a la reducción de área física del predio; sin embargo, exige personal operativo altamente especializado, introduce pérdidas de carga hidráulica considerables por el uso de rejillas de retención de transportadores y eleva de forma drástica los costos de inversión inicial por la procura de patentes internacionales del medio de soporte.

3. **Lodos Activados en Modalidad Anaerobio-Anóxico-Aerobio (A^2O):** Tren biológico avanzado de flujo continuo que integra compartimentos en serie operados bajo estrictos gradientes de potencial de oxidación-reducción (ORP). Este proceso permite acoplar la degradación heterótrofa de la DBO_5 con las rutas metabólicas de nitrificación y desnitrificación biológica de forma simultánea.

A partir del análisis técnico-económico detallado se determinó que el sistema **A^2O** constituye la alternativa más conveniente y equilibrada para las plantas de tratamiento de Coyula y El Vado. Las razones ingenieriles que sustentan esta selección se fundamentan en:

- **Optimización Financiera Integral (CAPEX/OPEX):** Presenta el menor costo relativo de inversión inicial en obra civil y equipamiento electromecánico al unificar en un solo cuerpo de reactores las fases de estabilización orgánica y de nutrientes, logrando un costo unitario por metro cúbico tratado altamente competitivo frente a los esquemas convencionales.

- **Eficiencia Metabólica Sostenible:** Logra una eficiencia de remoción superior al 95% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno y deprime las concentraciones de Nitrógeno Total Kjeldahl por debajo de los 25 mg/L, operando con una relación óptima entre el volumen total de los reactores y la potencia consumida por los sopladores de aireación.

- **Resiliencia y Flexibilidad de Operación:** Proporciona una alta estabilidad frente a choques de carga hidráulica o incrementos estacionales de concentración biológica, reduciendo la producción de lodo secundario y eliminando los riesgos de abultamiento del lodo (*sludge bulking*) en los clarificadores secundarios gracias a la presencia del selector anaerobio de cabecera.

- **Factibilidad de Crecimiento Modular:** Al no presentar restricciones ecológicas o ambientales complejas en sus perímetros de implantación, permite un diseño arquitectónico modular estructurado en trenes independientes, facilitando la ejecución de ampliaciones futuras hacia el año 2050 sin alterar la operación continua de la infraestructura inicial.
-

3.3. Ingeniería de Detalle Funcional del Tren de Agua

3.3.1. Pretratamiento Mecanizado Compacto

Las aguas residuales recolectadas por el sistema de colectores marginales ingresan a las instalaciones de la planta de forma puramente gravitacional a través de canales abiertos de concreto, suprimiéndose la necesidad de implementar cárcamos de bombeo de cabecera.

La etapa inicial de acondicionamiento físico se ejecuta mediante una **Unidad Compacta de Pretratamiento Mecanizado (Marca EMO)**.

Este equipo automatizado e integrado realiza en una sola huella estructural las operaciones críticas de cribado fino, desarenado y desengrasado:

- **Cribado Fino Autolimpiante:** El flujo atraviesa una rejilla de barras de acero inoxidable con espaciamiento micrométrico que retiene de forma continua basuras, papeles, fragmentos plásticos y sólidos flotantes gruesos.
  Un mecanismo de peines mecánicos raspa la superficie de filtración para retirar los residuos acumulados, dirigiéndolos hacia un tornillo compactador-deshidratador integrado que reduce el volumen de la basura antes de depositarla de forma higiénica en contenedores herméticos para su disposición en rellenos sanitarios.

- **Desarenación y Desengrasado Aerobio:** El agua libre de gruesos ingresa a una cámara longitudinal equipada con una parrilla de difusores de burbuja gruesa alimentada por sopladores dedicados.

  La inyección de aire induce un movimiento helicoidal controlado en el fluido que genera dos efectos cinéticos simultáneos: las arenas, gravas y partículas minerales pesadas pierden sustentación y sedimentan de forma diferencial en la plantilla interna del tanque, mientras que las grasas, aceites y natas de baja densidad coalescen y son impulsadas hacia una canaleta lateral de flotación.

  Un puente barredor mecánico extrae de forma continua las arenas del fondo mediante bombas de succión y remueve las grasas superficiales utilizando rascadores de superficie para su confinamiento definitivo.

3.3.2. Tratamiento Primario: Sedimentación Gravitacional

Para mitigar la carga orgánica suspendida y proteger la cinética del reactor biológico, el agua acondicionada en el pretratamiento se distribuye de manera uniforme hacia **Sedimentadores Primarios Circulares (Marca AWASA)**. Estas unidades de flujo radial operan bajo criterios estrictos de carga hidráulica superficial, permitiendo la decantación gravitacional simple de la fracción sólida sedimentable que logró evadir el pretratamiento. Los tanques logran remover hasta un 50% de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y una fracción equivalente de la DBO_5 asociada a los sólidos insolubles.

El lodo primario decantado en la plantilla cónica del fondo es arrastrado de forma continua por un sistema de rastras mecánicas rotatorias de baja velocidad hacia una tolva central de recolección. Desde este punto, bombas de cavidad progresiva extraen el lodo denso de manera programada por temporizadores para transferirlo directamente hacia la línea de lodos.

En la superficie del sedimentador, un brazo desnatador solidario al eje central barre las trazas remanentes de espumas y natas flotantes, derivándolas hacia un vertedero de descarga conectado al cárcamo de grasas.

3.3.3. Tratamiento Biológico Avanzado: Reactor A^2O

El efluente clarificado de la sedimentación primaria converge en el canal de reparto que alimenta al **Reactor Biológico de Lodos Activados en Modalidad Anaerobio-Anóxico-Aerobio (A^2O)**. El sistema está constituido por estructuras de concreto armado dispuestas en paralelo que operan con un régimen de flujo continuo y tapón modificado.

Cada tren biológico está subdividido internamente por pantallas deflectoras en tres cámaras secuenciales perfectamente delimitadas, encargadas de catalizar transformaciones bioquímicas específicas:

1. Zona Anaerobia (Selector Biológico de Cabecera)

Esta primera cámara opera bajo un régimen estricto de anoxia total, caracterizado por concentraciones nulas de oxígeno disuelto (< 0.1 mg/L) y la total ausencia de iones nitrato o nitrito. En este compartimento confluye el flujo de agua residual primaria con la corriente de Lodo Activado de Recirculación (LAR) proveniente de los clarificadores secundarios. Con la finalidad de mantener los sólidos en suspensión (licor de mezcla) sin introducir aire atmosférico, se instalan **Mezcladores Sumergibles de Baja Velocidad y Gran Diámetro (Marca HOMA)**, equipados con propulsores autolimpiantes de perfil hidrodinámico.

Esta condición de severo estrés ambiental obliga a las Bacterias Acumuladoras de Fósforo (PAOs, por sus siglas en inglés) a metabolizar sus reservas internas de polifosfatos como fuente de energía para absorber los ácidos grasos volátiles (AGVs) presentes en el agua cruda, almacenándolos en forma de polihidroxialcanoatos (PHAs). Este mecanismo metabólico provoca una liberación masiva de ortofosfatos a la fase líquida en esta zona, condición cinética indispensable que incrementa el potencial celular de las bacterias para asimilar fósforo en exceso durante la posterior etapa aerobia.

2. Zona Anóxica (Cámara de Desnitrificación)

El licor de mezcla abandona el selector anaerobio y entra en la zona anóxica, donde las concentraciones de oxígeno disuelto se mantienen estrictamente por debajo de 0.2 mg/L, pero se introduce una carga masiva de nitratos. Esto se logra mediante la inyección continua de una corriente de **Recirculación Interna de Licor Mezclado (RILM)** proveniente del extremo final de la zona aerobia, movilizada por **Bombas de Flujo Axial Sumergibles de Alto Caudal y Baja Carga (Marca Flygt)**. La agitación homogénea de los flóculos bacterianos se mantiene mediante **Mezcladores Sumergibles dedicados (Marca HOMA)**.

Bajo estas condiciones de operación, las bacterias heterótrofas facultativas desnitrificantes se ven obligadas a utilizar el ion nitrato (NO_3^-) como aceptor final de electrones en su cadena respiratoria para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica soluble remanente. La reacción bioquímica reduce el nitrato, transformándolo sucesivamente en nitrito, óxido nítrico y, finalmente, en nitrógeno gas (N_2), el cual se desprende de forma inofensiva hacia la atmósfera. Este proceso logra abatir la concentración de nitrógeno total en el efluente y recupera una fracción de la alcalinidad consumida durante la nitrificación.

3. Zona Aerobia (Cámara de Oxidación y Nitrificación)

El licor de mezcla fluye de manera gravitacional hacia la cámara óxica, donde las concentraciones de oxígeno disuelto se controlan activamente dentro de un rango operativo óptimo de 2.0 a 3.0 mg/L. La transferencia de masa de oxígeno y la agitación neumática se realizan mediante una densa parrilla de **Difusores de Burbuja Fina con Membrana de EPDM (Etileno Propileno Dieno tipo M)** instalada en el fondo del tanque. El suministro de aire presurizado es provisto por una batería de **Sopladores Industriales de Desplazamiento Positivo / Lóbulos Rotatorios (Marcas Kaeser y Hoffman)**, equipados con variadores de frecuencia acoplados a sondas de oxígeno en tiempo real.

En esta zona se desarrollan tres vías metabólicas simultáneas de alta eficiencia:

- **Oxidación de la DBO_5:** Las bacterias heterótrofas aerobias asimilan y oxidan el carbono orgánico remanente, transformándolo en biomasa celular nueva, dióxido de carbono y agua.

- **Nitrificación Biológica Completa:** Las bacterias autótrofas obligadas (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*) realizan la oxidación catalítica del nitrógeno amoniacal (NH_4^+), transformándolo secuencialmente en nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-), consumiendo alcalinidad en el proceso. Esta corriente rica en nitratos es la que se recircula mecánicamente hacia la zona anóxica previa.

- **Absorción Masiva de Fósforo (Luxury Uptake):** Las bacterias PAOs, habiendo acumulado PHAs en la zona anaerobia, oxidan estas reservas de carbono para obtener energía, lo que les permite absorber ortofosfatos disueltos de la fase líquida en una proporción muy superior a sus necesidades metabólicas estándar, almacenándolos internamente como polifosfatos estables.

3.3.4. Clarificación Secundaria: Separación de Biomasa

El licor de mezcla que abandona la zona aerobia se distribuye de forma simétrica hacia **Sedimentadores Secundarios Circulares de Flujo Radial (Marca AWASA)**. Estas unidades actúan como decantadores biológicos de precisión, aislando la biomasa activa del agua tratada bajo condiciones hidráulicas de total quietud.

Los flóculos biológicos sedimentan por gravedad hacia la plantilla cónica del fondo, generando un frente de lodo espeso, mientras que el agua clarificada fluye hacia la superficie del tanque.
Un mecanismo de rastras mecánicas barre el lodo asentado hacia una tolva central de recolección. Desde este punto, el lodo es succionado por bombas dedicadas para dividirse en dos líneas operativas esenciales:

- **Lodo Activado de Recirculación (LAR):** Corriente mayoritaria de biomasa viva que se bombea continuamente de regreso a la cabecera del reactor A^2O (zona anaerobia) para mantener la concentración requerida de Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor de Mezcla (SSVLM) y sostener la edad del lodo de diseño.

- **Lodo Secundario de Purga (LSP):** Fracción de biomasa excedente que se extrae del sistema de forma definitiva para mantener el equilibrio de inventario de sólidos en el reactor. Debido a que este lodo contiene a las bacterias PAOs saturadas de fósforo, su purga física constituye el mecanismo definitivo de eliminación de fósforo de la línea de agua de la planta.

El agua clarificada libre de lodos desborda de manera perimetral a través de vertederos tipo dientes de sierra (platabandas calibradas) hacia el canal colector de agua tratada.

3.3.5. Filtración Terciaria y Pulimiento del Efluente

Con la finalidad de retener los microflóculos biológicos flotantes y trazas incidentales de sólidos suspendidos finos que no lograron asentarse en los clarificadores secundarios, el efluente es sometido a un proceso de filtración superficial avanzada. Se emplean **Filtros Terciarios Mecánicos de Tipo Disco (Marca Dynadisc)**, constituidos por una serie de discos rotatorios modulares revestidos con mallas de microfiltración de acero inoxidable. El agua fluye desde el interior de los discos hacia el canal exterior, quedando retenidas las partículas en la cara interna de las mallas.

El equipo dispone de un sistema automatizado de lavado a contracorriente accionado por sensores de presión diferencial: al incrementarse la pérdida de carga por colmatación, los discos giran lentamente mientras una batería de espreas presurizadas inyecta agua purificada a alta presión desde el exterior para desprender los sólidos atrapados, derivándolos al canal de retrolavados. Asimismo, el sistema incorpora un módulo integrado de dosificación química cíclica para la aplicación de soluciones desincrustantes especiales, eliminando incrustaciones minerales o biopelículas adheridas a los componentes mecánicos sin interrumpir el funcionamiento continuo de la unidad.

3.3.6. Sistema Avanzado de Desinfección por Ozono

El agua pulida y filtrada ingresa al módulo de desinfección avanzada, diseñado para garantizar la inactivación total de agentes patógenos sin alterar la composición química del efluente ni generar subproductos organoclorados persistentes. El sistema emplea un **Generador Industrial de Ozono (Marca Pinnacle)**, el cual produce gas ozono (O_3) de alta concentración in situ a través del método de descarga en corona de alta frecuencia aplicado sobre un flujo de oxígeno puro de grado de alimentación. El gas ozono generado es conducido hacia el **Tanque de Contacto de Ozono**, una estructura de concreto armado de sección profunda dividida internamente por pantallas deflectoras que configuran un circuito hidráulico de flujo laberíntico tipo serpentín.

El O_3 se inyecta de forma continua en la base de los canales de entrada mediante una densa matriz de difusores de burbuja ultra-fina (porosa). Esta disposición optimiza la transferencia de masa del gas hacia la fase líquida y maximiza el tiempo de retención hidráulica efectivo.

El ozono disuelto actúa de forma inmediata mediante oxidación directa de las paredes celulares y disrupción del material genético (ARN/ADN) de virus, bacterias, esporas de hongos y quistes parasitarios, logrando deprimir de forma drástica la densidad de Coliformes Fecales hasta valores significativamente menores a 250 NMP/100 mL. El diseño laberíntico asegura una mezcla homogénea y evita cortocircuitos hidráulicos, garantizando la inocuidad microbiológica total del agua tratada.

3.3.7. Estructura de Aforo y Emisor de Descarga Final

Al abandonar el tanque de contacto de ozono, el agua desinfectada y completamente saneada se unifica en una canalización de salida equipada con una estructura de aforo tipo **Canal Parshall**. Sobre la sección de la garganta calibrada de dicha estructura civil se instala un sensor de nivel de tecnología ultrasónica, el cual mide de forma continua el tirante hidráulico del fluido sin tener contacto físico con el agua.

El sensor digital transmite la señal de lectura en tiempo real hacia un tablero de control centralizado (Sistema SCADA), donde un algoritmo procesa la ecuación matemática del canal para registrar, almacenar y desplegar los valores de caudal instantáneo (L/s) y el volumen acumulado totalizado (m^3).

Finalmente, el efluente que cumple holgadamente con los estándares de la NOM-001-SEMARNAT-2021 es conducido mediante un **Emisor de Descarga Gravitacional**, constituido por tubería termoplástica de polietileno de alta densidad lisa en su interior y con un diámetro nominal adecuadamente dimensionado para desalojar de forma segura tanto los gastos promedio continuos como los caudales máximos extraordinarios de diseño de la planta, vertiendo las aguas de manera limpia y segura en el arroyo colindante de la zona de estudio.

3.4. Ingeniería de Detalle Funcional del Tren de Lodos (Biosólidos)

3.4.1. Espesamiento Mecánico Continuo de Lodos

Los lodos excedentes purgados del tren de agua (lodos primarios ricos en materia orgánica sedimentable y lodos secundarios de purga saturados de fósforo biológico) presentan concentraciones de sólidos sumamente bajas (menores al 1.0%), lo que implica un manejo ineficiente de grandes volúmenes de agua libre.

Con la finalidad de reducir el volumen de bombeo e incrementar la eficiencia térmica de la estabilización posterior, las corrientes se dirigen hacia un cárcamo de lodos mixtos desde donde se bombean mediante **Bombas de Cavidad Progresiva de Velocidad Variable** hacia **Mesas de Espesamiento Mecánico por Gravedad (Marca EMO)**:

- El proceso requiere el acondicionamiento químico previo del lodo mediante la inyección en línea de una solución de polímero orgánico de alta densidad de carga. Esto favorece la aglomeración rápida de las partículas en flóculos estables de gran tamaño.
- El lodo condicionado se distribuye uniformemente sobre una banda textil de filtración continua en movimiento. El agua libre drena libremente a través de la malla permeable, mientras que los flóculos de lodo son retenidos y movilizados hacia el extremo de descarga.
- El sistema de mesas mecánicas opera de forma continua e incorpora un sistema automático de lavado de bandas con espreas de agua a presión para evitar la colmatación textil. El proceso incrementa la concentración de sólidos secos hasta un rango del 3% al 5% en peso, logrando una reducción drástica del volumen volumétrico total de lodo a transferir.

El lodo espesado precipita en un cárcamo de transferencia intermedio, desde donde es succionado por bombas de desplazamiento positivo para alimentar el sistema de digestión.

3.4.2. Estabilización Biológica Avanzada: Digestión Anaerobia

Para dar cumplimiento estricto a las restricciones de estabilización, reducción de atracción de vectores y eliminación de patógenos exigidas por la normatividad ambiental nacional para biosólidos (**NOM-004-SEMARNAT-2004**), el lodo espesado concentrado es introducido de forma continua en el **Digestor Anaerobio de Lodos**.

Esta infraestructura está conformada por tanques cilíndricos verticales de concreto armado de sección profunda, dotados de cubiertas superiores herméticas que garantizan la exclusión absoluta de oxígeno atmosférico. El sistema está dimensionado para operar bajo un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) óptimo de hasta 15 días continuos.

La homogeneidad del licor de lodos en digestión y la eliminación de zonas muertas o asentamientos de arena se garantizan mediante la operación de **Mezcladores Verticales Mecánicos de Alta Eficiencia (Marca Westech)**, equipados con ejes verticales y propulsores intermedios que inducen corrientes de circulación ascendentes y descendentes constantes.

En este ambiente anaerobio, consorcios bacterianos especializados (bacterias hidrolíticas, acidogénicas, acetogénicas y arqueas metanogénicas) llevan a cabo la degradación de la materia orgánica volátil celular. Este proceso estabiliza biológicamente el lodo, destruye los microorganismos patógenos y neutraliza el potencial de generación de malos olores.

Como subproducto directo de la digestión metanogénica bacteriana, en la cúpula superior del digestor se acumula de manera constante **Biogás** (mezcla compuesta predominantemente por CH_4 y CO_2 con trazas de H_2S).

El gas combustible es extraído bajo condiciones controladas de presión y conducido a través de una línea de seguridad de acero inoxidable equipada con filtros de sedimentos, trampas de condensados cíclicas y válvulas de retención de llama de seguridad. El flujo de biogás se dirige hacia un **Quemador Ecológico de Gas Tipo Antorcha de Alta Seguridad (Marca Bioworks)**, instalado en un área aislada de la planta. El quemador ejecuta la combustión controlada a alta temperatura del metano antes de su liberación a la atmósfera, transformando el CH_4 en CO_2 y vapor de agua, reduciendo el índice de potencial de calentamiento global del efluente gaseoso.

3.4.3. Deshidratación Mecánica de Biosólidos

El lodo digerido, completamente estabilizado y mineralizado, es extraído del fondo de los digestores y enviado mediante bombas de cavidad progresiva industriales de alta presión hacia el edificio de la **Caseta de Deshidratación Mecánica de Sólidos**. El tren de deshidratación continua está integrado por **Filtros Prensa de Banda Industriales (Marca EMO)**, equipos mecánicos diseñados para someter al lodo a esfuerzos mecánicos de compresión y cizalladura progresiva para remover el agua intersticial residual.

Previo a su ingreso a las bandas mecánicas, el lodo recibe una dosificación precisa de polímero catiónico de alto peso molecular a través de un mezclador estático Venturi en línea, induciendo la formación de macroflóculos mecánicamente resistentes. El lodo condicionado se

vierte inicialmente sobre la zona de drenaje por gravedad del filtro, donde se elimina de forma rápida el agua libre remanente. Posteriormente, la masa de lodo es introducida y aprisionada entre dos bandas textiles de filtración paralelas que corren en continuo a través de una serie de rodillos de compresión dispuestos en un arreglo helicoidal decreciente.

La presión mecánica creciente ejercida por los rodillos exprime de forma drástica el agua atrapada en los poros del flóculo biológico. Al finalizar el recorrido de compresión, una serie de cuchillas rascadoras desprenden el lodo deshidratado de las bandas textiles en forma de una **torta o pasta compacta**, la cual registra un contenido de humedad residual confinado estrictamente entre el 20% y el 25% (equivalente a una concentración de sólidos totales secos del 75% al 80% en peso).

Las aguas filtradas procedentes del drenaje y los flujos de agua generados por el sistema de lavado continuo de las bandas textiles son recolectadas en una canaleta inferior y derivadas por gravedad hacia la cabecera de la planta (obra de llegada / canal de reparto) para su reincorporación total al tren de agua, evitando la generación de descargas líquidas secundarias.

Por su parte, la torta de biosólido deshidratada precipita directamente sobre transportadores de banda horizontales que conducen el material hacia tolvas de almacenamiento elevado o contenedores de gran volumen, quedando lista para su carga directa en camiones de volteo autorizados para su transporte vehicular hacia su destino final seguro (mejorador de suelos agrícolas, materia prima para procesos de compostaje industrial o confinamiento final en rellenos sanitarios controlados).

3.5. Matriz de Homologación de Equipamiento Electromecánico

Con la finalidad de garantizar la compatibilidad operativa total entre los componentes de ambas plantas de tratamiento, asegurar la disponibilidad de refacciones legítimas en el mercado nacional, optimizar los contratos de mantenimiento preventivo y unificar los protocolos del sistema SCADA de control central, la Comisión Estatal del Agua de Jalisco definió una estricta matriz de homologación de marcas internacionales de prestigio para la especificación y procura del equipamiento electromecánico principal de los proyectos básicos de Coyula y El Vado:

Unidad de Proceso o Sistema	Denominación Técnica del Equipo Electromecánico	Marca Homologada Requerida
Pretratamiento	Unidades mecánicas compactas integradas para cribado, desarenado longitudinal y desengrasado continuo con tornillo compactador.	EMO
Sedimentación Primaria	Mecanismos de sedimentación circular con puente motriz perimetral, rascadores de fondo articulados y brazos desnatadores de natas superficiales.	AWASA

Unidad de Proceso o Sistema	Denominación Técnica del Equipo Electromecánico	Marca Homologada Requerida
Reactores Biológicos	Mezcladores sumergibles de baja velocidad, propulsores de gran diámetro y alta eficiencia hidrodinámica para zonas anaerobia y anóxica.	HOMA
Recirculación de Nitratos	Bombas sumergibles de flujo axial y hélice orientada de gran caudal y baja carga hidrodinámica para recirculación interna de licor mezclado.	FLYGT
Suministro de Aire	Sopladores industriales de desplazamiento positivo, lóbulos rotatorios de alta eficiencia con cabinas de atenuación acústica integradas.	KAESER / HOFFMAN
Clarificación Secundaria	Mecanismos clarificadores circulares de flujo radial con puentes de tracción, rastras raspadoras de lodo biológico y vertederos perimetrales.	AWASA
Filtración Terciaria	Sistemas de filtración mecánica tipo disco con mallas de microfiltración de acero inoxidable y espreas integradas de retrolavado automático.	DYNADISC

Desinfección de Agua	Sistemas generadores industriales de ozono por descarga en corona, fuentes de enfriamiento y sistemas difusores porosos de O_3.	PINNACLE
Espesamiento de Lodos	Mesas mecánicas horizontales de espesamiento de lodos por gravedad continua con tambores acondicionadores y sistemas de dosificación.	EMO
Digestión Anaerobia	Sistemas de agitación mecánica vertical con ejes suspendidos, reductores de alta fuerza de torque y hélices de mezcla profunda para digestores.	WESTECH
Deshidratación de Lodos	Filtros prensa de banda industriales de doble tela filtrante con zonas de rodillos de presión progresiva y rascadores de torta.	EMO

Unidad de Proceso o Sistema	**Denominación Técnica del Equipo Electromecánico**	**Marca Homologada Requerida**
Manejo de Gas Metano	Sistemas de quemado ecológico de biogás de flama confinada tipo antorcha con tableros de control de ignición automáticos e instrumentación de seguridad.	BIOWARKS

En Proceso de Regularización, Juicio Sucesorio, Explotación Irregular).

- **CtaPredial (Cuenta Predial / Registro):** Identificador de control fiscal ante el catastro municipal o, en el caso de propiedad agraria, el número de registro asignado ante el Registro Agrario Nacional (RAN).
- **Cuenca:** Nombre de la subcuenca hidrográfica a la que pertenece el tramo (Cuenca El Vado o Cuenca Coyula).
- **Tramo:** Número decimal que identifica con precisión el segmento geométrico de colector o línea de impulsión correspondiente a la afectación (desde la obra de cabecera aguas arriba hasta la interconexión final en la PTAR), facilitando el cálculo independiente de las indemnizaciones financieras por tramo de construcción.
-

6.4.3. Estrategia y Plan de Gestión de Adquisiciones de Derechos de Vía

Con base en la matriz de atributos consolidada en el SIG, se estructuró el plan de gestión para la liberación de los derechos de vía previos al arranque del proceso de licitación de las obras. El análisis del catastro arrojó una marcada diferenciación en la complejidad jurídica del trazo entre ambas subcuencas, la cual se detalla a continuación con sus respectivas recomendaciones procedimentales:

1. **Trazo de Conducciones en la Cuenca El Vado (Polígonos LimPropPublica-ElVado y LimPropPrivadasElVado):** El eje de colectores se proyectó de forma estratégica sobre zonas federales marginales de arroyos y, predominantemente, aprovechando las franjas de derecho de vía de vialidades públicas existentes y poligonales bajo régimen público del Municipio de Tonalá. Esta condición geométrica reduce al mínimo la necesidad de negociaciones complejas con particulares.

   Para las fracciones menores que atraviesan terrenos privados (LimPropPrivadasElVado), se iniciarán de forma paralela los expedientes de avalúo comercial para la formalización de contratos notariales de servidumbre voluntaria de paso con pago de indemnización por afectación superficial de suelo y bienes distintos a la tierra (cercas, árboles).

2. **Trazo de Conducciones en la Cuenca Coyula (Régimen Social Ejidal Dominante):** El trazo de los interceptores marginales discurre en una porción significativa sobre parcelas agrícolas vigentes pertenecientes al Ejido de Coyula. Ante este escenario, la liberación de los derechos de vía exige la instrumentación obligatoria de la vía agraria. El organismo operador deberá coordinar con el Comisariado Ejidal la celebración de asambleas informativas para convenir las indemnizaciones por afectación de cultivos (daños y perjuicios por el uso de maquinaria en época de siembra) y consolidar el convenio general de ocupación superficial y servidumbre legal de paso ejidal. Este convenio deberá ser sancionado por la asamblea ordinaria e inscrito formalmente ante el RAN para evitar litigios futuros ante los Tribunales Agrarios que paralicen la continuidad constructiva del sistema de saneamiento.

Sección 4. Ingeniería Hidráulica y Fenómenos Transitorios

4.1. Ingeniería Hidráulica del Tren de Procesos de las Plantas de Tratamiento

4.1.1. Criterios de Diseño, Fundamentos Hidráulicos y Ecuaciones Base

El diseño hidráulico general para las interconexiones de las unidades de proceso que conforman la línea de agua y la línea de lodos en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR Coyula y PTAR El Vado) se desarrolló con el objetivo de establecer un perfecto equilibrio de energías a lo largo de los trenes de tratamiento.

El análisis se fundamenta en la determinación precisa de las dimensiones, diámetros nominales y longitudes de desarrollo de las tuberías y canales abiertos, calculados a partir de los gastos de diseño correspondientes a cada etapa bioquímica.

Para establecer el equilibrio hidráulico entre las diferentes unidades y estructuras de control (tales como la obra de llegada, rejillas mecánicas, desarenadores aerobios, sedimentadores primarios, zonas del reactor biológico A^2O, clarificadores secundarios, filtros de discos, tanques de contacto de ozono y estructuras de salida), fue técnicamente indispensable calcular las pérdidas de carga en todas las tuberías de distribución e interconexión.

Este procedimiento analítico permite estructurar el **perfil hidráulico definitivo** que ha de regir el funcionamiento operativo del sistema, asegurando que el tránsito de la línea de agua funcione de manera puramente gravitacional como un sistema de vasos comunicantes a tubo lleno, eliminando la necesidad de bombeos intermedios y reduciendo drásticamente los costos energéticos de operación (OPEX).

Los cálculos hidráulicos se ejecutaron mediante modelos matemáticos en hojas de cálculo automatizadas, donde se indexaron las variables de gasto, coeficientes de rugosidad, constantes cinemáticas y relaciones geométricas de la sección transversal.

Para la estimación de las pérdidas de carga por fricción continua en conductos cerrados, se aplicó la fórmula de **Hazen-Williams**, validando los resultados mediante la ecuación de **Darcy-Weisbach** para regímenes permanentemente turbulentos. Las pérdidas de energía locales o menores (generadas por piezas especiales y accesorios como codos, tees, ampliaciones, reducciones, transiciones, vertedores de demasías, compuertas de aislamiento y válvulas de control) se determinaron mediante el método de los coeficientes de pérdida local (K) aplicados a la carga de velocidad ($v^2/2g$).

Para el dimensionamiento de los canales abiertos trabajando con descarga libre en los nodos de

interconexión, se emplearon las ecuaciones de régimen crítico y las formulaciones específicas para el cálculo de tirante crítico.

4.1.2. Justificación Técnica y Económica de la Procura de Materiales

Como directriz constructiva y de especificación de materiales en los planos de interconexión de procesos, se determinó utilizar de forma exclusiva **tubería de acero al carbón de diferentes diámetros** (específicamente Cédula 40 para las tuberías sometidas a esfuerzos de succión, descarga de cárcamos y piezas especiales de conexión inter-tanques).

Desde la perspectiva de la ingeniería de campo y la economía de obra, se evaluó y descartó la implementación de tuberías de materiales plásticos o polímeros de grandes diámetros (como PVC o polietileno de alta densidad) con base en las siguientes restricciones técnico-constructivas:

- En diámetros nominales elevados y configuraciones complejas que exigen giros, derivaciones e interconexiones compactas entre muros de concreto, el proceso de termofusión y alineación en campo de tuberías plásticas resulta sumamente complejo y demanda equipos especializados con altos tiempos de ejecución.

- La fabricación y procura de piezas especiales de plástico (tees, codos, reducciones bridadas) bajo dimensiones no comerciales eleva los costos de inversión inicial (CAPEX) de forma desproporcionada.

- La tubería de acero al carbón proporciona una rigidez estructural y resistencia mecánica intrínseca superior para soportar los empujes hidráulicos dinámicos, las cargas vivas operativas y los asentamientos diferenciales menores en las transiciones de las estructuras civiles de los reactores, facilitando las labores de soldadura, montaje y mantenimiento en el sitio de la obra.

4.1.3. Límites Velocitarios Normativos y Envolventes de Carga Desfavorables

El dimensionamiento geométrico de las secciones transversales de las conducciones se rigió de forma estricta por los límites de velocidad permisibles dictados por la normativa de la Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEA) y las prácticas estándar de la ingeniería sanitaria:

- **Velocidad Mínima Admisible (0.6 m/s):** Fandamentada en la necesidad de garantizar un régimen de autolavado continuo dentro de las tuberías. En sistemas que conducen agua residual cruda o licor de mezcla con altas concentraciones de sólidos suspendidos biológicos (SSLM), velocidades inferiores a 0.6 m/s provocan la decantación y sedimentación de arenas finas y partículas orgánicas en la plantilla interna del tubo, reduciendo el área hidráulica útil, incrementando las pérdidas por fricción y propiciando procesos de descomposición anaerobia y generación de ácido sulfhídrico dentro de los conductos.

- **Velocidad Máxima Admisible (2.0 a 3.0 m/s):** Establecida para controlar el incremento exponencial de las pérdidas de energía (las cuales crecen en función directa al cuadrado de la velocidad) y para mitigar los fenómenos de abrasión y erosión mecánica en las paredes internas de la tubería de acero, provocados por el impacto continuo de partículas sólidas suspendidas a altas velocidades.

Para asegurar la resiliencia del sistema ante cualquier escenario operativo, las tuberías no se dimensionaron utilizando únicamente el gasto medio de diseño. El cálculo de los diámetros nominales adoptó la envolvente hidráulica más desfavorable del proyecto.

Esta envolvente acopla simultáneamente el Gasto Máximo Instantáneo (Qmaxi) estimado para el año horizonte 2050, el Gasto de Recirculación Externa de Lodos (Qr) proveniente de la purga de los clarificadores secundarios hacia la cabecera del reactor, y el Gasto de Recirculación Interna del licor de mezcla (retorno de nitratos desde la zona aerobia a la zona anóxica), garantizando que las velocidades y tirantes se mantengan dentro de los rangos de seguridad hidráulica aun durante los picos de máxima carga hidráulica y de proceso de la planta.

4.1.4. Perfil Hidráulico Comparativo e Hidrodinámica de las PTAR

Los resultados numéricos derivados del balance general de energía confirman la viabilidad del funcionamiento gravitacional en toda la línea de agua de ambos proyectos. El diseño aprovecha el desnivel topográfico natural disponible en las rasantes de los terrenos seleccionados, permitiendo que el agua fluya libremente entre los reactores sin requerir estaciones de bombeo intermedias, lo que valida la sustentabilidad económica del proyecto básico.

Las variables e indicadores de operación resultantes se consolidan en la siguiente matriz técnica:

Indicador Hidráulico / Parámetro de Control	**Planta de Tratamiento Coyula**	**Planta de Tratamiento El Vado**
Gasto Medio de Diseño de Proyecto (Horizonte 2050)	250 L/s (21,600 m^3/día)	160 L/s (13,824 m^3/día)
Régimen de Conducción en Línea de Agua	Flujo por Gravedad / Vasos Comunicantes	Flujo por Gravedad / Vasos Comunicantes
Pérdida Hidráulica Acumulada Total en el Tren de Agua	0.287 m	0.284 m
Desnivel Topográfico Disponible (Cota Entrada a Salida)	3.300 m	3.300 m
Margen de Seguridad Hidráulica Remanente (Cresta Libre)	3.013 m	3.016 m

Nota de Restricción Obligatoria sobre Cotas del Proyecto: *Las elevaciones del espejo de agua, los niveles de bordo libre y las cotas de desplante civil indicadas en las memorias del perfil hidráulico se encuentran calculadas y expresadas de forma preliminar en* ***metros relativos****. Constituye una condición técnica obligatoria y mandatoria que estas elevaciones de carácter conceptual sean sustituidas por cotas absolutas amarradas formalmente a metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), tomando como base el banco de nivel geodésico oficial, una vez que la Comisión Estatal del Agua valide los planos topográficos de detalle y las poligonales de confinamiento definitivas de los predios seleccionados para la construcción de las obras.*

4.2. Memorias de Cálculo Hidráulico de Estaciones de Bombeo (Cárcamos)

Para resolver el alejamiento y concentración de los caudales sanitarios en los puntos singulares de las subcuencas donde la configuración del terreno natural impide la conducción por gravedad pura, se diseñaron tres estaciones de bombeo de aguas residuales de gran capacidad (Cárcamo Coyula, Cárcamo El Vado y Cárcamo Prados).

Las memorias de cálculo evaluaron de forma analítica el comportamiento hidrodinámico del flujo bajo condiciones de turbulencia avanzada, determinando las cargas dinámicas totales requeridas para la correcta selección de los equipos electromecánicos sumergibles.

4.2.1. Desglose Analítico e Integración de Resultados por Cárcamo

El procesamiento matemático de los datos de campo y las propiedades de las líneas de impulsión exteriores (columnas y colectores de acero al carbón Cédula 40) permitieron consolidar los parámetros hidráulicos operativos de cada sistema, garantizando la eliminación de riesgos de cavitación y asegurando la flexibilidad del bombeo:

Componente Hidráulico / Variable de Operación	Cárcamo de Bombeo "Coyula"	Cárcamo de Bombeo "El Vado"	Cárcamo de Bombeo "Prados"
Configuración y Redundancia Mecánica	3 Equipos en Operación / 1 Respaldo (3+1)	2 Equipos en Operación / 1 Respaldo (2+1)	2 Equipos en Operación / 1 Respaldo (2+1)
Gasto Unitario de Diseño por Equipo (Q)	90.42 L/s	86.80 L/s	108.50 L/s
Rango de Velocidades Calculado en Conducción	1.47 a 1.56 m/s	1.24 a 1.42 m/s	1.25 a 1.77 m/s
Régimen del Fluido e Índice de Reynolds	Turbulento (Re = 375,381)	Turbulento (Re = 360,352)	Turbulento (Re = 450,440)
Carga Estática de Impulsión (ΔH Geométrico)	16.726 m	58.765 m	40.591 m

Componente Hidráulico / Variable de Operación	Cárcamo de Bombeo "Coyula"	Cárcamo de Bombeo "El Vado"	Cárcamo de Bombeo "Prados"
Pérdidas de Energía por Fricción (Conducción)	0.901 m	8.076 m	1.260 m
Pérdidas de Energía Locales (Accesorios/Piezas)	2.026 m (Filtro, check, codos, yees)	1.199 m (Filtro, check, codos, yees)	2.784 m (Filtro, check, codos, yees)
Factor de Seguridad Institucional Aplicado	0.293 m (10% de pérdidas totales)	0.928 m (10% de pérdidas totales)	0.404 m (10% de pérdidas totales)
Carga Dinámica Total de Diseño (CDT)	19.945 m	68.968 m	45.040 m
Nivel de Bombeo Mínimo en Tanque de Succión	1,525.910 msnm	1,501.835 msnm	1,382.679 msnm
Nivel de Llegada Máximo en Punto de Descarga	1,542.636 msnm	1,560.600 msnm	1,423.270 msnm

4.2.2. Flexibilidad de Operación y Seguridad Civil de las Estaciones

El análisis de velocidad efectuado sobre los cabezales y columnas de descarga determinó valores estables situados entre un mínimo de 1.24 m/s y un máximo de 1.77 m/s. Este rango corrobora la viabilidad del pre-diseño hidráulico: las velocidades superan la velocidad crítica de depósito, garantizando que el cárcamo no sufra de azolvamiento o acumulación de arenas arrastradas, y quedan confinadas por debajo de los límites que inducen desgaste acelerado en el acero al carbón.

La incorporación de esquemas de redundancia activa con un equipo de respaldo dedicado en cada instalación (arreglos de 3+1 y 2+1) dota a los cárcamos de una alta resiliencia operativa. El organismo operador podrá programar rutinas de mantenimiento preventivo, limpiezas de impulsores o sustitución de sellos mecánicos y baleros de forma rotativa sin interrumpir el bombeo de los gastos hacia las plantas de tratamiento, eliminando la posibilidad de desbordamiento de aguas negras hacia las vialidades urbanas o hacia los cauces superficiales de las subcuencas.

4.3. Análisis del Fenómeno Transitorio (Golpe de Ariete)

El estudio de los fenómenos transitorios o transitorios hidráulicos dentro de las tuberías a presión constituye un elemento de seguridad de relevancia crítica para salvaguardar la integridad estructural a largo plazo de las líneas de impulsión correspondientes a las cuencas de El Vado, Coyula y el fraccionamiento Prados. El modelamiento matemático y la simulación analítica de la propagación de las ondas de presión se ejecutaron mediante la implementación del programa computacional especializado **"TRANS"**, desarrollado y certificado por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

4.3.1. Fundamentos del Golpe de Ariete y Escenario Crítico de Simulación

El golpe de ariete, también denominado golpe de martillo, representa una perturbación ondulatoria severa que se desencadena cuando la velocidad de un fluido incompresible en movimiento dentro de un conducto cerrado es modificada de forma abrupta.

La energía cinética del fluido se transforma rápidamente en energía de presión, generando una onda de presión positiva y una onda de rarefacción (presión negativa) que se propagan de forma cíclica en dirección contraria al flujo original, viajando a la velocidad de la celeridad de la onda del medio. Para el análisis de los tres sistemas de bombeo en estudio, el modelo computacional evaluó la envolvente operativa más desfavorable y destructiva: el scenario de **paro súbito, total y simultáneo de los equipos de bombeo en operación activa** provocado por una falla imprevista en el suministro de energía eléctrica de la red comercial de la CFE.

En este instante, el cese inmediato del torque del impulsor corta el empuje mecánico del agua; la inercia de la columna de fluido en movimiento genera una depresión inicial de cabecera (onda negativa que tiende al vacío), seguida inmediatamente por el retorno violento de la columna de agua que impacta de manera directa contra las válvulas de retención (check) cerradas, generando picos de sobrepresión extrema.

4.3.2. Estrategia de Diseño Basada en la Resistencia Intrínseca de la Tubería

Como directriz fundamental de ingeniería civil y optimización de infraestructura adoptada para este proyecto, se determinó que **el efecto máximo de sobrepresión y succión derivado del golpe de ariete debe ser absorbido y soportado por la resistencia mecánica intrínseca del material de la tubería**. Bajo este enfoque técnico de autosuficiencia estructural, se determinó de forma deliberada excluir el diseño y la instalación de dispositivos mecánicos externos de control o amortiguamiento del transitorio, tales como:

- Tanques hidroneumáticos de membrana amortiguadora de ondas.
- Válvulas de alivio anticipadoras de onda o de escape rápido.
- Chimeneas de equilibrio o torres de oscilación hidráulica.

La justificación de esta ingeniería de diseño radica en la mitigación del riesgo operativo a largo plazo. Los dispositivos mecánicos externos introducen componentes móviles sujetos a desgaste, colmatación por lodos sanitarios, pérdida de calibración de resortes o rotura de membranas elastoméricas, exigiendo planes de mantenimiento preventivo rigurosos que frecuentemente son omitidos por los organismos operadores.

Si un tanque hidroneumático o una válvula de alivio sufre un fallo mecánico oculto o carece de mantenimiento al momento de presentarse un transitorio real por falla eléctrica, el colapso, estallamiento o aplastamiento de la tubería de conducción es inminente. Al sobredimensionar mecánicamente el espesor de la tubería para resistir de forma pasiva las presiones extremas del modelo, se elimina el factor de riesgo por falla de mantenimiento y se suprimen los costos de operación futuros asociados a dichos dispositivos.

4.3.3. Propiedades Mecánicas del Material y Parámetros del Modelo

La línea de impulsión sujeta al análisis numérico del transitorio en el modelo "TRANS" de la UNAM presenta las siguientes especificaciones físicas y geométricas fijadas en el anteproyecto:

- **Material de la Tubería de Conducción:** Policloruro de Vinilo Clorado de Alta Resistencia (**PVC-C10**), Clase 10.
- **Longitud Total de Desarrollo del Eje de Impulsión:** 0.5465 kilómetros (546.5 metros).
- **Carga Dinámica Total Base del Sistema:** 26.231 m.c.a.
- **Capacidad de Presión de Trabajo Nominal del Material:** 100 m.c.a. (metros de columna de agua).
-

La simulación matemática del transitorio hidráulico bajo las condiciones de frontera del escenario de paro de energía eléctrica arrojó las siguientes envolventes de presión extrema a lo largo del perfil longitudinal de la tubería:

1. **Presión Máxima Transitoria (Onda de Sobrepresión Positiva): 54.32 m.c.a.**
2. **Presión Mínima Transitoria (Onda de Rarefacción Negativa / Succión): -10.00 m.c.a.**

4.3.4. Dictamen Técnico y Validación Estructural del Sistema

Al realizar la confrontación de resistencia de los resultados de la simulación contra las propiedades mecánicas nominales de la tubería propuesta, se emite el siguiente dictamen de ingeniería:

- El pico máximo de sobrepresión positiva determinado por el modelo (54.32 m.c.a.) se mantiene **holgadamente por debajo de la capacidad de carga nominal de la tubería PVC-C10 Clase 10 (100 m.c.a.)**. Esto representa un factor de seguridad estructural superior a 1.8 frente al riesgo de reventamiento o falla por fatiga plástica del polímero ante el impacto del ariete.

- La onda de presión mínima o negativa determinada por el modelo (-10.00 m.c.a., valor límite que representa la tendencia al vacío absoluto del fluido) es absorbida con absoluta seguridad por la rigidez anular y el espesor de pared de la tubería Clase 10. Esto descarta cualquier posibilidad latente de falla por colapso estructural por vacío, aplastamiento geométrico de la sección o deformación por succión en los tramos de pendiente crítica de la línea.

Conclusión y Dictamen Final: Las especificaciones de diámetro nominal, espesor de pared y las propiedades mecánicas del material PVC-C10 Clase 10 definidos para las líneas de impulsión de las subcuencas El Vado, Coyula y el fraccionamiento Prados son **plenamenteaptas, seguras y suficientes** para contener, disipar y soportar los efectos dinámicos de sobrepresión y succión provocados por el fenómeno del golpe de ariete. En consecuencia, **se dictamina formalmente ante la Comisión Estatal del Agua de Jalisco que NO se requiere la instalación de ningún dispositivo mecánico externo para el control de transitorios**, validando de forma definitiva la seguridad estructural, la robustez pasiva y la viabilidad económica del diseño técnico básico presentado.

5. Anteproyecto Eléctrico y SCADA

5.1. Criterios de Diseño, Normatividad y Parámetros Eléctricos Generales

5.1.1. Objetivo y Alcance General del Anteproyecto Eléctrico

El desarrollo de las ingenierías básicas para los sistemas de saneamiento correspondientes a las subcuencas de El Vado y Coyula, localizadas en el municipio de Tonalá, Jalisco, exige la estructuración de un sistema de suministro, distribución, protección y automatización de la energía eléctrica con los más altos estándares de confiabilidad industrial.

El objetivo central de este apartado consiste en fijar y validar de forma matemática los criterios ingenieriles y la arquitectura del anteproyecto eléctrico y del sistema SCADA, asegurando el suministro de potencia ininterrumpido para la operación continua de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y sus estaciones de bombeo de aguas residuales asociadas (Cárcamos).

El alcance detallado de la ingeniería eléctrica y de instrumentación desarrollada comprende los siguientes rubros de diseño:

- Diseño conceptual de la acometida aérea y transición subterránea en media tensión a 23 kV desde las redes de distribución comercial de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).
- Dimensionamiento y selección de la configuración de subestaciones eléctricas principales con arreglos de transformadores de distribución independientes para optimizar la continuidad operativa.
- Estructuración de las redes de distribución de fuerza en baja tensión en régimen trifásico a 480/277 V.
- Diseño y cálculo de los Centros de Control de Motores (CCM) e interruptores de potencia principales.
- Dimensionamiento de los conductores y alimentadores eléctricos por el criterio de ampacidad (capacidad de conducción de corriente) y verificación por el criterio de caída de tensión.
- Modelado y simulación analítica de las corrientes de cortocircuito en los nodos principales para validar la capacidad interruptiva del equipamiento.
- Diseño de los sistemas de seguridad pasiva, incluyendo redes de puesta a tierra (mallas de tierra) bajo lineamientos de seguridad para tensiones de paso y contacto, y sistemas de protección contra descargas atmosféricas (pararrayos).
- Selección y cálculo de los sistemas de respaldo de energía, compuestos por generadores de emergencia a diésel y sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS).
- Definición conceptual de la arquitectura de la red de automatización, instrumentación en línea y control supervisorio SCADA para la operación remota de los procesos de tratamiento.

5.1.2. Marco Normativo y de Regulación Aplicable

Para garantizar la validez jurídica, la seguridad de las instalaciones, la protección del personal y la viabilidad de la interconexión ante las unidades de verificación de la CFE, todos los análisis, cálculos, calibres y especificaciones mecánicas del equipamiento eléctrico se apegaron de forma estricta al marco normativo vigente en los Estados Unidos Mexicanos, complementado con estándares internacionales de ingeniería industrial hídrica:

- **NOM-001-SEDE-2012:** Instalaciones Eléctricas (Utilización). Rige la selección de calibres, factores de corrección por temperatura y agrupamiento, dimensionamiento de canalizaciones y protecciones de motores.

- **NOM-001-SEMARNAT-2021:** Límites permisibles de descarga de aguas residuales (vinculado indirectamente al exigir el funcionamiento continuo del tren electromecánico de agua para mantener la calidad del efluente).

- **NOM-016-ENER-2016:** Límites de eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, exigiendo motores de alta eficiencia (Premium) para la reducción de pérdidas térmicas.

- **NMX-J-549-ANCE-2005:** Protección contra descargas atmosféricas - Especificaciones, componentes y métodos de evaluación para el diseño de pararrayos.

- **IEEE Std 80-2013:** *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*. Utilizada como base matemática para el modelado de la retícula de la malla de tierra y cálculo de tensiones tolerables de paso y contacto.

- **IEEE Std 519-2014:** *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. Criterio de restricción para mitigar la distorsión armónica introducida por los variadores de frecuencia.

- **IEC 61131-3:** Estándar internacional para la programación de Controladores Lógicos Programables (PLCs) de la red SCADA.

- **NFPA 70:** *National Electrical Code (NEC)*. Referencia técnica complementaria industrial.

- **NFPA 820:** *Standard for Fire Protection in Wastewater Treatment and Collection Facilities*. Guía para la clasificación de áreas peligrosas y ventilación en cuartos de cárcamos y digestores.

5.1.1. Parámetros Técnicos Base del Sistema

Las memorias de cálculo y los diagramas unifilares generales del anteproyecto se estructuraron adoptando los siguientes parámetros de operación de la red eléctrica:

- **Tensión Nominal en Media Tensión (MT):** 23 kV (23,000 Voltios), sistema trifásico, 60 Hz, proveniente de la red de CFE.
- **Tensión Nominal en Baja Tensión (BT):** 480 / 277 V, sistema trifásico, 4 hilos (3 fases + neutro sólido), 60 Hz, para la alimentación de motores de proceso y cargas mayores.
- **Tensión de Servicios Auxiliares:** 220 / 127 V, sistema trifásico, para sistemas de alumbrado, contactos comerciales e instrumentación menor.
- **Factor de Corrección por Temperatura Ambiente:** Fijado en **0.88**, calculado para una temperatura de diseño extrema en la región de Guadalajara y Tonalá de 40 °C, asegurando el correcto derrateo térmico de los conductores alojados en canalizaciones subterráneas y charolas portacables.

5.2. Estudio de Demanda y Cuadro de Cargas Consolidado

5.2.1. Metodología de Integración del Cuadro de Cargas

La determinación de la capacidad de la subestación y la potencia total de los transformadores partió de la estructuración del cuadro de cargas detallado para cada una de las plantas. Este listado agrupa la totalidad de los motores de proceso de la línea de agua, equipos electromecánicos de la línea de lodos, sistemas de dosificación, alumbrado perimetral, climatización y servicios de oficinas. Las corrientes de plena carga (FLA - *Full Load Amps*) de los motores de inducción trifásicos se obtuvieron en estricto cumplimiento con el **Artículo 430.6(A)(1)** de la NOM-001-SEDE-2012, adoptando de forma obligatoria los valores tabulados en la **Tabla 430.250** para motores operando a 480 V, garantizando un dimensionamiento normativo exento de variaciones comerciales de fabricantes.

5.2.2. Cuadro de Cargas e Identificación de Equipos Principales (PTAR El Vado - 160 L/s)

A partir de las relaciones de equipos de proceso e hidráulicos validadas para la planta El Vado, se integró el balance de potencia y corrientes nominales de operación, el cual sirvió como base analítica para los cálculos de ingeniería:

TAG	Denominación Técnica del Equipo	Potencia (HP)	Cantidad Total	Equipos Operativos	Corriente FLA (A)	Carga Operativa (FLA × OP)	Centro de Control (MCC)
01	Unidad Motriz Principal Pretratamiento	1.50	1	1	2.6	**2.6 A**	MCC-PRT
02	Sistema Automatizado Lavado de Rejilla	3.00	1	1	4.8	**4.8 A**	MCC-PRT
03	Extractor Desarenador Aerbico	0.74 (0.55 kW)	1	1	1.1	**1.1 A**	MCC-PRT
04	Bomba de Descarga de Arenas	1.00 (0.75 kW)	1	1	1.4	**1.4 A**	MCC-PRT
05	Batería de Sopladores de Aireación Proceso	150.00	4	3	180.0	540.0 A	MCC-SOP
06	Mezcladores Sumergibles Zonas Anóxica/Anaerobia	7.50	6	6	11.0	**66.0 A**	MCC-BIO
07	Bombas Recirculación Interna Licor (RILM)	150.00	2	1	180.0	180.0 A	MCC-BIO

TAG	Denominación Técnica del Equipo	Potencia (HP)	Cantidad Total	Equipos Operativos	Corriente FLA (A)	Carga Operativa (FLA × OP)	Centro de Control (MCC)
08	Bombas de Recirculación Externa de Lodos (LAR)	20.00	3	2	27.0	**54.0 A**	MCC-LOD
09	Mecanismo Barredor Clarificador Secundario	2.00	2	2	3.4	**6.8 A**	MCC-CLA
10	Sistema de Filtración Terciaria (Discos)	5.00	2	2	7.6	**15.2 A**	MCC-TER
11	Generador de Ozono Industrial (Desinfección)	45.00	1	1	59.0	**59.0 A**	MCC-DES
12	Mesas de Espesamiento Mecánico de Lodos	3.00	2	2	4.8	**9.6 A**	MCC-LOD
13	Agitadores Verticales Digestor Anaerobio	10.00	2	2	14.0	**28.0 A**	MCC-DIG
14	Filtros Prensa de Banda (Deshidratación)	15.00	2	1	21.0	**21.0 A**	MCC-LOD
15	Servicios Auxiliares, Alumbrado y Almacén	---	1	1	45.0	**45.0 A**	TAB-AUX

A partir de la sumatoria de las cargas concurrentes operativas indicadas en la matriz anterior y aplicando los factores de demanda y utilización correspondientes a una planta industrial automatizada de proceso continuo, se determinó una corriente nominal total de operación del sistema en condiciones estables de **651.0 Amperios** en el bus principal de baja tensión para la PTAR El Vado.

Para el caso de la PTAR Coyula, debido a su mayor gasto nominal de proceso (250 L/s) y a la consecuente duplicación de las potencias en las unidades de sopladores Kaeser/Hoffman y bombas Flygt, la corriente total integrada en su cuadro de cargas arrojó un valor nominal superior de operación continua.

5.3. Selección de Subestación, Análisis de Continuidad y Potencia de Transformadores

5.3.1. Estudio Técnico-Económico para la Configuración de la Subestación

Con el propósito de mitigar los riesgos de paros no programados en el tren de agua y lodos, lo cual generaría severas sanciones jurídicas por verter efluentes fuera de norma a los arroyos de Tonalá, se realizó un estudio de alternativas técnico-económicas para definir la arquitectura de la subestación de media tensión. Se evaluaron dos esquemas fundamentales de distribución:

1. **Configuración Monobloque (Un solo transformador de gran capacidad):** Presentaba la menor inversión inicial en CAPEX. No obstante, fue descartada debido a su nula flexibilidad operativa y alta vulnerabilidad ante contingencias: cualquier falla en el devanado, boquillas o aislamiento del transformador implicaría la parálisis absoluta del 100% de la planta de tratamiento por periodos prolongados, acumulando pasivos ambientales críticos.

2. **Configuración Dúplex de Operación Paralela o Dividida:** Consiste en seccionar la carga total de la planta e instalar dos unidades de transformación dimensionadas de manera estratégica para alimentar sectores independientes del proceso. El incremento marginal en el costo inicial de adquisición de obra civil y celdas de seccionamiento se absorbe plenamente al garantizar una continuidad del servicio superior al 99%. Permite además ejecutar libranzas de mantenimiento preventivo estacional sin interrumpir el flujo continuo de agua en el reactor A^2O.

5.3.2. Selección y Cálculo de Capacidad de los Transformadores

Para la PTAR El Vado (160 L/s), las demandas máximas diversificadas orientaron la selección de una configuración dúplex compuesta por dos transformadores trifásicos de distribución de tipo subestación, enfriados en aceite mineral (OA), operando a 23 kV en el primario (conexión Delta) y a 480/277 V en el secundario (conexión Estrella con neutro sólidamente aterrizado):

- **Transformador No. 1 (T1):** Con una potencia nominal de **500 kVA**. Su función operativa exclusiva consiste en alimentar el Centro de Control de Motores MCC-SOP (Sopladores Kaeser/Hoffman), la carga de mayor consumo y criticidad del proceso biológico avanzado.

- **Transformador No. 2 (T2):** Con una potencia nominal de **300 kVA**. Destinado a suministrar potencia al resto de los componentes de la planta, incluyendo las unidades mecánicas de pretratamiento EMO, mezcladores HOMA, bombas Flygt de recirculación, clarificadores AWASA, filtración Dynadisc, ozonofiltros Pinnacle, espesadores y deshidratadores de lodos, así como los servicios auxiliares y oficinas de control.

Esta división modular de cargas garantiza que el arranque de los motores de gran potencia (sopladores de 150 HP) no introduzca fluctuaciones térmicas ni caídas de tensión transitorias en las líneas de control, instrumentación y automatización SCADA alimentadas por el transformador T2, protegiendo los componentes electrónicos sensibles.

Para la PTAR Coyula (250 L/s), se calculó e instaló una capacidad de transformación equivalente dimensionada de forma proporcional superior para absorber el incremento de demanda de sus trenes de sopladores y bombeos de retorno.

5.3.3. Sistema de Energía de Emergencia y Respaldo Técnico

Para contrarrestar fallas prolongadas o interrupciones en el suministro comercial de la red de media tensión de CFE, el anteproyecto eléctrico integra un sistema de generación y respaldo automático de energía diseñado para sostener la operación de las cargas críticas de la planta (línea de agua esencial, sistemas de control, soplador mínimo de soporte para evitar la muerte de la biomasa por anoxia prolongada y cárcamos de bombeo terminales):

- **Planta de Emergencia a Diésel:** Se seleccionó un generador industrial estacionario con una potencia nominal de **400 kVA**, equipado con motor diésel de inyección directa y un tanque de almacenamiento de combustible base con capacidad de 1,000 litros, lo que garantiza una autonomía de operación continua de hasta 12 horas a plena carga de emergencia.

  El sistema cuenta con una unidad de transferencia automática (ATS) con retardo ajustable, programada para ordenar el arranque del motor y realizar la transferencia de carga en un lapso inferior a 10 segundos tras la pérdida de fase de CFE, ejecutando la retransferencia segura una vez restablecida la estabilidad de la red comercial.

- **Sistema de Alimentación Ininterrumpida (UPS):** Para el cuarto de control y los gabinetes de automatización (PLCs, servidores SCADA e instrumentación analítica en línea), se especificó un sistema UPS de tecnología en línea de doble conversión con una potencia de 10 kVA.

  El banco de baterías está dimensionado para otorgar una autonomía de soporte de 90 minutos continuos, margen temporal suficiente para absorber los transitorios de conmutación de la planta de emergencia y salvaguardar la integridad de las bases de datos históricas de operación.

5.4. Cálculos de Ingeniería: Alimentadores, Caída de Tensión y Cortocircuito

5.4.1. Dimensionamiento de Alimentadores por Ampacidad y Derrateo

El cálculo de los calibres de los conductores de cobre para los alimentadores principales desde el secundario de los transformadores hacia los tableros generales de distribución y de estos hacia los Centros de Control de Motores (CCMs) se ejecutó aplicando los criterios de capacidad de conducción de corriente (ampacidad) dictados por el Artículo 310 de la NOM-001-SEDE-2012.

Los conductores seleccionados corresponden a cables de cobre blando con aislamiento tipo **THHN/THWN-2** con especificación térmica para 90 °C, operando comercialmente a 75 °C en las terminales de conexión para cumplir con las restricciones del Artículo 110.14(C).

Para asegurar la vida útil del aislamiento ante las severas condiciones climáticas e industriales del entorno, la ampacidad nominal de las tablas normativas se sometió a un riguroso proceso de derrateo matemático aplicando los siguientes factores multiplicativos de corrección:

- **Factor de Corrección por Temperatura Ambiente (F_T = 0.88):** Aplicado para ajustar la disipación térmica del cable a una temperatura ambiente de diseño de 40 °C en la zona de Tonalá, Jalisco.

- **Factor de Corrección por Agrupamiento (F_A):** Variable según la canalización, aplicando un factor de 0.80 a 0.70 en aquellos tramos donde se alojen más de tres conductores portadores de corriente en una misma tubería de PVC de servicio pesado o ducto subterráneo, de acuerdo con las especificaciones de la tabla del Artículo 310.15(B)(3)(a).

5.4.2. Verificación por Criterio de Caída de Tensión (%VD)

Una vez definidos los calibres por ampacidad, se procedió a realizar la verificación analítica por caída de tensión en cada uno de los circuitos alimentadores de fuerza mediante la aplicación

de la formulación matemática trifásica industrializada:

$$\%VD = (\sqrt{3} \times I \times L \times R_{eq}) / (V \times 1000) \times 100$$

Donde I representa la corriente de plena carga del circuito (FLA en Amperios), L es la longitud lineal del desarrollo física del conductor (metros), R_eq es la resistencia óhmica efectiva por kilómetro del conductor ajustada por factor de potencia y reactancia inductiva (conforme a la Tabla 9 del Capítulo 10 de la NOM), y V es la tensión nominal entre fases (480 V).

Los resultados para los alimentadores más significativos de la PTAR El Vado se resumen a continuación:

ID Circuito	Corriente de Carga (I - A)	Longitud del Tramo (L - m)	Resistencia Efectiva (R_eq - Ω/km)	Caída de Tensión Calculada (%VD)	Estatus Normativo (Límite < 3.0%)
F-05 (Tablero Principal a MCC-SOP)	651.0 A	25 m	0.0433 Ω/km	0.254%	✓ CUMPLE
F-05A (MCC-SOP a Motor Soplador 150HP)	42.5 A	35 m	1.6100 Ω/km	0.864%	✓ CUMPLE
F-08 (MCC-LOD a Bomba LAR 20HP)	13.4 A	30 m	6.6000 Ω/km	0.957%	✓ CUMPLE
F-06 (Alimentador Principal a MCC-BIO)	197.8 A	40 m	0.1200 Ω/km	0.343%	✓ CUMPLE
F-07 (Alimentador Principal a MCC-LOD)	97.0 A	30 m	0.3900 Ω/km	0.410%	✓ CUMPLE

ID Circuito	Corriente de Carga (I - A)	Longitud del Tramo (L - m)	Resistencia Efectiva (R_eq - Ω/km)	Caída de Tensión Calculada (%VD)	Estatus Normativo (Límite < 3.0%)
F-07A (MCC-TER a Filtro Terciario 5HP)	7.6 A	25 m	6.6000 Ω/km	0.452%	✓ CUMPLE
F-13 (MCC-DIG a Agitador Vertical 10HP)	36.0 A	10 m	1.6100 Ω/km	0.209%	✓ CUMPLE

Como se evidencia en la verificación analítica, la totalidad de los circuitos proyectados arrojan caídas de tensión significativamente inferiores al umbral del **3.0% máximo admisible** establecido por la NOM-001-SEDE para circuitos alimentadores, y por debajo del 5.0% para la combinación con circuitos derivados. Esto garantiza que los motores operarán con un suministro de voltaje estable, optimizando su torque de arranque, reduciendo las corrientes transitorias y evitando calentamientos destructivos en los devanados mecánicos.

5.4.3. Estudio Básico de Cortocircuito y Capacidad Interruptiva

Para determinar de forma correcta los niveles de resistencia mecánica de los buses de cobre de los tableros y fijar la capacidad interruptiva mínima de las protecciones termomagnéticas principales, se desarrolló un estudio básico de cortocircuito trifásico simétrico empleando el método de las impedancias en por unidad (p.u.). Se consideró el escenario de falla más severo, asumiendo una barra de potencia infinita en el nodo de conexión de media tensión de CFE.

Las corrientes de cortocircuito calculadas para los bornes secundarios de los transformadores de baja tensión (480 V) de la subestación de la planta El Vado reportaron los siguientes valores numéricos máximos:

- **Corriente de Cortocircuito en Bus de Transformador T1 (500 kVA): 15.69 kA** (15,690 Amperios).
- **Corriente de Cortocircuito en Bus de Transformador T2 (300 kVA): 6.28 kA** (6,280 Amperios).

Con base en estos resultados analíticos, la ingeniería del anteproyecto definió que los interruptores electromagnéticos principales instalados en las celdas de baja tensión y los tableros de distribución general deberán contar con una capacidad interruptiva comercial mínima de **22 kA a 480 V**, estableciendo un factor de seguridad superior al 40% frente a la ocurrencia de fallas francas a tierra o entre fases, cumpliendo con los criterios de selectividad y coordinación de protecciones.

5.5. Ingeniería de Seguridad: Puesta a Tierra y Protección Atmosférica

5.5.1. Diseño del Sistema de Puesta a Tierra (Malla de Tierra)

El diseño de la red de puesta a tierra se concibió bajo los exigentes criterios matemáticos de la norma internacional **IEEE Std 80**, orientada de forma prioritaria a disipar de forma segura las corrientes de falla y a deprimir las tensiones de paso y de contacto por debajo de los umbrales de fibrilación ventricular tolerables por el cuerpo humano.

El modelado analítico preliminar adoptó las siguientes especificaciones físicas y constructivas para la malla de la subestación principal de la planta:

- **Geometría de la Retícula:** Malla cuadrada de **12 m × 12 m**, con espaciamientos internos uniformes enterrada a una profundidad constante de 0.60 metros respecto al nivel terminado del terreno natural.

- **Conductor Utilizado:** Cable de cobre desnudo de sección transversal de **2/0 AWG**, interconectado en sus nodos mediante uniones de soldadura exotérmica para garantizar una baja resistencia de contacto permanente y evitar corrosión galvánica.

- **Electrodos de Puesta a Tierra:** Instalación de varillas de acero recubiertas de cobre (Copperweld) de 5/8" de diámetro por 2.40 metros de longitud, distribuidas de forma estratégica en los vértices y puntos críticos de la retícula.

El cálculo analítico de las envolventes de seguridad humana arrojó resultados plenamente aprobados por la norma:

- **Tensión de Contacto Calculada:** 790 V, valor inferior al límite tolerable determinado por las ecuaciones de la IEEE 80 según la resistividad del terreno.

- **Tensión de Paso Calculada:** 789 V, valor significativamente menor que el umbral de falla por tensión de paso tolerable.

- **Resistencia Total del Sistema de Puesta a Tierra:** Se calculó un valor de resistencia óhmica neta de **2.6 Ω**. Este resultado satisface holgadamente el límite industrial estándar de 5.0 Ω exigido para subestaciones y el valor máximo de 25.0 Ω dictado por el Artículo 250 de la NOM-001-SEDE, garantizando una ruta de baja impedancia para la correcta operación de las protecciones ante fallas de aislamiento.

5.5.2. Sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas (SPCDA)

Para resguardar las estructuras elevadas de la planta de tratamiento (tales como los digestores anaerobios, edificios de sopladores y casetas de deshidratación mecánica) contra los impactos directos de rayos, se ejecutó un análisis de riesgo por tormentas eléctricas aplicando la metodología de cálculo estipulada en la norma nacional **NMX-J-549-ANCE-2005**:

- **Densidad de Rayos a Tierra (Ng):** Los registros meteorológicos para la región de Tonalá y Guadalajara establecen un índice de 5.32 descargas/km²/año.
-
- **Frecuencia de Impactos Directos Estimada (N):** Se calculó un valor de 0.0106 impactos/año para la geometría de la planta.
-

Al procesar la matriz de evaluación de riesgos considerando la presencia de biogás inflamable (metano) en la cúpula de los digestores y la concentración de personal, el estudio determinó la obligatoriedad de instalar un **Sistema de Protección contra Rayos de Nivel IV**.

El anteproyecto contempla el despliegue de terminales aéreas de captación tipo puntas Faraday y pararrayos ionizantes ubicados en los puntos más altos, interconectados mediante conductores de bajada de cobre desnudo aislados de forma estructural y conectados directamente a la malla de puesta a tierra general de la planta.

5.6. Definición Conceptual del Sistema de Control, Automatización y SCADA

5.6.1. Filosofía de Operación y Arquitectura del Sistema de Control

La operación y supervisión de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Coyula y El Vado se estructuró bajo un concepto de automatización integral de arquitectura distribuida, diseñado para asegurar el control en tiempo real de los procesos de tratamiento, optimizar los consumos de energía eléctrica y reactivos químicos, y proporcionar almacenamiento de datos históricos de las variables operativas. El sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) centraliza el monitoreo de la planta mediante una red de comunicación de alta velocidad basada en el protocolo industrial **Industrial

Ethernet / Modbus TCP/IP** estructurada con anillos de fibra óptica monomodo para evitar interferencias por ruidos electromagnéticos.

El núcleo de la automatización está conformado por Controladores Lógicos Programables (PLCs) de alta disponibilidad instalados en gabinetes NEMA 12 distribuidos en las distintas áreas de la planta (Pretratamiento, Reactores Biológicos, Tren de Lodos).
Estos controladores ejecutan de forma autónoma los lazos de control cerrados (PID) para regular la velocidad de los sopladores Kaeser/Hoffman en función del oxígeno disuelto medido, coordinar la alternancia cíclica de las bombas Flygt de recirculación y gestionar las secuencias automáticas de autolavado de los filtros de discos Dynadisc.

5.6.2. Red de Instrumentación en Línea y Estaciones de Verificación

Para alimentar el algoritmo de control y registrar de forma continua los indicadores de eficiencia del saneamiento hídrico, el anteproyecto conceptual define el despliegue de una robusta red de instrumentación de campo con señales de comunicación analógicas de 4-20 mA con protocolo HART integrado, complementada con un programa estricto de control por verificación de laboratorio. El sistema abarca la definición de **23 estaciones de análisis (PM-01 a PM-23)** distribuidas a lo largo del flujo de la planta para la toma de muestras físicas de contraste en laboratorio, las cuales validan el desempeño de los sensores analíticos en línea de última generación, entre los que destacan:

- Medidores de potencial de oxidación-reducción (ORP) instalados en las zonas anaerobia y anóxica del reactor biológico para verificar de forma exacta las condiciones cinéticas de desnitrificación y liberación de fósforo.
- Sondas ópticas de medición continua de Oxígeno Disuelto (OD) inmersas en la zona aerobia del reactor A^2O, enlazadas al lazo de control de los sopladores.
- Sensores ultrasónicos para la medición continua de niveles y volúmenes de almacenamiento en los tanques de succión y cárcamos de lodos.
- Analizadores analíticos en línea para la medición de turbidez, pH, conductividad y temperatura en el canal de salida de agua tratada.

5.6.3. Especificación Técnica de la Estación de Medición de Flujo de Salida (FIT-01)

Como componente crítico para el registro oficial de volúmenes saneados ante la CEA y la CONAGUA, la ingeniería básica detalló la especificación e instalación de la estación de medición de caudal **FIT-01**, ubicada en el emisor de salida de la PTAR.

El diseño hidráulico y mecánico de esta estación de aforo electromagnética se estructuró con precisión milimétrica para cumplir con los requerimientos de tramos rectos exigidos para eliminar perfiles de velocidad distorsionados y flujos helicoidales turbulentos que introduzcan errores en la medición:

Componente / Parámetro de Diseño	Especificación Técnica e Ingeniería Detallada del Nodo FIT-01
Tipo de Instrumento Seleccionado	Medidor de flujo electromagnético de alta precisión, diámetro nominal de 20 pulgadas (DN500). Cuerpo con recubrimiento interno de teflón (PTFE) y electrodos de medición de Hastelloy C para resistir la abrasión y corrosión del agua residual.
Configuración Hidráulica de Conexión	Tubería principal del emisor de 30 pulgadas. Para alojar el medidor de 20 pulgadas y asegurar un tubo lleno permanente (condición indispensable para el funcionamiento del campo magnético del sensor), se acoplan dos reducciones concéntricas de acero al carbón ASTM A234 WPB de 30" × 20" Cédula 40.
Requerimiento de Tramo Recto Aguas Arriba	Exigencia técnica de una longitud recta mínima equivalente a 5 veces el diámetro nominal (5D). Al ser un diámetro de 20" (508 mm), se especificó e instaló un tramo recto de tubería de acero al carbón ASTM A53 Gr. B Cédula 40 de **2.54 metros** previo al cuerpo del medidor para estabilizar las líneas de flujo.
Requerimiento de Tramo Recto Aguas Abajo	Exigencia técnica de una longitud recta mínima equivalente a 2 veces el diámetro nominal (2D) posterior al medidor. Equivale a un desarrollo lineal recto de **1.02 metros** antes de conectar con la ampliación concéntrica de retorno a la tubería de 30 pulgadas del emisor general.
Sistema de Aterrizaje Hidráulico (Ruido)	Para aislar el sensor electromagnético de las corrientes parásitas y ruidos eléctricos conducidos por el agua residual a lo largo de la tubería de acero, se especificó la instalación obligatoria de dos **Anillos de Tierra (Grounding Rings) de acero inoxidable tipo SS316L** bridados a la entrada y salida del instrumento, interconectados mediante cable de cobre trenzado directamente a la tierra electrónica del transmisor de flujo.
Transmisión y Enlace	Transmisor digital remoto montado en pared con protección IP67. Envía una señal de salida analógica de 4-20 mA para el

Componente / Parámetro de Diseño	Especificación Técnica e Ingeniería Detallada del Nodo FIT-01
SCADA	caudal instantáneo (L/s) y una salida de pulsos de alta frecuencia para la totalización del volumen (m^3), interconectado al PLC del área mediante protocolo de red industrial Modbus TCP/IP.

La integración de esta geometría de aforo garantiza una incertidumbre de medición inferior al **±0.5% del valor real medido**, cumpliendo con las especificaciones técnicas más estrictas exigidas por la normatividad federal hídrica mexicana para la contabilidad oficial de caudales descargados a cuerpos receptores nacionales.

Sección 6. Tenencia de la Tierra y Aspectos Legales

6.1. Marco Jurídico, Antecedentes Normativos y Metodología de Investigación Del Suelo

6.1.1. Fundamento Constitucional y Legislación Agraria y Civil Aplicable

El desarrollo de proyectos de infraestructura hídrica a gran escala, como la construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), colectores marginales, cárcamos de bombeo y líneas de impulsión en las subcuencas de El Vado y Coyula en el municipio de Tonalá, Jalisco, exige la plena regularización y validación jurídica de los predios afectados. Desde la perspectiva del derecho administrativo, constitucional y agrario mexicano, la viabilidad de la inversión pública y la salvaguarda de los activos estatales requieren la acreditación plena del régimen de propiedad y la correcta constitución de los derechos reales de uso, de conformidad con el marco legal vigente en el Estado de Jalisco y la República Mexicana:

- **Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos:** Norma matriz que regula la propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, estableciendo las facultades del Estado para dictar las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y ejecutar expropiaciones o adquisiciones por causa de utilidad pública.
- **Ley Agraria Federal:** Marco legal obligatorio para regular las afectaciones sobre el suelo sujeto al régimen de propiedad social (ejidal y comunal). Norma los procedimientos para la enajenación de parcelas, la adopción del dominio pleno y los acuerdos de asambleas de ejidatarios formalizados ante el Registro Agrario Nacional (RAN).
- **Código Civil del Estado de Jalisco:** Regula los contratos de compraventa, permuta, donación y, de

forma prioritaria para el trazo de conducciones, la constitución formal de la **Servidumbre Legal de Paso** sobre predios sujetos al régimen de propiedad privada, definiendo las obligaciones de indemnización, derechos de vía y restricciones de construcción.

- **Ley de Aguas Nacionales (LAN):** Establece las delimitaciones de las zonas federales marginales a los cauces y arroyos, las cuales interactúan directamente con el trazo de los colectores marginales proyectados, exigiendo la tramitación de permisos de ocupación ante la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

- **Reglamentos de Desarrollo Urbano del Municipio de Tonalá:** Normatividad local aplicable para verificar la compatibilidad de uso de suelo de las infraestructuras de saneamiento con los Planes de Desarrollo Urbano de los distritos TON-1 a TON-14.

6.1.2. Metodología de Diagnóstico de Campo y Vinculación Técnico-Jurídica

Para asegurar una base de datos exenta de vicios legales que pongan en riesgo las etapas ejecutivas del proyecto, se implementó una metodología integral que acopló la investigación documental con el levantamiento catastral y poligonal en campo.

Esta fase de diagnóstico se estructuró a través de los siguientes frentes operativos y de ingeniería:

- **Investigación Documental y Registral:** Búsqueda exhaustiva ante el Registro Público de la Propiedad y el Comercio del Estado de Jalisco (RPPC) para validar escrituras públicas, cuentas prediales, libertad de gravámenes e historial de traslados de dominio sobre terrenos particulares. En paralelo, se tramitaron búsquedas e historiales ante las delegaciones del Registro Agrario Nacional (RAN) para identificar padrones de ejidatarios, planos de delimitación, destino de tierras y asignación de parcelas en los núcleos ejidales colindantes.

- **Levantamiento e Identificación en Campo:** Cuadrillas de campo provistas de sistemas de posicionamiento satelital GNSS diferencial georreferenciaron los linderos físicos, cercas y mojoneras de las propiedades proyectadas para las PTAR y cárcamos de bombeo. Este levantamiento geométrico directo permitió delimitar con precisión milimétrica las franjas de afectación a lo largo de las trayectorias de los colectores sanitarios y líneas de impulsión.

- **Mesas de Trabajo y Concertación Social:** Se llevaron a cabo reuniones técnicas e informativas con las autoridades de los núcleos ejidales (Comisariados Ejidales) y propietarios particulares para conciliar los trazos, evaluar las afectaciones de cultivos o estructuras secundarias, recopilar copias de títulos de propiedad o certificados parcelarios y validar la disposición legal para la formalización de convenios de ocupación superficial o servidumbres de paso.

- **Sistematización en Sistemas de Información Geográfica (SIG):** Los datos geométricos de las poligonales de campo se indexaron en una plataforma digital SIG (Shapefiles y Geodatabases). Esta herramienta matemática permite realizar cruces espaciales automáticos entre las líneas de los interceptores y la subdivisión catastral del suelo, calculando de forma exacta los metros cuadrados de afectación por cada propietario y clasificando los predios según su estatus legal y régimen de propiedad.

6.2. Diagnóstico Técnico de Predios para Infraestructura Principal y Cárcamos

6.2.1. Terreno para la Construcción de la Planta de Tratamiento (PTAR) El Vado

La implantación física de las obras civiles y electromecánicas que integran el tren de agua y lodos de la PTAR El Vado (capacidad nominal de 160 L/s) se localiza formalmente sobre un macro-predio cuyas condiciones legales y registrales se encuentran plenamente validadas de acuerdo con el expediente técnico integrado para la Comisión Estatal del Agua:

- **Propietario Legal Registrado:** Fernando Hernández Prado.
- **Domicilio Legal del Titular:** Calle Hidalgo N° 875, cabecera municipal de Tonalá, Jalisco.
- **Régimen de Propiedad:** Privada.
- **Estatus Legal de la Tenencia:** Regular, con título de propiedad debidamente inscrito ante el Registro Público de la Propiedad y el Comercio del Estado de Jalisco.
- **Identificación Catastral:** Cuenta Predial de carácter urbano número **U130439**.
- **Superficie Total del Predio Originario:** 160,000.057 m^2.
- **Superficie Neta Requerida por el Proyecto:** 44,929.00 m^2 (Área confinada estrictamente para el desplante de las unidades de pretratamiento EMO, sedimentadores AWASA, reactores biológicos A^2O, clarificadores, filtros Dynadisc, deshidratación y edificios auxiliares).
-

Análisis de Restricción Legal por ANP: Como se asentó en los análisis conceptuales de sitio, la delimitación geométrica original de este terreno invade parcialmente el polígono de protección ecológica federal correspondiente al Área Natural Protegida del Río Santiago-Verde. Para evitar contingencias legales, amparos ambientales o la denegación de las autorizaciones por parte de la SEMARNAT, la delimitación física de la planta se restringió a la zona exenta de afectación federal.

La adquisición definitiva de los 44,929 m^2 requeridos mediante el contrato de compraventa incluirá de forma justificada una porción complementaria hacia el flanco oeste del mismo predio privado propiedad de Fernando Hernández Prado, manteniendo el proyecto 100% libre de pasivos ambientales y jurídicos.

6.2.2. Predio Sirviente para la Construcción del Cárcamo de Bombeo El Vado

Para la concentración y rebombeo de los gastos sanitarios de la subcuenca de El Vado, se proyectó la implantación de una estación de bombeo sumergible con arreglo 2+1. El análisis de tenencia de la tierra arrojó el siguiente diagnóstico técnico:

- **Propietario / Ente Administrador:** Municipio de Tonalá, Jalisco.
- **Origen de la Propiedad:** Fracción cedida al municipio en calidad de donación institucional por parte del Fraccionamiento Praderas de Tonallán, en estricto cumplimiento de las obligaciones de equipamiento urbano dictadas por el Plan de Desarrollo Urbano local.
- **Régimen de Propiedad:** Pública (Bienes del dominio del poder público municipal).
- **Estatus Legal de la Tenencia:** Regular, incorporado formalmente al patrimonio inmobiliario del municipio.
- **Superficie Total del Predio Disponible:** 2,025.00 m^2.
- **Superficie Neta Requerida por el Proyecto:** 767.00 m^2 (Destinados al desplante de la fosa de succión de concreto, subestación eléctrica, caseta de controles y planta de emergencia de 400 kVA).
- **Observación y Trámite Legal Mandatorio:** Al ser un predio de régimen público propiedad del ayuntamiento, se cuenta con una viabilidad jurídica inmediata, exenta del pago de indemnizaciones financieras a particulares. Sin embargo, para autorizar el inicio de los trabajos de obra civil, el organismo de saneamiento estatal deberá gestionar ante el cabildo del Ayuntamiento de Tonalá el dictamen formal de **Asignación de Uso de Suelo o la Desincorporación y Comodato** del polígono de 767.00 m^2 a favor de la Comisión Estatal del Agua o del organismo operador correspondiente.

6.2.3. Predio Sirviente para la Construcción del Cárcamo de Bombeo Coyula

La estación de bombeo principal de la subcuenca Coyula, diseñada para desalojar un gasto unitario de 90.42 L/s por equipo bajo un esquema operativo de 3+1, se localiza sobre un terreno sujeto al régimen agrario, cuyas especificaciones legales exigen un tratamiento procedimental diferenciado:

- **Propietario Colectivo:** Núcleo Agrario "Ejido de Coyula".
- **Régimen de Propiedad:** Social (Propiedad Ejidal con asignación parcelaria formal).
- **Estatus Legal de la Tenencia:** Regular, con registros, planos de delimitación y derechos debidamente validados e inscritos ante las oficinas centrales del Registro Agrario Nacional (RAN).
- **Superficie Total de la Parcela Afectada:** 33,661.12 m^2.
- **Superficie de la Fracción Delimitada para Análisis:** 6,127.23 m^2.
- **Superficie Neta Requerida para el Proyecto:** 1,763.00 m^2 (Espacio físico indispensable para el alojamiento de la obra de llegada civil, rejillas, cárcamo húmedo, celdas de media tensión y accesos viales).
- **Observación y Trámite Agrario Mandatorio:** Al encontrarse el suelo bajo el régimen de propiedad social ejidal parcelada, la ocupación del área de 1,763.00 m^2 no puede consolidarse mediante un contrato de compraventa civil ordinario. Para dotar al proyecto de plena certidumbre jurídica, el Comisariado Ejidal de Coyula deberá convocar formalmente a una **Asamblea de Ejidatarios de Formalidades Especiales** (de conformidad con los Artículos 23, fracciones IX a XI, y 56 de la Ley

Agraria). En dicha asamblea se deberá aprobar por mayoría calificada la anuencia de la afectación, el convenio de ocupación previa o, de ser viable, la adopción del dominio pleno de la fracción para su posterior venta al Estado, fijando las compensaciones económicas correspondientes según los avalúos emitidos por el Instituto de Administración y Avalúos de Bienes Nacionales (INDAABIN).

6.3. Rigor Geométrico: Cuadros de Construcción de Predios Sirvientes

Para dotar a los contratos de compraventa, escrituras de donación y convenios de afectación ejidal de la precisión geométrica e insolvencia técnica requerida ante notarios públicos y tribunales, las poligonales de desplante de los predios sirvientes aprobados fueron calculadas en gabinete tras las compensaciones angulares de campo. A continuación, se detallan las carteras de coordenadas e indicaciones de rumbo en el sistema de proyección UTM (DATUM84 ITRF-92) para las infraestructuras evaluadas:

6.3.1. Cuadro de Construcción del Predio Sirviente - PTAR El Vado

Vértice Inicio	Vértice Final	Distancia (m)	Rumbo Azimutal (°)	Coordenada X (UTM - m)	Coordenada Y (UTM - m)
P.V.	**1**	0.000	319.797348	**691,940.714**	**2,280,558.033**
1	**2**	276.790	349.381728	691,992.323	2,280,829.969
2	**3**	233.757	25.2589047	691,868.511	2,281,028.244

Vértice Inicio	Vértice Final	Distancia (m)	Rumbo Azimutal (°)	Coordenada X (UTM - m)	Coordenada Y (UTM - m)
3	**4**	85.650	82.3993719	*Cierre Poligonal*	*Cierre Poligonal*

6.3.2. Cuadro de Construcción del Predio Sirviente - Cárcamo El Vado

Vértice Inicio	Vértice Final	Distancia (m)	Rumbo Azimutal (°)	Coordenada X (UTM - m)	Coordenada Y (UTM - m)
P.V.	1	0.000	116.6403164	**687,705.984**	**2,282,091.332**
1	2	35.221	207.4569759	687,726.395	2,282,062.628
2	3	76.069	301.4653088	687,650.327	2,282,063.068
3	4	30.057	30.64864925	*Cierre Poligonal*	*Cierre Poligonal*

6.3.3. Cuadro de Construcción del Predio Sirviente - Cárcamo Coyula

Vértice Inicio	Vértice Final	Distancia (m)	Rumbo Azimutal (°)	Coordenada X (UTM - m)	Coordenada Y (UTM - m)
1	2	71.001	314.3677850	**686,863.588**	**2,285,094.286**
2	3	71.816	322.5600496	686,791.774	2,285,093.855
3	4	48.153	15.25802824	686,804.612	2,285,140.265
4	5	54.942	22.97654293	686,818.881	2,285,193.323
5	6	28.410	31.64831061	686,833.471	2,285,217.700
6	7	44.870	42.15222116	*Cierre Poligonal*	*Cierre Poligonal*

6.4. Catastro de Franjas de Servidumbre de Paso para Colectores y Líneas de Impulsión

6.4.1. Definición Legal de la Servidumbre Legal de Paso para Conducciones

De acuerdo con las disposiciones del Código Civil del Estado de Jalisco, el trazo longitudinal de los colectores sanitarios marginales a gravedad y de las líneas de impulsión a presión exige la constitución de un derecho real denominado **Servidumbre Legal de Paso**. Esta figura jurídica faculta al organismo operador y al Estado para ocupar de manera permanente una franja de terreno ajeno con el propósito de alojar tuberías, realizar excavaciones, construir pozos de visita y disponer de un derecho de vía libre para el ingreso de maquinaria pesada destinada a labores de mantenimiento preventivo, desazolve o reparación de colapsos estructurales.

Para este proyecto básico de ingeniería, se definió una sección transversal de ancho de franja de afectación constante equivalente a **6.00 metros** de ancho (3.00 metros a cada lado del eje de simetría de la tubería), cota suficiente para garantizar el despliegue seguro de excavadoras y la disposición temporal de tierras de excavación sin invadir propiedades vecinas de manera irregular. Toda edificación o desplante de estructuras definitivas por parte de los propietarios sirvientes queda estrictamente prohibida dentro de estos 6 metros de vía de amortiguamiento.

6.4.2. Base de Datos Cartográfica "Shapefile" e Indexación de Atributos SIG

La delimitación cartográfica de las franjas de afectación viables se integró formalmente en una estructura informática SIG bajo la capa vectorial denominada **"DV_6m_Lin-Carc_ElVado_VIABLE"** y su equivalente para Coyula.

Cada registro o polígono de afectación de la base de datos geoespacial contiene una estructura de atributos estandarizada con las siguientes variables de control:

- **IDE (Identificador):** Número entero único secuencial que registra de forma indizada la parcela o polígono afectado en el trazo de la conducción.
- **Propietari (Propietario):** Texto descriptivo con el nombre completo del titular registral, poseedor particular o ejidatario asignado conforme a los libros del RPPC o actas agrarias.
- **Regimen (Régimen de Propiedad):** Clasificación legal que define la naturaleza del suelo afectado (Propiedad Privada, Propiedad Pública, Propiedad Social Ejidal o Propiedad Comunal).
- **Tipo_Regim (Tipo de Régimen):** Especificación técnica interna del estatus del suelo (por ejemplo, Ejidal Parcelado, Donación Municipal, Escritura Pública, Zona Federal).
- **Estatus:** Condición legal actual que guarda la tenencia de la tierra de la fracción afectada (Regular,

Sección 7. Presupuestos y Especificaciones

7.1. Metodología de Integración del Catálogo de Conceptos y Cantidades de Obra

7.1.1. Criterios de Cuantificación y Estructuración del Catálogo

La culminación de las ingenierías básicas para los sistemas de saneamiento de las subcuencas de El Vado y Coyula, en el municipio de Tonalá, Jalisco, exige la determinación precisa de los volúmenes de obra y la estructuración del catálogo de conceptos base.

Este procedimiento constituye el amparo técnico y financiero indispensable para la posterior licitación pública, contratación y ejecución de las obras civiles, electromecánicas y de automatización. La metodología de cuantificación se desarrolló mediante la integración de los planos geométricos definitivos y las memorias de cálculo de cada una de las especialidades (hidráulica, sanitaria, civil, eléctrica, procesos y SCADA), desglosando las cantidades de obra por unidad funcional de proceso para ambas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y sus estaciones de bombeo asociadas.

Para garantizar la transparencia, la homogeneidad regulatoria y la correcta fiscalización de los recursos públicos, la codificación, descripción y ordenamiento de los conceptos de obra se estructuraron siguiendo los lineamientos técnicos y las agrupaciones sectoriales normadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Los volúmenes de obra calculados cubren de forma exhaustiva las siguientes partidas fundamentales:

- **Obras Preliminares y Terracerías:** Desmonte, despalme, excavaciones a cielo abierto en zanjas y macro-predios bajo condiciones variables de subsuelo (tobas en Coyula y basaltos en El Vado), plantillas compactadas, rellenos estructurales y acarreos de material excedente.

- **Obra Civil y Estructuras Hidráulicas:** Habilitado y colocación de acero de refuerzo de diferentes límites de fluencia, cimbrado común y acabado pulido, vertido de concreto estructural premezclado con aditivos impermeabilizantes para garantizar la estanqueidad en reactores A^2O, sedimentadores, digestores y tanques de contacto.

- **Obra Arquitectónica y Auxiliar:** Construcción de edificios de sopladores, casetas de deshidratación mecánica, laboratorios de control de calidad, talleres de mantenimiento, oficinas administrativas, vialidades interiores pavimentadas y cercas de seguridad perimetral.

- **Instalaciones Mecánicas e Hidráulicas de Proceso:** Procura, montaje, alineación y soldadura

de tuberías de acero al carbón Cédula 40, compuertas de aislamiento, vertederos de dientes de sierra y soportería estructural para interconexiones.

- **Equipamiento Electromecánico Específico:** Instalación y puesta en marcha de unidades compactas EMO, mecanismos circulares AWASA, mezcladores HOMA, bombas Flygt, sopladores Kaeser/Hoffman, filtros Dynadisc, generadores Pinnacle y agitadores Westech.

- **Instalaciones Eléctricas, Instrumentación y SCADA:** Tendido de alimentadores de cobre THHN/THWN-2, Centros de Control de Motores (CCM), subestaciones con arreglos de transformadores de 500 kVA y 300 kVA, plantas de emergencia de 400 kVA, mallas de puesta a tierra, redes de fibra óptica Modbus TCP/IP, sensores en línea (OD, ORP, pH) y el medidor de flujo terminal FIT-01 con sus respectivos tramos rectos y anillos de tierra.

7.1.2. Protocolo para el Desarrollo de Conceptos No Contenidos en el Catálogo de CONAGUA

Durante la fase de integración se identificaron tecnologías avanzadas de pulimiento y estabilización que, por su naturaleza de última generación industrial, no se encuentran codificadas o descritas dentro del *Catálogo de Precios Unitarios de la CONAGUA en su versión 2025*. Ante esta restricción procedimental, se implementó un protocolo específico de ingeniería de costos para el desarrollo de **Conceptos Nuevos Especiales**.

Para cada uno de estos conceptos, se redactó una especificación técnica de construcción particular y se desglosó su Proceso Constructivo Analítico, determinando las tarjetas de precios unitarios mediante la investigación de los siguientes componentes del mercado:

- **Costos de Procura e Importación de Equipos:** Solicitud de cotizaciones formales y precio índice directamente con los fabricantes internacionales homologados en el anteproyecto mecánico (EMO, Dynadisc, Pinnacle, Westech, Bioworks), incorporando los gastos logísticos de traslado, aranceles de importación y seguros de transporte hasta los macro-sitios de Tonalá.

- **Mano de Obra Especializada de Instalación:** Cuantificación de las cuadrillas de ingenieros de montaje, técnicos soldadores certificados, electricistas de alta tensión y programadores de sistemas de automatización SCADA necesarios para la correcta implantación y pruebas de la infraestructura.

- **Materiales Consumibles de Montaje:** Inclusión de gases de soldadura, herrajes de acero inoxidable SS316, pernos de anclaje químico Hilti, aceites lubricantes de arranque, polímeros de acondicionamiento químico y reactivos de calibración analítica inicial.

7.2. Estimación del Presupuesto Base de Inversión Inicial

7.2.1. Criterios de Tasación y Aplicación de Precios Unitarios

El Presupuesto Base de Inversión Inicial para las obras hídricas de las subcuencas El Vado y Coyula se determinó aplicando de forma estricta los Precios Unitarios contenidos en el tabulador oficial de la CONAGUA versión 2025.

Para los conceptos ordinarios (excavaciones, concretos, aceros, alimentadores estándar), se adoptaron los costos directos oficiales actualizados por los índices de inflación sectorial de la construcción. Para los conceptos nuevos especiales (ozonofiltros, filtros de discos, digestores CSTR con quemadores Bioworks), los costos se fijaron con base en los precios índice de mercado proporcionados por los proveedores certificados, adicionando los porcentajes correspondientes a Costos Indirectos (administración de campo y oficinas centrales), Costos de Financiamiento y la Utilidad del contratista, de acuerdo con la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas.

7.2.2. Presupuesto Base Consolidado de Inversión por Macro-Sitio

El análisis económico detallado de los catálogos de conceptos integrados determinó los montos de inversión requeridos para la ejecución total del proyecto básico de saneamiento al año horizonte 2050.

Los montos calculados por planta de tratamiento, incluyendo la totalidad de las obras civiles de la línea de agua, infraestructura del tren de lodos, equipamiento electromecánico homologado y las interconexiones eléctricas y de automatización SCADA correspondientes, se consolidan en la siguiente matriz presupuestal:

Macro-Sitio de Infraestructura / Subcuenca	Capacidad de Diseño (L/s)	Presupuesto de Inversión Inicial (Monto Total MXN)
Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Coyula"	250 L/s	$362,962,922.00 M.N.
Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "El Vado"	160 L/s	$271,457,922.00 M.N.

Nota Presupuestal: Conforme a los lineamientos de presentación de preingeniería básica de la CEA, las matrices analíticas detalladas de los conceptos, volúmenes de obra específicos, tarjetas de precios unitarios y cotizaciones de soporte de los fabricantes no se insertan en el cuerpo de esta memoria descriptiva, integrándose de forma independiente bajo los tomos de anexos técnicos del informe final.

7.3. Costos de Operación, Mantenimiento (O&M) y Reposiciones

7.3.1. Metodología de Análisis de Costos de O&M e Indicadores Unitarios

Para evaluar la sustentabilidad financiera a largo plazo y determinar el impacto económico sobre las tarifas del organismo operador, se desarrolló una memoria analítica para el cálculo de los costos operativos anuales. El modelo matemático de costos integró los siguientes componentes de gasto real indexados:

- **Potencia Eléctrica (Consumo de Energía):** Calculado a partir de la sumatoria de cargas del cuadro de cargas consolidado (651.0 A en baja tensión para El Vado y el proporcional para Coyula), considerando la operación continua las 24 horas del día bajo la tarifa industrial de media tensión de la CFE, reflejando el consumo dominante de los sopladores Kaeser/Hoffman y bombas Flygt.
- **Personal Operativo y Administrativo (Mano de Obra):** Nómina del equipo de ingenieros de planta, técnicos electromecánicos, analistas de laboratorio químicos, operadores de casetas de deshidratación y personal de vigilancia perimetral.
- **Consumo de Insumos y Productos Químicos:** Procura de polímeros orgánicos catiónicos para las mesas de espesamiento mecánico EMO y filtros prensa de banda, reactivos químicos para la desincrustación de filtros Dynadisc y consumibles de laboratorio.
- **Mantenimiento Correctivo, Refacciones y Reposiciones:** Fondos de reserva anuales para la sustitución de sellos mecánicos, baleros, membranas difusoras de EPDM, lubricantes y mantenimiento preventivo general de subestaciones.
- **Manejo, Transporte y Disposición Final de Lodos:** Costos de flete vehicular y pago de derechos por confinamiento de la torta de biosólido deshidratada (20-25% de humedad residual) hacia los rellenos sanitarios autorizados.

7.3.2. Evaluación Económica de Alternativas de Tratamiento (PTAR El Vado - 160 L/s)

Para validar la conveniencia de la tecnología de lodos activados en su modalidad Anaerobio-Anóxico-Aerobio (A^2O) adoptada en el proyecto básico, se contrastaron los costos de inversión y los indicadores operativos de O&M anuales contra los modelos de los esquemas tecnológicos descartados (Lodos Activados Convencionales y Lodos Activados con Lecho Móvil MBBR) para la capacidad de 160 L/s.

El balance económico de alternativas se desglosa a continuación:

Indicador Económico / Tecnológico	Alt. 1: Lodos Activados Convencionales	Alt. 2: Lodos Activados A^2O (Seleccionado)	Alt. 3: Lodos Activados MBBR
Costo de Inversión Inicial (CAPEX)	$243.90 MDP	$251.00 MDP*	$248.20 MDP
Costo de Operación y Mantenimiento Anual	$11.70 MDP	$11.50 MDP	$13.80 MDP
Costo Unitario Total de Tratamiento ($/m³)	7.32 $/m³	7.57 $/m³	7.96 $/m³
Costo Específico Neto de O&M ($/m³)	2.20 $/m³	2.29 $/m³	2.74 $/m³

**Nota de Equivalencia: El costo de inversión de 251.0 MDP corresponde al predimensionamiento paramétrico preliminar de la alternativa A^2O para El Vado, el cual fue ajustado y consolidado formalmente en el Presupuesto Base definitivo de $271,457,922.00 M.N. tras integrar las obras de arte arquitectónicas, cercas y las ingenierías de detalle complementarias de la subestación eléctrica y el SCADA.*

7.3.3. Interpretación Ingenieril de la Matriz de Costos

El análisis de la matriz económica revela las siguientes conclusiones técnicas fundamentales para la toma de decisiones de la CEA:

- **Alternativa 1 (Convencional):** Registra el menor costo de O&M específico (2.20 $/m^3$), pero fue descartada de forma categórica debido a que la calidad del agua tratada operaría de manera persistente en el límite de la norma, careciendo de la flexibilidad bioquímica para garantizar la remoción simultánea de nutrientes y nitrógeno total por debajo de los 25 mg/L bajo fluctuaciones dinámicas.
- **Alternativa 3 (MBBR):** Manifiesta el costo operativo más elevado (2.74 $/m^3$ específicos de O&M y 13.8 MDP anuales) debido a que los reactores de lecho móvil plásticos imponen un consumo de oxígeno sustancialmente mayor para mantener los carriers en suspensión volumétrica completa, elevando la demanda de potencia de los sopladores, además de exigir la importación recurrente de soportes plásticos de patente internacional.
- **Alternativa 2 (A^2O Seleccionada):** Representa la solución con mayor viabilidad y balance financiero. Si bien introduce un incremento marginal en el costo directo de O&M (2.29 $/m^3$ frente a los 2.20 $/m^3$ del convencional) derivado del consumo eléctrico de las bombas Flygt de recirculación interna de nitratos (RILM), ofrece una remoción garantizada superior al 95% de la carga orgánica y un amplio margen de seguridad jurídica ante la NOM-001-SEMARNAT-2021. Al evaluar el ciclo de vida del proyecto a un periodo de amortización de 30 años con una tasa de interés del 10%, el sistema A^2O se consolida como la opción más sólida, sustentable y con la mayor relación costo-beneficio para el municipio de Tonalá.

7.4. Especificaciones Técnicas Generales de Construcción

7.4.1. Vinculación con los Conceptos de Obra Normativos de CONAGUA

En estricta correspondencia analítica con cada uno de los conceptos ordinarios incorporados en el catálogo de obra general de las plantas de tratamiento y estaciones de bombeo, se transcribieron de forma íntegra las especificaciones técnicas generales de construcción validadas por la CONAGUA. Estos documentos normativos establecen los estándares de calidad de los materiales, los métodos de muestreo físico y las tolerancias geométricas de aceptación para las siguientes actividades de ingeniería civil:

- **Excavaciones y Rellenos:** Procedimientos para el control de la estabilidad de taludes en zanjas profundas para colectores, preparación de plantillas de apoyo y grados de compactación Proctor (mínimo 95%) para rellenos estructurales utilizando material de banco seleccionado.

- **Cimbras y Concretos Estructurales:** Especificaciones para el diseño de mezclas de concreto premezclado con resistencias a la compresión f'c = 250 kg/cm² y f'c = 300 kg/cm², control de revenimiento, colocación de bandas de PVC de estanqueidad (Waterstop) en juntas de colado constructivas, tiempos mínimos de descimbrado y métodos de curado químico o por inundación para evitar agrietamientos por contracción plástica en las paredes de los tanques biológicos.

- **Instalación de Tuberías y Piezas Especiales:** Protocolos de soldadura al arco para tubería de acero al carbón Cédula 40, aplicación de recubrimientos epóxicos anticorrosivos internos y externos, y pruebas hidrostáticas de hermeticidad en campo a presión sostenida para verificar la total ausencia de fugas previa al tapado de zanjas o llenado de tanques.

7.4.2. Especificaciones Particulares para Conceptos Especiales de Proceso y SCADA

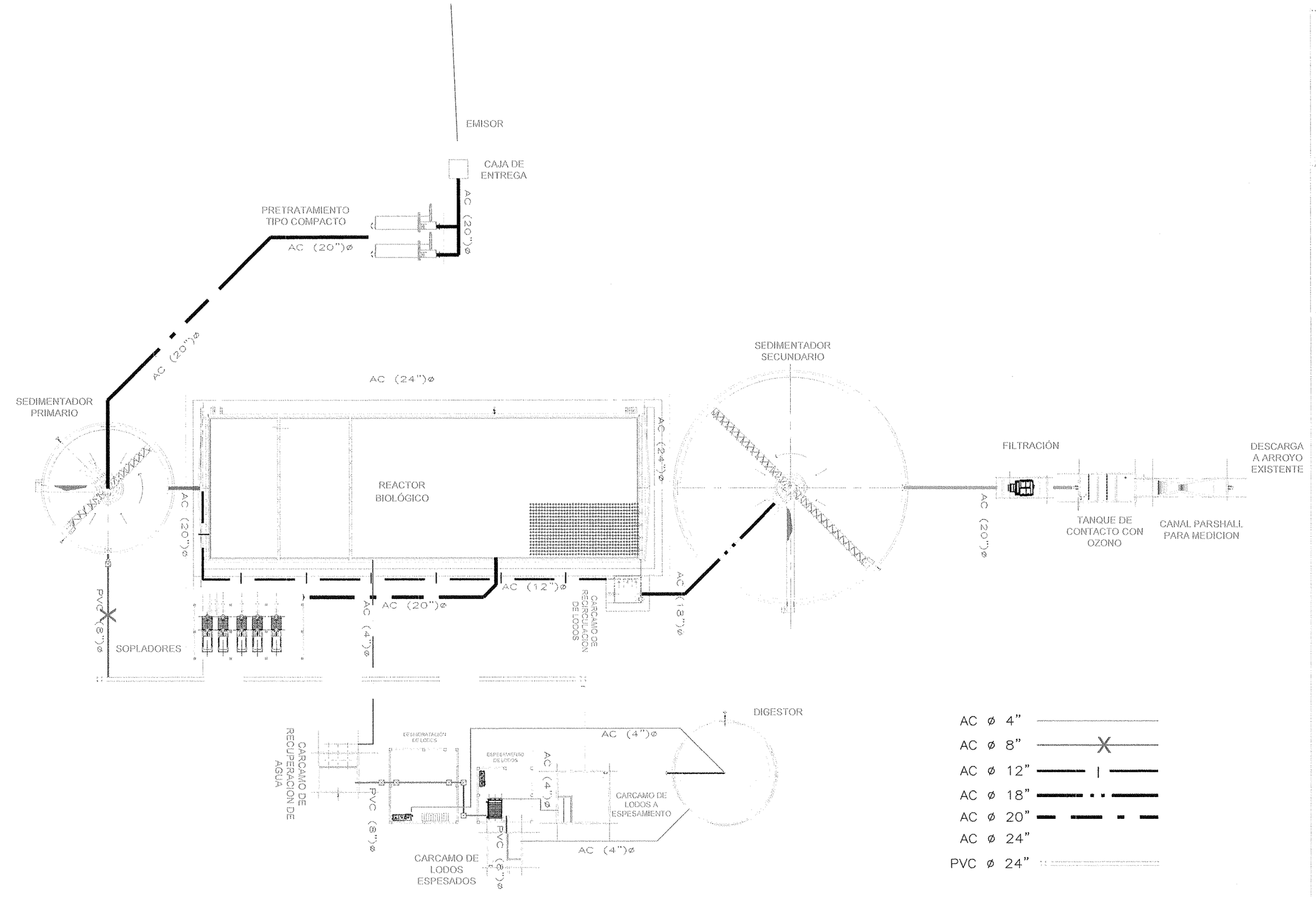
Para los conceptos nuevos especiales que no cuentan con cobertura en los manuales de la CONAGUA, se desarrollaron especificaciones particulares detalladas basadas en las recomendaciones de mantenimiento, conservación y criterios de diseño de los fabricantes internacionales. Estas especificaciones norman los siguientes rubros de alta especialidad industrial:

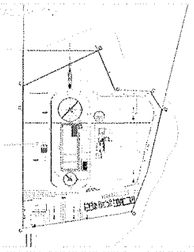
- **Unidades de Filtración de Discos (Dynadisc):** Requerimientos de nivelación milimétrica del eje rotatorio, calibración de los presostatos diferenciales para el arranque automático de las espreas de retrolavado y especificaciones de las soluciones químicas ácidas para la limpieza y desincrustación cíclica de las mallas de acero inoxidable.

- **Sistemas de Ozonización y Desinfección (Pinnacle):** Normas de seguridad para el manejo de gas ozono a alta concentración, hermeticidad de las conexiones de acero inoxidable SS316L, calibración de los destructores de ozono residual en la purga de gases del tanque de contacto laberíntico y protocolos para el mantenimiento preventivo de las celdas de descarga en corona.

- **Digestores Anaerobios y Agitadores (Westech / Bioworks):** Especificaciones para el montaje vertical de los ejes de mezcla profunda, tolerancias de torque en los reductores de potencia, verificación de la hermeticidad neumática de las cúpulas de almacenamiento de biogás y calibración de las válvulas de seguridad de presión/vacío y del sistema de ignición automática de la antorcha ecológica.

- **Instrumentación Fina en Línea y Nodo FIT-01:** Protocolos de calibración en sitio para los sensores ópticos de oxígeno disuelto y ORP mediante soluciones patrón. Para el medidor electromagnético FIT-01 de 20 pulgadas, se especifican de forma obligatoria las condiciones mecánicas de montaje centrada, el torquímetro de apriete de las bridas slip-on clase 150 conforme a ASME B16.5, y la interconexión física de las trenzas de cobre desde los anillos de tierra SS316L hacia la barra de tierra física electrónica para eliminar ruidos galvánicos, asegurando la permanencia del tramo recto de 2.54 metros aguas arriba y 1.02 metros aguas abajo fijado en los planos conceptuales.





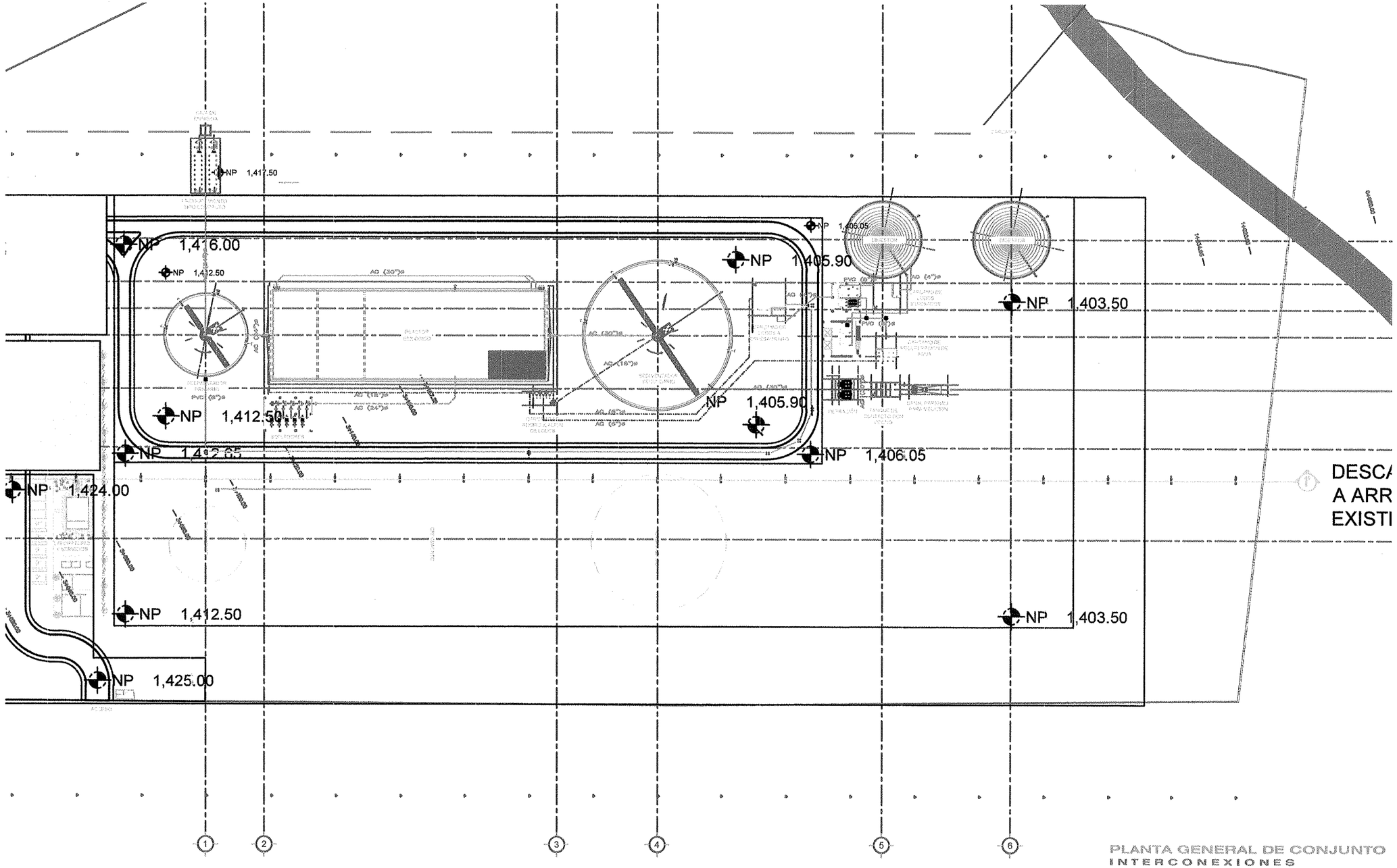
Comisión Estatal del Agua Jalisco

Jalisco

SISTEMA DE PRETRATAMIENTO FUNCIONAL INTERCONEXIONES

S/E

PTAR/FUN-00



PLANTA GENERAL DE CONJUNTO
INTERCONEXIONES

Anexo 11:

Información técnica sobre fuentes, conducción, plantas potabilizadoras, tanques, redes, saneamiento e infraestructura pluvial del Área Metropolitana de Guadalajara

JALISCO
GOBIERNO DEL ESTADO

Abastecimiento

Área metropolitana de Guadalajara

Comisión Estatal del Agua Jalisco

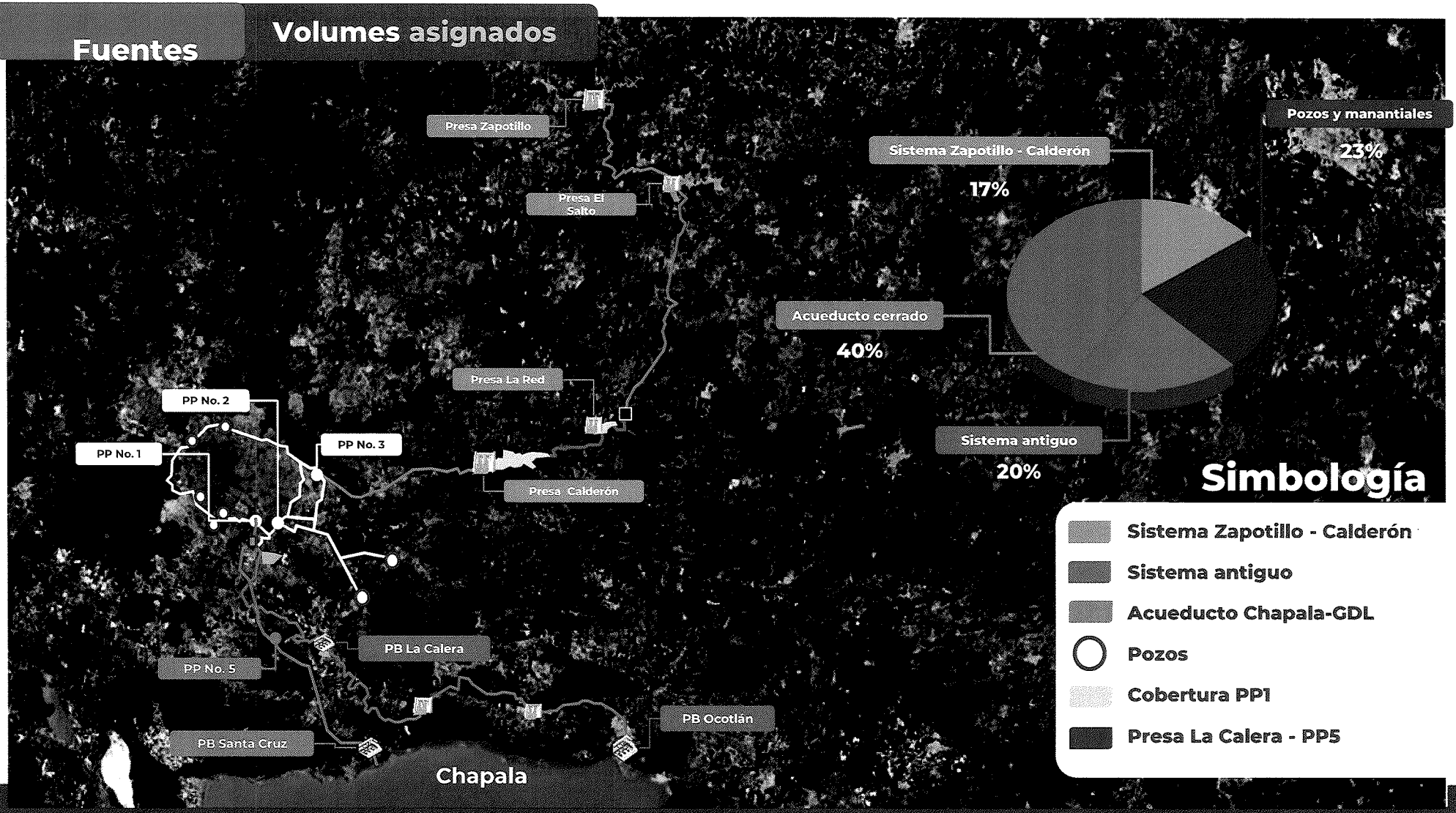
Gestión Integral del Agua

Coordinación de Gestión del Territorio
GOBIERNO DE JALISCO

000391

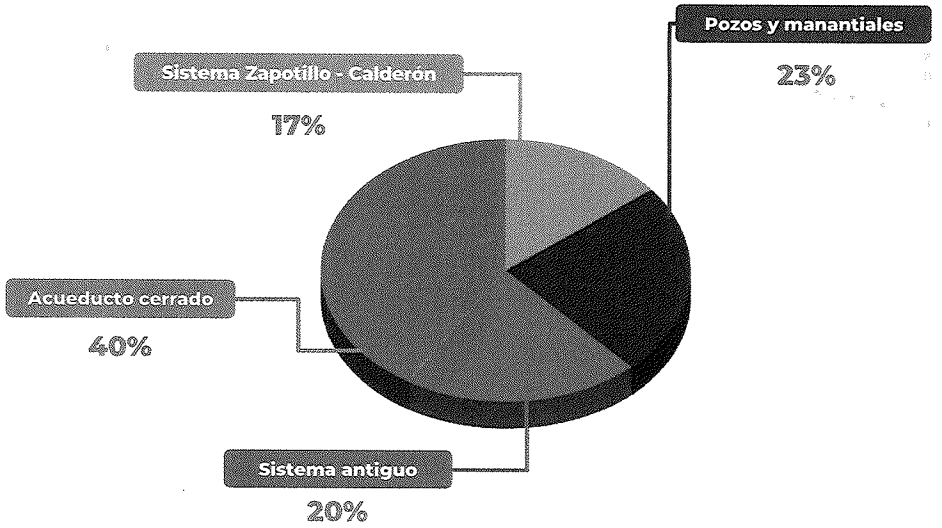
Fuentes

Volumes asignados



Fuentes

Volumes asignados



Simbología

- Sistema Zapotillo - Calderón
- Sistema antiguo
- Acueducto Chapala-GDL
- Pozos
- Cobertura PP1
- Presa La Calera - PP5

CONAGUA