



*PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN Y
REHABILITACIÓN DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SAN
ANTONIO DE LOS BUENOS*

Factibilidad Técnica

OCTUBRE DE 2019



Índice

1. INTRODUCCIÓN	3
2. PROBLEMÁTICA	5
2.1. PRETRATAMIENTO Y CRIBAS MECÁNICAS.....	5
2.2. CANALES DESARENADORES Y ESTACIÓN DE BOMBEO.....	6
2.3. SISTEMAS DE LAGUNAS	9
2.4. DESINFECCIÓN.....	11
2.5. DESAGUADO DE LODOS	12
2.6. EMISOR DE ALEJAMIENTO	12
3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y DEMÁS DE LAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA	14
3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE PROYECTO	14
3.2. CÁLCULO DE LA PROYECCIÓN DE POBLACIÓN Y GASTO	19
3.3. DEFINICIÓN DE LOS SERVICIOS	22
3.4. TREN TRATAMIENTO DE AGUA.....	25
3.4.1. <i>Pretratamiento</i>	25
3.4.2. <i>Remoción de grasas y aceites</i>	26
3.4.3. <i>Cárcamo de Bombeo</i>	26
3.4.4. <i>Sedimentador Primario</i>	26
3.4.5. <i>Zanjas de Oxidación</i>	27
3.4.6. <i>Sedimentador Secundario</i>	28
3.4.7. <i>Tanque de Contacto de Cloro</i>	29
3.5. TREN TRATAMIENTO DE LODOS	29
3.5.1. <i>Producción de Lodos</i>	30
3.5.2. <i>Espesador de Lodos</i>	31
3.5.3. <i>Digestor de Lodos</i>	31
3.5.4. <i>Deshidratado Mecánico</i>	32
3.5.5. <i>Disposición Final</i>	33
3.6. COGENERACIÓN.....	35
3.7. DESCARGA SUBACUÁTICA	38
4. CONCLUSIÓN	49



1. INTRODUCCIÓN

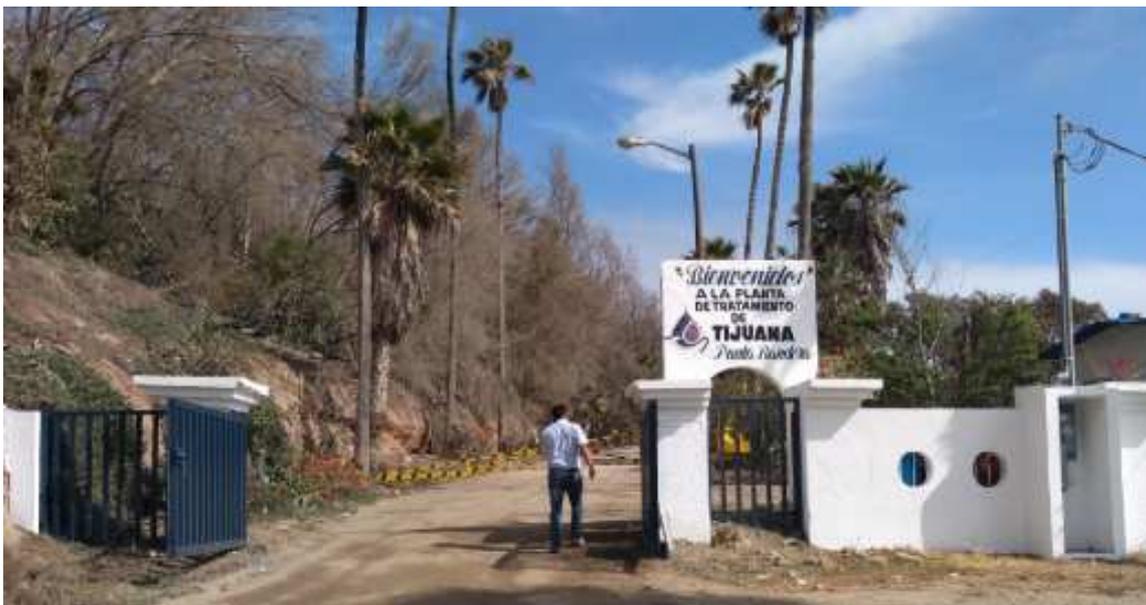
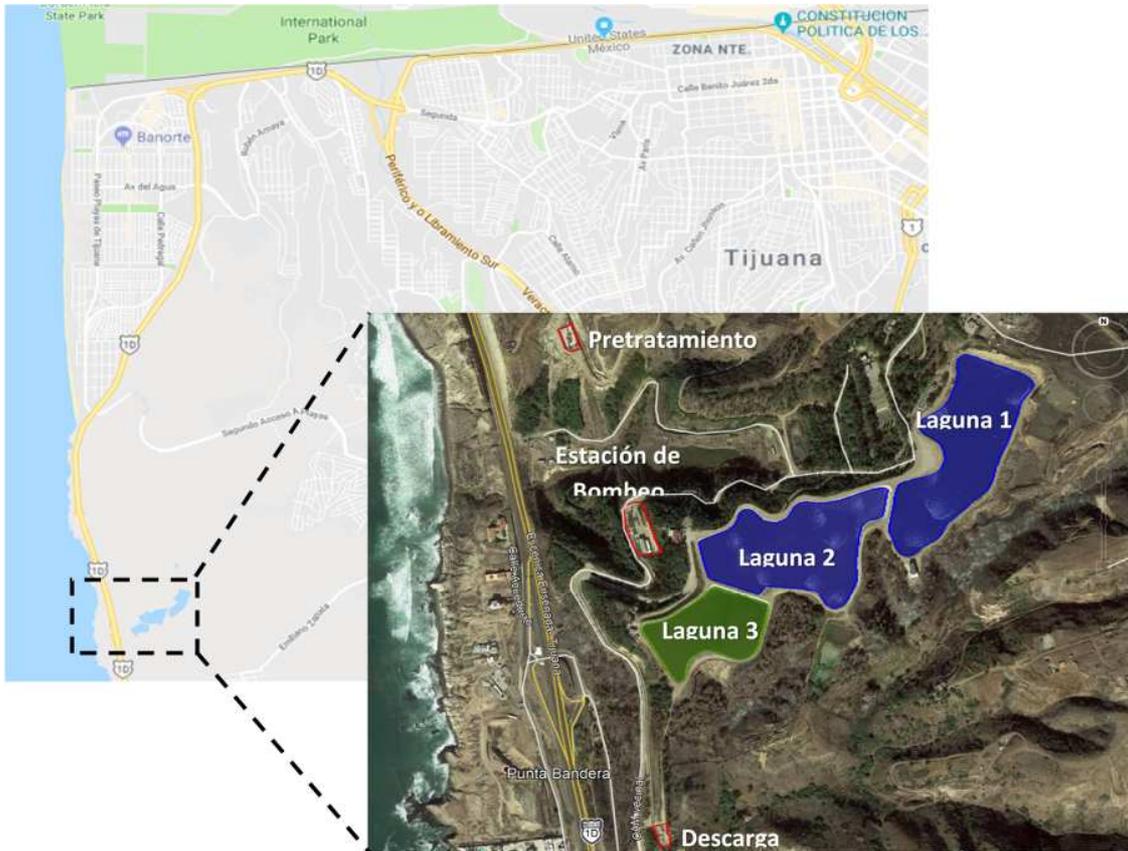
El objetivo principal del presente proyecto es atender el problema de contaminación de la descarga al mar de la planta existente denominada Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio de los Buenos (PTAR SAB) -también llamada Punta Bandera- mediante su rehabilitación integral y el cambio del proceso de tratamiento de Lagunas de Oxidación (actual) a Zanjas de Oxidación (proyecto); y disponer del efluente de la planta a través de una descarga subacuática, cumpliendo con las normas aplicables y los acuerdos binacionales vigentes en la materia.

La PTAR SAB, está situada en la localidad de Punta Bandera, en las coordenadas geográficas 32°28'26" de latitud Norte, 117° 4' 54" de longitud Oeste, es posible llegar a ella a través de la Carretera Escénica Tijuana – Ensenada. Inició operaciones en el año de 1987, diseñada para tratar un gasto de 750 l/s, con un sistema de tratamiento de tipo Lagunas Aireadas; en el año 2003 fue rehabilitada para incrementar su capacidad a 1,100 l/s y cambiado el sistema de aireación de difusores de burbuja gruesa por aireadores superficiales.

Recibe agua del emisor proveniente de la PB 1 – B y descarga a través de un canal a cielo abierto que desemboca directamente en la costa del Océano Pacífico. El sistema de tratamiento de la PTAR SAB requiere de una gran superficie, por lo cual la superficie actual de la planta es de 127 hectáreas, además se encuentra un centro de capacitación de la CESPT y un vivero.



Figura 1. Localización y acceso a la PTAR San Antonio de los Buenos.





2. PROBLEMÁTICA

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Antonio de los Buenos está ubicada en la localidad de Punta Bandera, en las coordenadas geográficas 32°28'26" de latitud Norte, 117° 4' 54" de longitud Oeste, es posible llegar a ella a través de la Carretera Escénica Tijuana – Ensenada. Inició operaciones en el año de 1987, diseñada para tratar un gasto de 750 l/s, con un sistema de tratamiento de tipo Lagunas Aireadas, en el año 2003 fue rehabilitada para incrementar su capacidad a 1,100 l/s con un sistema de aireación con aireadores superficiales.

La PTAR recibe agua del emisor que sale de la PB1 y descarga a través de un canal a cielo abierto que desemboca directamente en la costa del Océano Pacífico. El sistema de tratamiento consiste primero en un pretratamiento por cribas mecánicas y desarenación aireada (tipo Vórtex), enseguida el agua llega a la estación de bombeo que manda el agua a una caja distribuidora que la lleva a la primera laguna aireada, de ahí pasa a la segunda laguna aireada y finalmente a la tercera laguna de pulimento, para finalmente ser desinfectada con cloro (gas cloro) y se manda al océano pacífico.

La problemática de la PTAR se resume en los siguientes puntos:

- El pretratamiento no opera, equipos como cribas mecánicas y vórtex no se encuentran en funcionamiento, lo que ha provocado un constante deterioro en los mismos.
- Por falta de mantenimiento preventivo, al sistema de aireación en las lagunas no opera en su totalidad, en la primera laguna de 39 aireadores solo operan 3 y en la segunda laguna de 11 aireadores solo opera 1.
- Las lagunas no han sido desazolvadas, por lo que llevan acumulado una gran cantidad de azolve de varios años de operación.
- Lo anterior ha mermado la capacidad de tratamiento de la planta, por lo cual el efluente no cumple con la calidad requerida por la normatividad mexicana.
- La calidad del efluente al no cumplir con la normatividad mexicana y ser descargado al Océano Pacífico, provoca un efecto visual negativo, esto ha tenido como consecuencia una serie de polémicas sociales y políticas, en donde diversas organizaciones tanto mexicanas como estadounidenses se han pronunciado en contra del daño ambiental de verter agua de mala calidad al mar.
- Existe infraestructura para el tratamiento de lodos, sin embargo, desde su instalación, esta no ha sido operada, lo cual de igual manera ha provocado que se deteriore.
- El sistema de tratamiento lagunar,

La anterior problemática es la que, hasta este estudio, afecta a la PTAR San Antonio de los Buenos, sin embargo, es importante tener en cuenta que, si la planta sigue en estas condiciones, el sistema de tratamiento lagunar, no tendría la capacidad de ampliación y amortiguación, tanto desde el punto de vista cuantitativo (gasto), como cualitativo (concentración de contaminantes).

2.1. Pretratamiento y Cribas mecánicas

Previo a la PTAR en la parte alta del sifón no. 5, se encuentra un pretratamiento mecanizado compuesto por una criba mecanizada autolimpiable y sistema de desarenado tipo Vórtex de 6 m de diámetro, con su clasificador de arenas. El Vortex es de la marca John Meunier de acero inoxidable. Este pretratamiento tiene la finalidad de eliminar basura y arenas al agua residual que proviene de



la PB 1 – B y es conducida por el Colector Internacional. En la siguiente figura se muestra las instalaciones del pretratamiento previo a la PTAR SAB.

Figura 2. Pretratamiento mecanizado previo a la PTAR San Antonio de los Buenos.



Fuente: Recorridos de reconocimiento.

Se observa en las imágenes anteriores que la infraestructura civil se encuentra en condiciones aceptables, sin embargo es evidente que los equipos no han estado operado por un tiempo considerable, lo que ha provocado un deterioro considerable, esto aunado a la falta de mantenimiento, ha hecho que las instalaciones en general se encuentran en condiciones de abandono, esto en gran parte debido a la ubicación de esta infraestructura, pues no es de fácil acceso a vehículos ligeros y por tanto mayor complejidad de acceso a vehículos de carga y acarreo. El agua llega a las instalaciones de la PTAR a través de dos sifones.

2.2. Canales desarenadores y estación de bombeo

Una vez que pasa el agua por los respectivos sifones, llega a las instalaciones de la planta, primero el agua residual es recolectada en otra área de pretratamiento previa al cárcamo de bombeo, donde pasa por un cribado grueso manual y dos canales desarenadores horizontales. Existen una estructura de control de compuerta deslizante donde enseguida se encuentra un vertedor que sirve de bypass hacia la línea paralela del SAS, en caso de que existan fallas eléctricas o la planta no sea capaz de recibir todo el caudal a tratar, enseguida el canal se bifurca a dos canales donde hay un par de cribas manuales para dar paso a dos canales desarenadores horizontales y finalmente llegar al cárcamo de bombeo. En la siguiente figura se muestra la infraestructura descrita.



Figura 3. Estructura de entrada al cárcamo de bombeo de la PTAR SAB.



Fuente: Recorridos de reconocimiento.

Se observa en las imágenes anteriores que la infraestructura civil se encuentra en condiciones aceptables. La criba manual está fabricada en acero al carbón al ambiente altamente corrosivo de las aguas residuales, aunque muestra severos signos de corrosión, este equipo tiene que ser reemplazado por un equipo nuevo y de preferencia mecanizado. Las compuertas de control de flujo presentan buenas condiciones de conservación y muestran condiciones apropiadas para seguir operando siempre y cuando el proyecto de rehabilitación así lo permita.

La estación de bombeo sube el agua residual a una caja colectora para después llevarla a la Laguna 1. En su estructura civil cuenta con un cárcamo húmedo de 440 m³ de volumen y un cárcamo seco donde se encuentran alojados los seis equipos de bombeo. Los seis equipos de bombeo centrífugos horizontales de 250 Hp, que originalmente tenían una capacidad de bombeo de 8000 gpm (504.66 l/s), motor de 750 rpm, para vencer una carga de 30 mca, se encuentran operando 4 equipos. La tubería de succión es de 24" y el múltiple de 48", de acero.



Figura 4. Equipos de bombeo del cárcamo de la PTAR SAB.



Fuente: Recorridos de reconocimiento.

De las imágenes anteriores se tiene que la estación de bombeo se encuentra en buenas condiciones, operando adecuadamente, es importante mencionar que se llevó a cabo una rehabilitación en el año 2003. La capacidad del cárcamo húmedo es de $2.9 \text{ m}^3/\text{s}$ considerando un tiempo entre arranque de 10 minutos y la capacidad de bombeo original de las bombas de 504 l/s cada una para vencer una columna de agua de 30 metros. Si se toma en consideración el tiempo que han estado en operación las bombas y las reparaciones y servicios que ha tenido se puede esperar que la eficiencia de las mismas sea menor a las de origen.

En la siguiente tabla se muestran las características de los equipos de bombeo.



Tabla 1. Características de los equipos de bombeo de PB Playas.

Equipo	Tipo de Bomba	Potencia (hp)	Gasto (l/s)	Status	Horas de bombeo	Lugar de descarga
1	Horizontal	250	450	Stand By	---	Laguna 1
2	Horizontal	250	450	Stand By	---	Laguna 1
3	Horizontal	250	450	Operando	24	Laguna 1
4	Horizontal	250	450	Operando	24	Laguna 1
5	Horizontal	250	450	Operando	24	Laguna 1
6	Horizontal	250	450	Operando	24	Laguna 1

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de recorridos e información proporcionada por la CESPT.

Actualmente la planta cuenta con una subestación reductora principal alimentada en 69 Kv con una capacidad total de 6000 KVa repartida en dos transformadores de 3000 Kva, y una relación de transformación de 69.0 – 13.2 kV, para dar energía a la planta actual con un solo transformador y tener otro de respaldo. El voltaje de salida es en 13.2 kV y se hace mediante dos líneas aéreas que van a alimentar a dos subestaciones en forma independiente. La primera de ellas es la subestación de dos transformadores de 1500 Kva cada uno, con una transformación de voltaje de 13200 – 440 V. La segunda subestación cuenta con dos transformadores de 2000 Kva y otra con dos transformadores de 750 Kva cada uno, con una transformación de voltaje de 12300 – 440 V, los cuales alimentan a los centros de control de motores correspondientes de cada equipo, como son los equipos de bombeo, aireadores y equipos de cloración por mencionar los más importantes.

2.3. Sistemas de Lagunas

Laguna aireada 1. La primera unidad del tratamiento biológico es la laguna de oxidación 1, de forma irregular, tiene una superficie de 4.69 hectáreas y 4.5 m de profundidad, con un volumen de 211,050 m³, que a caudal promedio de diseño de este proyecto representa un tiempo de retención hidráulica de 1.6 días. Cuenta con 39 aireadores superficiales de 40 Hp cada uno, de los cuales solo operan tres. El vertedor de entrada tiene una longitud de 111 m, esta laguna no tiene revestimiento en su mayor parte del talud más que en una longitud de 141 m. El fondo de la laguna se encuentra cubierta con geomembrana.

Esta laguna presenta deficiencias que provoca el paso de sólidos que debieron ser retenidos en la desarenación, generando con ello una condición adicional de azolvamiento. Al ser el primer proceso unitario de tratamiento recibe el agua con una concentración promedio de 290 mg/l de sólidos suspendidos totales, los cuales en condiciones normales de operación debería ser removidos en un porcentaje mínimo del 30 %, este se acumula en el fondo de la laguna.

Con respecto a las condiciones generales de obra civil se puede decir que se encuentra en buenas condiciones al no observarse en los recorridos evidencia de fugas o fallas en los bordos.

Laguna aireada 2. Esta tiene una superficie de 4.68 hectáreas y 4.5 m de profundidad, con un volumen de 210,780 m³, el tiempo de retención hidráulico es de 1.62 días. Cuenta con 11 aireadores superficiales de 40 Hp cada uno, de los cuales solo opera uno. El vertedor de entrada tiene una longitud de 45 m, esta laguna está revestida en todo su talud el cual tiene una longitud de 990 m. El fondo de la laguna se encuentra cubierta con geomembrana.



Respecto a la obra civil, de igual manera que en la laguna 1, se observan condiciones aceptables, sin fugas o fallas en los bordos.

Laguna de sedimentación 3. La tercera laguna tiene una superficie de 2.4 hectáreas y 4.5 m de profundidad, con un volumen de 108,000 m³. Tiene dos vertedores de entrada de 50 m y 27 m de longitud, esta laguna está revestida en todo su talud el cual tiene una longitud de 659 m. De igual manera el fondo de la laguna se encuentra cubierta con geomembrana.

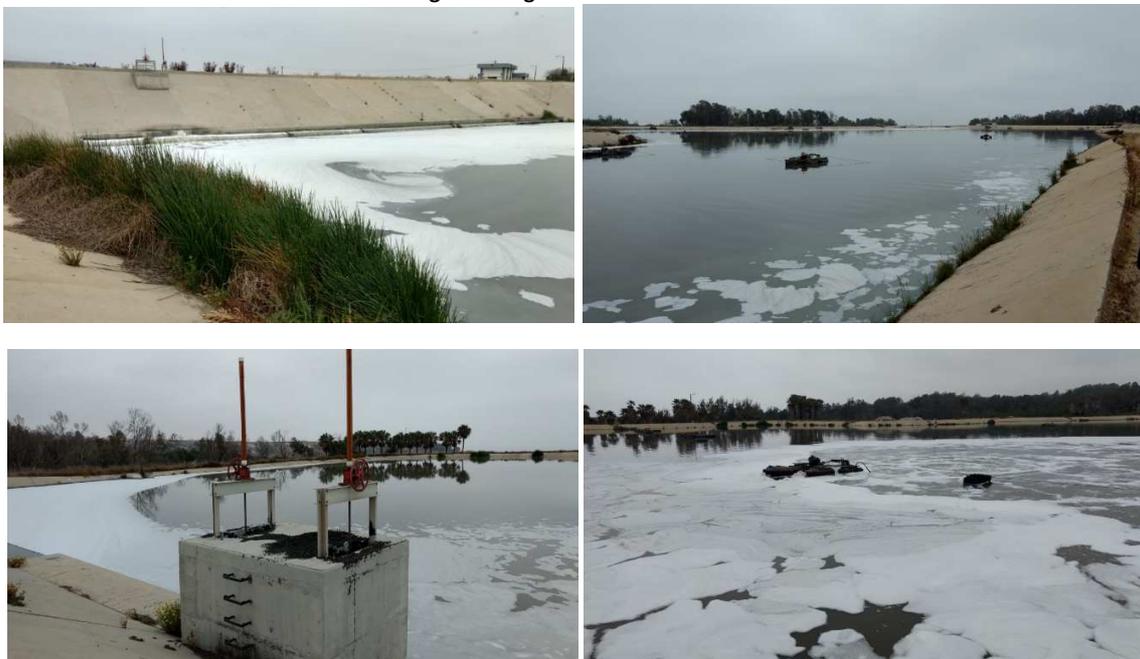
Cada laguna cuenta con infraestructura de control, son compuertas de desfogue de fondo que conducen a tuberías, esta infraestructura sirve de bypass en el momento que alguna laguna tenga que salir de operación. En las siguientes imágenes se muestran las lagunas.

Figura 5. Laguna 1 de la PTAR SAB.



Fuente: Recorridos de reconocimiento.

Figura 6. Laguna 2 de la PTAR SAB.



Fuente: Recorridos de reconocimiento.



Figura 7. Laguna 3 de la PTAR SAB.



Fuente: Recorridos de reconocimiento.

2.4. Desinfección

El siguiente proceso en la línea de agua es el de desinfección, el cual se lleva a cabo mediante gas cloro, está compuesto por dos módulos de cloración, cada módulo cuenta con seis tanques de 907 kg cada tanque, un evaporador serie 50 – 200 de 0 a 300 psi de gas cloro presurizado, un clorador en donde se dosifica el cloro de capacidad de 8000 lb/día y dos detectores de fugas. La cloración se lleva a cabo en la descarga de la PTAR. El equipo trabaja bajo el principio de funcionamiento al vacío, trabaja debido al vacío que se genera en un eyector.

En las siguientes imágenes se muestran los equipos de cloración.

Figura 8. Edificio y equipo de cloración de la PTAR SAB.



Fuente: Recorridos de reconocimiento.

La infraestructura y equipo de cloración se encuentra funcionando adecuadamente y en buenas condiciones. Aunque es evidente el exceso en la dosis de cloración, esto debido al fuerte olor de cloro que tiene el efluente de la planta.



2.5. Desaguado de lodos

Respecto a la línea de lodos, actualmente no se tratan lodos en las instalaciones de la PTAR, de hecho, desde el 2003 cuando se hizo la última rehabilitación, no se han retirado lodos de las lagunas. Precisamente en la rehabilitación de 2003 se construyó un edificio de lodos. En el edificio se encuentra un filtro banda con un ancho de banda de 2 m de ancho, equipos para la dosificación de polímero y tolva para desalojo de los lodos.

Sin embargo, toda esta infraestructura desde su instalación en 2003, no se ha operado, por lo cual se ha deteriorado al grado que hoy se encuentra completamente descompuesta. En las siguientes imágenes se muestran los equipos de deshidratación de lodos.

Figura 9. Infraestructura y equipo de deshidratación de lodos de la PTAR SAB.



Fuente: Recorridos de reconocimiento.

2.6. Emisor de alejamiento

Finalmente, el sistema de alejamiento y la descarga de la PTAR San Antonio de los Buenos descargan en el río San Antonio de los Buenos, las aguas son conducidas a la salida mediante dos tuberías y finalmente dos canales a cielo abierto. En el caso del sistema de alejamiento el canal cuenta con reductores de velocidad para amortiguar su descarga en el río.



Figura 10. Canales de Descarga del Sistema de Alejamiento y PTAR San Antonio de los Buenos.



Fuente: Recorridos de reconocimiento.



3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y DEMÁS DE LAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA

3.1. Ubicación del área de proyecto

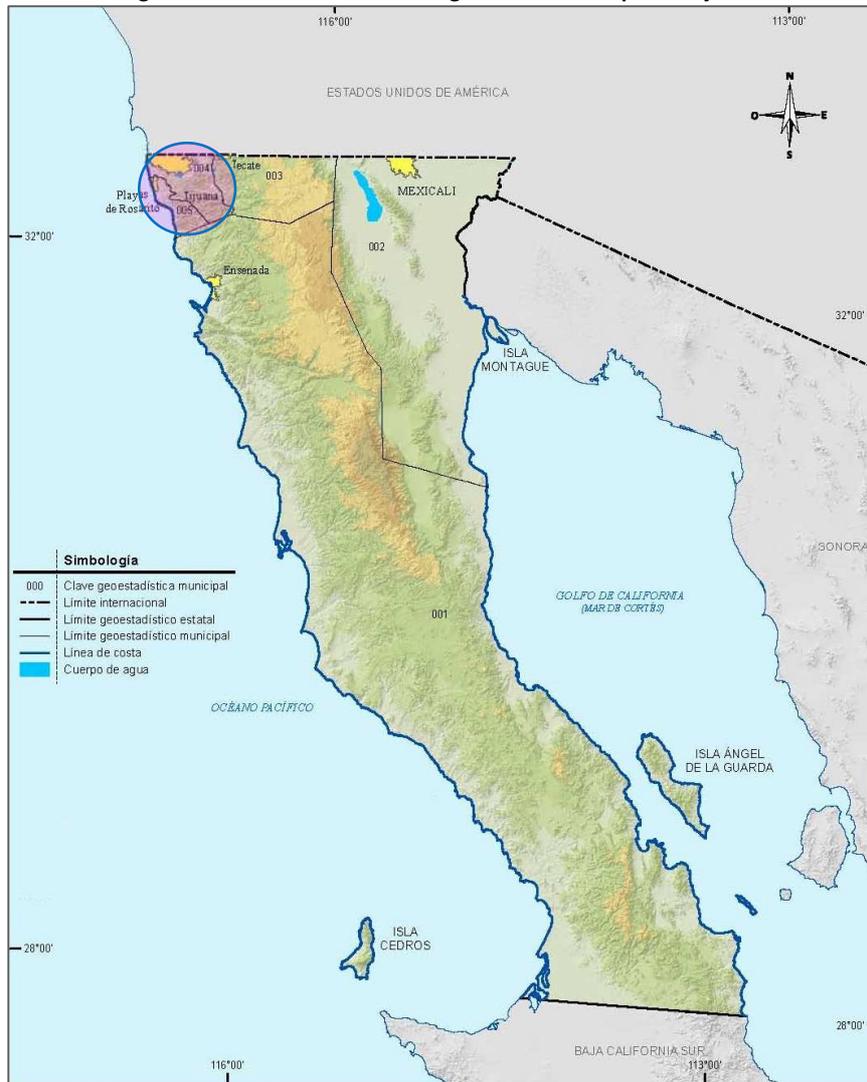
En el presente proyecto se definió como área de estudio el área geográfica de Tijuana, misma donde la CESPT se encarga de la distribución, operación y manejo de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento. En esta área de estudio se pretende reducir la problemática existente, de manera que el análisis de alternativas y el desarrollo de las respectivas ingenierías básicas se lleven a cabo desde una visión conceptual para el área de aportación de la PTAR San Antonio de los Buenos (PTAR SAB).

En este apartado se describen las principales características del área de estudio, el municipio de Tijuana se encuentra ubicado entre los paralelos 32° 11' y 32° 35' de latitud norte; los meridianos 116° 31' latitud norte; los meridianos 116°31' y 117°07' de longitud oeste; altitud entre los 100 y 1,200 msnm. Colinda al norte con los Estados Unidos de Norteamérica; al este con el municipio de Tecate; al sur con el municipio de Ensenada; y al oeste con el municipio de Playas de Rosarito y el Océano Pacífico. Ocupa el 1.71 % de la superficie del estado. Cuenta con 696 localidades y una población de 1,641,570 habitantes, según el resultado de la Encuesta Intercensal 2015 del INEGI.

En la Figura 11 se muestra la macro localización geográfica del Municipio de Tijuana. Mientras que en la Figura 12 se observa el Municipio de Tijuana que representa el área de estudio, con sus colindancias y principales localidades, este último mapa se encuentra anexo al presente informe.



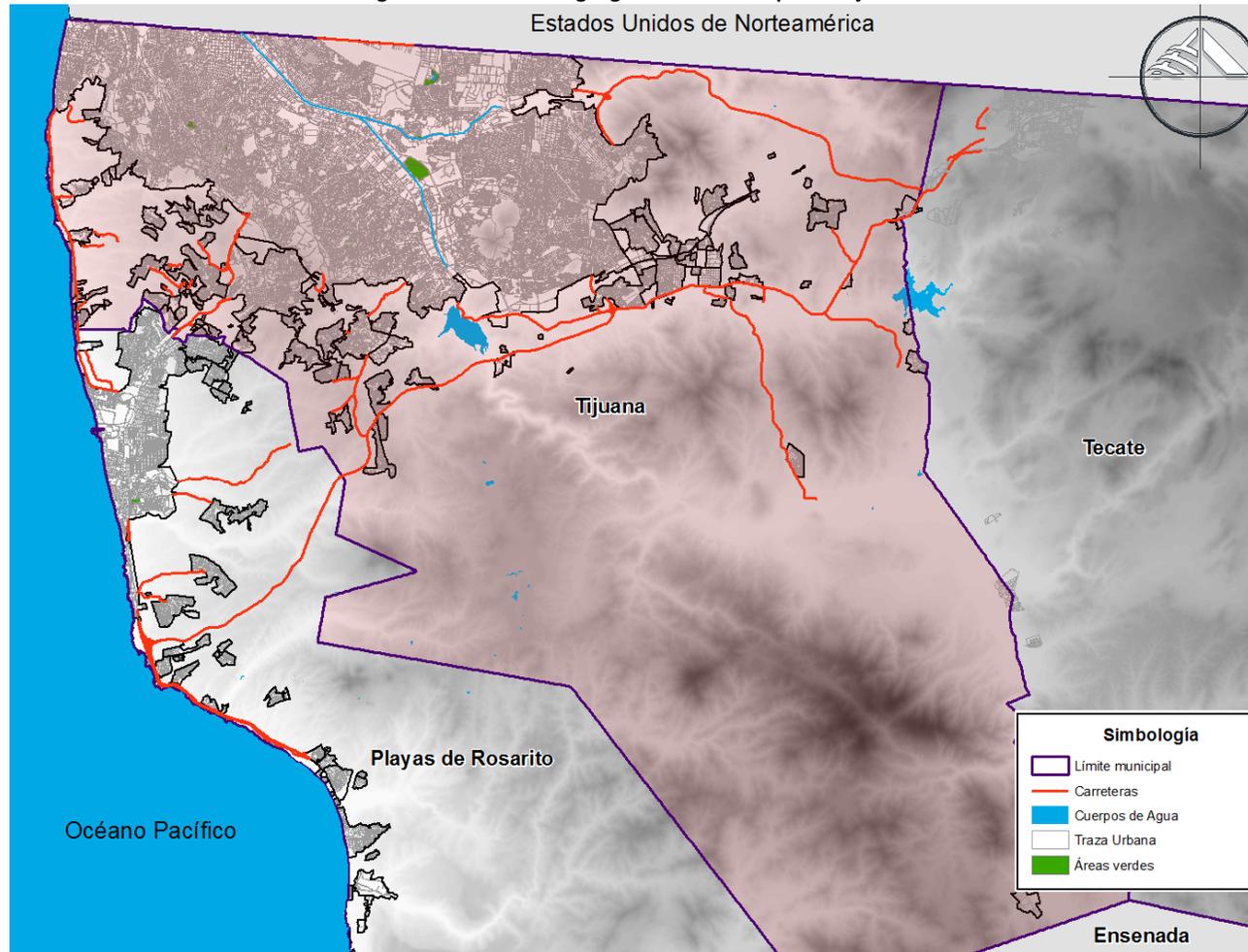
Figura 11. Macro localización Geográfica del municipio de Tijuana.



Fuente: Anuario estadístico y geográfico de Baja California 2016. INEGI.



Figura 12. Localización geográfica del municipio de Tijuana.
Estados Unidos de Norteamérica



Fuente: Elaboración propia con metadatos del INEGI, 2018.



Tal como se mencionó líneas arriba, la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT), se encarga de la operación y gestión de los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento del municipio, alcanzando una cobertura total de agua potable del 99.63 % y de alcantarillado del 90.6 %. Los principales indicadores de gestión del sistema operador se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2. Indicadores de Gestión y coberturas de servicio de agua potable y alcantarillado del área de estudio a junio 2018.

Indicador	Tijuana
Población (2018)	1,781,654
Índice de hacinamiento (personas por vivienda)	3.1
Número de cuentas domésticas de agua potable	572,565
Población beneficiada con el servicio de agua potable	1,775,032
Cobertura del servicio de agua potable	99.63 %
Número de descargas domésticas de alcantarillado sanitario	520,721
Población beneficiada con el servicio de alcantarillado sanitario	1,614,308
Cobertura del servicio de alcantarillado sanitario	90.6 %

Fuente: CESPT, 2018.

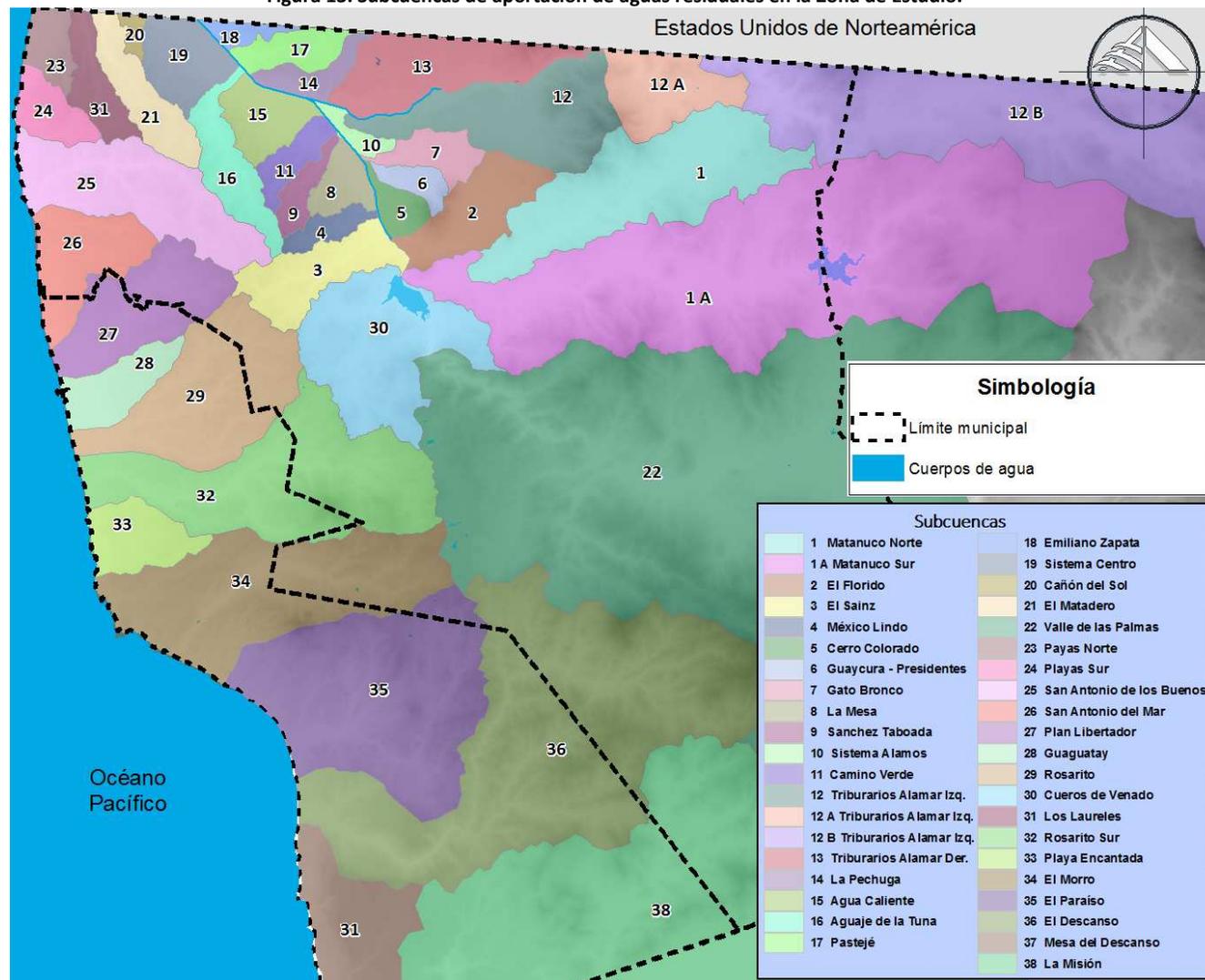
La mayor parte del área de estudio y donde se genera gran parte volumen de agua residual es el área de aportación de San Antonio de los Buenos y la PITAR (Planta Internacional de Tratamiento Aguas Residuales), esta área está constituida por 22 subcuencas de aportación que en su mayoría drenan hacia el Río Tijuana, el cual fluye hacia los Estados Unidos, situación que exige custodiar permanentemente el funcionamiento del sistema dado los acuerdos bilaterales entre ambos países.

El área de aportación SAB y PITAR representa la mayor parte de la superficie de servicio del sistema de alcantarillado, la topografía marca tendencia natural de escurrir hacia el río Tijuana y posteriormente a los Estados Unidos. Se tienen obras que permiten la intercepción de los flujos de aguas residuales, para su posterior conducción a la planta de tratamiento de San Antonio de Los Buenos (Punta Bandera), aunque el agua que fluye a través del Río Tijuana es una combinación de agua residual, agua tratada, agua de manto freático y en tiempos de lluvia agua pluvial. De la misma manera parte del agua residual generada en la cuenca del río Tijuana, hasta 1,100 l/s en promedio, se pueden enviar hacia los Estados Unidos de Norteamérica para su tratamiento en la PITAR ubicada en San Diego, California, descargando el agua tratada al Océano Pacífico por medio de un emisor Submarino de 3.5 millas de longitud.

En la siguiente figura se muestran las subcuencas de aportación, donde es posible observar cuales están dentro del municipio de Tijuana y cuales son compartidas con otros municipios.



Figura 13. Subcuencas de aportación de aguas residuales en la Zona de Estudio.



Fuente: Elaboración propia con metadatos del INEGI y la CESPT, 2018.

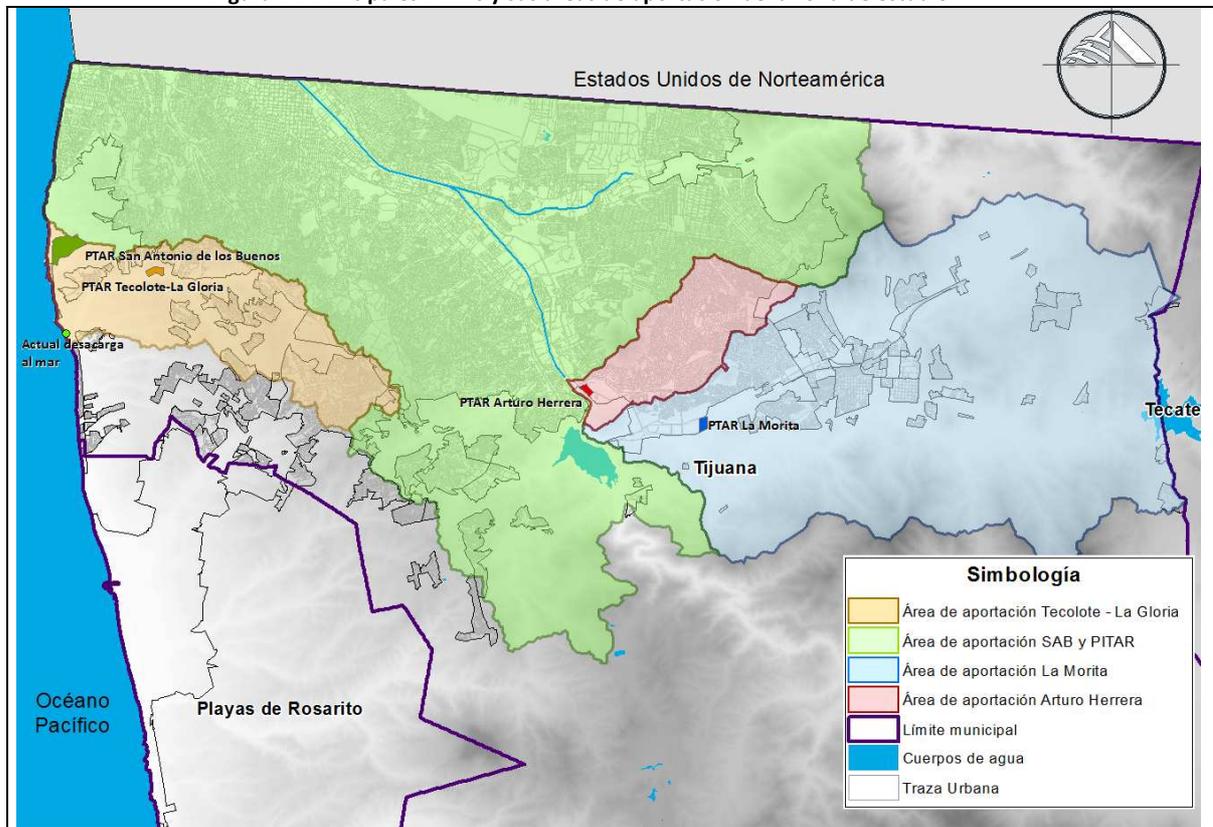


3.2. Cálculo de la proyección de Población y Gasto

Para el cálculo del gasto de diseño de la planta de tratamiento, se tomaron en cuenta lo siguiente:

- El cálculo de la proyección de la población y los gastos se hizo para un horizonte de proyecto de 30 años.
- Se tomaron en cuenta áreas las cuatro áreas de aportación, las cuales en función de la topografía y del arreglo del sistema de saneamiento de Tijuana, son las que aportan agua residual a San Antonio de los Buenos. Es importante tener en cuenta que dichas áreas de aportación no cubren toda la superficie del municipio de Tijuana. En la siguiente figura se muestra la ubicación y la superficie de dichas áreas de aportación.

Figura 14. Principales PTARs y sus áreas de aportación de la zona de estudio.



Área de aportación	Subcuencas	Superficie
		Hectáreas
SAB y PITAR	El Sainz, México Lindo, Cerro Colorado, Guaycura – Presidentes, Gato Bronco, La Mesa, Sánchez Taboada, Sistema Álamos, Camino Verde, Tributario Alamar Izq., Tributario Alamar Der., La Pechuga, Agua Caliente, Agua de la Tuna, Pastejé, Emiliano Zapata, Sistema Centro, Cañón del Sol, El Matadero, Valle de las Palmas, Playas Norte, Playas Sur.	29,516.5 (51.4%)
Tecolote – La Gloria	San Antonio de los Buenos	4,234.18 (7.4%)



Arturo Herrera	El Florido	2,173.61 (3.6%)
La Morita	Matanuco Norte y Matanuco Sur	21,636.61 (37.7%)
Total		57,455.30

Fuente: Elaboración propia con metadatos del INEGI y la CESPT, 2018.

- De las anteriores áreas de aportación se obtuvo la población histórica en INEGI con base en los AGEBS y Poblaciones rurales y se tomaron las proyecciones de población de CONAPO a 30 años.
- La CESPT proporcionó información acerca de volúmenes de extracción de las fuentes de abastecimiento, la cantidad de tomas de agua (domiciliarias, comerciales, industriales y de gobierno) y el volumen de agua facturado.
- Con lo anterior se calculó el consumo de agua potable por tipo de usuario y por área de aportación.
- Se calculó la eficiencia física con el volumen de agua producido y el facturado, las pérdidas físicas y la demanda de agua potable y dotación por tipo de usuario y por área de aportación.
- De igual manera la CESPT proporcionó información de su agua residual captada, con lo cual se calculó la aportación de agua residual.
- Con la aportación de agua residual se calcularon los gastos de agua residual, medio, mínimo, máximo instantáneo y máximo extraordinario, esto pasa cada área de aportación, a un horizonte de 30 años.

Tabla 3. Gastos de diseño por área de aportación

Gasto					
	SAB y PITAR	Tecolote - La Gloria	La Morita	Arturo Herrera	Total
QMED	2160.1	123.1	428.5	311.8	3023.5
QMIN	1080.1	61.5	214.2	155.9	1511.7
QMinst	4320.2	259.8	856.9	623.7	6060.7
QMext	4229.1	228.3	736.4	616.3	5810.1

Fuente: Elaboración propia

- La distribución del agua residual en Tijuana tiene un arreglo particular, el cual influyó en el cálculo del gasto de diseño de la PTAR SAB en el presente proyecto, a grandes rasgos se consideró lo siguiente (ver Figura 15):
 - Gasto de agua tratada de las PTARS Arturo Herrera y la Morita que descargan al río Tijuana.
 - Otras aportaciones al río Tijuana: descargas de agua residual no reguladas de 250 l/s, manto friático 186 l/s, arroyo alamar 140 l/s.
 - Agua residual que llega a la PB1 por el colector Castillo y el Internacional.
 - Agua Residual que trata la PTAR Internacional, 1,100 l/s.
 - Agua Residual de las Plantas de bombeo Laureles y Mirador de 71 l/s, Matadero 199 l/s, Playas 93 l/s.



- Con base en las consideraciones de la distribución del agua residual de Tijuana y los gastos por área de aportación de la Tabla 3, se calculó el gasto de diseño, el cual resultó de **1,200 l/s**.

Los cálculos de los aquí descrito se encuentran en las hojas de cálculo anexos del capítulo 4 del informe final del proyecto.

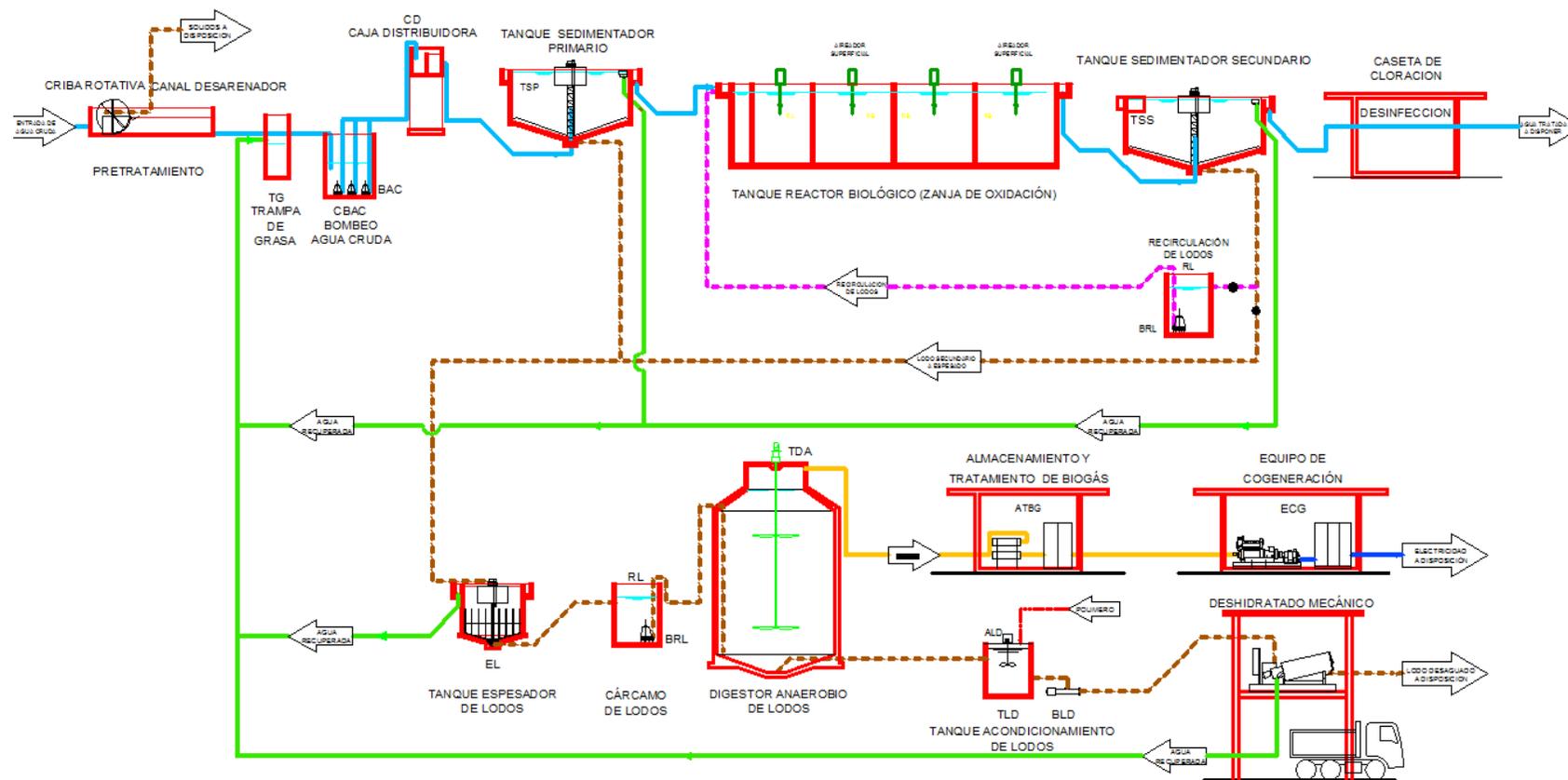
3.3. Definición de los Servicios

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio de los Buenos, municipio de Tijuana, Baja California se compone básicamente de lo siguiente:

- 1) Tren de Agua
 - a. Pretratamiento
 - b. Tanque Sedimentador Primario
 - c. Tanque Reactor Biológico (Zanja de Oxidación)
 - d. Tanque Sedimentador Secundario
 - e. Desinfección con Hipoclorito de sodio
- 2) Tren de Lodos
 - a. Espesado de Lodos
 - b. Digestor anaerobio de Lodos
 - c. Deshidratado Mecánico
 - d. Disposición Final



Figura 16. Tren de Tratamiento de la PTAR SAB.

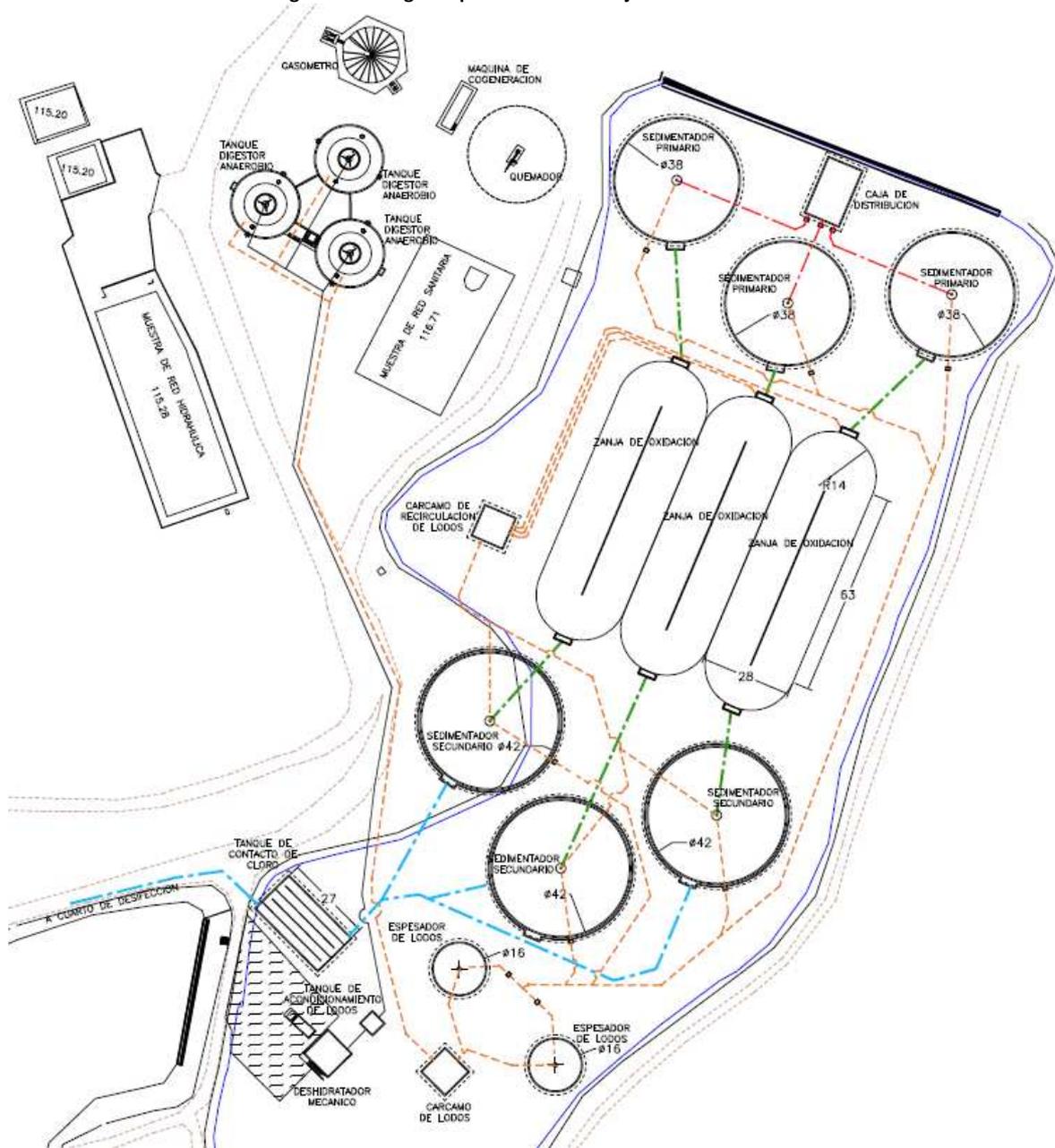


Fuente: Elaboración propia.



El arreglo arquitectónico se muestra en la siguiente figura.

Figura 17. Arreglo arquitectónico de conjunto de la PTAR.



Fuente: Elaboración propia.



El agua residual que se tiene que tratar en la planta es un agua típica municipal en donde predomina la contaminación por materia orgánica (DBO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), grasas y aceites, nutrientes como Nitrógeno y Fósforo y contaminación biológica como Coliformes Fecales y Huevos de Helminto. En la siguiente tabla se muestran los parámetros cuantitativos y cualitativos para el diseño de la PTAR.

Tabla 4. Parámetros de calidad del agua para diseño de la PTAR SAB.

Parámetro	Valor	
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	500.00	mg/l
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)	400.00	mg/l
Sólidos Sedimentables (SS)	10.00	ml/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	475.00	mg/l
DBO Soluble (DBOs)	206.96	mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1,000.00	mg/l
DQO Soluble (DQOs)	542.48	mg/l
Nitrógeno Total (NT)	113.00	mg/l
Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)	109.73	mg/l
Fósforo Total (FT)	20.00	mg/l
Alcalinidad	375.00	mg/l
Grasas y Aceites	110.00	mg/l
Coliformes Fecales	1.00E+06	NMP/100 ml

Fuente: Elaboración propia.

Los caudales que maneja la PTAR SAB son los siguientes:

Tabla 5. Gastos de diseño de la PTAR SAB.

Parámetro	Valor	
Gasto medio	1,200.00	l/s
Gasto mínimo	600.00	l/s
Gasto máximo	2,400.00	l/s
Módulos de tratamiento	3	
Gasto medio por módulo	400.00	l/s

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Tren Tratamiento de Agua

3.4.1. Pretratamiento

El pretratamiento consiste en una serie de operaciones físicas y mecánicas que tiene por objeto separar del agua residual la mayor cantidad de sólidos que, por su naturaleza o tamaño pueden crear problemas en tratamientos posteriores. El pretratamiento consiste primero en una criba rotativa, su objetivo es la separación de material suspendido de gran tamaño (basura), desde troncos, botellas, trapos, etc., hasta semillas, colillas de cigarro y hojas de plantas. La separación del material se realiza al hacer pasar la corriente de agua a través de una estructura tipo coladera (criba). El tamaño de los huecos (claro libre) determina el material que es retenido. Enseguida se tiene el canal desarenador.



El pretratamiento de la PTAR SAB consiste en una criba rotativa para separación de basura y sólidos de gran tamaño y dos canales desarenadores horizontales. Este proceso se encuentra previo al cárcamo de bombeo.

3.4.2. Remoción de grasas y aceites

Con base en la caracterización del agua residual de Tijuana, esta tiene una concentración de 110 mg/l de Grasas y Aceites, esta concentración resulta elevada en comparación con la de un agua residual típica municipal, esta se debe principalmente a la grasa producida por restaurantes sumada a la que se produce en los hogares.

Dicho proceso permitirá tener la cantidad de grasas y aceites dentro de los límites que marcan las normativas correspondientes, además permitirá que los procesos subsecuentes del sistema trabajen de una mejor manera.

3.4.3. Cárcamo de Bombeo

Después del proceso de pretratamiento y remoción de grasas y aceites se encuentra el cárcamo de bombeo, al cual mandará agua hacia el proceso principal de tratamiento, compuesto por zanjas de oxidación.

El diseño del cárcamo se consideró con base en el levantamiento de niveles y cotas de las estructuras de la planta. Las bombas para el suministro de agua son de tipo sumergible para lodos y agua residuales, ya que, el desnivel es bajo, su diseño y selección se detalla después.

El cárcamo de bombeo ampliado y rehabilitado consiste en la sustitución de los equipos de bombeo, incluye 3 equipos para un gasto de 200 l/s con una carga dinámica total de 33.25 m y un motor con potencia de 150 Hp; y 3 equipos para 400 l/s con una carga dinámica total de 36.17 m y un motor con potencia de 300 Hp.

3.4.4. Sedimentador Primario

Se pretende eliminar sólidos sedimentables en clarificadores primarios de planta circular. Como una parte significativa de los sólidos es materia orgánica, existiría remoción (con diferente grado de alcance) de demanda bioquímica de oxígeno y nutrientes (Nitrógeno y Fósforo).

Esta operación unitaria se utiliza para remover partículas en suspensión más pesadas que el agua. En esta unidad se efectúa la sedimentación de tipo floculante, la cual se caracteriza porque durante su descenso las partículas se adhieren entre sí, modificando su tamaño, forma y densidad, la eficiencia del proceso es función de la carga hidráulica superficial (CHS) y del tiempo de retención (THR) que, para una cierta CHS, es función lineal de la profundidad del tanque. En la sedimentación primaria se remueven los sólidos sedimentables presentes en las aguas residuales, disminuyendo así la carga de contaminantes en procesos posteriores. Esta unidad se localiza aguas arriba del proceso de tratamiento secundario.

Las características del sedimentador primario se tienen en la siguiente tabla.

Tabla 6. Características del Sedimentador Primario

Característica	Valor	Unidad
Módulos de tratamiento	3	
Área Superficial a gasto medio	1,072.1	m ²
Área Superficial a gasto máximo	1,116.6	m ²
Área Superficial seleccionada	1,072.1	m ²



Característica	Valor	Unidad
Profundidad útil	3.0	m
Diámetro	38.0	m
Altura de la parte cónica	1.6	m
Altura central espejo de agua	4.6	m
Bordo libre	0.6	m
Altura total del tanque	5.2	m
Volumen total	3,553.6	m ³
Tiempo de Retención Hidráulica a gasto medio	2.34	horas
Tiempo de Retención Hidráulica a gasto máximo	1.23	horas

Fuente: Elaboración propia.

3.4.5. Zanjas de Oxidación

Las Zanjas de Oxidación es una variante de lodos activados, comúnmente operado con un proceso de aireación extendida, sin embargo, en este caso se considera con aireación tipo convencional, con la finalidad de optimizar costos de inversión, operación y mantenimiento, teniendo en cuenta en su diseño la remoción de materia orgánica y la nitrificación. Consiste de un canal en forma de circuito cerrado. Los aireadores crean una mezcla y provoca la circulación del agua en la zanja, así como una transferencia de oxígeno. La mezcla en el canal es uniforme, pero pueden existir zonas de baja concentración de oxígeno disuelto, en este proceso puede ocurrir un alto grado de nitrificación, sin ninguna modificación del sistema en especial debido a los largos tiempos de retención de sólidos. El efluente de las zanjas de oxidación alimenta a los sedimentadores secundarios.

Cada módulo cuenta con una zona anóxica previa a la zanja, en la cual se pretende que se lleve a cabo la remoción de fósforo.

Las características de los reactores biológicos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7. Características de los reactores biológicos de Zanjas de Oxidación.

Parámetro de Diseño	Valor	Unidad
Caudal total de diseño	1,200.0	l/s
	103,680.0	m ³ /día
Módulos de tratamiento	3.0	
Caudal de diseño por módulo	400.0	l/s
	34,560.0	m ³ /día
Tiempo de Retención de Sólidos, STR	3.8	días
Volumen de la zona anóxica		
Volumen de cada tanque de aireación	11,898.8	m ³
Altura del tanque	5.0	m
Ancho del tanque	28.0	m
Largo del tanque	63.0	m



Parámetro de Diseño	Valor	Unidad
Tiempo de Retención de Hidráulica, τ	8.3	horas
Sólidos Suspendidos Totales en Licor Mezclado, MLSS	4,000.0	mg/l
Sólidos Suspendidos Volátiles en Licor Mezclado, MLVSS	3,200.0	mg/l
Relación Alimento - Microorganismo, F/M	0.4	kg/kg día
Carga de DBO	1.0	kg/m ³ d
RAS	1.0	-
DBO en el efluente	20.0	mg/l
SST en el efluente	20.0	mg/l
SSV en el efluente	16.0	mg/l
NH ₄ -N en el efluente	10.0	mg/l
Tasa de Transferencia de Oxígeno	2,622.8	kg/h
Tasa de Flujo de Oxígeno	462.6	m ³ /min
Potencia de los aireadores	100	Hp
Número de aireadores por módulo	8.0	
Potencia total a instalar	2,400.0	HP

Fuente: Elaboración propia.

3.4.6. Sedimentador Secundario

Los sedimentadores secundarios de la PTAR San Antonio de los Buenos se diseñan de planta tipo circular. Esta configuración permitirá una operación más eficiente y una mayor concentración y separación de lodos. La extracción de los lodos se efectúa mediante sistema de rastras.

Tabla 8. Características del Sedimentador Secundario.

Característica	Valor	Unidad
Módulos de tratamiento	3	
Área Superficial a gasto medio	1,382.4	m ²
Área Superficial a gasto máximo	1,382.4	m ²
Área Superficial seleccionada	1,382.4	m ²
Profundidad útil	3.5	m
Diámetro	42.0	m
Altura de la parte cónica	1.3	m
Altura central espejo de agua	4.9	m
Bordo libre	0.6	m
Altura total del tanque	5.5	m
Volumen total	4,941.4	m ³

Fuente: Elaboración propia.



3.4.7. Tanque de Contacto de Cloro

Para el proceso de desinfección se cuenta con un tanque de contacto de cloro, adyacente a él hay una caseta donde se tiene una bomba dosificadora de cloro y un depósito para el mismo. El agua proveniente de los tratamientos anteriores va pasando y se mezcla con el cloro mientras este realiza su proceso de desinfección.

La desinfección se realiza con Hipoclorito de Sodio (NaOCl) por medio de una bomba dosificadora de cloro, este equipo tiene la función de succionar y dosificar el cloro en el tanque de contacto de cloro. Estas bombas son del tipo diafragma, están equipadas con una cámara que tiene dos válvulas unidireccionales; una en la entrada y otra a la salida, mientras se cierra el diafragma, el cual es impulsado por un motor eléctrico. El diafragma flexible está hecho de un material resistente a los efectos corrosivos de la solución de NaClO. La tarea de la bomba es elevar la solución por medio de una serie de golpes, el punto de aplicación será el tanque de contacto de cloro (presión atmosférica).

El tanque de contacto de cloro tiene las siguientes características.

Tabla 9. Diseño del tanque de contacto de cloro.

Característica	Valor	Unidad
Consideraciones de diseño		
TRH a gasto medio	15	minutos
TRH a gasto máximo	15	minutos
Profundidad útil	3.0	m
Relación largo : ancho	2	
Diseño del taque de contacto de cloro		
Ancho	13.5	m
Largo	24.0	m
Altura total	3.5	m
Área superficial	364.5	m ²
Volumen total	1,093.5	m ³
TRH real	15.2	minutos
Configuración		
Número de canales	5	
Ancho del canal	2.7	m
Espesor del muro	0.15	
Número de muros	4	
Ancho total del tanque	14.1	m

Fuente: Elaboración propia.

La dosis que se aplicará es de 8 mg de cloro por cada litro de agua tratada, por lo cual, si el caudal de diseño es de 1,200 l/s, la cantidad de cloro necesario es de 829.44 Kg de cloro al día.

3.5. Tren Tratamiento de Lodos

Los lodos provenientes del sedimentador primario y del sedimentador secundario son bombeados del cárcamo de recirculación de lodos, al espesador de lodos. El efluente espesado, es enviado a un cárcamo de lodos de donde se bombea para ser enviados a los digestores anaerobios. El digestor anaerobio permitirá llevar a cabo la destrucción de sólidos suspendidos volátiles y su estabilización, una vez estabilizado el lodo se manda a otro cárcamo, para finalmente desaguarlos en un sistema de deshidratado mecánico y disponer de ellos.



La disposición de los lodos es una de las acciones más problemáticas en el tratamiento tanto de aguas potables como de aguas residuales, el tratamiento de agua produce una cantidad variable de lodos dependiendo de la cantidad de las aguas crudas y del tipo de tratamiento, los lodos se producen en forma líquida o semilíquida, según el tipo de proceso que les hayan generado, un rango típico de valores del porcentaje de materia seca es del 0.25 al 4 % de sólidos en peso.

La digestión anaerobia de lodos es utilizada ampliamente para estabilizar la materia orgánica contenida en el lodo. El cálculo del volumen del digestor se desarrolla para los criterios de carga máxima de sólidos, por edad de los lodos y por tiempo hidráulico de retención, seleccionando el volumen mayor entre los calculados. Los sólidos efluentes de la digestión son en su mayoría agua, a efecto de disminuir el volumen y costos para el transporte, y para la disposición de los lodos, se requiere aumentar su concentración mediante la separación del agua combinada con los sólidos.

Una vez que el lodo ha sido digerido es enviado al equipo de desaguado de lodos. El lodo desaguado presentará una concentración de sólidos secos del 22% y se puede disponer como mejorador de suelo agrícola.

El agua retirada de la fase sólida en el proceso de centrifugado es enviada a un tanque de recuperación la cual posteriormente es dosificada a la caja de distribución de agua pretratada, los lodos con 22 % de sólidos se pueden manejar.

3.5.1. Producción de Lodos

Para la producción de lodos en el sedimentador primario se tiene el siguiente cálculo:

$$LP = \frac{Q * SST * E}{1000}$$

Donde:	
Masa de Lodos Primarios, LP =	20,736.0 kg/día
Sólidos Volátiles =	13,478.4 kg SSV/día
Sólidos Fijos =	7,257.6 kg/día
Concentración de sólidos en el lodo primario =	4%
Gravedad específica del lodo primario =	1.02
Gravedad específica de los sólidos =	1.4
Volumen de lodos primarios =	508.2 m ³ /día
Agua en el lodo primario =	487.9 m ³ /día

Respecto a la producción de lodos en el sedimentador secundario se tiene:

Sólidos Suspendidos Totales en la Purga, LS =	39,432.5 kg/día
Sólidos Suspendidos Volátiles en el LS =	31,546.0 kg/día
Concentración de sólidos en el lodo secundario =	0.8%
Gravedad específica del lodo secundario =	1.005
Gravedad específica de los sólidos =	1.25
Volumen de lodos secundarios =	4,904.5 m ³ /día
Agua en el lodo secundario =	4,865.3 m ³ /día

Por último, el lodo primario y secundario una vez mezclados tendrán las siguientes características:



Sólidos Suspendidos Totales en la Purga, LS =	18,662.4 kg/día
Sólidos Suspendidos Volátiles en el LS =	14,929.9 kg/día
Concentración de sólidos en el lodo secundario =	1.0%
Gravedad específica del lodo secundario =	1.005
Gravedad específica de los sólidos =	1.25
Volumen de lodos secundarios =	1,857.0 m ³ /día
Agua en el lodo secundario =	1,838.4 m ³ /día

La mezcla de lodos previo a la estabilización pasará por un espesado por gravedad.

3.5.2. Espesador de Lodos

Los lodos producidos poseen más del 97% de agua, por lo que ocupan volúmenes importantes, siendo por su naturaleza putrescibles. Ello hace necesario un tratamiento para modificar sus características y permitir unas condiciones tales que su evacuación y disposición final sean óptimas desde el punto de vista ambiental.

La etapa de espesamiento incluye para reducir el volumen de los fangos mediante concentración o eliminación parcial de agua, la mezcla de lodos primarios y lodos activados con contenido de sólidos del 2.5% pueden espesarse hasta un contenido del 5% de sólidos, consiguiéndose de esta manera una reducción del volumen del fango a una quinta parte del volumen inicial. Los criterios de diseño del espesador por gravedad son las siguientes:

Tabla 10. Criterios y características del espesado de lodos.

Característica	Valor	Unidad
Captura de sólidos	95	%
Gravedad específica del lodo espesado	1.02	
Carga superficial de sólidos	80	Kg/m ² día
Diámetro de cada unidad de espesado	17.0	m
Número de unidades requeridas	2	
Concentración del lodo espesado	5.0	%
Sólidos secos producidos	30,533.8	Kg/día
Volumen total de lodo espesado	598.7	m ³ /día
Volumen total de agua retirado	1,737.3	m ³ /día

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Digestor de Lodos

Una vez espesado el lodo que proviene del sistema de lodos activados se espese, en este proceso se estabilizará anaeróticamente mediante un digestor de alta tasa. De esta manera se estabilizará el lodo eliminando patógenos y cumpliendo con la NOM-004-SEMARNAT-2002 Protección ambiental. - Lodos y biosólidos. - Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Las características del digestor de lodos son las siguientes:

Tabla 11. Resumen de diseño del digestor anaerobio.

Característica	Valor	Unidad
Lodo residual a estabilizar	30,533.8	kg/día
Módulos de tratamiento	3	
Reducción de SSV	50	%



Característica	Valor	Unidad
Dimensiones		
Diámetro	16.0	m
Profundidad de la sección cónica	1.3	m
Altura de la tapa cónica	1.6	m
Altura total	17.8	m
Volumen total del digestor	3,195.1	m ³
Lodo producido		
Masa de SST	17,510.7	kg/día
MASA de SSV	14,008.6	kg/día
Masa de DBO	30,603.4	kg/día
Masa de Nitrógeno	639.5	kg/día
Masa de Fósforo	329.2	kg/día

Fuente: Elaboración propia.

Con base en las anteriores consideraciones en la siguiente tabla se tiene n las características del tanque de mezcla de lodos:

Tabla 12. Características del tanque de almacenamiento de lodo digerido.

Característica	Valor	Unidad
Volumen de lodos a almacenar	343.3	m ³ /día
Volumen total del tanque	7.2	m ³
Área superficial del tanque	2.4	m ²
Profundidad del tanque	3.0	m
Largo	1.6	m
Ancho	1.6	m
Número de agitadores	1	
Potencia por agitador	1.0	Hp
Potencia total	1.0	Hp

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4. Deshidratado Mecánico

El desaguado se contempla hacer en sistemas centrífugos. La centrifugadora consiste principalmente en un tambor cilíndrico-cónico que gira sobre un eje horizontal a gran velocidad. El fango a deshidratar se introduce en la cuba a través de la conexión de entrada por medio de la alimentación. En el interior del tambor, debido a la fuerza centrífuga producida por el giro de éste, la parte más pesada de la mezcla se deposita en el interior, donde es arrastrada a la salida de los sólidos por un tornillo helicoidal que gira a distinta velocidad que el tambor. Las consideraciones y características de diseño se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 13. Características y consideraciones de diseño del deshidratado mecánico.

Característica	Valor	Unidad
Número de unidades a operar	2	
Ancho de banda por unidad	2.0	m
Tiempo de operación	16.0	Horas
Carga por metro de ancho de banda	225.0	Kg/h
Dosificación de polímero	5.0	Kg/ton de lodo seco
Polímero requerido	86.1	Kg/día
Consumo anual de polímero	31.428.4	Kg/año



Característica	Valor	Unidad
Total de sólidos en la torta	18.0	%
Agua para lavado por unidad	2.1	m ³ /día
Sólidos secos producidos	17,221.0	Kg/día
Volumen total de la torta	95.1	m ³ /día
Volumen de agua retirado	495.0	m ³ /día

Fuente: Elaboración propia.

3.5.5. Disposición Final

Los lodos son residuos secundarios del tratamiento de aguas residuales que concentran gran parte de aquellos contaminantes que fueron removidos del agua como metales pesados, contaminación bacteriana, microorganismos patógenos, parásitos que puedan llegar a afectar la flora y fauna del lugar de descarga, por lo cual es importante su estabilización y disposición final adecuada.

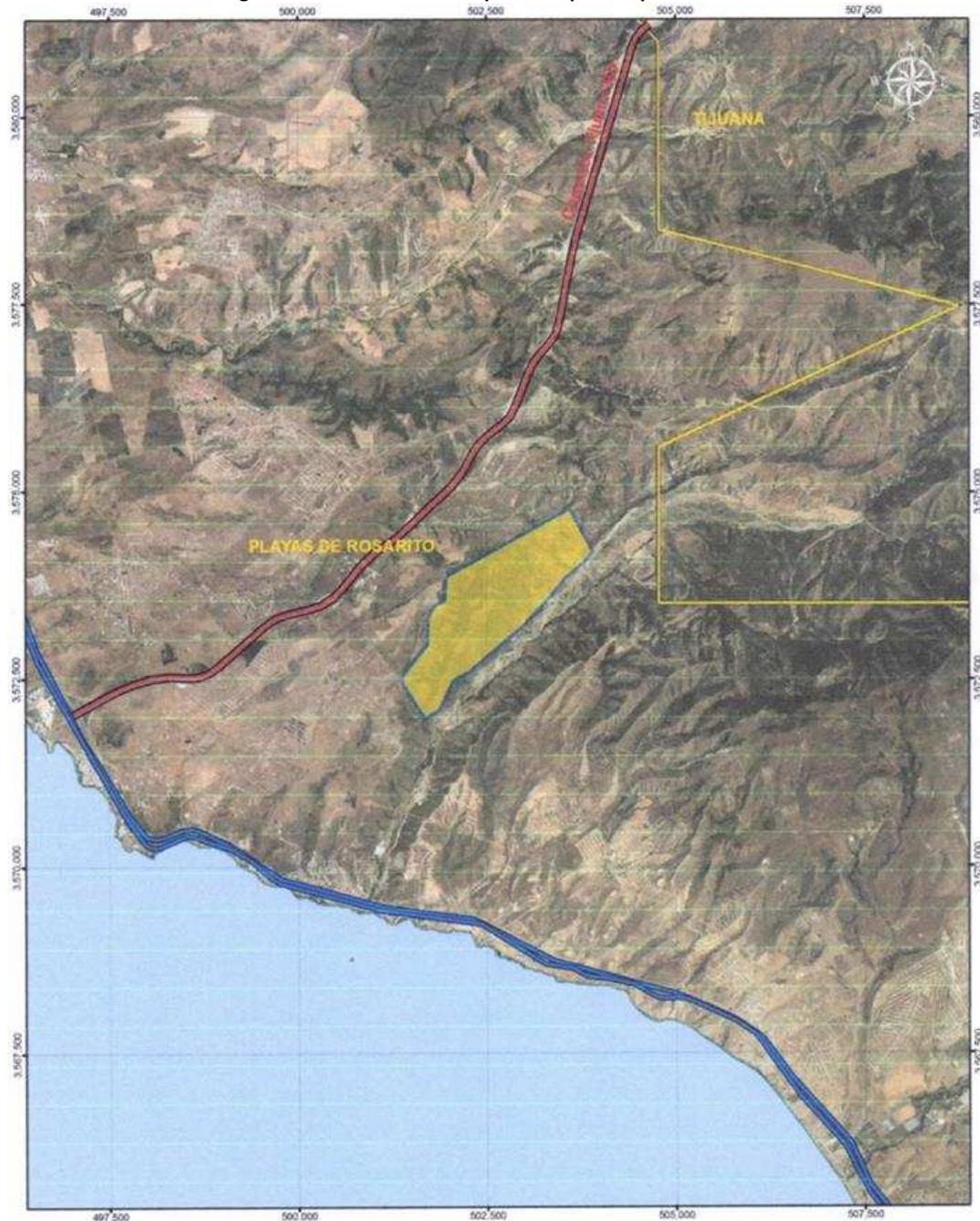
La **Ley de Aguas Nacionales** en su **Título Séptimo: Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas y Responsabilidad por Daño Ambiental**, **Capítulo I: Prevención y Control de la Contaminación del Agua**, **Artículo 86 Bis 2:**

“Se prohíbe arrojar o depositar en los cuerpos receptores y zonas federales, en contravención a las disposiciones legales y reglamentarias en materia ambiental, basura, materiales, lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales y demás desechos o residuos que por efecto de disolución o arrastre, contaminen las aguas de los cuerpos receptores, así como aquellos desechos o residuos considerados peligrosos en las Normas Oficiales Mexicanas respectivas. Se sancionará en términos de Ley a quien incumpla esta disposición.”

Dentro de la selección y evaluación de los posibles sitios, se encontró un sitio que cumple con todas las características que marca la normatividad aunado al hecho de que cuenta con área suficiente para acumular los lodos generados durante los siguientes 30 años. Es sitio es el denominado El Morro, ubicado en el municipio de Playas de Rosarito, cuenta con un área de 142 Ha, las cuales son necesarias para cubrir la disposición de lodos final durante el periodo de 2015 a 2045. La ubicación del sitio se muestra en la siguiente figura:



Figura 18. Ubicación del sitio probable para disposición de lodos.



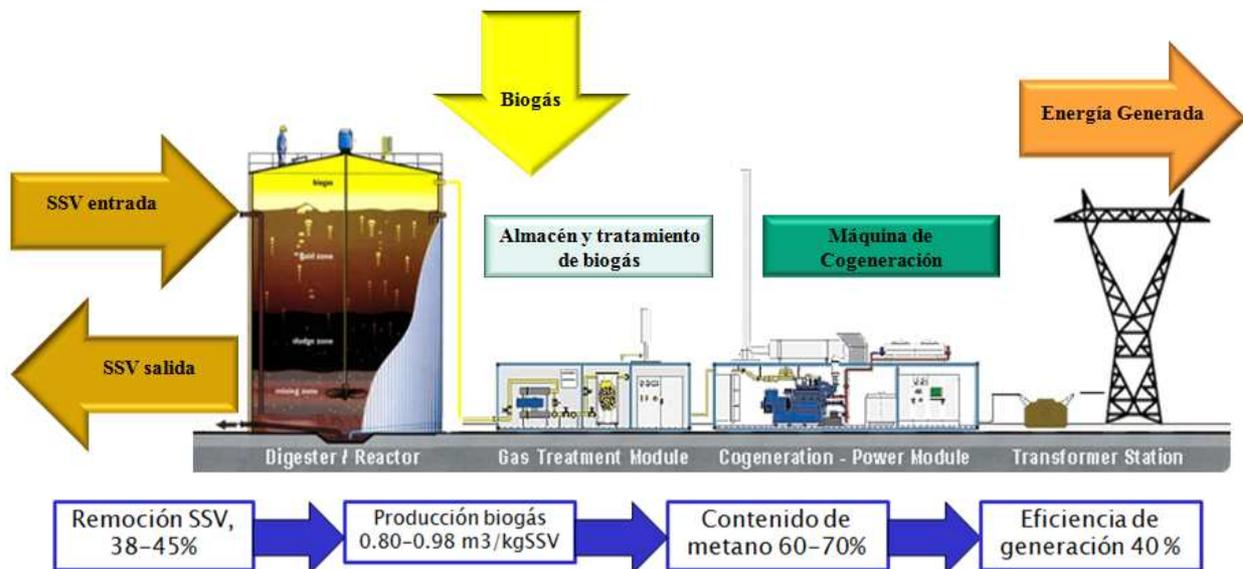
Fuente: Plan Maestro de Lodos, CESPT, 2015.



3.6. Cogeneración

La cogeneración se define como la producción simultánea de calor útil y electricidad a partir de un mismo combustible o fuente de energía primaria. Estos combustibles pueden ser de origen fósil (por ejemplo, gas natural, combustóleo, etc.), renovable (por ejemplo, residuos agrícolas y forestales, biogás, etc.) o incluso hidrógeno. El principio fundamental de la cogeneración es la recuperación del calor residual producto de la combustión en una planta generadora de electricidad, el cual, de otra forma, hubiera sido liberado en el medio ambiente, desperdiciando con ello una parte importante de la energía todavía disponible. Esta energía, en la mayoría de los casos, puede ser todavía utilizada en diversos usos finales como calefacción de espacios, calentamiento de agua, así como otros procesos térmicos o de refrigeración que se encuentren cercanos a la planta de cogeneración.

Figura 19. Diagrama del sistema de digestión anaerobia y cogeneración



Fuente: Proyecto de Rehabilitación PTAR SAB, CESPT 2015.

El biogás, producto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica, tiene una gravedad específica de aproximadamente 0.86 en relación al aire (Metcalf & Eddy, 2003) y contiene entre 45 y 75% en volumen de metano y 25 a 45% de CO₂ (Water Environment Federation, 1998). Otros componentes y características del biogás se indican a continuación:

- Nitrógeno 0.2 a 2.5%
- Amoníaco 100 a 2,000 ppbv
- Sulfuro de hidrógeno (H₂S) 200 a 3,500 ppmv
- Siloxanos 100 a 4,000 ppbv
- Vapor de agua 5.9 a 15.3%

El poder calorífico del biogás varía dependiendo del contenido de metano, siendo el poder calorífico de éste de 35,800 kJ/m³ (Metcalf & Eddy, 2003). Aunque el contenido de hidrógeno afecta el poder calorífico del biogás, el metano es el componente principal del combustible. El poder calorífico alto del biogás varía entre 18,600 y 26,100 kJ/m³, con un promedio de 23,800 kJ/m³.



Este poder calorífico corresponde al calor liberado durante la combustión, medido con calorímetro. Las eficiencias de los motores normalmente se basan en el poder calorífico inferior, que es el poder calorífico del gas cuando no ha condensado el vapor de agua producido por la combustión. Como comparación, un biogás que contiene 70% de metano tiene un poder calorífico inferior de 23,800 kJ/m³ y un poder calorífico alto de 26,200 kJ/m³. La eficiencia global de conversión de la energía química del biogás en energía eléctrica producida es normalmente 38-39%.

Los componentes de un sistema de cogeneración incluyen: motor, generador, recuperación de calor y la interconexión eléctrica, integrados en un solo sistema. Aunque la energía mecánica del motor normalmente se utiliza para generar electricidad, también se puede utilizar para impulsar equipo rotatorio como compresores, bombas y sopladores. La energía térmica del proceso se puede utilizar en aplicaciones directas en proceso o indirectas para producir vapor, agua caliente, aire caliente para secado o agua fría para enfriamiento de proceso.

Cálculo del volumen de biogás a producir

Las consideraciones tomadas en cuenta en la producción de gas metano son las siguientes:

- La tasa de producción de gas es de 0.85 m³ std/kg SSV.
- El gas producido tiene un contenido de metano del 70 %, el otro 30 % corresponde a vapor de agua, sulfuro de hidrógeno, siloxanos y dióxido de carbono.
- 24 horas de operación.
- El poder calorífico del metano es de 23,800 kJ/m³, 5,688.3 kCal/ m³ o 4,395.2 BTU/ m³.
- El Volumen de gas producido por el sistema de tratamiento de zanjas de oxidación y el de lodos activados es prácticamente el similar, teniendo en cuenta que ambos se diseñaron para un gasto de 1,200 l/s y que ambos procesos se diseñaron para aireación convencional, por lo tanto, el volumen de lodos producidos es muy parecido y en consecuencia en el volumen de biogás producido no hay una diferencia significativa.

Con base en lo anterior, la producción de gas, biogás y la energía liberada se tienen en la siguiente tabla.

Tabla 14. Volumen de biogás a producir y la energía liberada.

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen total de gas producido	18,836.5	m ³ std/día
Volumen total de metano producido	13,185.5	m ³ std/día
Volumen de metano por corriente	4,395.2	m ³ std/día
Energía liberada en combustión	3,632.1	kW
Energía liberada por corriente	1,210.7	kW

Fuente: Elaboración propia.

Almacenamiento de Biogás

El almacenamiento del biogás tiene las siguientes características:

- Se consideraron dos unidades de almacenamiento
- Tiempo de retención del biogás de 4 horas.
- Volumen total a almacenar de 3,296.4 m³.



- Volumen de almacenamiento por unidad de 1,648.2 m³.
- Volumen comercial de almacenamiento del tanque de doble membrana 1,920 m³.
- Diámetro del tanque de 16.6 m.
- Área del tanque de 216.4 m².
- Altura del tanque de 12.4m.

Quemador de Biogás

El quemador de biogás tiene las siguientes características:

- Flujo de biogás de 549.4 m³/hora
- Se consideró un quemador.
- Tamaño del quemador de 8".
- Capacidad del quemador de 948.0 m³/h.

Cloruro Férrico para eliminación del sulfhídrico

El quemador de biogás tiene las siguientes características:

- Caudal de biogás producido de 13,185.5 m³/día.
- Dosis de 4.78 gramos de cloruro férrico por gramos de sulfuro de hidrógeno.
- Concentración inicial de sulfuro de hidrógeno en el biogás 1,601.0 ppm, la cual se pretende reducir hasta 16 ppm.
- Masa de sulfuro de hidrógeno a remover de 22.4 kg/d.
- Masa de Cloruro férrico requerido 107.1 kg/d.

Requerimiento de energía para calentamiento de lodos alimentados

Debido a que los digestores anaerobios de alta tasa requieren de temperatura de manera artificial para llevar a cabo la digestión anaerobia y por ende la estabilización de los lodos, se hace el cálculo de la cantidad de energía para calentamiento de lodos alimentados.

Las consideraciones tomadas en cuenta y las características obtenidas son las siguientes:

- Calor específico del lodo de influente de 4.2 kJ/kg °C.
- La energía total requerida para calentamiento es de 232.9 kW.
- Perdidas de energía totales (en el tanque, paredes expuestas al aire, paredes expuestas a tierra seca) de 353. kW.
- Energía requerida para calentamiento (fluido + tanque) de 1,314.9 kW.

Selección de la caldera e intercambiador de calor

Para selección de la caldera e intercambiador de calor se tienen las siguientes características:

- Energía total requerida de 3,589.311 BTU/h.
- La eficiencia de transferencia de calor es del 85 %, resultando en un requerimiento de energía de 4,222,719 BTU/h.
- Se consideraron 2 calderas.



- La capacidad comercial del intercambiador de calor es de 2,000,000 BTU/h, por lo que se requieren de 3 equipos, con 2 intercambiadores en operación y uno de respaldo.
- Tasa de recirculación de agua de 300 gpm.

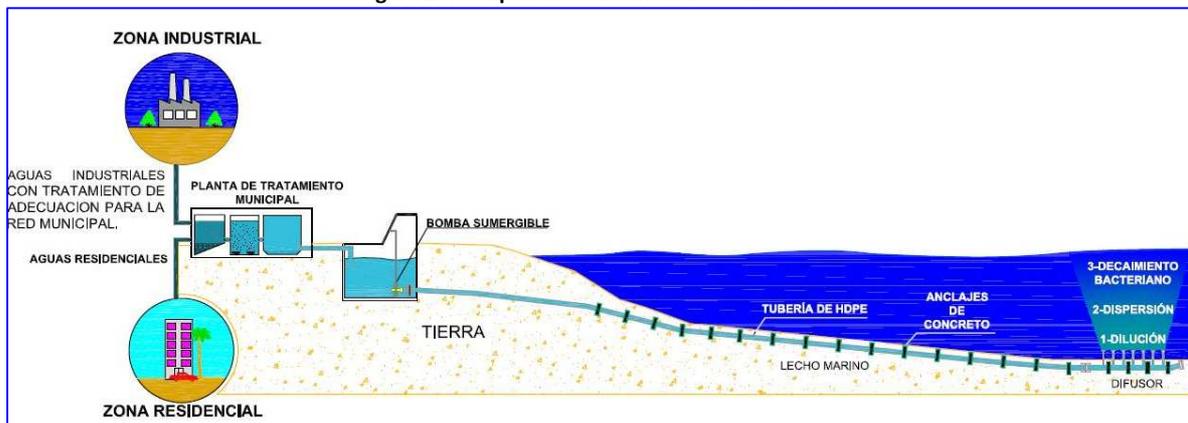
Equipo de cogeneración para generación de energía eléctrica

- Eficiencia de generación de 85.5 %.
- 2 equipos.
- Capacidad del motor de 900 kW.
- Capacidad nominal a entregar de 800 kWe.
- Producción anual de energía eléctrica de 12 M kWh.
- Producción mensual de energía eléctrica de 1,017,792 kWh.

3.7. Descarga Subacuática

El diseño de un emisor submarino o una descarga subacuática implica la consideración de un sistema complejo de componentes y variables. El diseño se hace con el objetivo de disponer en punto lejano en el mar, de las aguas residuales de origen urbano o industrial. Existe además una normatividad que hay que respetar, tanto a la salida de la PTAR como en el impacto que produzcan en las aguas las descargadas en el medio marino. En la siguiente figura se esquematizan las componentes principales que caracterizan a este tipo de estructuras hidráulicas.

Figura 20. Componentes de un emisor submarino.



Fuente: adaptada de www.elinsubca.com

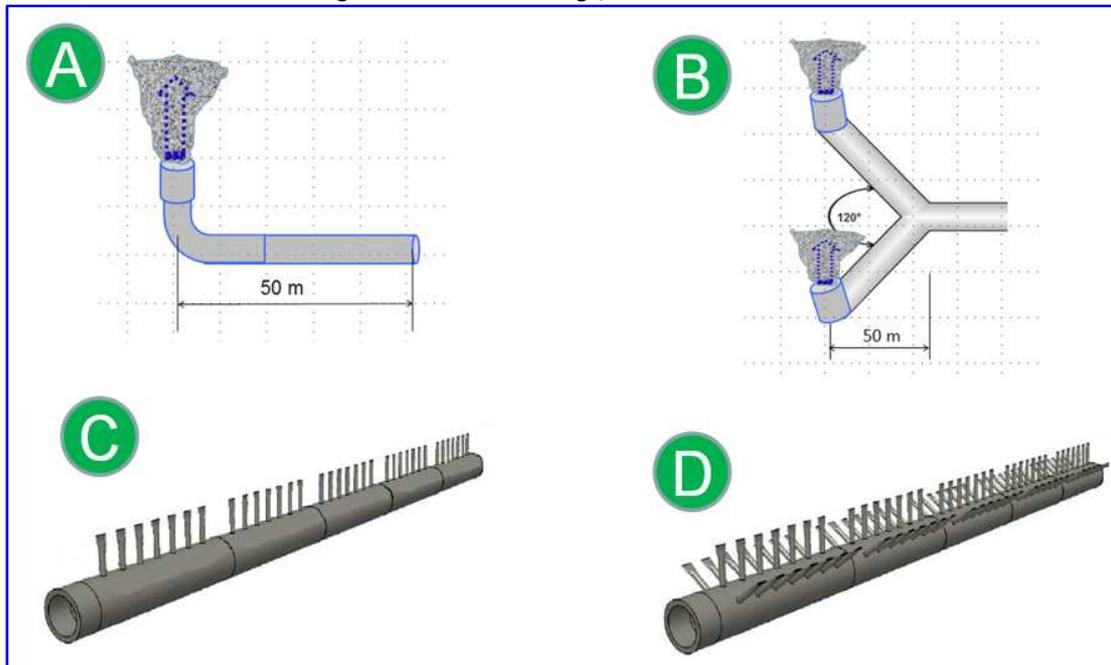
En este estudio nos enfocaremos al diseño de algunas componentes y variables específicas: el diseño del emisor consta básicamente de un emisor submarino, propiamente dicho, que va desde la PTAR hasta un punto lejano, algunas decenas de metros y a veces hasta algunos kilómetros, en el fondo marino. En este punto se instala una estructura difusora, la cual se encarga de fomentar la turbulencia en el medio marino, como producto del encuentro de las aguas marinas, sus dinámica y sus estructura vertical, con el encuentro de las aguas servidas o aguas residuales y su cantidad de movimiento asociada; entre mayor turbulencia exista mayor será la dilución inicial de las aguas y, como la concentración es inversamente proporcional a la dilución,



los contaminantes serán abatidos en un campo cercano. Este proceso se conoce como dilución inicial (D_i). En la siguiente figura se muestran diversos componentes de sistemas emisor/difusor y las características de la dilución inicial.



Figura 21. Sistemas descarga/difusores diferentes



Fuente: Elaboración propia.

Posterior a la dilución inicial, viene el transporte de los contaminantes el cual depende de la dinámica del mar (oleaje, corrientes, mareas) y la incidencia del viento; los contaminantes son transportados generalmente hacia las zonas costeras. Entonces hay que cuidar que la descarga de un emisor impacte lo menos posible al medio marino, y consecuente no llegue a las zonas costeras. Si en la zona costera existen playas o sitios de afluencia turística importante, la restricción es más estricta.

- Gastos a manejar

En la tabla siguiente se presentan los gastos hidráulicos que manejará el sistema. Aparecen los gastos actuales al estimados al 2017, así como los gastos proyectados al 2047. Como se puede observar, el gasto de diseño del emisor se establece en 2,249.50 l/s, debido a que dicho gasto resulta de las aportaciones del efluente de la PTAR San Antonio de los Buenos y el Sistema de Alejamiento de Agua Superficiales, los cuales contienen estructuras de regulación (cárcamos de bombeos) que amortiguan el efector del Harmon.

Tabla 15. Rangos de gastos a considerar

Gastos de Diseño de la descarga	Valor (l/s)	
	2017	2047
Gasto medio	1,952.40	2,249.50
Gasto mínimo	976.20	1,124.75
Gasto máximo instantáneo	1,952.40	2,249.50
Gasto máximo extraordinario	1,952.40	2,249.50

Fuente: Elaboración propia.

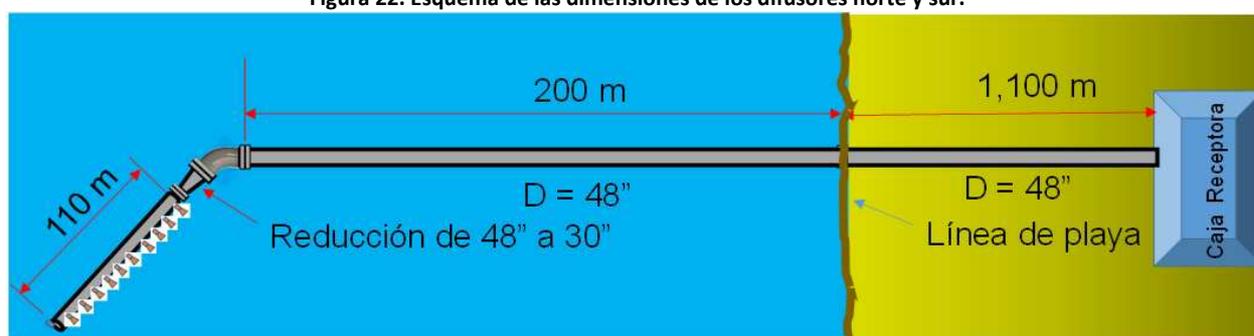


Además, se tiene la solicitud de que el sistema que se diseñen funcione por gravedad, sin necesidad de equipos de bombeo. Debido a que el emisor no estará alimentado directamente de colectores que contengan el efecto del gasto máximo instantáneo, se concluyó que se diseñarían un emisor que tendrá la capacidad para operar desde los 0 hasta los 2,500 l/s.

- Análisis del arreglo emisor/difusor

Finalmente se diseñó el difusor submarino, a través de diversas simulaciones. Se conformó de 15 boquillas conectadas a un riser y este a su vez al difusor. El diámetro de difusor se consideró de 30" y se conecta al emisor con un codo de 135 ° y una reducción de 48" a 30" como se muestra en la siguiente figura.

Figura 22. Esquema de las dimensiones de los difusores norte y sur.



Fuente: Elaboración propia.

El difusor submarino

El vertido de las aguas residuales en el fondo del mar se optimiza cuando se instala algún tipo de estructura difusora, que como ya se mencionó previamente, esto favorece la dilución inicial y por consiguiente contribuye a mitigación de los contaminantes en un campo cercano. El diseño más simple involucra una descarga directa del emisor, es decir sin que esta tenga estructura difusora alguna, en este caso, deberá analizarse la conveniencia de hacerlo y respaldarlo con los estudios de dilución inicial y el transporte de contaminantes, apegados conforme a la normatividad ambiental. Aunque de entrada aspectos como la estética ambiental pudieran no satisfacerse del todo como se muestra en la siguiente figura.

Figura 23. Emisor con descarga directa al mar.



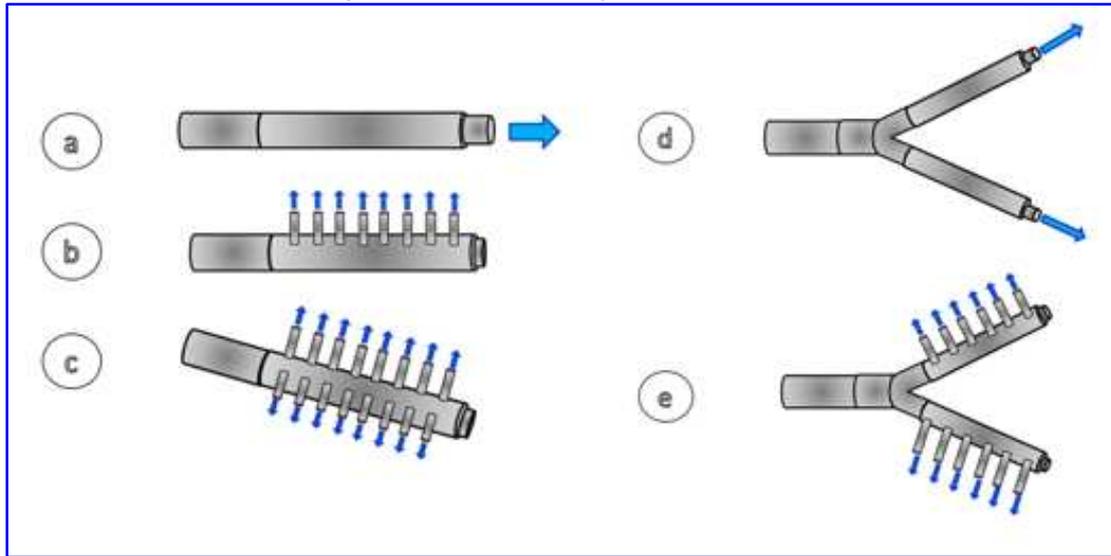
Fuente: Tomada de Ramírez León (2018).

En particular se ha demostrado que la instalación de una estructura difusora permite manejar y controlar las descargas en el fondo marino, disminuyendo el impacto que estas producen en el medio. Existen diversas configuraciones dependiendo de los gastos por descargar y de los tamaños de los emisores, y como se



muestra en la siguiente figura; en donde, por ejemplo, una descarga es dividida en varias pequeñas descargas evitando la contaminación directa del flujo al mar o inclusive esta se puede dividir en dos descargas suficientemente alejadas para que una no influya en la otra, etc.

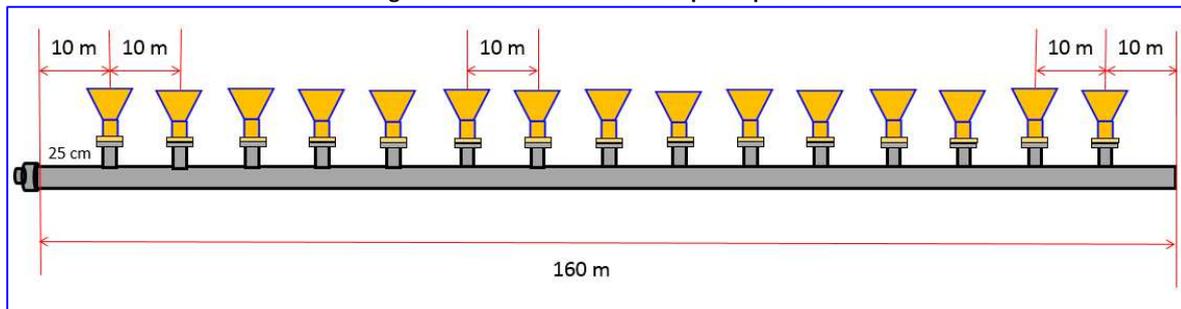
Figura 24. Secuencia de las opciones de solución.



Fuente: Tomada de Ramírez León (2018).

Después de múltiples análisis se optó que los difusores para la PTAR de San Antonio de los Buenos tuvieran la configuración que se muestra en la siguiente figura:

Figura 25. Distribución de las boquillas para el difusor.

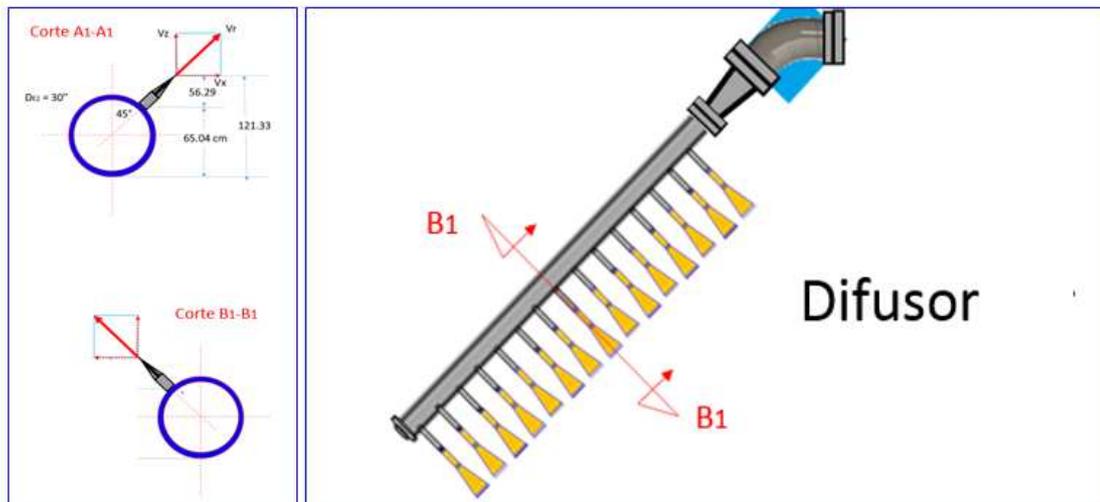


Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se muestra el difusor, así como un corte transversal en cada uno de ellos. Se aprecia que las boquillas están inclinadas a 45° y hacia el exterior de cada sección. Esto se hizo con un doble objetivo: en primer lugar, una descarga vertical, tiene mayor posibilidad de alcanzar la superficie; una descarga inclinada dentro de la zona estratificada llegaría con menor fuerza y menos intensidad a la superficie.



Figura 26. Configuración del difusor.



Fuente: Elaboración propia.

Válvulas Tideflex Series 35

Estas válvulas son ampliamente utilizadas en los difusores submarinos debido a una gran variedad de ventajas que ofrecen en el manejo de las descargas y en la dilución de los contaminantes. Se les conoce también como válvulas difusoras o válvulas pico de pato. Existe una gran variedad de diseños de acuerdo con las necesidades de cada sistema, como se ilustra en la siguiente figura.

Figura 27. Válvulas difusoras Tideflex en emisores submarinos.



Fuente: Tomadas de www.redvalve.com/tideflex/tideflex-products/tideflex-check-valves/series-35

Entre las ventajas que ofrece este tipo de válvulas están:

- Previenen la entrada de sedimentos, contaminantes, agua salada y vida acuática.
- Proporcionan un servicio libre de mantenimiento.
- Aumentan la velocidad de descarga.
- Mejoran la dilución inicial.
- Proveen una distribución uniforme en todos los puntos de descarga.
- Promueven una significativa mejora en el purgado de agua salada.



- Evitan el contraflujo

El objetivo de instalar esta válvula es generar turbulencia y aumentar la dilución inicial. Esta combinación y aunada a que la descarga se hará en la zona de estratificación natural del mar permitirá confinar y diluir los contaminantes en un campo relativamente cercano.

Figura 28. Generación de turbulencia con una válvula en pico de pato.



(a) Descarga libre



(b) descarga con válvula pico de pato

Fuente: Fuente: Tomadas de www.redvalve.com/tidflex/tidflex-products/tidflex-check-valves/series-35

Por lo tanto, para este emisor, se eligieron las boquillas Tideflex Series 35 de 10" que se conectan con el riser, de 10" y 25 cm de longitud, según se muestra en las siguientes figuras.

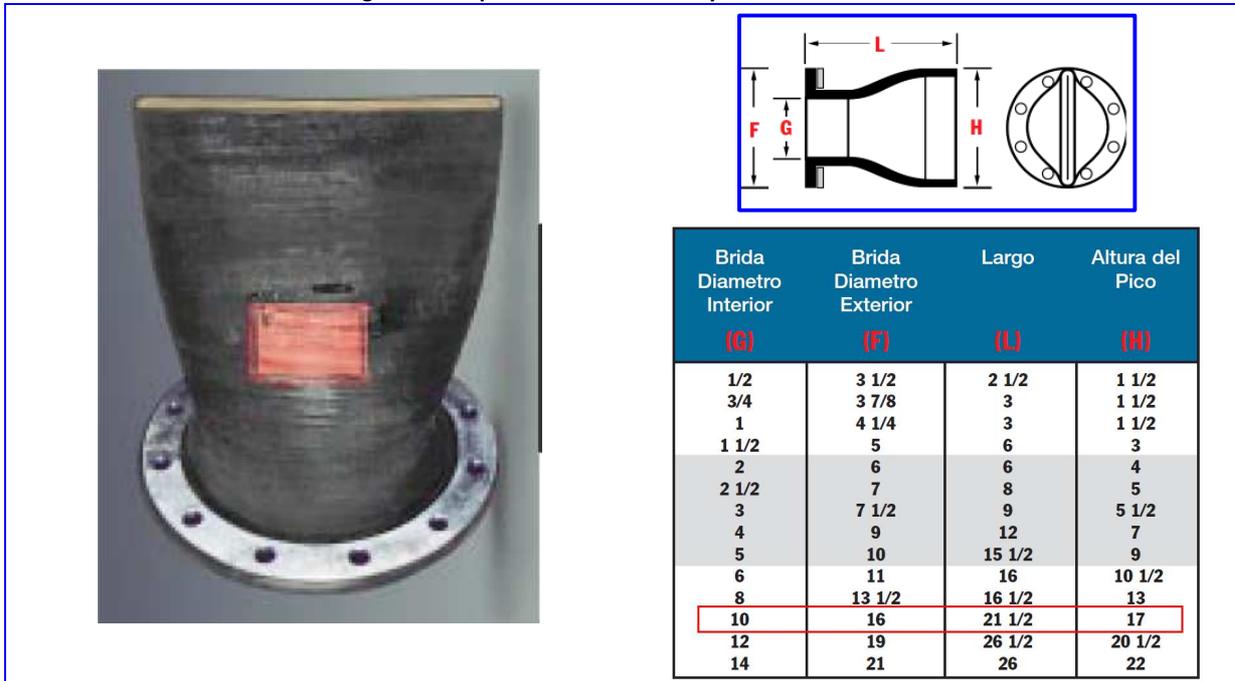
Figura 29. Conformación de un Riser y una boquilla de 10".



Fuente: Elaboración propia.



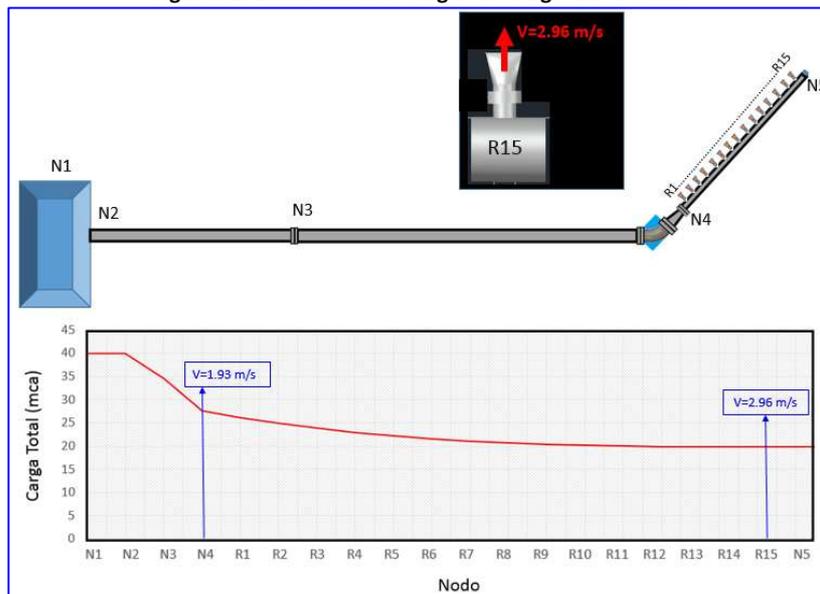
Figura 30. Boquilla Tideflex Series 35 y sus dimensiones.



Fuente: Tomadas de www.redvalve.com/tideflex/tideflex-products/tideflex-check-valves/series-35

En la siguiente figura se muestra un cálculo hidráulico para un gasto de 2,250 l/s, la carga total de presión, señalada en rojo, vence la carga hidrostática de 18 m, en la zona del difusor la velocidad es de 1.20 m/s; después de la reducción de 40" a 30" es de 1,93 m/s (Nodo 4). A la salida de la última boquilla (R15) la velocidad es de 2.96 m/s. En la Figura 32 se muestra el arreglo final del emisor desde la salida del cárcamo, hasta su posición final con el difusor.

Figura 31. Distribución de cargas a lo largo del sistema.



Fuente: Elaboración propia.



Figura 32. Arreglo final del sistema emisor-difusor.

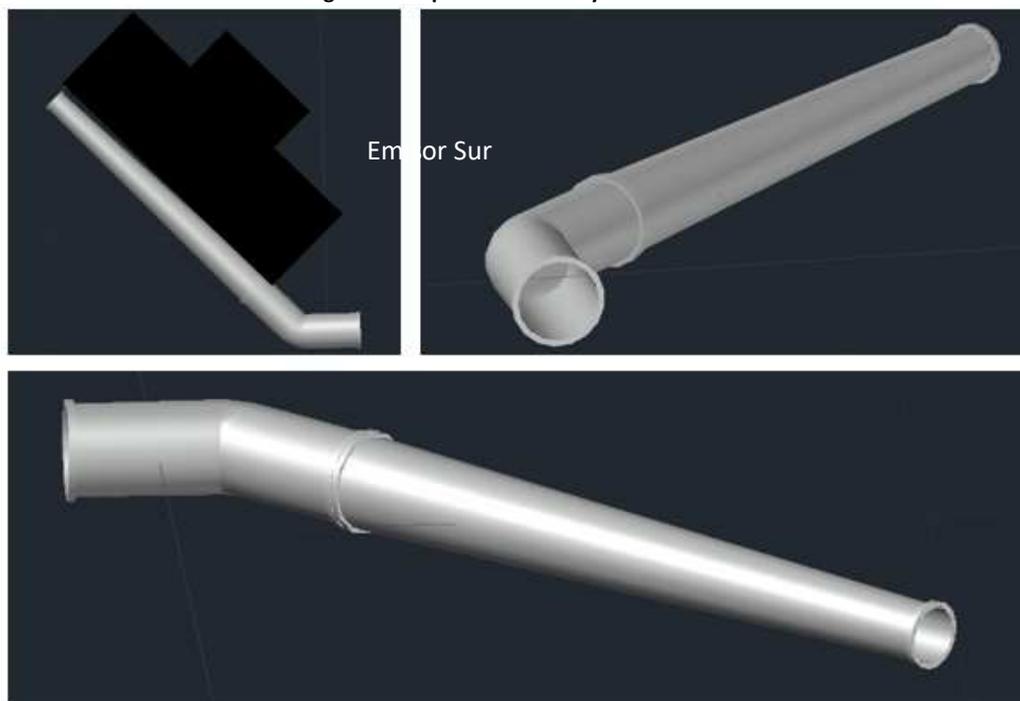


Fuente:

Elaboración propia.

En las siguientes figuras se muestran diferentes aspectos de la conformación del emisor y los diferentes dispositivos que se implementaron. Los dibujos están hechos en Autocad 3D.

Figura 33. Aspectos del codo y la reducción.



Fuente: *Elaboración propia.*



Figura 34. Conformación del difusor submarino.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 35. Medidas para el acoplamiento del difusor, riser y la boquilla pico de pato.



Fuente: Elaboración propia para este proyecto con base a los resultados obtenidos.

Figura 36. Diferentes vistas del acoplamiento del difusor, riser y la boquilla pico de pato.



Fuente: Elaboración propia para este proyecto con base a los resultados obtenidos.

Figura 37. Diferentes vistas del acoplamiento riser y la boquilla pico de pato.



Fuente: Elaboración propia.

Mediante acuerdo con la CESPT, se optó porque en las alternativas de Lodos Activados y Zanjas de Oxidación, se considerará una descarga subacuática (200 m) y en la alternativa 3 de Lagunas de Oxidación un emisor submarino de 2000 m. Esto debido a lo siguiente:

- El proceso de Lagunas de Oxidación no cumple con la calidad del efluente que se pide en la NOM-001-SEMARNAT-1996, por lo que requiere de un emisor submarino que con apoyo de la difusión al



momento de la descarga del efluente, se cumpla con las condiciones particulares de descarga establecidas por la CONAGUA.

- Los procesos de Zanjas de Oxidación y Lodos Activados ofrecen una calidad de efluente mejor a la establecida por la NOM-001, por lo que no requieren de un proceso de difusión de un emisor submarino para complementar el tratamiento y calidad del agua del efluente.
- Sin embargo, en Zanjas de Oxidación y Lodos Activados se consideró una descarga subacuática de 200 m para evitar un impacto visual negativo de la descarga del agua tratada y en consecuencia controversias con medios de información, organizaciones ambientalistas y la población.



4. CONCLUSIÓN

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio de los Buenos, municipio de Tijuana, Baja California se compone básicamente de lo siguiente:

- 1) Tren de Agua
 - a. Pretratamiento
 - b. Tanque Sedimentador Primario
 - c. Tanque Reactor Biológico (Zanja de Oxidación)
 - d. Tanque Sedimentador Secundario
 - e. Desinfección con Hipoclorito de sodio
- 2) Tren de Lodos
 - a. Espesado de Lodos
 - b. Digestor anaerobio de Lodos
 - c. Deshidratado Mecánico
 - d. Disposición Final
- 3) Descarga Subacuática

Se ha considerado en el diseño 3 módulos de 400 l/s para cada una de las etapas de tratamiento en el tren de aguas (pretratamiento, tratamiento primario, zanjas de oxidación, sedimentador secundario).

Respecto a los componentes de la PTAR como equipos mecánicos, de automatización y control, infraestructura civil, etc., la vida útil de estos activos es variable y depende del mantenimiento que se les dé, sin embargo, teniendo un mantenimiento periódico y adecuado la vida útil que se puede alcanzar es la siguiente:

Tabla 16. Vida útil de los componentes de la PTAR

	Equipo	Vida Útil
1	Infraestructura Civil	18 años
2	Sistemas de Automatización (SCADA)	8 años
3	Equipos de bombeo y mecánicos	7 años
4	Válvulas de control y pieza especiales	8 años
5	Estructuras metálicas y de apoyo (como barandales)	5 años
6	Tuberías	20 años
7	Rejillas de acero inoxidable	5 años

Fuente: Elaboración propia

Todos los insumos necesarios para la construcción y operación del proyecto se encuentran disponibles dentro del territorio nacional.

El proyecto es promovido por la CONAGUA, tiene amplia capacidad técnica, normativa, legal y financiera que permite estructurar un proyecto de inversión a fin de mitigar el problema de aguas sin tratamiento. Las CESPT, por su parte cuenta con una amplia experiencia en la operación de estos sistemas.

La ingeniería mexicana cuenta con amplia experiencia en proyectos de tratamiento de aguas residuales, por lo que el proyecto contará con los recursos humanos, técnicos, operativos y tecnológicos para el adecuado desarrollo del proyecto.



Algunas las variables críticas que pudiesen afectar a la construcción y operación del proyecto son las siguientes:

- Sobrecostos en la inversión inicial y en los insumos de la etapa de operación.
- Proyectos ejecutivos incompletos.
- Insuficiencia financiera que interrumpa los flujos de efectivo y, por ende, los programas de suministro de materiales, maquinaria y equipo.
- Averías y descomposturas no programadas en las instalaciones y los equipos
- Entrada en operación de proyectos que hacen uso de aguas negras sin tratar reduciendo la demanda de tratamiento

Los Estudios de Ingeniería Básica con los que cuenta el proyecto son:

- Diagnóstico de la infraestructura
- Estudio de disposición del Efluente (Emisor Submarino):
 - Recorrido de 3 rutas para seleccionar el trazo del emisor.
 - Definición de sitio para colocación del emisor y la zona de descarga.
 - Análisis de dispersión de la pluma
 - Batimetría
 - Mediciones de corriente y oleaje
- Aforo y Caracterización del agua residual de Tijuana
- Estudio Topográfico
- Estudio de Geotecnia

El proyecto cuenta con ingeniería básica, la cual fue revisada y validada técnicamente por la Comisión Nacional del Agua. El proyecto se encuentra aún en la fase de anteproyecto.

Se concluye que el Proyecto de construcción y rehabilitación de la PTAR San Antonio de los Buenos es técnicamente factible.