



Contenido

INTRODUCCION	4
DIAGRAMA GENERAL DE FLUJO	4
CARACTERISITCAS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO BIOLOGICO DEL CONDominio PLAYACAR	4
ESTAPAS DEL PROCESO	5
PRINCIPALES VENTAJAS TECNICAS DEL SBR:	5
I-DETECCION DE PROBLEMAS GENERALES	6
I-1 Características físico-químicas del influente (aguas residuales brutas).....	6
I-2 Calidades de agua residual tratada (efluente) y no cumplimiento normativo.....	6
I-3 Determinación de flujos.....	7
I-4 Ausencia de tratamiento del exceso de lodos	7
I-5 Deficiencia en oxígeno disuelto	8
I-6 Rendimiento energético bajo	8
I-7 Eutrofización del lago artificial (fase 1)	9
I-8 Riesgos sanitarios y reutilización	9
I-9 Presencia excesiva de residuos inorgánicos en la PTAR (plásticos, micro fibras, etc.).....	10
I-10 Escape de sólidos de los reactores secuenciales y no cumplimiento normativo sobre SST y DBO ₅	10
I-11 Flujos picos extraordinarios por aguas parasitas de lluvia	11
I-12 Generación de olores sépticos	11
I-12-1 Cárcamo de bombeo principal (zona hotelera).....	11
I-12-2 Tratamiento primario de PTAR.....	12
I-13 Automatismo limitado	12
II- ACCIONES TECNICAS CORRECTIVAS Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESO	13
II-1 Acciones correctivas requeridas para el cumplimiento de la norma local (NOM-001 A)	13
II-1.1 Tratamiento de los lodos	13
II-1.2 Limitar el escape de lodos durante el vacío (SST/DBO ₅)	15
II-1.3 Evitar la intrusión de desechos inorgánicos (Tratamiento primario)	18
II-1.4 Regulación de flujos extraordinarios (aguas parasitas de lluvia)	19
II-1.5 Control de olores sépticos	21



II-1.6 Evitar los riesgos sanitarios asociados a la reutilización de aguas residuales	23
II-1.7 Revertir o mitigar el fenómeno de eutrofización del lago artificial (laguna)	23
II-2 Condiciones técnicas para un cumplimiento normativo más estricto tipo NOM-001 C o NOM-003	24
II-2.1 Condiciones biológicas de los reactores biológicos	25
II-2.2 Condiciones para la digestión del lodo.....	26
II-2.3 Condiciones para la deshidratación del lodo	26
II-2.4 Condiciones para la desinfección del agua tratada.....	26
II-2.5 Integración de un sistema automático secuencial Bio Pro S de H ₂ O Inter Pro France ...	27
II-2.6 Estimación del costo operativo consumos energéticos y en químicos	29
II-2.7 Síntesis de opciones de optimización.....	29
III-ANEXOS	31
ANEXOS A: CONCENTRACIONES	31
Anexo A-1. Resultados de análisis acreditados del influente de la PTAR.....	32
Anexo A-2. Resultados de análisis acreditados del efluente (agua tratada) de la PTAR.....	33
Anexo A-3. Comparativos entre resultados de análisis acreditados del efluente (agua tratada) de la PTAR y la normas oficiales mexicanas.....	34
Anexo A-4. Comparativos entre resultados de análisis acreditados del influente (agua bruta) de la PTAR y concentraciones típicas de aguas residuales domesticas	35
Anexo A-5. Resultados de análisis acreditados del agua residual del cárcamo de re-bombeo principal.....	36
Anexo A-6. Resultados de análisis acreditados relativos a las características de lodos de un reactor biológico.....	37
Anexo A-7. Resultados de análisis acreditados relativos a las características bacteriológicas de las aguas del lago artificial (agua bombeada para riego).....	38
Anexo A-8. Comparación de calidad de agua residual en entrada de PTAR y en el cárcamo de bombeo principal (hoteles).....	39
Anexo A-9. Copia del título de concesión (CONAGUA).....	40
ANEXOS B: FLUJOS.....	41
Anexo B-1. Estimación de flujos de agua residuales de acuerdo a números de cuartos, viviendas y centros comerciales	41
Anexo B-2. Estimación de flujos de agua residual de acuerdo a lecturas de flujo en PTAR.....	42



Anexo B-3. Comparativo grafico de flujos de agua residuales	43
ANEXOS C: Diagrama de flujo.....	44
ANEXOS D: Mediciones de oxigeno disuelto.....	45
ANEXO D1: Mediciones de oxigeno disuelto en los reactores biológicos.....	45
ANEXO D2: Mediciones de oxigeno disuelto en aguas residuales brutas.....	46
ANEXO D3: Mediciones de oxigeno disuelto en laguna.....	47
ANEXO E: el fenómeno de eutrofización.....	48
ANEXOS F: Folleto de filtro banda.....	49
ANEXOS G: Memoria técnica.....	50
ANEXO G1: resultados de cálculos considerando la NOM-001 A	50
ANEXO G2: resultados de cálculos considerando la NOM-001 C	51
ANEXO G3: resultados de cálculos considerando la NOM-003 (reutilización).....	52
ANEXOS H: Simulación de costo operativo considerando cumplimiento NOM-001C o NOM-003.....	53
ANEXO I: Características electromecánicas de equipos instaladas.....	54
ANEXO J: Bio Pro S.....	55
ANEXO K: Planos	56
ANEXO L: Galeria fotografica.....	57
ANEXO M: Opción técnica tipo para remoción de H2SO4	58



INTRODUCCION

DIAGRAMA GENERAL DE FLUJO

El tratamiento primario constituido de un cribado grueso recibe las aguas residuales por gravedad del condominio y de la zona hotelera que se descargan a un cárcamo de bombeo.

El tratamiento secundario permite el tratamiento biológico y la clarificación del agua residual previamente a su descarga a pozo o a una laguna (reserva para riego). Válvulas neumáticas controlan la entrada de varios reactores biológicos secuenciales (proceso de tipo SBR).

El tratamiento terciario consiste a la inyección de hipoclorito de sodio y aplica sobre la descarga a la laguna (lago artificial).

En condiciones normales de operación, el lodo en exceso se estabiliza en un digestor previamente a su deshidratación sobre un filtro banda (Anexo C: diagrama de flujo).

CARACTERISITCAS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DEL CONDOMINIO PLAYACAR

El sistema de tratamiento de aguas residuales del condominio PLAYACAR es un **proceso biológico secuencial conocido en Ingles como SBR** (Sequencing Batch Reactor).

En su forma más simple, el SBR consiste en un estanque en el cual se suceden en forma secuencial en el tiempo diferentes procesos de equalización, aireación y clarificación que permite el tratamiento de un gran espectro de compuestos orgánicos. **El principio de operación de un SBR se basa en la siguiente secuencia: Llenado-Aireación-Sedimentación-Vaciado.**



ESTAPAS DEL PROCESO

Llenado con Aireación: El estanque se llena con aireación y por lo tanto se está mezclando el líquido con los sólidos existentes en el estanque.

Aireación: En esta etapa se suministrará el oxígeno para que proceda la actividad bacteriológica.

Sedimentación: Durante este período se detienen los equipos para dar tranquilidad al sistema y así permitir la sedimentación de los sólidos. En este caso se espera la mayor separación de sólidos por medio de la fuerza gravitacional ya que el SBR cumple una función muy eficiente gracias a la gran superficie del reactor.

Vaciado: Esta etapa consiste en extraer por medio del Decantador, el agua clarificada de la parte superior. En esta etapa sólo el Decantador está en operación.

Purga de Lodo: En esta etapa una parte del lodo activado es llevado al digestor de lodo donde continúa su proceso de degradación.

PRINCIPALES VENTAJAS TECNICAS DEL SBR:

- Tolera cargas hidráulicas variables.
- Tolera cargas orgánicas variables.
- Eliminación de la DBO y nutrientes.
- Control del crecimiento de micro organismos filamentosos.
- Eliminación de sedimentador secundario.
- Eliminación de bomba de retorno de lodos activados.



I-DETECCION DE PROBLEMAS GENERALES

I-1 Características físico-químicas del influente (aguas residuales brutas)

De acuerdo a los resultados de análisis acreditados presentados en Anexos A.1 y A.4 **el agua bruta o influente presenta características convencionales de aguas tipo domesticas. Un comparativo histórico confirma la tendencia.**

I-2 Calidades de agua residual tratada (efluente) y no cumplimiento normativo

La comparación histórica de calidad de descarga de agua tratada revela por lo general el cumplimiento de la NOM-001 A. Sin embargo, **los últimos resultados de análisis acreditados presentados en Anexos A.2 y A.3 revelan que el agua residual tratada o efluente no cumplía con los objetivos de tratamiento estipulados en el título de concesión otorgado por la CONAGUA para descarga a pozo en la zona (NOM-001 A). Menos cumplía considerando los objetivos de tratamiento para una reutilización para riego (NOM-003 contacto directo o semi-directo).**

IMPORTANTE: Cabe mencionar que el **cumplimiento más estricto federal (NOM-001 zona C y bajo otros criterios la NOM-003 para reutilización)** corresponde a una referencia comparable a los criterios de calidades internacionales. El criterio de tratamiento para alcanzar tal normatividad es **cinco veces más estricto** (variable según parámetro) que la norma que aplica en Quintana Roo (NOM-001 A). **En otros términos, el agua “tratada” que está cumpliendo con la norma local sigue presentando un impacto ambiental significativo.**

Los parámetros de calidad en salida de la PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) más críticos son relativos a las concentraciones de DBO5 (Carbono) y de SST (Sólidos Suspendidos Totales).



I-3 Determinación de flujos

El histórico de lecturas de flujo en entrada de la planta de tratamiento que lleva a cabo el personal operador presenta valores muy variables y a menudo poco representativos. El servicio de operación comenta de una posible falla del medidor de tipo electromagnético y no considera como representativo valores mayores a 12,000 M³.DÍA.

Con el fin de comprobarlo, se comparo las lecturas de 2009 y 2010 con una estimación de aportaciones específicas de aguas residuales por números de cuartos y viviendas (Anexos B1, B2 y B3).

Un flujo diario de aguas residuales incluido entre 9,000 y 10,000 M³. DÍA puede considerarse como representativo (sin considerar las aguas parasitas de lluvia).

I-4 Ausencia de tratamiento del exceso de lodos

Se calcula una **producción diaria de lodos biológicos en exceso > 1, 500 Kg** de materia seca (MS) en base a las concentraciones, flujos y objetivos de tratamiento de la norma local (anexo G1.).

El estabilizador de lodos (o silo) y el sistema de deshidratación de lodos se encontraron fuera de servicio durante el periodo del estudio.

IMPORTANTE: Cabe mencionar que el éxito de un sistema de tratamiento biológico depende del control y del manejo correcto de los lodos (o bacterias).



I-5 Deficiencia en oxígeno disuelto

La falta de oxígeno disuelto en los reactores biológicos disminuye la capacidad de tratamiento general afectando entre otros el porcentaje de remoción sobre la DBO₅ (Carbono).

Las mediciones de **oxígeno disuelto** realizadas sobre los reactores biológicos revelan valores inferiores a **2 mg/L o 2 ppm (anexo D)**. Las condiciones biológicas son óptimas con concentraciones de oxígeno disuelto incluidas entre **3 y 4 mg/L**.

El sistema de aeración superficial por hélice existente no proporciona el oxígeno suficiente y no permite una repartición homogénea del mismo lo que dificulta la asimilación por las bacterias.

El problema de deficiencia en oxígeno para el silo de lodos (estabilizador) es aún mayor ya que a carga mayor de materia orgánica se requiere más oxígeno disuelto. La falta de oxidación propicia condiciones favorables a la fermentación (anaeróbica) y por consecuencia a la generación de gases (olores).

I-6 Rendimiento energético bajo

A suministro de oxígeno disuelto similar, el sistema de aeración superficial por hélice requiere más energía que un sistema de aeración de tipo burbujas finas desde el fondo constituido de membranas micro-perforadas. En otros términos, se trata de uno de los procesos de aeración menos eficientes en la actualidad. Los cálculos realizados (Anexo G) revelan que con un potencial motor similar, un sistema de aeración de tipo burbuja fina permite alcanzar los objetivos normativos más estrictos.



Dispositivo de aeración	Aportación específica bruta	
	UNIDAD	Condiciones reales
Disco micro-poroso (burbujas finas)	kgO ₂ .kWh	1.5 a 1.7
Aerador mecánico sumergible	kgO ₂ .kWh	0.9 a 1.2
Aerador mecánico superficial	kgO ₂ .kWh	1.2 a 1.4

(Fuente: Memento técnico del agua, 2005, decima edición francesa, Degremont, 1,718p.)

I-7 Eutrofización del lago artificial (fase 1)

La descarga de nutrientes tales como el nitrógeno y fosforo contenido en la descarga de agua residual tratada es responsable del desarrollo excesivo de algas unicelulares. El fenómeno es conocido como eutrofización (**Anexo E**).

Las algas unicelulares producen oxígeno durante el día (fotosíntesis) en superficie con concentraciones cercanas a la saturación (Anexos D y L) mientras que en las partes más profundas, la ausencia de luz y la descomposición de la materia orgánica generara condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno) asociada con las producción de gases olorosos tales como metano y ácido sulfhídrico. A corto o mediano plazo, el lago podría generar malos olores.

I-8 Riesgos sanitarios y reutilización

Debido a la cantidad de materia orgánica acumulada en el lago artificial, el efecto de la cloración en salida de la planta de tratamiento de aguas residuales es irrelevante.

- El cloro reacciona con la materia orgánica primero (Point Break de cloración) antes de desinfectar
- Existen riesgos sanitarios al reutilizar el agua almacenada sin desinfección eficaz previa



- El análisis acreditado (Anexo A.7) sobre coliformes fecales dio por resultado 20,000 NMP/100 MI mientras la NOM-003 (contacto directo) sobre reutilización no permite más de 400 NMP/100 MI (NMP: Numero Más Probable)

I-9 Presencia excesiva de residuos inorgánicos en la PTAR (plásticos, micro fibras, etc.)

Un **sistema de cribado grueso rustico** y la **ausencia de un sistema de cribado fino** no permite la retención primaria de los desechos inorgánicos tales como plásticos, fibras,... (Anexo L, fotos 2 y 7).

El paso de este material puede provocar el atascamiento de las bombas del proceso así como la saturación de los pozos de descarga sin mencionar el no cumplimiento normativo (no se permite la descarga de ningún flotante).

I-10 Escape de sólidos de los reactores secuenciales y no cumplimiento normativo sobre SST y DBO₅

El vacío de los reactores procede mediante bombas de lodos sumergibles instaladas a proximidad de la cama de lodo sedimentado o decantado. Por lo general, un proceso de tratamiento secuencial (SBR en inglés) evacua las aguas clarificadas desde la zona superficial por medio de brazos articulados (flotación o mecanismo motorizado según los casos).

La ubicación de las bombas no es ideal para evitar el riesgo de un escape de lodos sedimentados. Además, un sifón sobre la línea de descarga (diferencial de altura geométrica entre cárcamo y pozo de descarga) genera un flujo de evacuación superior a la capacidad misma de las bombas. Este puede generar un efecto tipo vortex (remolino) y la energía suficiente para succionar parte del lodo debajo de las bombas (Anexo L, foto 11).

La descarga de sólidos suspendidos orgánicos tiene por consecuencia lógica de incrementar la concentración de carbono o DBO₅ en salida (además de la falta de oxígeno disuelto no propicio a la actividad bacteriológica) lo que a su vez disminuye el efecto del cloro o obliga a un sobreconsumo del mismo (Point Break).



I-11 Flujos picos extraordinarios por aguas parasitas de lluvia

La conexión de aguas “blancas” o parasitas de lluvia al drenaje sanitario representa un impacto:

- Reducción de los tiempos de tratamiento biológicos y modificaciones de las características físico-químicas en los reactores
- Riesgos de rebose en los cárcamos de bombeo y riesgo de saturación de los pozos de descarga

El flujo asociado es por supuesto asociado a la magnitud del evento lluvioso. Sin embargo, cuando existen conexiones irregulares al drenaje sanitario, se puede considerar multiplicar por 2 a 3 el flujo diario promedio, es decir, **flujos extraordinarios incluidos entre 20,000 y 30,000 M³.DÍA.**

I-12 Generación de olores sépticos

I-12-1 Cárcamo de bombeo principal (zona hotelera)

Los resultados de análisis acreditados presentados (Anexo A.5) revelan que el agua residual bruta del cárcamo de bombeo cuenta con concentraciones mayores (2 veces para la DBO5 y 3 veces para SST) comparado a las concentraciones de entrada a la planta de tratamiento (Anexo A.1). Sin embargo, la diferencia de resultados parece más vinculada a un mal diseño del cárcamo que a una descarga contaminante mayor en la zona de hoteles.

El diseño del cárcamo de bombeo favorece la acumulación de materia orgánica. El valor ácido de pH así como la concentración en sulfuros revelan condiciones anaeróbicas o sépticas. Para evitar tal situación, un cárcamo de bombeo cuenta por lo general con un registro interno más profundo en lo cual se colocan las bombas, el fondo cuenta con pendientes de hasta 45 ° hacia el mismo registro, y se asegura tiempos de estancia hidráulicos cortos (30 minutos de retención calculado sobre el flujo pico). El carácter séptico del agua residual puede incrementarse en caso de retención en los cárcamos de los hoteles (dichos cárcamos deben de trabajar en “seco”).



La superficie plana del cárcamo de bombeo es $\pm 100 \text{ M}^2$ (Anexo K) ofrece muchas zonas muertas en las cuales decanta la materia orgánica y se descompone generando gases olores (ácido sulfhídrico y metano entre otros). Para mantener los motores bajo agua (enfriamiento), se mantiene un tirante de agua de 1,20 m mínimo, lo que representa un volumen constante mínimo de 120,000 litros (más la zona de trabajo para el arranque de las bombas).

I-12-2 Tratamiento primario de PTAR

Por lo general, la planta de tratamiento de agua residual no presenta olores. Los únicos aromas son provenientes del tratamiento primario que recibe las aguas residuales brutas (Anexo L, foto 2). Sin embargo, el olor es relativo y muy similar en intensidad al tratamiento primario (cribado) a cielo abierto de cualquier planta de tratamiento de aguas residuales. Se midió en este punto una concentración en oxígeno disuelto de 0.2 ppm (Anexo D) y un pH básico de 7,29 (condiciones no sépticas).

I-13 Automatismo limitado

Un tratamiento de tipo SBR requiere por lo general más automatismo que otros sistemas de tratamiento (procesos continuos). Sin embargo, el sistema es operado manualmente. De hecho, se retomó con interés de este proceso con el desarrollo de los controladores tipo PLC (Programmable Logic Control) en el transcurso de los años 1970.



II- ACCIONES TECNICAS CORRECTIVAS Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESO

II-1 Acciones correctivas requeridas para el cumplimiento de la norma local (NOM-001 A)

Para los efectos de cálculos, se considero:

- **Un flujo diario de 10,000 M³.DÍA**
- **Las concentraciones del influente (análisis acreditados realizados sobre la toma muestra del 08 de octubre del 2010)**

Les recordamos que la norma vigente en su título de concesión es la **NOM-001 A**, que la norma **NOM-001 C** (descarga a pozo) constituye con la **NOM-003** (reutilización) las normas oficiales mexicanas más estrictas con criterio de calidad internacional.

A posterior, se analizara la factibilidad técnica para cumplir con las normas oficiales más estrictas.

Se presenta por siguiente las acciones correctivas técnicas que se deben de realizar en todos casos.

II-1.1 Tratamiento de los lodos

II-1.1.1 Resultados de balance de materia

Del control de concentración y edad del lodo depende la “salud” general del sistema de tratamiento biológico.

El exceso de lodo diario a tratar es de 826 kg MS (Materia Seca) considerando la NOM-001 A (Anexo G1.). En la práctica, el proceso permite retener más sólido que lo permitido por la norma (60 ppm) lo que incrementa el exceso de lodo a cerca de **1,505 kg MS por día**.

NOTA: A mayor objetivo de tratamiento, mayor volumen de lodos a extraer del proceso de tratamiento: 2,175 kg MS considerando la NOM-001 C; 2,391 kg MS considerando la NOM-003 (Anexos G2. y G3.).



II-1.1.2 Volumen de estabilización aeróbica

MS (Materia Seca) es un concepto que permite comparar cantidades de materia en un sistema biológico (concepto de laboratorio). En la práctica, el lodo es principalmente constituido de agua. Todo el éxito del tratamiento del lodo va a depender de nuestra capacidad a lograr separar la materia solida del agua (o de la fase liquida). El lodo de un estabilizador o digestor debe alcanzar una concentración mínima de **20 G/l**. Para alcanzar tal cantidad, el llenado desde los reactores procede luego de un tiempo de decantación (30 a 60 minutos) para permitir el rebose del agua menos concentrada hacia el cárcamo de bombeo de la PTAR. El llenado del digestor procede desde el fondo del tanque.

Considerando la NOM-001 A, el volumen útil del digestor es mínimo de **1,054 M³** (tiempo de estabilización de 20 días considerando 30% de reducción de lodo asociada a la estabilización).

NOTA: A mayor objetivo de tratamiento, mayor volumen útil requerido con un mínimo de **1,523 M³** considerando la NOM-001 C; **1,674 M³** considerando la NOM-003 (Anexo G).

II-1.1.3 Requerimientos en oxígeno y sistema de aeración

El sistema de suministro de aire más eficiente para un estabilizador o digestor de lodo consiste en la asociación de un **compresor de aire de tipo lóbulos** con **difusores de burbujas gruesas**. Es preferible a un sistema de aeración superficial y evita los riesgos de generación de olores. El oxígeno disuelto en un digestor aeróbico debe de mantenerse cerca de **0.5 mg/L**. Más oxígeno disuelto representa una pérdida energética, menos hace tomar el riesgo de iniciar procesos de fermentación (generación de gases y olores).

Se recomienda una densidad de por lo mínimo un **difusor de aire por metro cuadrado** para evitar zonas muertas (sin oxígeno) y asegurar un buen mezclado.

La demanda diaria en oxígeno del digestor de lodo es de **1,475 kg de O₂**.

NOTA: A mayor objetivo de tratamiento, mayor demanda en oxígeno en el digestor con de **2,131kg de O₂** considerando la NOM-001 C; **2,344 kg de O₂** considerando la NOM-003 (Anexo G).



II-1.1.4 Volumen diario de lodo estabilizado y capacidad de filtro banda existente

Considerando una concentración mínima de **20 G/l** del lodo estabilizado, el volumen diario a deshidratar es **53 M³.DÍA** (NOM-001 A).

NOTA: A mayor objetivo de tratamiento, mayor volumen diario a deshidratar con **76 M³.DÍA** considerando la NOM-001 C; **84 M³.DÍA** considerando la NOM-003 (Anexo G).

No aparece la capacidad del filtro banda existente de la marca hydrocal en el manual de operación. Sin embargo, una búsqueda en línea, permitió encontrar el folleto comercial del equipo instalado (Anexo F). Según el folleto, la capacidad del equipo es de 50 GPM o 11 M³.hora.

El filtro banda tiene la capacidad para deshidratar el volumen de lodo en exceso en todos casos (cualquiera norma). Una configuración de instalación más adecuada consiste en elevar el filtro banda sobre una plataforma (fuera del local) debajo de la cual se podría instalar un contenedor para facilitar la evacuación del lodo. Cabe mencionar que el volumen **de lodo deshidratado** (aún conteniendo mucha agua) representa un **volumen diario de 5 M³** (NOM-001 A), es decir **150 M³.MES**.

Para evitar inicios de fermentación y generación de olores con el almacén temporal del lodo deshidratado se recomienda agregar cal.

II-1.2 Limitar el escape de lodos durante el vacío (SST/DBO₅)

La configuración del sistema de evacuación favorece el escape de lodos durante el vacío de los tanques. El escape de lodo incrementa las concentraciones en descarga de SST y DBO₅. Ambos parámetros se encontraron fuera de los límites permisibles de descarga según la norma local NOM-001 A.

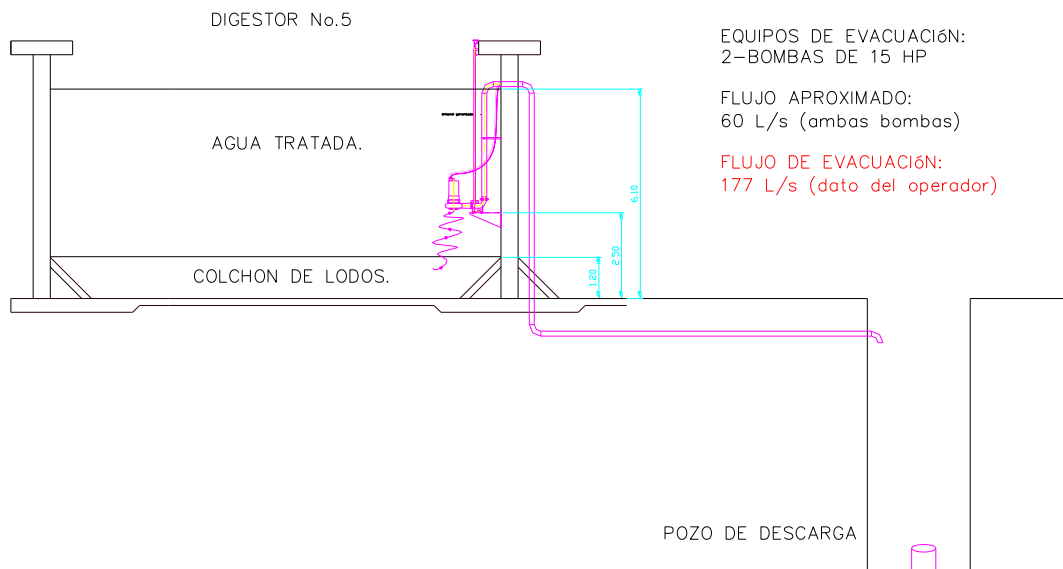
II-1.2.1 Comparativo entre flujo de evacuación real y capacidad de bombeo existente

Actualmente, el flujo de vacío o evacuación de los reactores secuenciales **es ± de 170 LPS** (dato comunicado por el servicio de operación). Sin embargo, la capacidad de las bombas sumergibles (impulsor tipo caracol) no excede 60 LPS en total. Por efecto de la gravedad y de un diferencial geométrico (diferencia de altura entre salida y pozo) se genera un **sifón** sobre la línea de descarga que genera la energía suficiente para incrementar el flujo de vacío de ± 100 LPS.

II-1.2.2 Riesgo de arrastre por efecto vortex (remolino)

Pruebas de decantación sobre el lodo de los reactores revelan que el nivel superior de la cama de lodos se encuentra entre 1 y 1.5 m debajo del punto de succión de las bombas sumergibles de vacío (según el nivel de ocupación variable del lodo).

El sifón sobre la línea de evacuación genera con la reducción de sección al nivel de las bombas un vortex (aspiración) que puede arrastrar el lodo más abajo. La reducción de la sección incrementa la velocidad ($\text{Flujo} = \text{Velocidad} \times \text{Sección}$).





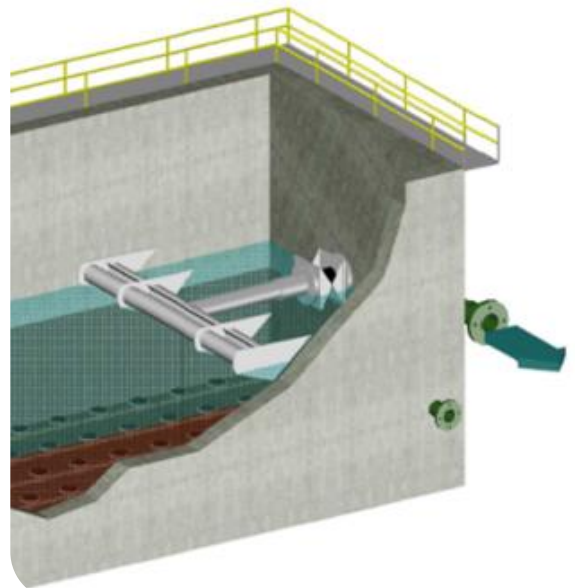
II-1.2.3 Configuración ideal del sistema de evacuación en fase de vacío

Los sistemas de evacuación convencional de los SBR, mecánica o por gravedad, son superficiales y bajan en conjunto con el nivel de agua del reactor (que se vacía). Se busca conseguir una sección abierta muy grande para reducir la velocidad y limitar las turbulencias. El incremento de la sección disminuye la velocidad ($\text{Flujo} = \text{Velocidad} \times \text{Sección}$).

En caso de conservar esta configuración de evacuación se recomienda por lo mínimo reducir el flujo de vacío, alejar el punto de succión de la cama de lodos. El incremento de tiempo en el vacío se puede compensar con tiempos menores de decantación (30 minutos siendo un tiempo favorable).



Fase de decantación



Fase de evacuación

Ejemplo de sistema de evacuación, sistema [Bio Pro S](#), [H₂O](#) Inter Pro France



II-1.3 Evitar la intrusión de desechos inorgánicos (Tratamiento primario)

A desechos inorgánicos, nos referimos a compuestos no biodegradables, principalmente plásticos de variables tamaños y a elementos minerales como la arena (sílice).

II-1.3.1 Equipos de cribado grueso (2-3 cm) y del cribado fino (2-3 mm)

La primera barrera cuenta con un paso de 2 a 3 cm para “proteger” de una obstrucción rápida el cribado fino que sigue con un paso de 2 a 3 mm.

El sistema de cribado grueso es a menudo una rejilla o jaula inoxidable que se opera manualmente. El cribado fino es por lo general automatizado. El tipo de equipo que operaba en la planta de tratamiento, instalado en canal abierto, con sistema de rastrillo y tornillo sin fin, es un sistema apropiado.

II-1.3.2 Capacidad hidráulica de los equipos de cribado

Los sistemas de cribado se dimensionan sobre el flujo pico que corresponde por lo mínimo a 2.5 veces el flujo promedio (115 LPS). La capacidad hidráulica de los equipos de cribado debe ser incluido entre **230 LPS y 350 LPS**. En todos casos, se deberá de conservar el vertedero de seguridad existente (descargas extraordinarias de lluvia).

II-1.3.3 Desarenado (mecánico o por gravedad)

Las arenillas se acumulan en las obras hidráulicas en caso de no ser previamente separadas. **En una zona playera, la arena acumulada en un año puede representar muchas toneladas.**

La retención de las arenas, es un proceso físico. El sistema de retención de las arenas, se dimensiona considerando el flujo pico como visto anteriormente. La **velocidad es siempre inferior a 0.3 m/s** (metro por segundo) para garantizar la sedimentación.



Dos técnicas pueden considerarse:

- Los procesos mecánicos utilizan principalmente la fuerza de Coriolis (fuerza centrífuga) y son alimentados por bombeo. Un tornillo sin fin colecta la arena depositada en el fondo de la tolva.
- Los procesos por gravedad son más rústico y manual. Se trata de canales que garantizan la velocidad correcta para retener las arenillas (velocidad inferior a 0.3 m/s). Es factible poder integrar dichos canales al tratamiento primario existente.

II-1.3.4 Equipo de desnatado

Los resultados de análisis sobre grasas y aceites no revelan concentraciones excesivas. Es preferible implementar una política de control de retención de las grasas y aceites de cocinas de los hoteles mediante la supervisión de operación de las trampas de grasas que son responsables de la mayor aportación de estos elementos.

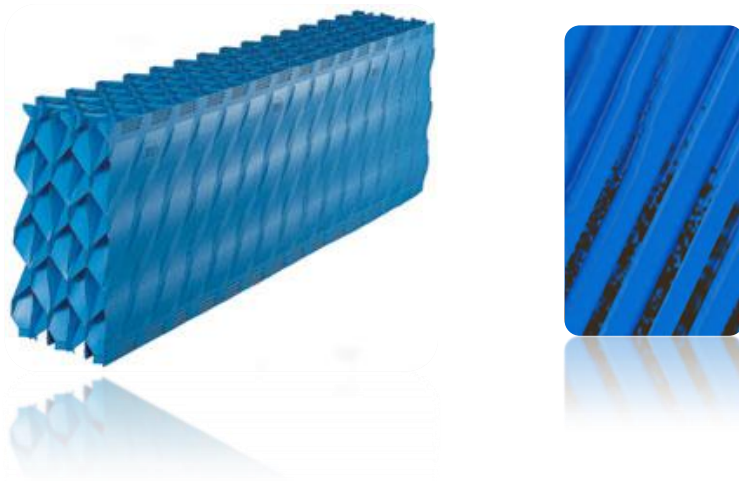
En el caso de solicitar un equipo de separación de grasas y aceites, es preferible privilegiar un sistema de **tipo airlift** (aeración forzada desde el fondo) para facilitar la separación de los lípidos del agua ya que las temperaturas elevadas en la zona no ayudan. El equipo cuenta con un colector mecánico superficial.

La velocidad sobre el equipos es siempre mayor a 0.3 m/s para evitar retener la materia orgánica y mineral decantables.

II-1.4 Regulación de flujos extraordinarios (aguas parasitas de lluvia)

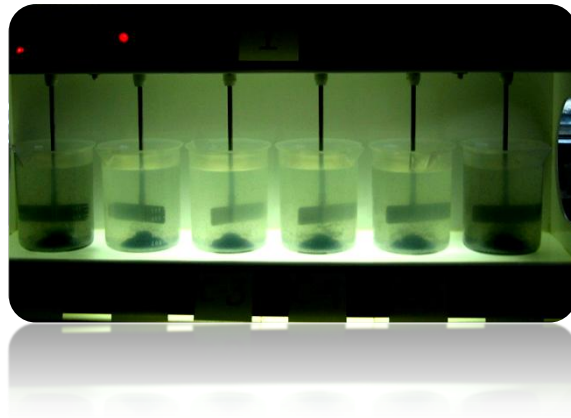
II-1.4.1 Cárcamo de amortiguación hidráulica

Para mitigar la contaminación generada por descargas directas de aguas residuales diluidas al pozo, se sigue utilizando un reactor de 3,600 M³.DÍA como tanque de amortiguación para mitigar el impacto de flujos extraordinarios de lluvia. Presenta un interés optimizar la configuración del mismo con la finalidad de retener más materia y flotantes en su caso. La instalación previa de módulos de alta sedimentación al rebose de descarga hacia el pozo puede mejorar significativamente la calidad del agua.



Modulo de alta sedimentación (Floc Pro T, H₂O Inter Pro France)

La dosificación en línea de un coagulante incrementaría la capacidad de separación asegurando limitar la contaminación generada por descargas extraordinarias de agua no tratada al pozo.



Efectos de la coagulación sobre aguas residuales brutas (Floc Pro T, H₂O Inter Pro France)



Un sistema de bombeo instalado en el fondo del tanque vinculado con sensores de nivel de tipo mercurio vacía progresivamente el tanque hacia el proceso de tratamiento hasta dejarlo en seco.

II-1.4.2 Sistema de bombeo auxiliar de apoyo desde cárcamo

Una vez controlado o regulado el flujo de alimentación de los reactores secuenciales, sensores de niveles anormal arrancan el sistema de bombeo que descarga el excedente de flujo hacia el tanque de amortiguación anterior.

II-1.5 Control de olores sépticos

II-1.5.1 Opciones de mitigación de olores en cárcamo de bombeo general

Se analizó la factibilidad técnico-económica de varias opciones técnicas para mitigar el impacto olfativo del cárcamo de bombeo general:

-Diseñar y construir un nuevo cárcamo de bombeo

Se trata de una opción costosa con la realización de una obra a mediano plazo y algo delicado de acuerdo a la proximidad de la capa freática. Esta realidad, es la causa probable de la configuración (superficie importante) actual de este cárcamo.

-Suministrar aire al cárcamo para asegurar un oxígeno disuelto mínimo

La cantidad de desechos impide considerar una aeración mecánica por el riesgo significativo de atascamiento de los equipos. La instalación de un compresor en superficie implica la difícil instalación (ya que no se puede parar el bombeo) de difusores adentro del cárcamo.

-Dosificar un oxidante básico como el hipoclorito de sodio

La dosificación de hipoclorito de sodio incrementaría el pH y limitara la actividad de las bacterias asociadas al proceso de fermentación (producción de gases).



No tendría un impacto significativo sobre la actividad biológica de la planta mientras que el pH se mantenga debajo de 8. Sin embargo, el consumo continuo de cloro tendrá un costo elevado y su reacción con la materia orgánica genera cloroformes (olor a cloro). El local tendría que ser bien ventilado para evitar dañar la capacidad pulmonaria de los operadores.

-Dosificar un bactericida

Evitaría la fermentación pero podría tener un efecto nocivo sobre la actividad bacteriológica de la planta de tratamiento.

-Aislar herméticamente el sótano del cárcamo e implementar una ventilación forzada

Se trata de una opción más factible, extractores de aire esfuerzan la ventilación del local disipando la concentración de los gases en la zona. Esta opción implica tener cuidado en el caso de un paro del sistema de ventilación ya que los gases concentrados en el local podrían presentar un riesgo para los operadores. Cabe mencionar que cuando la concentración de estos gases es letal, el gas es inodoro. Un medidor de ácido sulfhídrico y metano con alarma debe avisar los operadores de un riesgo potencial. Esta técnica puede complementarse con un sistema de filtración del aire con carbón activado o con otros medios filtrantes. Se presenta en (Anexo M.) la información que nos proporciona una empresa norteamericana al respecto. Cabe mencionar que si la técnica nos pareció válida, jamás hemos tenido la oportunidad de verificar la eficiencia del sistema.

II-1.5.2 Opciones de mitigación de olores en tratamiento primario de PTAR

El tratamiento primario de una planta de tratamiento de aguas residuales es la principal zona (considerando una correcta operación general de la PTAR) donde se puede presentar problemas de olores. La solución más común es de integrar el tratamiento primario adentro de un local cerrado controlando la ventilación del mismo. Aplica lo mencionado en el punto anterior.



II-1.6 Evitar los riesgos sanitarios asociados a la reutilización de aguas residuales

II-1.6.1 Desinfección

Las bacterias y patógenos son casi siempre asociadas con la materia en suspensión y macromoléculas coloidales. El cloro reacciona primero con la materia orgánica antes de afectar la estructura celular de las bacterias patógenas. La presencia significativa de coliformes fecales en el lago artificial revela que es preferible desinfectar el agua de riego que el agua descargada desde la PTAR. La separación y la oxidación avanzada requieren de un tratamiento más avanzado que podría proceder en su caso sobre el único volumen requerido para el riego.

II-1.6.2 Tratamiento secundario de acuerdo a NOM-003 (reutilización)

El agua residual tratada en salida de planta de tratamiento no cumple con los objetivos de la NOM-003 que aplica en caso de una reutilización. Como veremos en la parte II-2, el cumplimiento de esta norma obliga a considerar técnicas de tratamiento más avanzadas: nuevo tipo de sistema de aeración, nuevo sistema de evacuación de agua tratada, entre otros. El cumplimiento normativo requiere de un tratamiento más avanzado que podría proceder en su caso sobre el único volumen requerido para el riego.

II-1.7 Revertir o mitigar el fenómeno de eutrofización del lago artificial (laguna)

II-1.7.1 Reducir la descarga en nutrientes

El fenómeno de eutrofización es inducido por la aportación de nutrientes minerales, por lo cual la mejor manera de revertir la situación es descargar menos nitrógeno y fósforo. La reducción del primero se lleva a cabo mediante una desnitrificación biológica en condiciones anóxicas (sin oxígeno libre) y la reducción de las concentraciones del segundo puede llevarse a cabo mediante la precipitación química del fósforo. La descarga de carbono reduce la concentración en oxígeno disuelto y la materia suspendida decanta en la laguna consumiendo a su vez oxígeno durante su descomposición y mineralización.



Reducir las concentraciones del agua tratada descargada a la laguna, es disminuir la intensidad de desarrollo del fenómeno de eutrofización. La remoción de estos nutrientes minerales requiere de un tratamiento más avanzado que podría proceder en su caso sobre el único volumen requerido para el riego.

II-1.7.2 Considerar una reserva independiente de aguas residuales tratadas

Siempre es preferible manejar la reserva de agua tratada en un espacio que se pueda vaciar y limpiar por completo para mantener condiciones óptimas de almacén. Una reserva específica, permitiría revertir el fenómeno en la laguna permitiendo estableciendo con el tiempo condiciones ecológicas más equilibradas.

II-1.7.3 Asegurar oxígeno disuelto en las zonas más profundas

En caso de seguir descargando aguas tratadas a la laguna, las zonas más profundas deberán de contar con sistemas eficientes de aeración para evitar la putrefacción de la materia orgánica en el fondo.

II-2 Condiciones técnicas para un cumplimiento normativo más estricto tipo NOM-001 C o NOM-003

Se realizaron cálculos de simulación para determinar la factibilidad técnica de cumplir con las normas más estrictas (NOM-001 C y NOM-003) considerando:

- Un flujo diario de 10,000 M³.DIA
- Los resultados acreditados de calidad del influente de la toma de muestra del 08 de octubre del 2010
- Optimizar utilizando el volumen útil de los tanques existentes



El volumen útil disponible sería suficiente para alcanzar los objetivos de tratamiento más estrictos con la única condición de incrementar el número de pozos para permitir un vacío más rápido de los reactores secuenciales. El conjunto de pozo debería aceptar un flujo de vacío mínimo 250 A 300 LPS. La disminución en los tiempos de vacío se traduce por un incremento de los tiempos de tratamiento. El conjunto de pozo actual, no permite descargar más de 150 a 170 LPS. Conservando este flujo, el volumen útil de los tanques debería incrementar de 4,375 M³ para cumplir con la NOM-001C.

SIMULACIÓN	UNIDAD	NOM-001-C	NOM-001-C
		VACIO 233 LPS	VACIO 150 LPS
REACCION	M3	6,727.00	6,727.00
DECANTACION/VACIO	M3	8,019.00	12,395.00
DIGESTOR	M3	1,522.61	1,522.61
SUBTOTAL	M3	16,268.61	20,644.61
VOLUMEN UTIL DISPONIBLE	M3	16,269.00	16,269.00
DIFERENCIA	M3	0.39	-4,375.61

Se presentan a su criterio, los datos técnicos o memoria técnica que permitirán alcanzar los objetivos de tratamiento más estricto en los anexos G. La diferencia entre los resultados entre la NOM-001 C y la NOM-003 se debe a objetivos un poco más estrictos sobre el parámetro DBO5 en el segundo caso y el parámetro nitrógeno total en el primero. Cabe mencionar que durante los tiempos de decantación y evacuación, debido a las temperaturas favorables en la zona procede parte significativa de la desnitrificación (en condiciones anoxicas).

II-2.1 Condiciones biológicas de los reactores biológicos

Se considera una carga másica o F: M de trabajo en los reactores de **0.15 Kg DBO5/kg MV** que autoriza una **remoción superior a 97% sobre el carbono**. El suministro de oxígeno procede de preferencia por medio de **difusores de burbuja fina** tipo EPDM. Sopladores de lóbulos (compresores de aire) suministran el aire. El **potencial motor** requerido no excede **250 HP** para alimentar el conjunto de reactores secuenciales. El tiempo de trabajo de los



compresores no excede 17 horas al día. Cabe mencionar que en la actualidad, el cumplimiento normativo menos estricto requiere de un total de 250 HP para los reactores, lo que ilustra la mala eficiencia de las turbinas superficiales para suministrar oxígeno.

La evacuación del agua clarificada procede por gravedad hacia el pozo (bombeo del volumen requerido para descargar a la reserva en su caso), de preferencia con un sistema de evacuación superficial con flotador o similar.

II-2.2 Condiciones para la digestión del lodo

Se considera un tiempo de **estabilización de lodos de 20 días**. El volumen del digestor es **1,523 M³ para la NOM-001 C y 1,674 M³ para la NOM-003**. El suministro de oxígeno procede de preferencia por medio de **difusores de burbuja gruesa** tipo EPDM. Sopladores de lóbulos (compresores de aire) suministran el aire. El **potencial motor** requerido **no excede 150 HP** para alimentar el estabilizador de lodo. El tiempo de trabajo de los compresores no excede 18 horas al día.

II-2.3 Condiciones para la deshidratación del lodo

El volumen diario de lodo a deshidratar es $\pm 85 \text{ M}^3\text{.día}$. El tiempo de operación del filtro banda será \pm de 10 horas por día (más tiempo de mantenimiento).

II-2.4 Condiciones para la desinfección del agua tratada

La calidad de agua en salida permite reducir el consumo de cloro. **Una dosificación de 6 ppm de cloro** permite conseguir un cloro remanente de 2 ppm. **En base a una descarga diaria de 10,000 M³.día, el consumo de hipoclorito de sodio (13%) no excede 560 litros por día.**

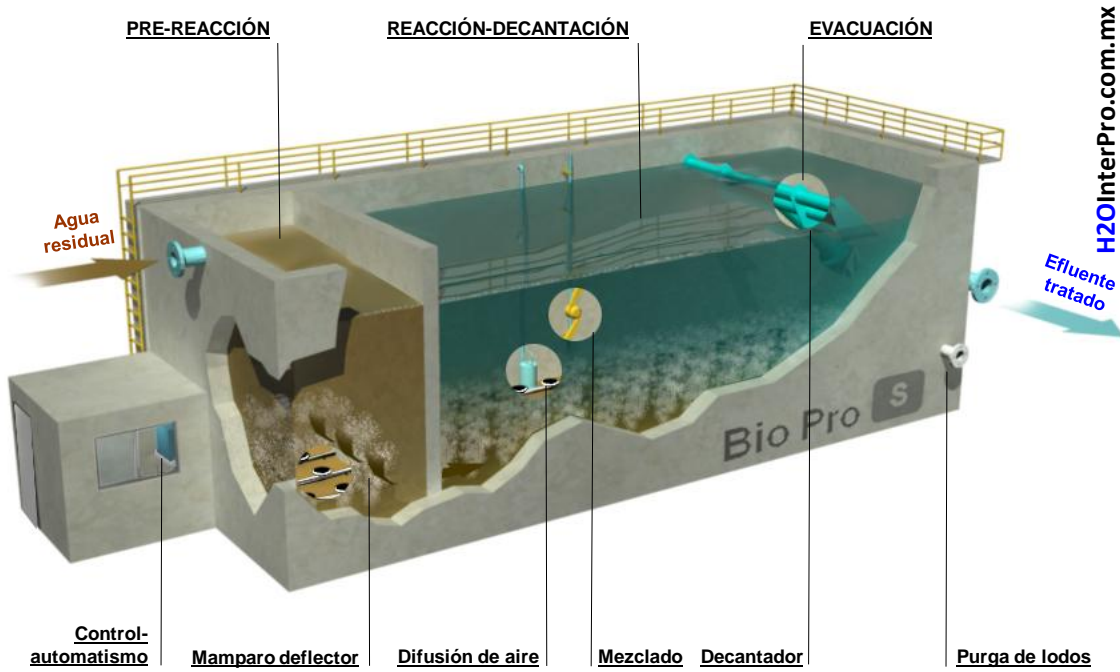
II-2.5 Integración de un sistema automático secuencial Bio Pro S de H₂O Inter Pro France

La configuración más factible sería de dividir el sistema de tratamiento secuencial en dos trenes de tanques separados controlados en forma automática. Cuando un tren está en fase de evacuación, el segundo queda disponible para recibir el agua residual bruta.

La adaptación de la tecnología **Bio Pro S** puede presentar una opción técnica interesante con un control automático del proceso mediante un PLC, la interactividad de una pantalla Touch Screen y un sistema de control a distancia GSM. Se presenta un folleto técnico en (**Anexo J**).



Tableros de control tipo **Bio Pro S**, H₂O Inter Pro France





II-2.6 Estimación del costo operativo consumos energéticos y en químicos

El costo aproximado de operación considerando los consumos energéticos (en base a un costo promedio de 1.2 pesos por KWH) y químicos (en base a un costo de 6 pesos por litro de hipoclorito de sodio y en base a un costo de \$ 120 pesos por Kg de polímero) en base a una descarga diaria de 10,000 M³ (Anexo H) no debe exceder:

\$1.40 pesos por metro cubico tratado

II-2.7 Síntesis de opciones de optimización

Se presenta a su consideración, clasificado según el nivel de prioridad, las optimizaciones que se requieren de acuerdo a los objetivos de tratamiento.

II-2.7.1 Optimizaciones requeridas para asegurar el cumplimiento de la norma local NOM-001 A

- 1- Habilitación del digester de lodos con sistema de aeración de burbuja gruesa asociado con sistema de aeración de tipo soplador de lóbulos.
- 2- Habilitación del sistema de deshidratación de lodos (central de polimerización, filtro banda, almacén temporal de lodo...)
- 3- Instalación de un sistema de cribado grueso manual y cribado fino auto
- 4- Instalación de nuevos sistemas de evacuación de agua clarificada
- 5- Habilitación de un sistema de control de flujos extraordinarios por lluvia
- 6- Habilitación de un sistema de ventilación forzada del sótano del cárcamo de bombeo para mitigar las olores sépticas



II-2.7.2 Optimizaciones requeridas para asegurar el cumplimiento de la norma de reutilización sobre un volumen de 3,000 M³.DÍA para el riego

- 7- Integración de la tecnología **Bio Pro S** a un reactor hexagonal de 3,600 M³

II-2.7.3 Optimizaciones requeridas para asegurar el cumplimiento de las normas NOM-001 C y NOM-003 sobre un volumen de 10,000 M³.DÍA

- 8- Perforación de dos nuevos pozos para incrementar el flujo de vacío (o construcción de un tanque adicional de 4,500 M³)
- 9- Integración de la tecnología **Bio Pro S** a la totalidad de los reactores secuenciales



Inter Pro France
Ingeniería del agua

III-ANEXOS

ANEXOS A: CONCENTRACIONES

Anexo A-1. Resultados de análisis acreditados del influente de la PTAR



Inter Pro France

Ingeniería del agua

**Anexo A-2. Resultados de análisis acreditados del efluente (agua tratada)
de la PTAR**



Inter Pro France

Ingeniería del agua

Anexo A-3. Comparativos entre resultados de análisis acreditados del efluente (agua tratada) de la PTAR y la normas oficiales mexicanas



Inter Pro France

Ingeniería del agua

Anexo A-4. Comparativos entre resultados de análisis acreditados del influente (agua bruta) de la PTAR y concentraciones típicas de aguas residuales domesticas



Inter Pro France

Ingeniería del agua

Anexo A-5. Resultados de análisis acreditados del agua residual del cárcamo de re-bombeo principal



Inter Pro France
Ingeniería del agua

Anexo A-6. Resultados de análisis acreditados relativos a las características de lodos de un reactor biológico



Inter Pro France

Ingeniería del agua

Anexo A-7. Resultados de análisis acreditados relativos a las características bacteriológicas de las aguas del lago artificial (agua bombeada para riego)



**Anexo A-8. Comparación de calidad de agua residual en entrada de PTAR
y en el cárcamo de bombeo principal (hoteles)**



Inter Pro France

Ingeniería del agua

Anexo A-9. Copia del título de concesión (CONAGUA)



Inter Pro France

Ingeniería del agua

ANEXOS B: FLUJOS

Anexo B-1. Estimación de flujos de agua residuales de acuerdo a números de cuartos, viviendas y centros comerciales



Inter Pro France

Ingeniería del agua

Anexo B-2. Estimación de flujos de agua residual de acuerdo a lecturas de flujo en PTAR



Inter Pro France

Ingeniería del agua

Anexo B-3. Comparativo grafico de flujos de agua residuales



Inter Pro France

Ingeniería del agua

ANEXOS C: Diagrama de flujo



Inter Pro France
Ingeniería del agua

ANEXOS D: Mediciones de oxígeno disuelto

ANEXO D1: Mediciones de oxígeno disuelto en los reactores biológicos



Inter Pro France

Ingeniería del agua

ANEXO D2: Mediciones de oxígeno disuelto en aguas residuales brutas

ANEXO D3: Mediciones de oxígeno disuelto en laguna



Inter Pro France

Ingeniería del agua

ANEXO E: el fenómeno de eutrofización



Inter Pro France

Ingeniería del agua

ANEXOS F: Folleto de filtro banda



Inter Pro France
Ingeniería del agua

ANEXOS G: Memoria técnica

ANEXO G1: resultados de cálculos considerando la NOM-001 A



Inter Pro France
Ingeniería del agua

ANEXO G2: resultados de cálculos considerando la NOM-001 C

ANEXO G3: resultados de cálculos considerando la NOM-003 (reutilización)



Inter Pro France

Ingeniería del agua

**ANEXOS H: Simulación de costo operativo considerando cumplimiento
NOM-001C o NOM-003**



Inter Pro France

Ingeniería del agua

ANEXO I: Características electromecánicas de equipos instaladas



Inter Pro France

Ingeniería del agua

ANEXO J: Bio Pro S



Inter Pro France
Ingeniería del agua

ANEXO K: Planos



Inter Pro France

Ingeniería del agua

ANEXO L: Galería fotográfica



Inter Pro France

Ingeniería del agua

ANEXO M: Opción técnica tipo para remoción de H₂SO₄