



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA
PARA REACTOR BIOLÓGICO DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE 300 LPS DE
CAPACIDAD, CONSIDERANDO TRES PROCESOS DE
TRATAMIENTO, DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS,
LADOS ACTIVADOS Y FILTROS PERCOLADORES**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

P R E S E N T A

GONZÁLEZ MATÍAS JOSÉ LUIS

DIRECTOR DE TESIS

M.C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/067/15

Señor
JOSÉ LUIS GONZÁLEZ MATÍAS
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA PARA REACTOR BIOLÓGICO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE 300 LPS DE CAPACIDAD, CONSIDERANDO TRES PROCESOS DE TRATAMIENTO, DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS, LODOS ACTIVADOS Y FILTROS PERCOLADORES"

- INTRODUCCIÓN
- I. ALTERNATIVAS DE PROCESOS DE TRATAMIENTO
 - II. DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS (BIODISCOS)
 - III. LODOS ACTIVADOS
 - IV. FILTROS PERCOLADORES
 - V. ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO (CASO ESTUDIO)
 - VI. RESULTADOS
 - VII. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 10 de agosto del 2015.
EL PRESIDENTE

M.I. GERMÁN LÓPEZ RINCÓN

GLR/MTH*gar.

“Los dos días más importantes de tu vida es el día en que naces y el día en que descubres por qué.”

Mark Twain

- Toda enseñanza tiene su origen, el aprender a valorar, el apoyar, el estar siempre en forma incondicional, a mis padres: María Matías Candía y Atilano González Molina gracias.
- A mis compañeros de viaje en este autobús llamado vida mis hermanos: Mary, María Elena, Verónica y Manuel, Nico te llevo en mi corazón.
- A mi Padawan, que siempre me pone a prueba, que sabe cómo hacer para que demuestre que en verdad he aprendido, Luis Ali.
- A quienes con su exigencia, su esfuerzo por enseñar, su experiencia, su dedicación, su talento, a los ingenieros profesores de la Facultad de Ingeniería.
- A todas aquellas personas que directa o indirectamente estuvieron, y fueron, gracias por las coincidencias y las oportunidades.

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA PARA REACTOR BIOLÓGICO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE 300 LPS DE CAPACIDAD, CONSIDERANDO TRES PROCESOS DE TRATAMIENTO, DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS, LODOS ACTIVADOS Y FILTROS PERCOLADORES.

Contenido

INTRODUCCIÓN

I. ALTERNATIVAS DE PROCESOS DE TRATAMIENTO.

- I.1. Tratamiento primario.
- I.2. Tratamiento secundario.
- I.3. Tratamiento terciario o avanzado.
- I.4. Procesos físico-químicos.
 - I.4.1. Etapas del proceso.
 - I.4.2. Clarifloculación.
- I.5. Procesos biológicos.
- I.6. Selección del proceso de tratamiento.

II. DISCOS BIOLÓGICO ROTATORIOS (BIODISCOS).

- II.1. Descripción del proceso.
- II.2. Aspectos microbiológicos.
- II.3. Necesidades de pretratamiento y sedimentación final.
- II.4. Criterios de diseño.
 - II.4.1. Carga hidráulica.
 - II.4.2. Velocidad de rotación del medio.
 - II.4.3. Carga orgánica superficial.
 - II.4.3.1. Volumen del tanque.
 - II.4.3.2. Factores que afectan el diseño.
 - II.4.3.2.1. Temperatura.
 - II.4.3.2.2. Carga orgánica constante.
 - II.4.4. Criterios específicos.
- II.5. Diseño del sistema de tratamiento por el proceso de discos biológicos rotatorios.
- II.6. Operación de sistemas de discos biológicos.

III. LODOS ACTIVADOS.

- III.1. Descripción del sistema de tratamiento por el proceso de lodos activados convencional.
- III.2. Factores esenciales del proceso.
- III.3. Variaciones del proceso.
- III.4. Parámetros típicos de diseño para los diferentes procesos de lodos activados.
- III.5. Diseño del sistema de tratamiento por el proceso de lodos activados convencional.
 - III.5.1. Diseño del reactor biológico por el proceso de lodos activados convencional para un gasto medio de 300 lps.
 - III.5.1.1. Cálculo de la tasa de recirculación de SSVLM (sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado).
 - III.5.1.2. Cálculo de la DBO de alimentación combinada (S_0).
 - III.5.1.3. Cálculo del tiempo de residencia en el reactor.
 - III.5.1.4. Cálculo del volumen del reactor.
 - III.5.1.5. Cálculo de la producción neta de los SSVLM.
 - III.5.1.6. Cálculo del lodo de desecho (Q'') y del efluente neto (Q').
 - III.5.1.7. Cálculo de la concentración de sólidos suspendidos no volátiles ($\Delta X_{N,v}$) y la producción total de lodos ΔX_t .
 - III.5.1.8. Cálculo de requerimientos de oxígeno.
- III.6. Alternativas de equipos de aireación.
 - III.6.1. Aireadores superficiales.
 - III.6.2. Aireadores sumergibles.
 - III.6.2.1. Selección del equipo de acuerdo a las curvas de comportamiento.
 - III.6.3. Aireadores de desplazamiento positivo y sopladores centrífugos de alta eficiencia.

IV. FILTROS PERCOLADORES.

- IV.1. Descripción del proceso.
 - IV.1.1. Medio filtrante.
 - IV.1.2. Sistema de distribución.
 - IV.1.3. Sistema de bajo dren.
- IV.2. Proceso de depuración de aguas residuales.

- IV.3. Aplicaciones de los filtros percoladores.
- IV.4. Consideraciones de diseño.
 - IV.4.1. Carga de los filtros.
 - IV.4.2. Recirculación de los filtros.
 - IV.4.3. Condiciones de operación.
- IV.5. Diseño del sistema de tratamiento.
 - IV.5.1. Datos de proyecto.
 - IV.5.2. Cálculos de diseño.
 - IV.5.3. Cálculo del empaque del medio filtrante.
 - IV.5.4. Cálculo de la potencia del equipo bombeo.

V. ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO. (CASO ESTUDIO)

- V.1. Análisis técnico.
 - V.1.1. Análisis técnico de discos biológicos rotatorios, (Biodiscos).
 - V.1.1.1. Pre arranque, arranque y operación normal.
 - V.1.1.2. Control de proceso.
 - V.1.1.2.1. Inspección del equipo.
 - V.1.1.2.2. Eficiencia de tratamiento.
 - V.1.1.2.3. Observación de la película biológica.
 - V.1.1.3. Problemas operacionales.
 - V.1.1.3.1. Pérdidas de la película biológica.
 - V.1.1.3.2. Color anormal de la película biológica.
 - V.1.1.3.3. Disminución de la eficiencia de tratamiento.
 - V.1.1.3.4. Acumulación de sólidos.
 - V.1.2. Análisis técnico de lodos activados.
 - V.1.2.1. Problemas operacionales.
 - V.1.2.2. Tanque de aireación.
 - V1.2.2.1 Problemas en el tanque de aireación.
 - V.1.2.2.2. Problemas de espuma.
 - V.1.3. Análisis técnico de filtros percoladores.
 - V.1.3.1. Problemas más comunes de operación.
 - V.1.3.1.1. Proliferación de moscas.

- V.1.3.1.2. Olores.
- V.1.3.1.3. Taponamientos.
- V.1.3.1.4. Alta cantidad de sólidos suspendidos en el efluente.
- V.1.3.1.5. Congelamientos.
- V.2. Determinación de presupuestos.
- V.2.1. Costos de obra civil y equipamiento para el proceso de discos biológicos rotatorios.
- V.2.2. Costos de obra civil y equipamiento para la alternativa del proceso de lodos activados con aireadores superficiales.
- V.2.3. Costos de obra civil y equipamiento para la alternativa del proceso de lodos activados aireadores sumergibles.
- V.2.4. Costos obra civil y equipamiento para la alternativa del proceso de lodos activados aireadores de desplazamiento positivo.
- V.2.5. Costos de obra civil y equipamiento para la alternativa del proceso de lodos activados con aireadores tipo centrífugos de alta eficiencia.
- V.2.6. Costos de obra civil y equipamiento para la alternativa por el proceso de filtros percoladores.

VI. **RESULTADOS.**

- VI.1. Análisis de resultados económicos de las alternativas de tratamiento.
- VI.2. Costo por metro cubico de agua tratada.

VII. **CONCLUSIONES.**

- VII.1. Aspectos técnicos y económicos.
- VII.1.1. Discos biológicos rotatorios.
- VII.1.2. Filtros percoladores.
- VII.1.3. Lodos activados.

INTRODUCCIÓN.

Las condiciones climáticas, uso irracional del agua, políticas públicas que no han sido llevadas a buen término, entre otros aspectos, han ocasionado problemas en la generación de agua potable, además de una población en constante crecimiento que demanda el vital líquido.

Entonces a medida que aumenta la demanda de agua potable es obligado utilizar agua tratada para riego de áreas verdes, procesos industriales, lavado de autos, limpieza, etc., de esta forma se libera el agua que antes era destinada para estos usos y se encauza el líquido para primer uso en la población, esto aunado a recomendaciones de ahorro de agua llevaría a lo que podría llamarse una *cultura de uso agua*. Es necesario que las instituciones encargadas de la administración de los recursos hídricos implementen o refuercen las campañas de concientización en la población para el uso de agua potable, así mismo exigir a las industrias que sus efluentes vertidos sean tratados y mitigar el impacto de contaminación hacia cuerpos receptores de agua. Una vez construidos o instalados los sistemas de tratamiento es preciso llevar a cabo las recomendaciones de operación y mantenimiento en equipos, motores y unidades de proceso, de igual forma es necesario tener personal capacitado y comprometido en la operación de las plantas de tratamiento para que de esta forma las eficiencias de tratabilidad exigidas en el efluente, se comporten de manera consistente y sea mínima la variabilidad de resultados.

En el proceso de tratamiento de agua residual es necesario abatir costos de producción de agua tratada, este es uno de los objetivos principales del diseñador de sistemas de tratamiento o de los encargados de los organismos operadores de agua de cada localidad o municipio, planteando el diseño óptimo que de acuerdo a las características físico-químicas del agua residual, funcione eficientemente produciendo un efluente que cumpla con los requisitos enunciados en las normas vigentes. Abatir los costos en la construcción o en la fabricación de las unidades de tratamiento, así como en la operación y mantenimiento favorece el funcionamiento de los sistemas de depuración de aguas residuales.

Dentro de los procesos unitarios que constituyen una planta de tratamiento de aguas, el reactor biológico es uno de más utilizados y se complementa con los procesos unitarios que están antes y después del mismo.

Este trabajo, se seleccionó una parte del proyecto ejecutivo el cual se realizó para la Junta de Agua Potable y Alcantarillado (JAPAC) organismo operador de aguas de la Ciudad de Culiacán, Sin., en los años 2003 al 2004 cuyo contrato fue asignado a la empresa *Muñoz Esquerre*, los datos de diseño que se utilizaron en el análisis son un extracto que se empleo para la elaboración del estudio Proyecto Ejecutivo, el proceso debería tener un nivel de tratamiento secundario, cuyo gasto medio fue de 300 lps, debiendo proponerse dos módulos de 150 lps cada uno, el efluente sería dispuesto a un cuerpo receptor de agua denominado Dren Chiricahueto, cumpliendo con la norma NOM-ECOL-001-1996.

Así, el presente trabajo tiene como objetivo, analizar la factibilidad técnico-económica de un Reactor Biológico considerando tres tipos de procesos, siendo el reactor la parte central de todo sistema de tratamiento secundario, por lo que los procesos unitarios previos al mismo como son: pretratamiento (cribas, desarenadores, cárcamo de bombeo), sedimentadores primarios; y los subsecuentes a él como: sedimentadores secundarios, filtros de arenas, tanques de desinfección y obras complementarias no fueron sujetos de análisis en el presente trabajo, esto no quiere decir que sean menos importantes, ya que dichas unidades son complemento al reactor biológico para conseguir el saneamiento del agua residual y alcanzar las eficiencias de remoción requeridas en el efluente. Los planos realizados fueron únicamente de los reactores biológicos de cada alternativa y a manera de información en los anexos se incluirá un plano de arreglo general del Proyecto Ejecutivo Final.

El agua residual considerada fue de tipo doméstica de concentración media, por lo que se plantearon procesos biológicos para su depuración, quedando exentos de este análisis, los sistemas físico-químicos.

Para el análisis de obtención de costos de construcción se determinó utilizar conceptos generales de la obra tales como: excavación, plantilla de concreto simple, cimbra aparente, concreto premezclado, acero de refuerzo y equipamiento, este último concepto dependerá del proceso de tratamiento que se analice.

I. ALTERNATIVAS DE PROCESOS DE TRATAMIENTO.

Las aguas residuales generadas por la población es el resultado de las actividades que se hacen en diferentes usos y pueden ser de tipo domestica-habitacional, comercial, industrial y están compuestas por desechos de agua y residuos característicos de cada uso en particular.

La acumulación del agua residual sin tratar aunado a la descomposición de la materia orgánica que viene intrínseca en el líquido ocasiona malos olores, además de contener varios organismos patógenos que originan enfermedades. Pero, también el agua residual contiene nutrientes los cuales pueden ser propicios para estimular el crecimiento de plantas acuáticas y a su vez pueden contener componentes tóxicos. Es importante ahora saber que contaminantes deben ser removidos para protección del medio ambiente, para esto se necesita un análisis de las condiciones y necesidades locales, incorporando la metodología con diseños de ingeniería en base a la experiencia y cumpliendo con la normatividad vigente.

Hay diversos métodos de tratamiento de aguas residuales en los que se aplica las fuerzas físicas predominantes en las operaciones unitarias. Los métodos de remoción de contaminantes es utilizando proceso químicos o bacteriológicos y las reacciones son conocidas en las unidades de proceso.

Las operaciones unitarias y las unidades de proceso son agrupadas conjuntamente para proveer lo que se llaman Tratamiento Primario, Tratamiento Secundario y Tratamiento Terciario o Avanzado.

I.1. Tratamiento primario.

La finalidad del tratamiento primario, es la eliminación de residuos sólidos y partículas en suspensión, entre las operaciones que se utilizan están, la filtración, la sedimentación, la flotación, la separación de aceites y la homogenización, utilizando procesos mecánicos en base a rejillas, cribas para separar los desechos de mayor tamaño como palos, piedras, etc., y en algunos sistemas se implementan trituradores para los objetos grandes con la

finalidad de no obstruir esta etapa de tratamiento, es importante el retiro de la gran cantidad de sólidos para evitar que se dañen los equipos que complementan el tratamiento primario.

En el tratamiento primario se puede llegar a eliminar alrededor del 60 % de los sólidos en suspensión y el 35 % de los materiales orgánicos (35 % de la demanda bioquímica de oxígeno).

I.2. Tratamiento secundario.

En el tratamiento secundario son utilizados procesos químicos o biológicos para remoción de materia orgánica. Entre las operaciones que se utilizan en el tratamiento secundario de las aguas contaminadas están: el proceso de lodos activados, la aireación u oxidación total, filtración por goteo y el tratamiento anaerobio.

El tratamiento secundario de aguas negras es un proceso biológico que utiliza bacterias aerobias como un primer paso para remover hasta cerca del 90 % de los desechos biodegradables que requieren oxígeno. El agua pasa a un tanque de aireación en donde se lleva a cabo el proceso de degradación de la materia orgánica y posteriormente pasa a un segundo tanque de sedimentación.

El tratamiento secundario más común para el tratamiento de aguas negras es él denominado -Lodos Activados-. Las aguas negras que provienen del tratamiento primario pasan a un tanque de aireación en donde se inyecta aire o en algunos casos, oxígeno desde el fondo del tanque para favorecer el crecimiento rápido de las bacterias y otros microorganismos. Las bacterias utilizan el oxígeno para descomponer los desechos orgánicos de las aguas negras así entonces los sólidos en suspensión y las bacterias forman el lodo activado, éste se deja sedimentar y luego es llevado a un tanque digestor aeróbico para que sea degradado. Finalmente el lodo activado es utilizado como fertilizante en los campos de cultivo, puede ser incinerado o transportado a disposición final.

Otras plantas de tratamiento de aguas negras utilizan un dispositivo llamado filtro percolador en lugar del proceso de lodos activados. En este método, las aguas negras a las que les han sido eliminados los sólidos grandes, son rociadas sobre un lecho de piedras de aproximadamente 1.80 metros de profundidad. A medida que el agua se filtra entre las piedras entra en contacto con las bacterias que descomponen a los contaminantes orgánicos. A su vez, las bacterias son consumidas por otros organismos presentes en el filtro. Del tanque de aireación o del filtro percolador se hace pasar el agua a otro tanque para que sedimenten los lodos activados. El lodo sedimentado en esta unidad se puede enviar de nuevo al tanque de aireación mezclándolo con las aguas negras que se están recibiendo o se separa, se trata, y luego se tira o se entierra.

Una planta de tratamiento de aguas negras produce grandes cantidades de lodos que se necesitan eliminar como desechos sólidos. El proceso de eliminación de sólidos de las aguas negras no consiste en quitarlos y tirarlos, sino que se requiere tratarlos antes de tirarlos y su eliminación es muy complicada y costosa.

Como los tratamientos primario y secundario de aguas negras no eliminan a los nitratos ni a los fosfatos, éstos contribuyen a acelerar el proceso de eutroficación de los lagos, de las corrientes fluviales de movimiento lento y de las aguas costeras.

También los tratamientos primario y secundario de las aguas negras no eliminan productos químicos persistentes como los plaguicidas, ni los radioisótopos de vida media grande, los ambientalistas los consideran insuficientes, limitados e imperfectos, por lo que exigen que se deba hacer un mejor tratamiento de las aguas negras y de los desechos industriales, así como evitar una sobrecarga.

Entre el tratamiento primario y secundario de las aguas negras, eliminan cerca del 90 % de los sólidos en suspensión y cerca del 90 % de la materia orgánica (90 % de la demanda bioquímica de oxígeno). Una parte de los sólidos eliminados en este tratamiento se utiliza para la elaboración de fertilizantes pero la mayor parte de ellos se usa de relleno de terrenos o se tira al mar.

I.3. Tratamiento terciario o avanzado.

Entre las operaciones que se utilizan en el tratamiento terciario de aguas contaminadas están: la microfiltración, la coagulación y precipitación, la adsorción por carbón activado, el intercambio iónico, la ósmosis inversa, la electrodiálisis, la remoción de nutrientes, la cloración y la ozonización.

A cualquier tratamiento de las aguas negras que se realiza después del tratamiento secundario se le llama tratamiento terciario y en éste, se busca eliminar los contaminantes orgánicos, los nutrientes como los iones fosfato y nitrato o cualquier exceso de sales minerales. El efluente del tratamiento terciario se pretende que sea lo más pura posible antes de ser vertido a un cuerpo de receptor de agua. Dentro de este tratamiento para eliminar los nutrientes, están la precipitación, la sedimentación y la filtración. Actualmente se aplican muy pocos tratamientos terciarios a las aguas negras domésticas.

Los procesos de tratamiento más utilizados para depuración de aguas residuales, se pueden englobar en los siguientes dos rubros: procesos físico-químicos y biológicos.

I.4. Procesos físico-químicos.

El físico-químico consiste en precipitar simultáneamente las diversas clases de contaminantes de aguas residuales, atrapadas en flóculos fáciles de eliminar del agua. Este proceso proporciona elevadas tasas de depuración en una sola etapa de tratamiento. A pesar de su uso en nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales, la versatilidad del proceso permite duplicar la capacidad y la eficiencia de las plantas pre-existentes, prácticamente sin la necesidad de obras civiles.

I.4.1. Etapas del proceso.

Los principios de coagulación y floculación utilizados en el tratamiento de agua potable fueron adoptados al proceso de tratamiento primario avanzado. En el caso de aguas residuales, se desarrollaron conceptos avanzados de dichos principios para adecuar los

parámetros de tratamiento a las características de las aguas residuales. Las etapas del proceso del tratamiento son las siguientes:

Coagulación.- La adición de una sal inorgánica de hierro (clorato o sulfato férrico) o de aluminio (sulfato o policlorato de aluminio) provoca la coagulación inmediata en las aguas residuales. Los sólidos suspendidos, la materia coloidal y los organismos patógenos son precipitados en forma de micro-flóculos. El fosfato, los metales pesados y el gas sulfhídrico son insolubilizados en los micro-flóculos. En la figura No. 1 se muestra una prueba de jarras que se realiza a un agua congénita en donde se le adiciono 650 partes por millón (ppm) de policloruro de aluminio.



Figura No. 1. Prueba de jarras con adición de policloruro de aluminio. Fuente del autor.

Floculación.- La adición de un compuesto orgánico del tipo polielectrolito aniónico genera una red de microfilamentos adhesivos dispersos en el agua residual. Esos microfilamentos forman una red que captura los micro -flóculos y causa su agregación progresiva, generando flóculos de mayor tamaño que son eliminados más fácilmente. El objetivo específico del primario avanzado es generar flóculos que tengan una mayor capacidad de capturar contaminantes y que al mismo tiempo sean estructuralmente resistentes y densos para facilitar su separación del agua. En la figura No. 2, se muestra una prueba de jarras que se realiza a un agua congénita en donde se le adiciono 20 ppm de poliacrilamida.



Figura No. 2. Prueba de jarras con adición de poliacrilamida. Fuente del autor.

Separación de sólido-líquido.- Los flóculos pueden ser removidos del agua en uno o tres niveles: en el fondo por sedimentación, en la superficie por flotación, o en la columna de agua por microtamizado. La sedimentación es un proceso adoptado en la mayoría de los proyectos por utilizar la fuerza de gravedad que es perpetua, constante y gratuita de manera distinta a los demás procesos, los cuales dependen de energía eléctrica y equipos más complejos. Las aguas residuales tratadas o efluente, son transparentes debido a la eliminación casi total de sólidos suspendidos, de los organismos patógenos y de la mayor parte de demanda bioquímica de oxígeno y de fósforo de las aguas residuales. La disposición final del agua tratada es por lo general precedida por una desinfección final del efluente a través cloro o rayos ultravioleta. En la figura No. 3, se muestra la prueba de jarras de una agua congénita en la que se observa el floculo sedimentado.



Figura No. 3. Prueba de jarras con floculo sedimentado. Fuente del autor.

Los procesos físico-químicos son utilizados en el tratamiento de aguas residuales provenientes de industrias como son: metal-mecánica, textil, lavandería, alimenticia, automotriz, petrolera, química, petroquímica, minera, galvanoplastia, agropecuaria y otras más.

Estas aguas se caracterizan por estar constituidas por una dispersión de partículas sólidas o líquidas en agua y que son difíciles de eliminar utilizando procedimientos como pueden ser gravedad, filtración y otros. El tamaño de las partículas oscila entre 0.01 a 5 micras y son bastante estables de tal forma que pueden permanecer en dicha condición por bastante tiempo. Esta estabilidad se logra mediante un fenómeno físico-químico de cargas eléctricas entre las partículas dispersas.

Prácticamente en la mayor parte de las industrias se pueden presentar este tipo de condiciones sobre todo cuando existen compuestos del tipo emulsificantes, los que favorecen la formación de soluciones coloidales que en el caso de ser de partículas líquidas se conocen como emulsiones.

I.4.2. Clarifloculación.

El proceso de clarifloculación está relacionado a los procesos de floculación o a una precipitación seguida de una separación líquido-sólido por decantación o por flotación. En algunas ocasiones se emplea una separación por filtración o por tamizado, en cuyo caso sólo permiten una depuración parcial, también pueden usarse inmediatamente antes de un proceso biológico, bajo las siguientes situaciones:

- En forma permanente para los casos en donde se trate de aguas residuales mixtas, urbanas e industriales muy cargadas.
- En forma temporal, cuando los vertidos de una comunidad cuyo número de usuarios es muy variable.

Para un agua residual urbana de origen esencialmente doméstico y sin grandes variaciones de contaminación, son menos eficaces frente a la contaminación orgánica que los tratamientos biológicos; su operación generalmente es más costosa y producen mayor cantidad de lodos. Su principal ventaja reside en su respuesta prácticamente inmediata a toda variación importante de carga; son los únicos que permiten un funcionamiento discontinuo de las plantas de depuración de aguas residuales de conjuntos habitacionales de fin de semana, campings, hoteles o ciertas instalaciones de deportes de invierno.

El uso de nuevos floculantes o ayudantes de floculación minerales y orgánicos permite una mejor adaptación de los reactivos a las diversas calidades de aguas residuales y resolver al mismo tiempo los gastos de operación, muchos problemas cuya solución habría sido imposible hace 10 años. Deben citarse en favor de los tratamientos físico-químicos, los buenos resultados que con los mismos se han conseguido en la eliminación de fosfatos, mediante la adición de sales metálicas o cal.

- *Ventajas del proceso físico-químico sobre el proceso biológico.*

Una de las grandes ventajas de los tratamientos físico-químicos es la obtención de un efluente muy clarificado, aunque la remoción de materia orgánica disuelta sólo sea del 50 al 60 %. Esta limitación ha mejorado considerablemente con la integración al sistema de la adsorción con carbón activado.

Dentro de las ventajas de los tratamientos físico-químicos sobre los biológicos, están las siguientes:

- El sistema físico-químico generalmente no se ve afectado por materiales tóxicos, de hecho el tratamiento físico-químico es muy efectivo en la remoción de los metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos.
- El espacio requerido es menor que el necesario para un sistema biológico.
- El tratamiento alcanza, casi inmediatamente al arrancar las eficiencias del diseño.

- El sistema físico-químico es menos sensible que el biológico a las variaciones del influente en flujo y en calidad.
- El proceso es efectivo para remover metales pesados, orgánicos no biodegradables, color y fósforo, en un porcentaje mayor que los tratamientos biológicos.
- El proceso físico-químico responde casi inmediatamente a los cambios en los parámetros de operación.

Las posibles desventajas de los sistemas físico-químicos son las siguientes:

- Se requiere de un influente que esté muy bien cribado.
- Los sólidos y la producción de lodos puede llegar a ser un 20% más alta que en los tratamientos biológicos.
- La concentración de los metales pesados en los sólidos pueden dificultar su disposición sobre la tierra.
- Representa un riesgo el tener que trabajar y manejar sustancias químicas.
- Hay algunos orgánicos biodegradables que son muy fáciles de eliminar por los medios biológicos (como los azúcares) pero casi no se pueden remover por los procesos físico-químicos.

A continuación se presenta un clarifloculador, donde primeramente se realizaron pruebas en laboratorio utilizando un modelo experimental, después se realizó el diseño de la unidad de tratamiento para luego pasar a la fabricación y operación. En el modelo experimental se utilizaron aguas congénitas provenientes de extracción de pozo petrolero.

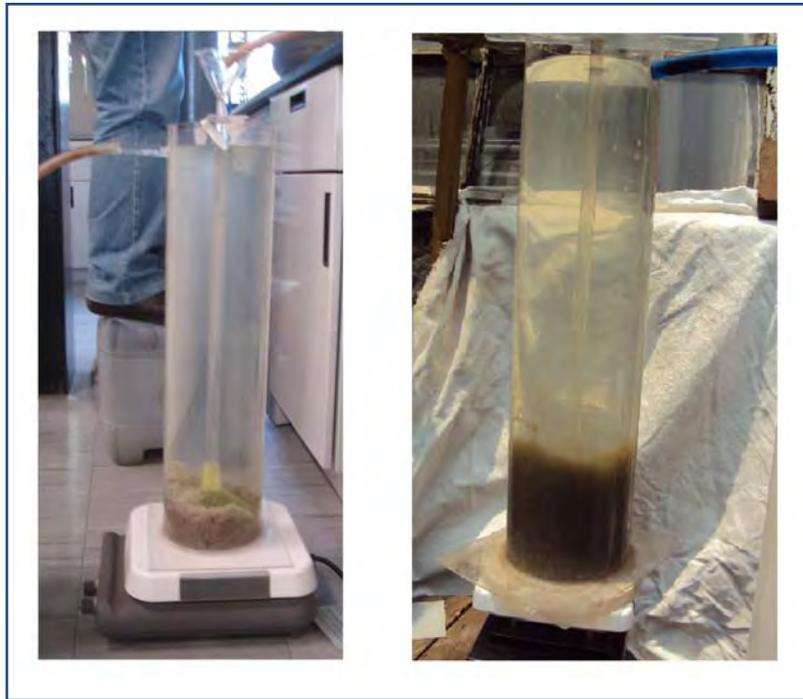


Figura No. 4. Modelo experimental de un clarifloculador. Foto del autor.

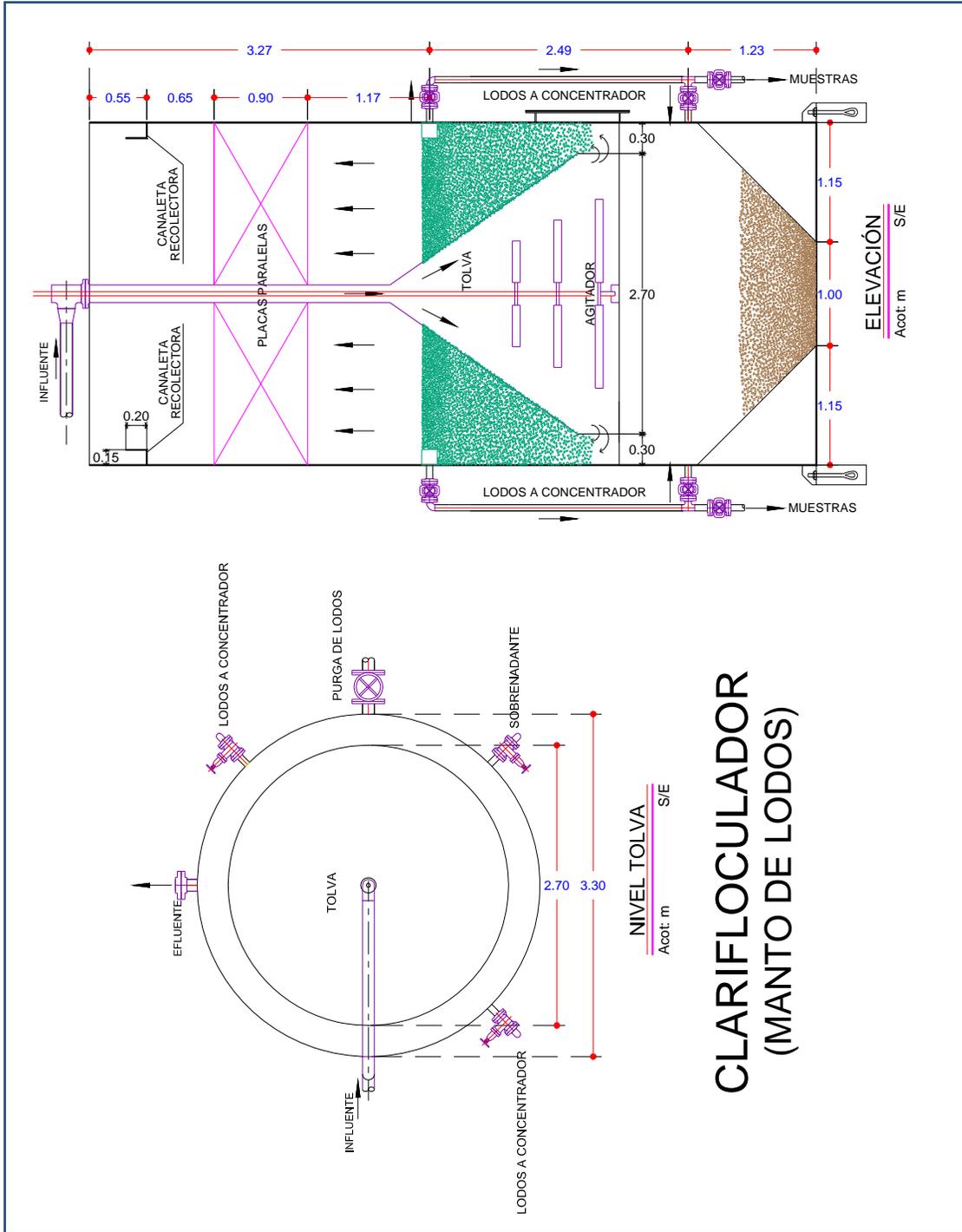


Figura No. 5. Esquema de un clarifloculador. Fuente del autor



Figura No. 6. Fabricación de un clarifloculador. Fuente del autor

I.5. Procesos biológicos.

Los tratamientos biológicos de aguas residuales constituyen un conjunto de procesos en donde se utilizan microorganismos (bacterias) para llevar a cabo la depuración del agua residual, aprovechando la actividad metabólica de los mismos sobre esos componentes. La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes (Nitrógeno y Fósforo). Es uno de los tratamientos más habituales, no solo en el caso de aguas residuales urbanas, sino en buena parte de las aguas industriales.

En la mayor parte de los casos, la materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono que necesitan los microorganismos para su crecimiento. Además, también es necesaria la presencia de nutrientes, que contengan los elementos esenciales para el crecimiento, especialmente los compuestos que contengan Nitrógeno (N) y Fósforo (P), y por último, en el caso de sistema aerobio, la presencia de oxígeno (O) disuelto en el agua.

Este último aspecto es importante al momento de elegir el proceso biológico más conveniente. En el metabolismo bacteriano juega un papel la oxidación de la materia orgánica. Este aspecto, además, tiene una importante incidencia en las posibilidades de aplicación al tratamiento de aguas la cual distinguimos tres casos:

Sistemas aerobios: La presencia de O_2 hace que este elemento sea el aceptor de electrones, por lo que se obtienen unos rendimientos energéticos elevados, provocando una importante generación de lodos, debido al alto crecimiento de las bacterias aerobias. Su aplicación en aguas residuales puede estar muy condicionada por la baja solubilidad del oxígeno en el agua.

Sistemas anaerobios: En este caso el aceptor de electrones puede ser el dióxido de carbono (CO_2) o parte de la propia materia orgánica, obteniéndose como producto de esta reducción el carbono es su estado más reducido, Metano (CH_4). La utilización de este sistema tiene, como ventaja importante, la obtención de un gas combustible.

Sistemas anóxicos: Se denominan así los sistemas en los que la ausencia de oxígeno (O_2) y la presencia de nitratos (NO_3) hacen que este último elemento sea el aceptor de electrones, transformándose, entre otros, en óxido de nitrógeno (N_2O), elemento completamente inerte. Por tanto es posible, en ciertas condiciones, conseguir una eliminación biológica de nitratos (desnitrificación).

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, existe una gran variedad de formas de operar, dependiendo de las características del agua, así como de la carga orgánica a tratar. En la figura No. 7 se observan los procesos biológicos de tratamiento más conocidos.

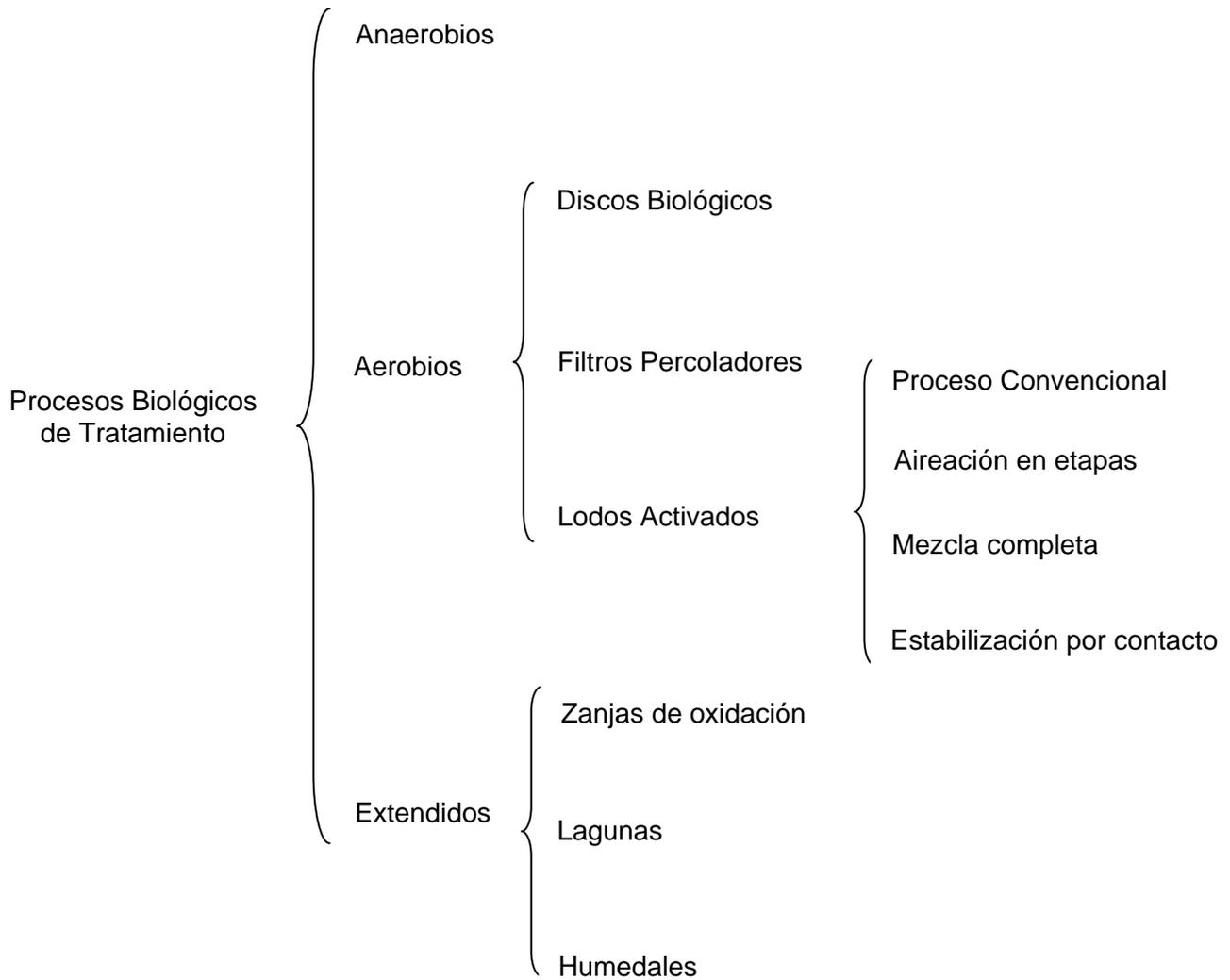


Figura No.7. Procesos biológicos de tratamiento. Fuente del autor

I.6. Selección del proceso de tratamiento.

Para el caso que nos compete se presentó al organismo operador de aguas de la ciudad de Culiacán, Sin., en el año 2003 y de acuerdo a las condiciones que se plantearon en ese momento para el desarrollo del proyecto, se utilizara un proceso tipo biológico con un nivel de tratamiento secundario. El efluente deberá cumplir con las condiciones particulares de descarga indicadas en la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001 ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES. El organismo operador proporciono los resultados de una caracterización realizada al agua residual considerada para este trabajo, observando que es tipo doméstica, en la tabla No.1 se muestran los resultados:

Tabla No.1. Caracterización del agua residual

PARÁMETRO	PROMEDIO MENSUAL	PROMEDIO DIARIO	CARGA (kd/día)	UNIDADES
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS				
Temperatura	40	40	-----	°C
Grasas y aceites	15	25	403.925	mg/l
Materia flotante	Ausente	Ausente	-----	Malla de 3 mm
Sólidos sedimentables	1	2	-----	mg/l
Sólidos suspendidos totales	75	125	2,019.925	mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	75	150	2,423.550	mg/l
Nitrógeno total	40	60	-----	mg/l
Fósforo total	20	30	-----	mg/l
CONTAMINANTES PATÓGENOS Y PARASITOS				
Coliformes fecales	1,000	2,000	-----	NMP/100ml
METALES PESADOS Y CIANUROS				
Arsénico total	0.20	0.40	-----	mg/l
Cadmio total	0.20	0.40	-----	mg/l
Cianuros totales	2.00	3.00	-----	mg/l
Cobre total	4.00	6.00	-----	mg/l
Cromo total	1.00	1.50	-----	mg/l
Mercurio total	0.01	0.02	-----	mg/l
Níquel total	2.00	4.00	-----	mg/l
Plomo total	0.50	1.00	-----	mg/l
Zinc total	10.00	20.00	-----	mg/l

De acuerdo a las condiciones particulares de descarga, el sistema de tratamiento deberá tener una eficiencia de remoción de contaminantes del 72%, y en juntas realizadas con el organismo operador, la evaluación de las alternativas de proyecto se limitará a los procesos de tratamiento aerobios compactos de película fija y suspendida, cuyas eficiencias son arriba del 80% de remoción de contaminantes, de los cuales se analizaran los siguientes:

- Discos biológicos rotatorios.
- Lodos activados.
- Filtros percoladores.

En la tabla No. 2, se muestran los parámetros del influente comparadas con cada uno los valores de cada una de las normas.

Tabla No. 2. Comparación de parámetros del influente con respecto a cada una de las normas vigentes.

Parámetro	Unidad	Influente	NOM-001	NOM-002	NOM-003
DBO _{5Total}	mg/l	350	75	30	30
SST	mg/l	229	75	40	30
pH	-----	5-10	5-10	5.5–10	5.5–10
Grasas y aceites	mg/l	60.5	15	50	15
Nitrógeno total	mg/l	53	40	NA	NA
Fosfatos totales	mg/l	3.5	20	NA	NA
Coliformes totales	N.M.P./100 ml	2000	1000	NA	1000
Sólidos Sedimentables	ml/l	2	1	5	NA
SAAM	mg/l	1	1	NA	NA
Huevos Helminto	Organismos/l	<5	<5	NA	<5

NA: No aplica
 DBO_{5Total} : Demanda bioquímica de oxígeno
 SST : Sólidos suspendidos totales
 pH : Potencial de hidrógeno
 SAAM : Sustancias activas al azul de metileno

II. DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS.

II.1. Descripción del proceso.

Este tratamiento biológico llamado contactor biológico rotatorio (CBR) comúnmente conocido como “discos biológicos”. Es un sistema aerobio de película fija el cual se utiliza para la remoción de materia orgánica soluble y nitrógeno amoniacal o para la desnitrificación de efluentes nitrificados.

Este sistema se caracteriza por su alta efectividad en el tratamiento de aguas residuales, fácil operación, poco mantenimiento, supervisión mínima y bajo consumo de energía. No obstante, su uso en nuestro país no se ha generalizado debido a que requiere gran inversión inicial; sin embargo ya se han realizado investigaciones enfocadas a la creación de esta tecnología propia tendientes a disminuir los costos y mejorar el proceso.

El principio de este proceso de tratamiento secundario es muy similar a los filtros rociadores y consiste de una serie de disco de material plástico de alta densidad (polietileno o poliestireno) de 3 a 4 metros de diámetro, soportados en una flecha horizontal instalado en un tanque de concreto. (Figura No. 8). La flecha horizontal y medio plástico (tambor) se hacen girar por medio de un mecanismo motriz acoplado a la flecha, entre 1 y 2 rpm. Manteniendo aproximadamente el 40% del área superficial del tambor sumergido en el agua residual. Los microorganismos presentes en el agua residual comienzan a fijarse y a crecer en la superficie de los discos que se cubre con una película biológica de 2 a 4 mm de espesor.

Los biodiscos (hojas planas corrugadas) al unirse, forma una estructura rígida, con un espaciado entre capa y capa de 3.2 cm. Y una densidad de área superficial de $121.4 \text{ m}^2/\text{m}^3$, permitiendo que esta unión forme canales radiales a 30° del centro del disco hacia la periferia, con el fin de asegurar que el agua residual, aire y biomasa que se desprende, pase libremente dentro y fuera del medio (Figura No. 9).

Durante la rotación el tambor acarrea una película de agua residual, la cual, al ponerse en contacto con el aire, absorbe el oxígeno requerido por los microorganismos de la película biológica fijos a los discos, los cuales remueven la materia orgánica soluble.

La acción de giro de los biodiscos ocasiona una fuerza de fricción sobre la película biológica, lo que el exceso de biomasa se desprenda de los discos manteniendo en esta forma una película de espesor constante y manteniendo la biomasa desprendida en suspensión hasta que el flujo de agua la lleve fuera del reactor para su posterior separación por sedimentación.

Esta forma de operar el sistema permite que se cumpla con los siguientes requisitos básicos:

- Proporcionar el área necesaria para el desarrollo de los microorganismos.
- Proporcionar contacto vigoroso entre la población microbiana y el agua residual.
- Mantener el sistema en condiciones aerobia, exponiendo continuamente al aire la película biológica.
- Permitir una distribución uniforme del oxígeno del aire con el sustrato soluble en la biomasa.
- Provocar un desprendimiento continuo de la biomasa en exceso, manteniéndose en esta forma el espesor de la película biológica casi constante.
- Mantener completamente mezclado el contenido del tanque, para mantener los sólidos en suspensión.

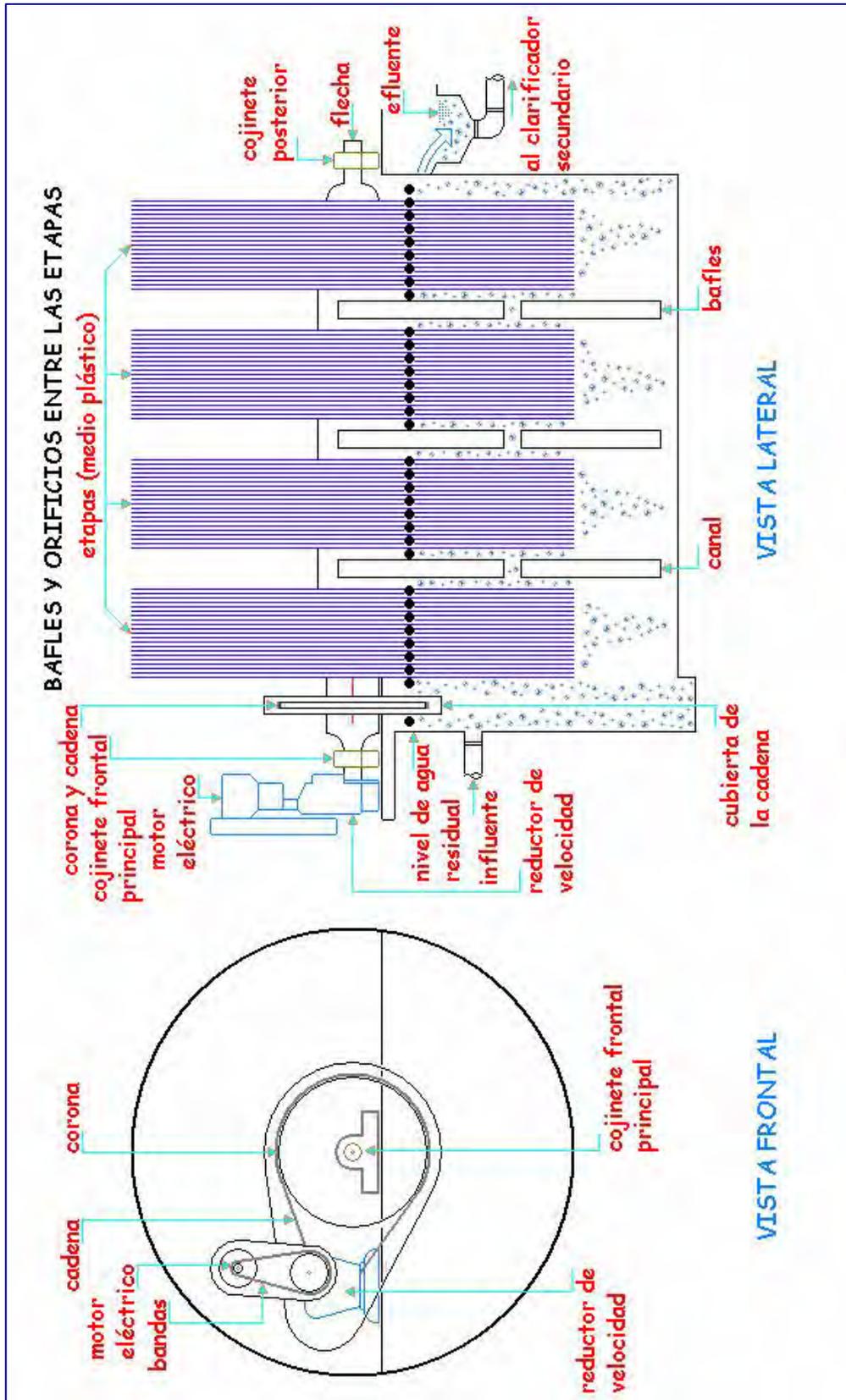


Figura No. 8. Sistema de Discos Biológicos. Fuente Operación y Mantenimiento de Discos Biológicos. SEDUE

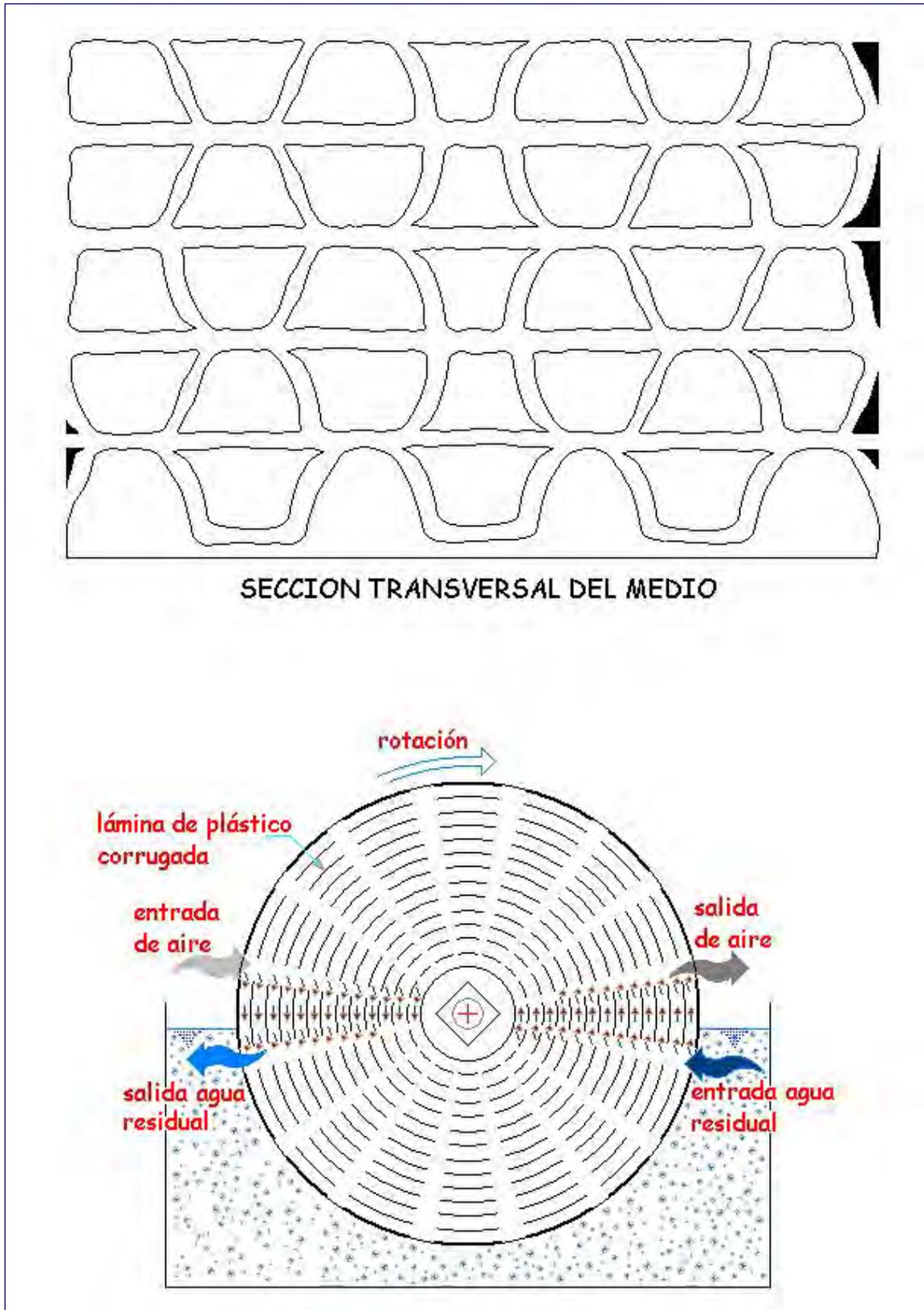


Figura No. 9. Distribución del agua residual y flujo en el medio Corrugado. Fuente Operación y Mantenimiento de Discos Biológicos. SEDUE



Figura No. 10. Disco biológico instalado. Fuente del autor.

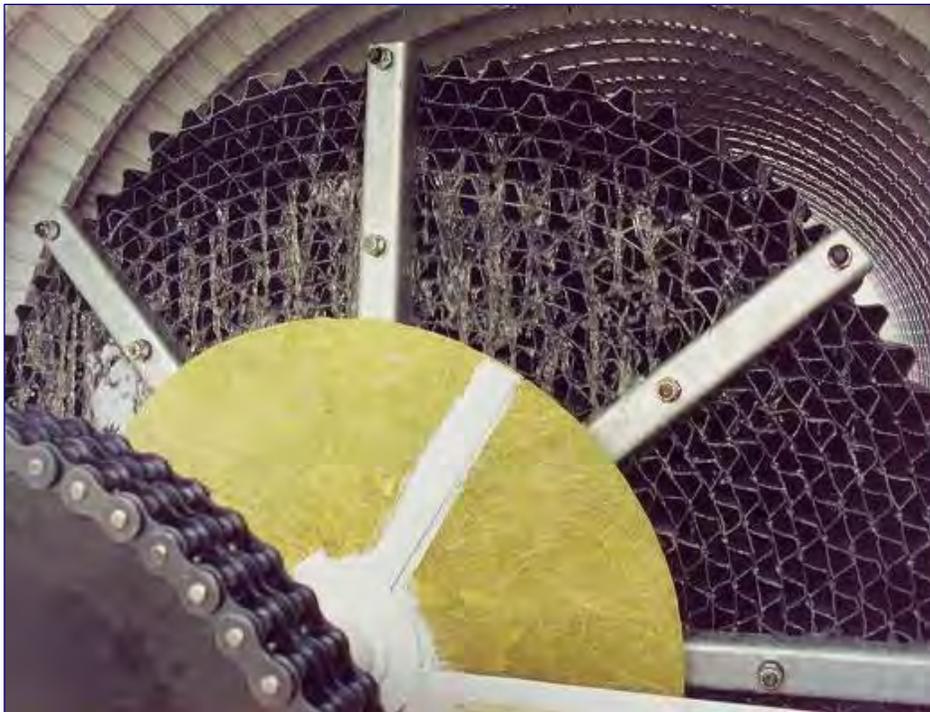


Figura No. 11. Observación de la distribución del flujo en el medio corrugado. Fuente del autor.

El sistema de discos biológicos normalmente se divide en cuatro diferentes etapas (Figura No. 8), cada etapa se separa por un baffle removible y opera con un mezclado completo en la cual se encuentra en equilibrio dinámico la tasa de crecimiento biológico y la tasa de desprendimiento de biomasa. El flujo del agua residual generalmente es paralelo a la flecha, pero puede fluir en forma perpendicular dependiendo del número de etapa a etapa. Cada baffle lleva un orificio en la parte inferior lo que permite el flujo de una etapa a otra. Esta separación es utilizada para optimizar la efectividad del área superficial del medio. Los organismos de la primera etapa son expuestos a mayores niveles de carga orgánica (DBO) y la tasa de remoción de DBO es mayor, disminuyendo a medida que se avanza en etapas.

Las plantas de tratamiento que requieren cuatro o más flechas (tambores) generalmente son dispuestas de tal forma que cada flecha actúe como una etapa individual de tratamiento, en las cuales el flujo es perpendicular a las flechas (Figura No. 12). Plantas con menos de 3 flechas son dispuestas con el flujo paralelo a las flechas.

El efluente de la última etapa del sistema, conteniendo los sólidos desprendidos de la película biológica, fluye al clarificador secundario, donde son removidos por sedimentación. En la Figura No. 13 se muestra un sistema típico de discos biológicos.

Se recomienda el uso de cubiertas sobre los biodiscos por las siguientes razones:

- Evitar que la película biológica se congele en climas fríos.
- Prevenir que las lluvias intensas laven la película biológica.
- Aislar el medio de la luz solar para prevenir el crecimiento de algas y proteger integridad estructural del medio.
- Como protección para los operadores durante el mantenimiento del equipo.

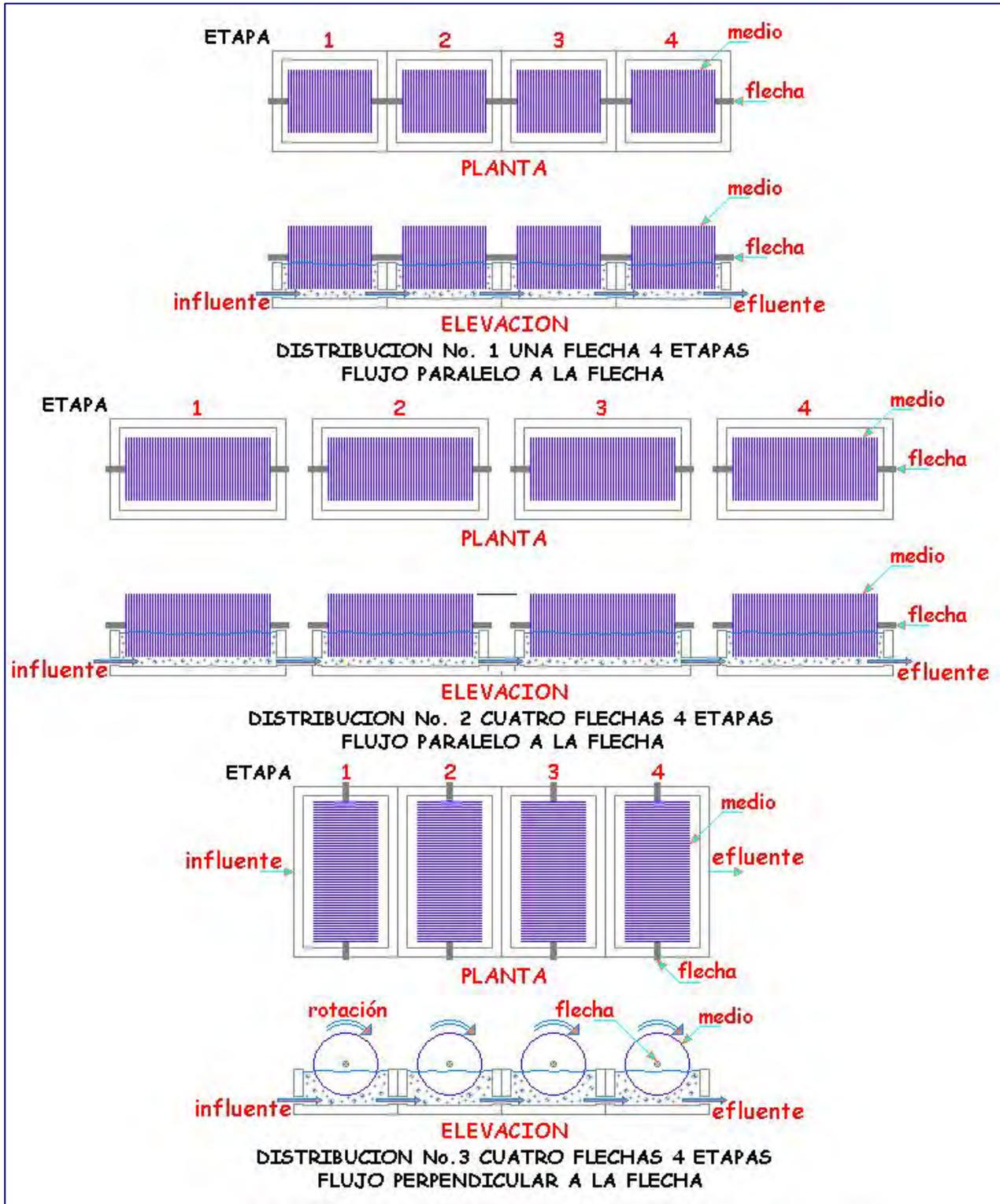


Figura No. 12. Opciones del Arreglo en un sistema de discos biológicos rotarios. Fuente Operación y Mantenimiento de Discos Biológicos. SEDUE

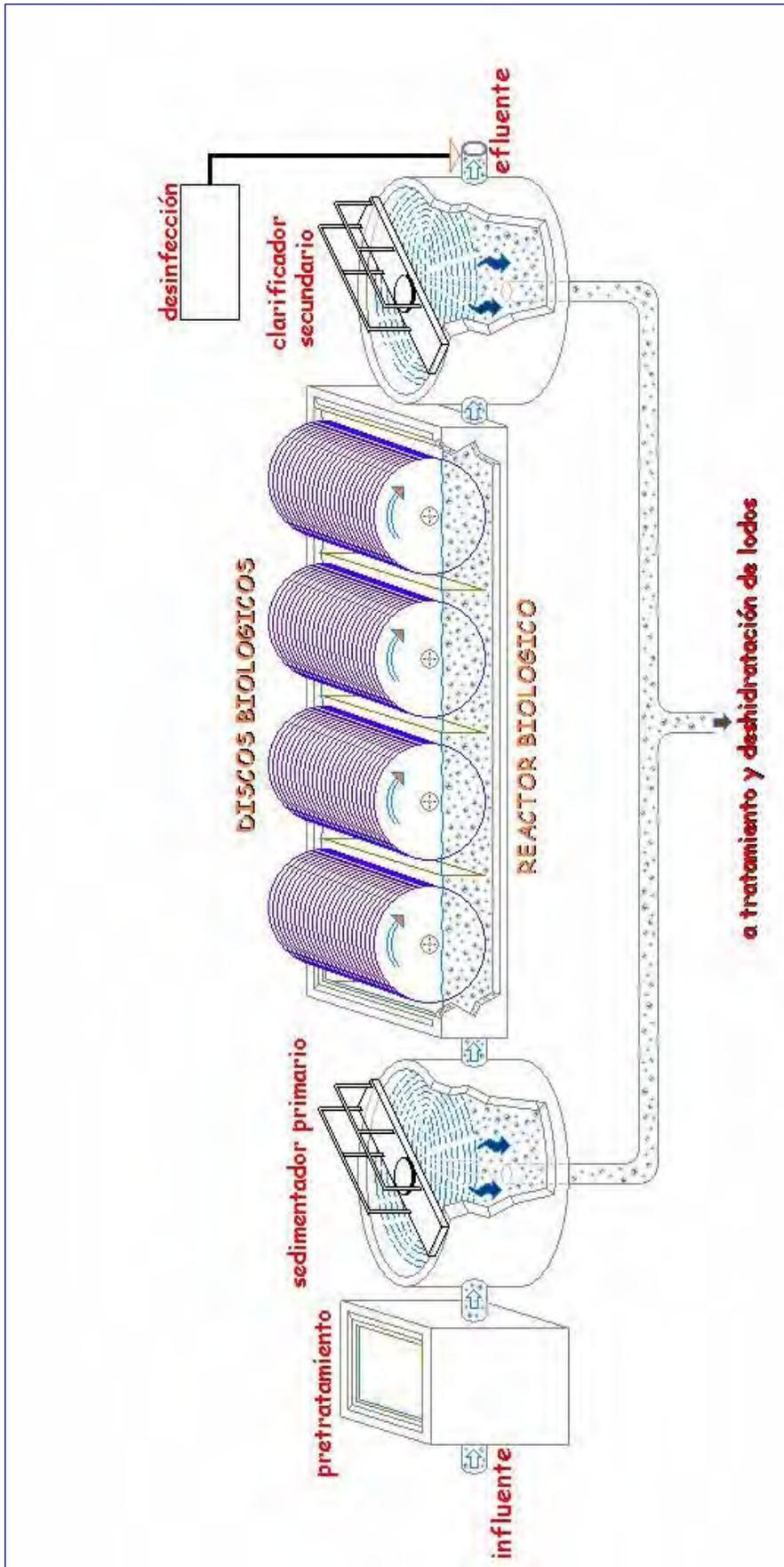


Figura No. 13. Sistema típico de discos biológicos rotatorios. Fuente Operación y Mantenimiento de Discos Biológicos. SEDUE

El material de construcción de las cubiertas debe ser resistente a la corrosión, normalmente no se requiere ventilación forzada ni calentamiento, son suficientes ventanas o respiraderos, los cuales se deben abrir en verano y cerrar en invierno. Generalmente el material utilizado es plástico, ya sea con o sin instalación térmica, dependiendo de las condiciones climáticas.

Los tanques en que se apoyan los discos, generalmente son de concreto, aunque pueden ser de cualquier otro material resistente. La forma y volumen del tanque estará en función del caudal a tratar.

II.2. Aspectos microbiológicos.

Como en todos los procesos biológicos, es de vital importancia conseguir un ambiente y control adecuado del proceso para que el agua residual pueda ser tratada, por lo tanto, compete al ingeniero diseñador y al operador lograr este ambiente.

Para entender el funcionamiento de un sistema de discos biológicos, es importante conocer la forma, estructura y actividades bioquímicas de los microorganismos.

Reportes de estudios realizados sobre el efecto de la superficie en la actividad microbiana, indican que las bacterias producen un polímero extracelular que les permite adherirse a las superficies y que esta adhesión puede ser permanente o temporal. Por otro lado, el desarrollo microbial es un proceso selectivo, es decir, primero aparecen los gusanos pequeños, algunos horas después aparecen los coco, espirilos y gusanos más grandes y finalmente se presentan los organismos estáticos y de vida libre.

Por otra parte, se ha encontrado que la densidad y morfología de la película biológica, manifestada por las diferentes especies de microorganismos presentes, depende de las concentraciones de alimento en el influente. A bajas concentraciones predominan los organismos filamentosos, mientras que a medida que aumenta la -relación alimento – microorganismos los no filamentosos (población heterogénea de microorganismos) son

los que predominan. En nuestro proceso la relación alimento/microorganismos disminuye de la primera a la última etapa, es decir en la primera etapa es donde se tendrá una mayor concentración de alimento y por lo tanto mayor crecimiento de biomasa.

El crecimiento escaso de la biomasa en las últimas etapas del sistema, se debe al desarrollo de predadores, tales como protozoarios, rotíferos y nemátodos. En sistemas de película fija, esta predación se considera como uno de los mecanismos de control del espesor de la película biológica. La presencia de rotíferos en las últimas etapas de una unidad de discos biológicos indica una remoción de materia orgánica casi total (mayor a 85%).

Observaciones recientes en la unidad de experimentación de la U.N.A.M. ubicada en paseos de las facultades, indican la siguiente distribución de microorganismos en un sistema de cuatro etapas:

1ª. Etapa: Predominan las especies de ciliados.

2ª. Etapa: Además de los ciliados se encuentran Euglena y Amoeba.

3ª. Etapa: Muchos ciliados, rotíferos y Pilidio.

4ª Etapa: Presencia de gusanos planos, ciliados y rotíferos.

La presencia de ciliados indica la estabilidad del medio, y su predominancia se debe a que éstos requieren menos energía para desarrollar sus funciones alimenticias y a que se reponen más rápido en condiciones anaerobias.

Cada tipo de microorganismo tiene sus propias características y predomina bajo ciertas condiciones, por tal motivo la observación microscópica es fundamental en la evaluación de un proceso biológico de tratamiento, ya que esta información puede ser suficiente para detectar la presencia de algún problema y para sugerir una solución.

Los mecanismos involucrados en las reacciones bioquímicas de metabolización de la materia orgánica por los microorganismos son muy complicados y sólo debemos preocuparnos por entender los mecanismos de operación de éstos y tratar de hacer un proceso a la medida de estos organismos, en vez de adaptarlos a un proceso. Es por esto que el ingeniero diseñador debe tomar muy en cuenta lo anterior, para que su diseño y operación de un sistema de tratamiento biológico cumpla con los requisitos de un proceso eficiente.

II.3. Necesidades de pretratamiento y sedimentación final.

Como todo proceso biológico, los reactores de discos biológicos deben estar precedidos por un pretratamiento, o remoción primaria de sólidos suspendidos, consistente de rejillas para gruesos, desarenadores y sedimentación primaria. El no remover estos materiales puede ocasionar sedimentación de arena y otros materiales orgánicos en el fondo del tanque de los biodiscos, reduciendo por un lado el volumen de éstos y por otro ocasionando condiciones sépticas y arrastre de la película biológica de los discos y posible atascamiento de la unidad. Es por esto que se debe contar con el equipo adecuado de tratamiento primario para obtener un buen rendimiento en el sistema de discos biológicos.

También debido a que todos los procesos biológicos se ven afectados por la presencia de sustancias tóxicas, las restricciones aplicadas a otros procesos biológicos en cuanto a calidad del influente se deben de aplicar a los sistemas de discos biológicos.

La distribución del flujo en el influente de un sistema de discos biológicos no tiene gran importancia en el rendimiento del sistema, debido a que la velocidad rotacional de los discos mantiene en mezcla casi completa todo el licor mezclado del tanque.

Los sólidos biológicos generados por el reactor rotatorio, en forma de grandes flóculos y que son desprendidos de la superficie de los discos, son mantenidos en suspensión hasta

que salen de la última etapa y son separados y procesados como lodos. La separación de esto lodos se realiza en un tanque convencional de sedimentación secundario.

Para obtener el mayor grado de remoción de la materia orgánica lograda en el reactor biológico (biodisco), el tanque de sedimentación final debe ser operado en forma correcta. Esto es, evitar que se formen condiciones sépticas en el sedimentador purgando la cantidad necesaria de lodos, para mantener un colchón, teniendo cuidado en no diluir demasiado los lodos. En la práctica esto se logra a prueba y error con el objeto de determinar la frecuencia de purgas y poder establecer, si se quiere un sistema automático de control.

II.4. Criterios de diseño.

El diseño y operación de una planta de tratamiento de aguas se basa en ciertos criterios establecidos de antemano, los cuales se han ido obteniendo con experiencias logradas a nivel piloto y en plantas de tratamiento. La mayor parte de la literatura toma como base de diseño el área superficial del disco y eficiencias de remoción de DBO y/o nitrógeno amoniacal. Algunos criterios que nos sirven como base para el diseño y operación de una planta de discos biológicos son:

II.4.1. Carga hidráulica.

En un proceso de discos biológicos, la remoción de DBO carbonosa, la oxidación de nitrógeno amoniacal y remoción de DBO última, siguen aproximadamente una cinética de primer orden. Esto permite que una carga hidráulica dada, ocurra un porcentaje de remoción específico de DBO dependiendo de la DBO soluble del influente y requerimiento de DBO total y soluble en el efluente.

La carga hidráulica sobre una unidad de discos biológicos, es la cantidad de agua residual (m^3 o ft^3) por día que fluye a través del medio rotatorio, $m^3/día - m^2$ ($ft^3/día - ft^2$). La carga hidráulica está determinada por el tiempo de retención del agua residual; a una carga

dada, el agua residual tendrá un tiempo de retención dependiente de los discos y tamaño del tanque, así, un incremento en el espaciamiento de los discos y/o el tamaño del tanque, incrementará la cantidad de agua residual dentro del tanque, lo que dará como resultado que el tiempo de retención se incremente de acuerdo a la carga hidráulica dada. La expresión que nos relaciona estos dos parámetros es la siguiente:

$$Tr = \frac{\text{Relación, volumen tanque/área superficial del medio, m}^3/\text{m}^2}{\text{carga hidráulica, m}^3/\text{m}^2 - \text{día}}$$

Donde Tr = tiempo de retención, día.

En la etapa de nitrificación, la carga hidráulica estará determinada por la DBO del influente, y concentración de nitrógeno amoniacal.

Otro propósito de diseño se recomienda que la carga hidráulica sea entre $0.03 - 0.16 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{día}$ ($0.75 - 4 \text{ gpd/ft}^2$) para remoción DBO y entre $0.03 - 0.07 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{día}$ ($0.75 - 1.8 \text{ gpd/ft}^2$) para remoción de nitrógeno, dependiendo del nivel de DBO y porcentaje de remoción de nitrógeno que se requiere lograr.

Etapas y arreglos en la planta.

Se ha determinado que si se dispone el sistema en una serie de etapas, la eficiencia de remoción aumenta considerablemente, por lo que esto se debe tomar en cuenta durante el proceso de diseño.

Cuando se opera el sistema en flujo pistón, los organismos de la primera etapa del medio son expuestos a concentraciones altas de DBO, removiendo altas tasas de DBO. A medida que la concentración de DBO decrece de etapa a etapa, la tasa de remoción de los microorganismos también decrece. Sin embargo la tasa de remoción promedio de DBO es mayor que si todo el medio fuera una sola etapa completamente mezclada, donde los organismos son expuestos a concentraciones de DBO relativamente bajas.

Por lo anterior, se recomienda construir los sistemas de discos biológicos de no menos de tres etapas, para utilizar con mayor efectividad el área superficial de los discos. Para plantas que requieren varias flechas de medio, un buen arreglo sería con más de cuatro etapas arregladas en serie. En plantas que requieren menos de cuatro flechas el arreglo puede ser en paralelo.

Cada tanque que contiene una flecha se divide en etapas y el flujo del agua residual es paralelo a las flechas. Para seccionar cada etapa se utilizan mamparas tipo imhoff con orificios sumergidos en el agua residual para permitir el paso de una etapa a otra.

II.4.2. Velocidad de rotación del medio.

La velocidad de rotación es también un importante criterio de diseño, ya que afecta el tratamiento de las aguas residuales de diferentes maneras. Hay una velocidad de rotación óptima arriba de la cual no se tendrán aumentos en los niveles de tratamiento. Esta velocidad óptima varía con la concentración de DBO en el agua residual, por ejemplo, es mayor para desechos industriales que para desechos domésticos. También, la velocidad de rotación óptima disminuye de etapa a etapa, a medida que decrece la DBO. Para aguas residuales domésticas la velocidad periférica óptima es de 18.3 m/min. (60 ft/min.), cuando las etapas del sistema giran a la misma velocidad.

La dirección de la rotación del medio no afecta la eficiencia de tratamiento, ni tampoco es un factor para seleccionar la velocidad de rotación. Cuando se tienen varias flechas instaladas en un tanque de fondo plano, se recomienda que la dirección de la rotación sea en sentido opuesto al flujo del agua residual, con el objeto de disminuir la posibilidad de algún corto circuito a lo largo del fondo del tanque.

En los sistemas de discos biológicos existe una relación entre el diámetro del disco y la velocidad rotacional (RPM), a medida que se incrementa el diámetro, debe disminuirse la

velocidad de giro con el fin de conservar una velocidad lineal (tangencial) constante, para lo cual la tasa de remoción de DBO es óptima.

La velocidad tangencial se calcula como sigue:

$$V = 2\pi RN$$

Donde:

V = Velocidad tangencial, m/min. (18.3 m/min. recomendada)

R = Radio del disco, m.

N = Revoluciones por minuto (RPM)

II.4.3. Carga orgánica superficial.

Como se mencionó al principio, los criterios de diseño para los biodiscos no están bien definidos, la tendencia actual es hacia el uso de la carga orgánica superficial, lo cual involucra los conceptos de carga orgánica y carga hidráulica. Se recomienda el uso de cargas orgánicas superficiales entre 18.4 y 28.6 kg DBO soluble/día/1000 m² (3.76 – 5.82 lb DBO sol/día/1000 pies²).

II.4.3.1. Volumen del tanque.

Otro de los factores que nos sirven de base para el desarrollo de nuestro proceso es el tiempo de retención del agua residual en el tanque portador de los biodiscos. Para una determinada carga hidráulica, el tiempo de retención estará en función de la fracción vacía dejada por el medio (espacios libres entre los discos) y del tamaño del tanque, el cual permite una mayor capacidad de tratamiento de la película biológica que cubre la superficie cubierta de los discos. Para propósitos de diseño, el volumen del tanque se mide como el volumen de agua residual retenido en el tanque por unidad de superficie cubierta de la película biológica (l/m² ó Gal/ft²). Como base de diseño se considera que el volumen óptimo del tanque para tratar aguas residuales domésticas con cargas orgánicas

hasta de 300 mg/l de DBO, es de 4.89 l/m² (0.12 gal/ft²), equivalente a 205 m² de área superficial por m³ de tanque.

II.4.3.2. Factores que afectan el diseño.

En cualquier proceso es necesario conocer las variables dependientes e independientes que lo rigen, así como del defecto que tiene sobre el sistema. A continuación se darán los factores que se consideran de mayor interés y que afectan el diseño de un sistema de tratamiento con discos biológicos.

II.4.3.2.1. Temperatura.

La temperatura del agua residual y por supuesto del ambiente, afecta el funcionamiento del sistema al igual que cualquier otro proceso de tratamiento biológico. Un descenso en la temperatura disminuye la eficiencia del tratamiento. Temperaturas entre los 13 y 32°C no tienen efecto en el funcionamiento del sistema, sin embargo, la eficiencia generalmente decrece con temperaturas menores de 13°C. Temperaturas mayores de 32°C cambian la diversidad de la población microbiana y a medida que ésta aumenta, la población dominante varía de bacterias mesófilas a termófilas (resistentes a las altas temperaturas), éstas son las menos eficientes en este tipo de proceso.

Las bacterias nitrificantes también son afectadas por la temperatura. Este tipo de bacterias tienen un intervalo muy amplio de temperatura (5-35°C) y el proceso de nitrificación no se ve afectado en un rango de 18 y 32°C.

Durante períodos bajos de temperatura es necesario disminuir el flujo de agua residual lo suficiente para mantener la eficiencia de tratamiento. Por lo tanto, se debe compensar el diseño de la planta por efectos de temperatura las temperaturas recomendables se encuentran entre los 13 y 32°C (55 y 90°F).

II.4.3.2.2. Carga orgánica constante.

Si el diseño está basado en una carga orgánica constante, deberá incrementarse al área superficial en un 25 %, para regular los efectos del flujo variable. También se debe considerar que los desechos sépticos requieren un 50% más de área superficial que los desechos domésticos.

II.4.4. Criterios específicos.

A continuación se darán los criterios que recomienda la organización no gubernamental en materia de saneamiento de agua "The Water Pollution Control Federation":

- Área sumergida del disco biológico: 40%.
- Número mínimo de etapas: 4.
- Relación óptima volumen – superficie: 4.89l/m² (0.12 gal/ft²) para una DBO – 300 mg/l en el influente.
- Carga hidráulica: 81 – 163l/día – m² (2 – 4 gal/día – ft²), para tener en el efluente de 15 – 30mg/l de DBO₅ y SS; 30 – 81 l/día m² (0.75 – 2.0 g/día ft²) para lograr un efluente de 7 – 12 mg/l de DBO₅ y SS y 1.0 mg/l o menos de nitrógeno amoniacal.
- Temperatura: 13 – 32 °C (55 – 90°F).
- Carga hidráulica superficial del sedimentador secundario: 32593 l/día–m² (800 gal/día-ft²) para obtener un efluente de 20-30mg/l de SS. De 16,300 a 24,445 l/día-m² (400-600 gal/día-ft²) para obtener en el efluente 10mg/l de SS. 16300 l/día-m² (400 gal/ft²) de flujo promedio, cuando la relación pico - promedio excede 2:1. 24,445 l/día (600 gal/día-ft²) cuando la relación pico - promedio es menor que 2:1.

II.5. Diseño del sistema de tratamiento por el proceso de discos biológicos rotatorios.

Los parámetros de diseño son los siguientes:

Qmin	=	75 lps/tren de tratamiento (6,480 m ³ /día) (1.7115 mgd)
Qmedio	=	150 lps/tren de tratamiento (12,960 m ³ /día) (3.423 mgd)
Qmax	=	296 lps/tren de tratamiento (25,574 m ³ /día) (6.7547 mgd)
DBO _{5 ent.}	=	350 mg/l
SST	=	229 mg/l.
G y A	=	60.5 mg/l.
N – total	=	53 mg/l.
P - total	=	3.5 mg/l.

Eficiencia de remoción requerida para una DBO₅ de salida de 35 mg/l (Por norma, NOM-001-ECOL-1996 indica 75 mg/l)

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{DBO entrada} - \text{DBO salida}}{\text{DBO entrada}} \times 100$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{350 \text{ mg/l} - 35 \text{ mg/l}}{350 \text{ mg/l}} (100)$$

$$\text{Eficiencia} = 90\%$$

Área requerida para el crecimiento biológico.

Para un DBO en el influente de 350 mg/l y una eficiencia de remoción del 90%, de la figura No. 14, se tiene una carga hidráulica requerida de 3.5 gpd/ft² (142.41 lpd/m²).

$$\text{Área requerida} = \frac{\text{Gasto, l/día}}{\text{carga hidráulica, l/día/m}^2}$$

$$\text{Área requerida} = \frac{300 \text{ l/seg} \times (86400 \text{ seg/día})}{142.41 \text{ l/día} - \text{m}^2} = 182,010 \text{ m}^2$$

Medio de crecimiento (Discos Biológicos).

En el mercado existen unidades estándar de 4 etapas, que miden 26 pies (7.92m) – de longitud, con un área disponible de crecimiento de 100 000 pies² (9,303 m²/unidad), por 3.60 m de diámetro.

Número de unidades requeridas:

$$\text{No. de unidades} = \frac{\text{área para crecimiento, m}^2}{\text{área disponible/unidad, m}^2}$$

$$\text{No. de unidades} = \frac{182,010 \text{ m}^2}{9,303 \text{ m}^2}$$

$$\text{No. de unidades} = 19.6 \approx 20 \text{ unidades}$$

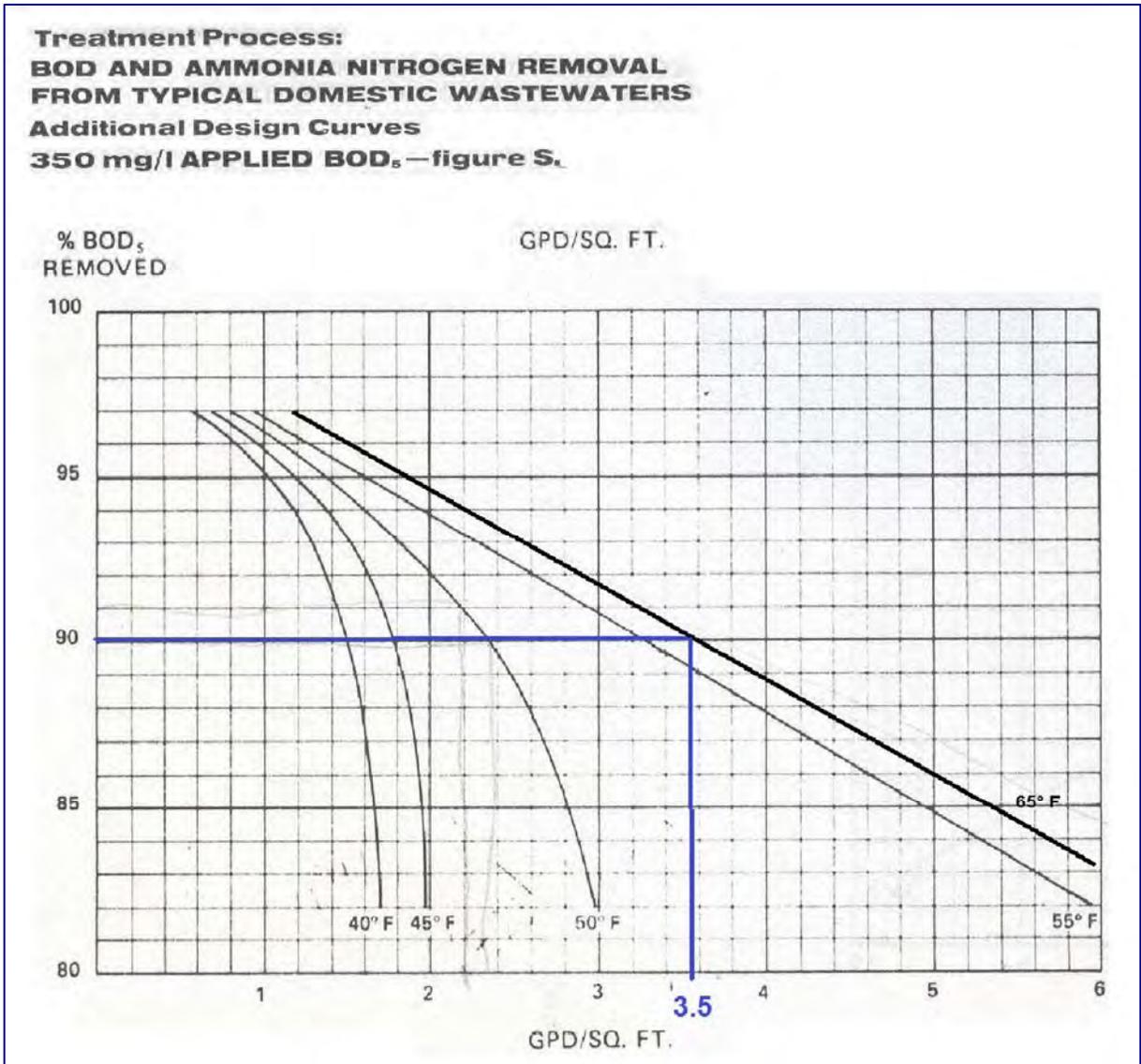


Figura No. 14. Curvas de diseño para discos biológicos rotatorios. Fuente Rotating Disc Wastewater Treatment. ENVIRODISC

No se requiere hacer corrección por temperatura, pues el factor de corrección para 20 °C es 1, sin embargo se aumentará un 20% para regular los efectos del flujo variable, por lo que el número total de discos será de 24 unidades.

Volumen del tanque.

De acuerdo con el criterio de diseño, el volumen óptimo del tanque debe cumplir:
4.9 l/m² (0.12 gal/ft²), así:

$$V = 0.0049 \frac{m^3}{m^2} \times (9,303 m^2)$$

$$V = 45.6 m^3 / \text{Tanque}$$

Velocidad de rotación.

Utilizando la velocidad periférica óptima para este tipo de unidades ($V = 18.3 \text{ m/min.}$) tendremos:

$$V = 2\pi RN$$

$$N = \frac{V}{2\pi R}; \quad \text{Con } R = 1.8 \text{ m (dentro del rango de dimensiones estándar).}$$

$$N = \frac{18.3 \text{ m/min}}{2\pi (1.8\text{m})}$$

$$N = 1.62 \text{ rpm.}$$

Tiempo de retención.

El tiempo de retención hidráulico por tanque será:

$$Tr = \frac{\text{volumen tanque, } m^3}{\text{Flujo, } m^3 / \text{min}} = \frac{45.6 m^3}{0.015 m^3 / \text{seg} \times 60 \frac{\text{seg}}{\text{min}}}$$

$$Tr = 50.7 \text{ min}$$

Energía.

En este tipo de tratamiento el consumo de energía es muy bajo, lo cual está relacionado con la velocidad rotacional (RPM) del disco. Para este caso, la energía requerida para mover los discos será suministrada por un motor eléctrico de 7.5 HP con triple reducción de velocidad.

En el anexo correspondiente a los planos se muestra el arreglo general de los discos biológicos rotatorios.

II.6. Operación de sistemas de discos biológicos rotatorios.

Las plantas de tratamiento de discos biológicos son muy fáciles de operar, sin embargo para obtener buenos resultados (buena calidad en el efluente), el operador debe estar consciente de realizar en forma adecuada y regular sus tareas de control del proceso y mantenimiento del equipo.

El operador debe tener muy en cuenta que el rendimiento del sistema de tratamiento no sólo se basa en la buena operación del reactor biológico, sino que debe también considerar el resto de las unidades, principalmente el sedimentador secundario, es decir el lodo producido en el reactor biológico debe ser separado en el sedimentador a una tasa que no se produzcan condiciones sépticas y evitando diluir demasiado el lodo.

Si un sistema de discos biológicos rotatorios está bien diseñado y es operado correctamente, podemos esperar resultados tan buenos como los obtenidos en un sistema convencional de lodos activados.

III. LODOS ACTIVADOS.

III.1. Descripción del sistema de tratamiento por el proceso de lodos activados convencional.

El proceso de lodos activados ha sido utilizado para el tratamiento de aguas residuales tanto industriales como domésticas desde principio del siglo XX, inicialmente su diseño se hacía de una manera empírica. Fue hasta después de 1960 cuando se desarrolló de una manera más racional el diseño del sistema de lodos activados. Este proceso originado de la observación hecha por largos períodos de que al airear aguas residuales ya sean domésticas o industriales el contenido de la materia orgánica se reducía notablemente y al mismo tiempo se formaba un lodo floculento.

Exámenes microscópicos de estos lodos han revelado que se encuentran formados por una población heterogénea de microorganismos que cambia continuamente en naturaleza de acuerdo a la composición del agua residual y de las condiciones ambientales. Los microorganismos presentes en todos los tipos de tratamientos biológicos son: bacterias unicelulares, hongos, algas, protozoarios y rotíferos.

El proceso de lodo activado es una técnica de tratamiento en la cual el agua residual y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque comúnmente llamado de aireación. Los sólidos biológicos son posteriormente separados del agua residual tratada en un tanque de sedimentación (clarificador secundario) y recirculados al tanque de aireación para mantener una cantidad constante de sólidos suspendidos (microorganismos).

III.2. Factores esenciales del proceso.

El proceso de oxidación biológica conocido como “lodos activados” está compuesto de cinco etapas esenciales las cuales están indicadas en la figura No. 15, en cuanto al número de procesos unitarios de tratamiento se encuentran que hay tres de los cuales

dos son esencialmente necesarios. La sedimentación primaria se incluye actualmente en el esquema de tratamiento convencional, aunque no es imprescindible, y en variaciones del proceso como “lodos activados a mezcla completa” y “zanjas de oxidación”: no se considera la inclusión de sedimentación primaria.

La primera etapa de contacto ocurre cuando el influente del proceso (agua residual cruda o sedimentada) es mezclado con el lodo recirculado del sedimentador secundario. Esto ocurre en la primera parte del tanque de aeración. A continuación se incluye una segunda etapa de aeración en donde se mantiene aeróbica esta mezcla de agua residual y lodo que se llama “licor mezclado” en agitación por medio de la introducción de oxígeno, ya sea por difusión de aire comprimido o por aeración mecánica. Durante estas dos primeras etapas los microorganismos del lodo sintetizan en nuevas células la materia orgánica que trae el agua residual, produciéndose así la biodegradación de los compuestos solubles y coloidales. Además de síntesis se producen alguna destrucción de la biomasa por respiración endógena que resulta luego de que los microorganismos han absorbido los compuestos orgánicos más fácilmente asimilables y comienzan a poner en solución su materia asimilada por ruptura de las células. La cantidad relativa de síntesis y respiración endógena.

Depende del tipo de proceso y del tamaño relativo de estas dos primeras etapas. Esto será comentado más adelante con las variaciones del proceso.

La siguiente etapa de clarificación consiste en separar el lodo del licor mezclado para descargar el líquido clarificado como efluente del proceso. El subflujo del tanque de sedimentación es retornado al tanque de aireación en una cuarta etapa de recirculación y el exceso de sólidos producidos es retirado del sistema en una quinta etapa de disposición.

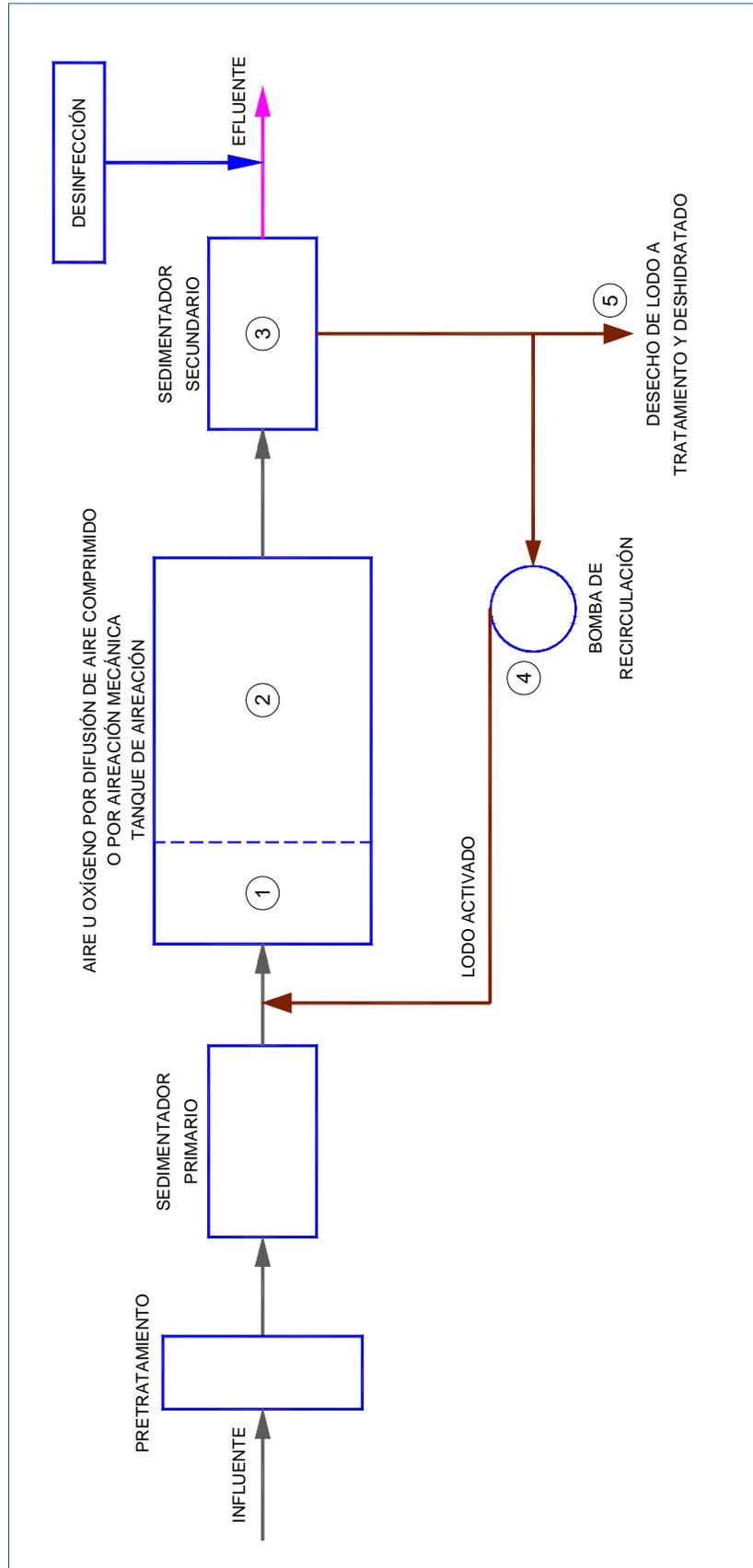


Figura No. 15. Factores esenciales del proceso de lodos activados. Fuente Dr. Fabián Yáñez

En donde:

- 1 Etapa de contacto, adsorción o floculación:
Pone en contacto el agua residual (comida) y el lodo activado (microorganismos).
- 2 Etapa de aireación:
Mantiene aerobio y en suspensión (mezcla) el “licor mezclado”.
- 3 Etapa de separación:
Remueve el lodo activado de agua residual tratada.
- 4 Etapa de recirculación:
Hacer retornar el lodo activado al influente del tanque de aireación que por lo general es del 20% al 50% del flujo del influente.
- 5 Etapa de disposición:
Remueve el exceso de lodo activado del sistema.

III.3. Variaciones del proceso.

Existe una gran cantidad de variantes del proceso de lodos activados. Estas han sido agrupadas en este trabajo desde varios puntos de vista.

Desde el punto de vista del tamaño relativo de la unidad de aeración se encuentran cuatro variantes; el proceso convencional, el de alta capacidad, el de contacto - estabilización y el de aireación extendida. Las características más relevantes de estos procesos han sido indicadas en las figuras 16, 17, 18 y 19. En la figura 18, se ha esquematizado el proceso de contacto – estabilización indicando en uno de dos tanques por separado siendo el de mayor capacidad el que corresponde a la re aeración de lodo. Cabe mencionarse que aunque este arreglo ha sido usado, se puede emplear un solo tanque para las dos operaciones utilizando el final de este para la zona de contacto.

En las cuatro figuras indicadas, se ha dibujado como alternativa opcional el uso del proceso de sedimentación primaria y/o secundaria como en el caso de aeración extensiva, figura No.19.

Desde el punto de vista del modelo de flujo, en el tanque de aeración los procesos pueden subdividirse en esquema a mezcla completa y con flujo a pistón. En la figura No. 20, se incluyen tres ejemplos de los primeros. Cabe mencionarse que los procesos a mezcla completa son más insensibles a variaciones de carga orgánica y temperatura, puesto que se mantiene el impacto de estas cargas difundido en el sistema debido a la mezcla completa, por la cual el abastecimiento y demanda de oxígeno se mantiene al mismo nivel a lo largo del tanque.

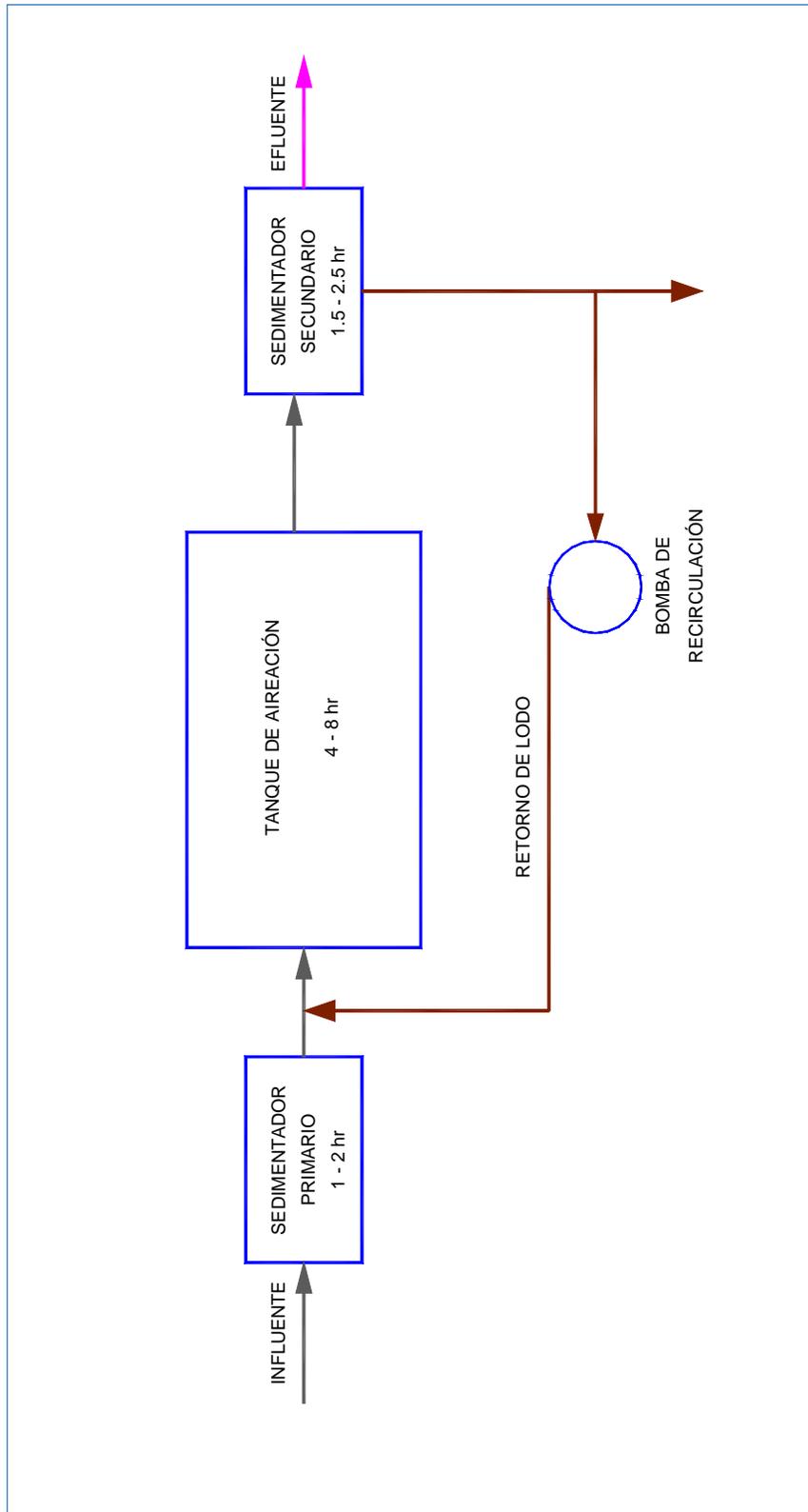


Figura No. 16. Proceso convencional de lodos activados. Fuente Dr. Fabián Yáñez

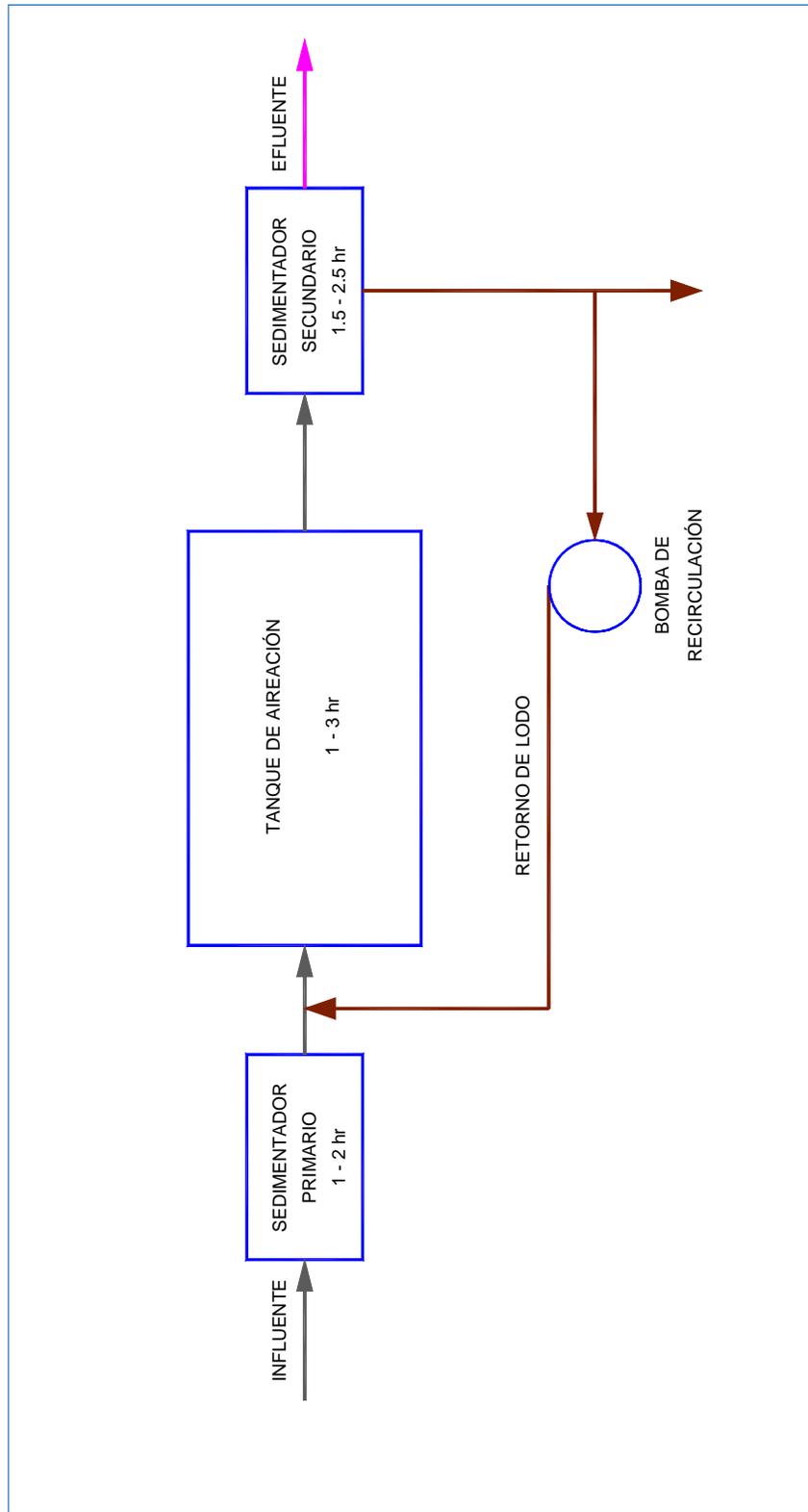


Figura No. 17. Proceso convencional de lodos activados de alta capacidad o aireación modificada.
Fuente Dr. Fabián Yáñez

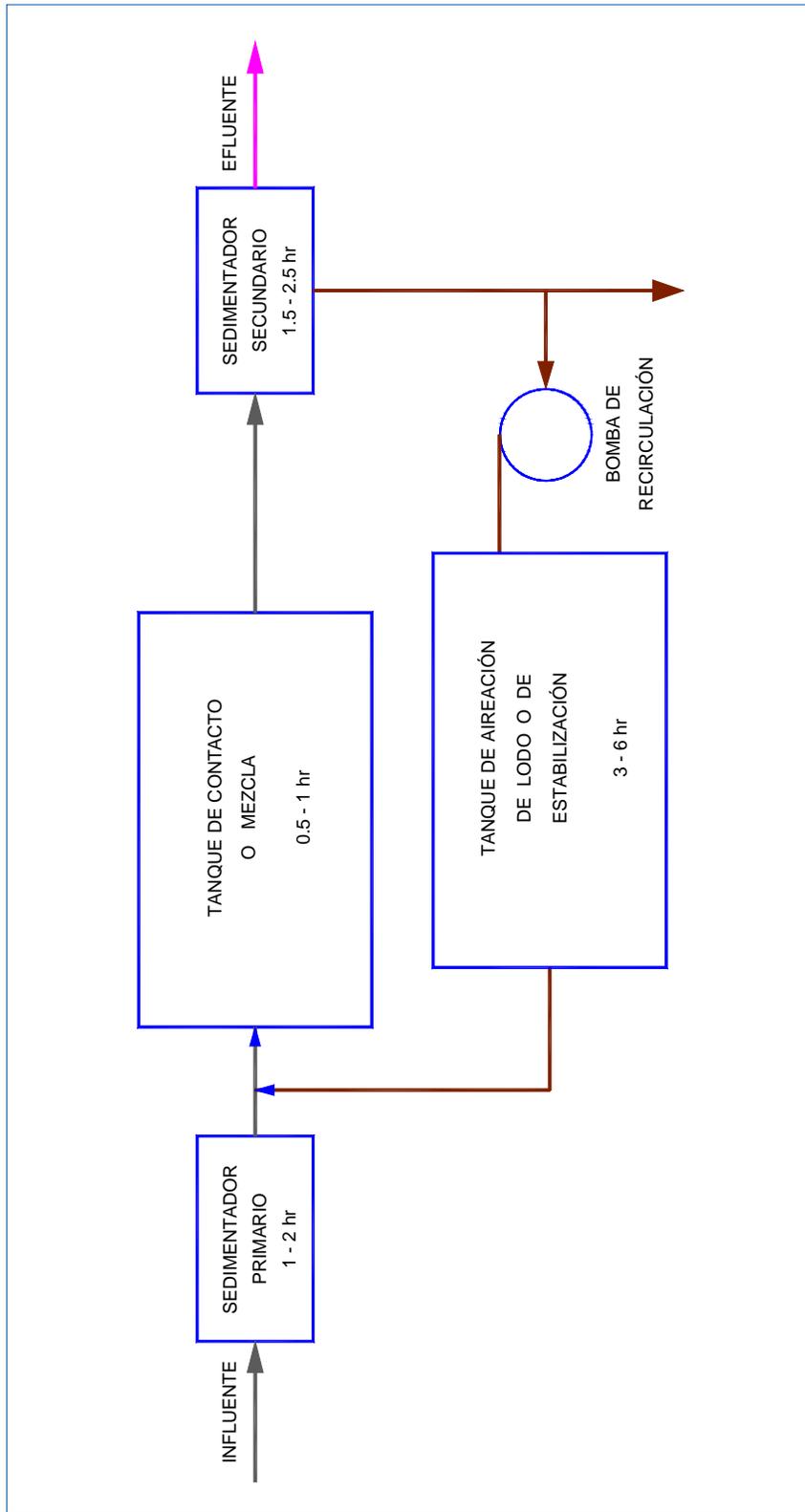


Figura No. 18. Proceso de contacto - estabilización adsorción rápida o re-aireación de lodos.
Fuente Dr. Fabián Yáñez.

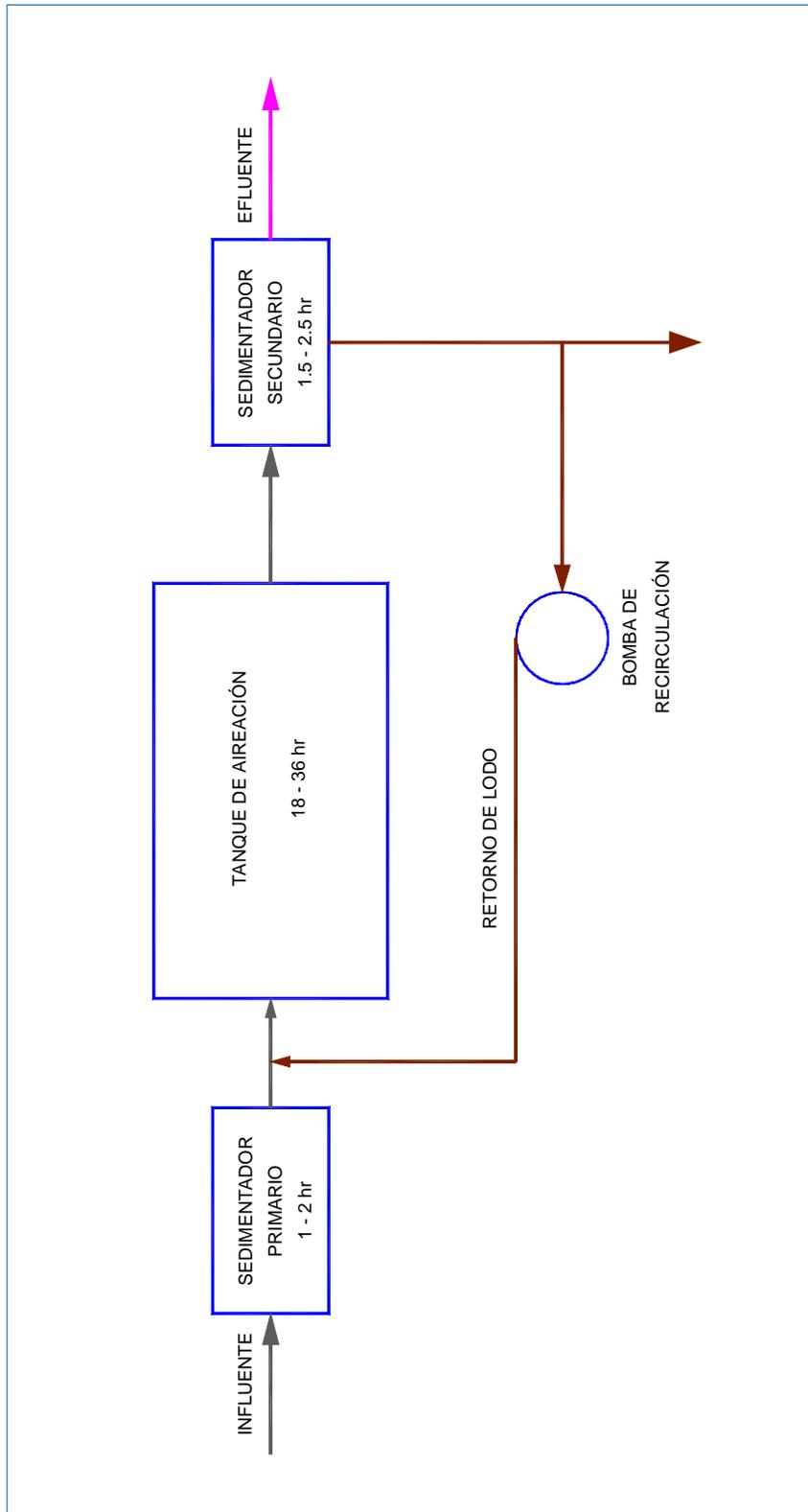


Figura No. 19. Proceso de aireación extendida. Fuente Dr. Fabián Yáñez.

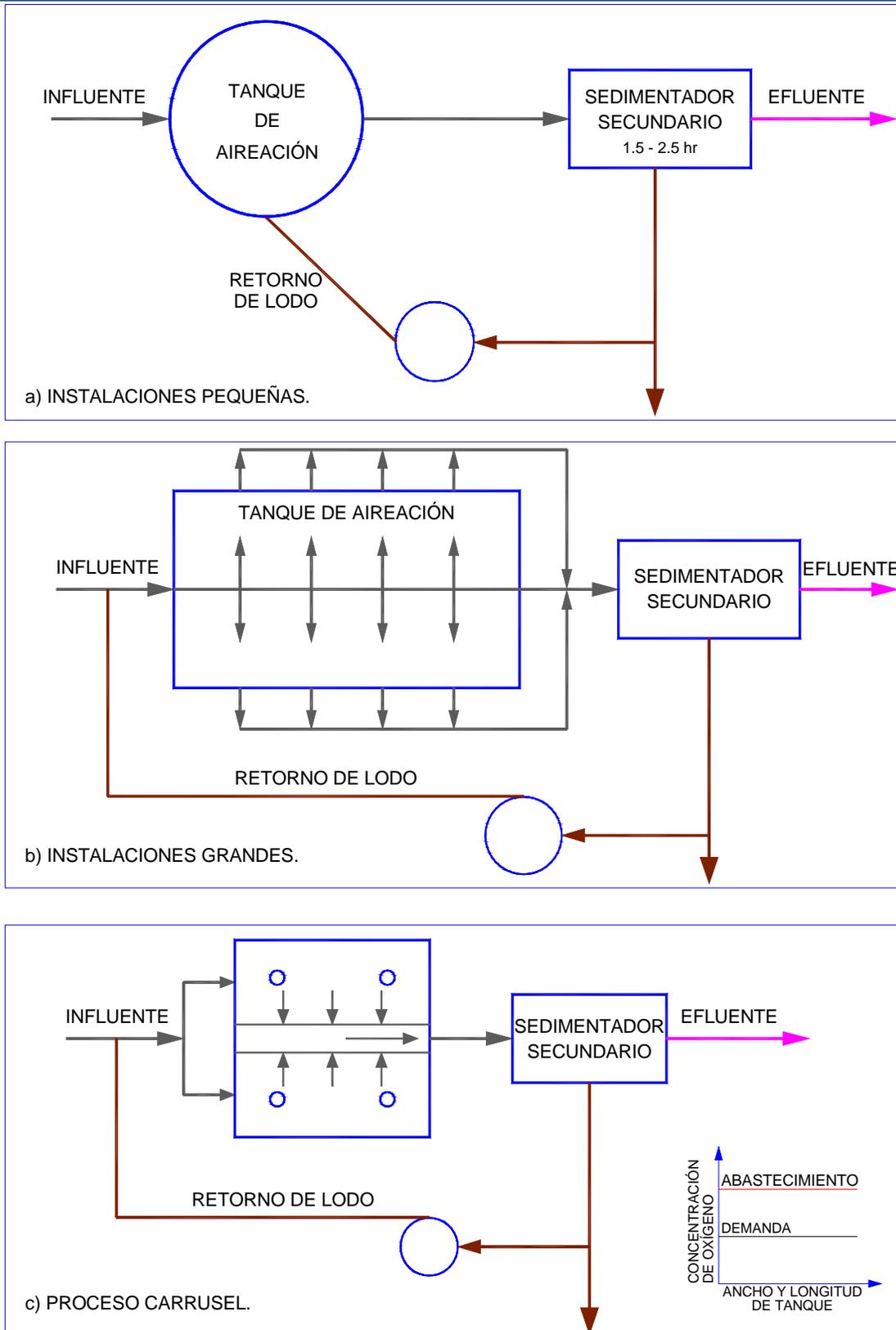


Figura No.20. Esquemas de lodos activados a mezcla completa.
Fuente Dr. Fabián Yáñez.

En la figura No. 21, se presentan tres esquemas de procesos con flujo a pistón. Este tipo de flujo simula un tanque largo en donde un infinitésimo de volumen a lo largo del mismo, de comienzo a fin. En el proceso convencional se mantiene un solo punto de entrada del afluente al comienzo del tanque. El abastecimiento de oxígeno es constante.

En el proceso de aireación por pasos, se incluyen varios puntos de entrada de agua residual con un abastecimiento constante de oxígeno. El sistema de aireación escalonada es una variante del proceso convencional, con la introducción variable de aire, con mayor cantidad a la entrada del tanque en donde es más necesario.

La figura No. 22, indica una combinación de sistemas a mezcla completa y flujo a pistón en el proceso carrusel, en donde se han incluido tres zonas de cada tipo. Este proceso puede operar como sistema convencional o con aeración por pasos. Las concentraciones de oxígeno para ambos casos – abastecimiento y demanda – se indican en la misma figura.

Finalmente en la figura No. 23, se presentan tres sistemas patentados de tratamiento: El proceso Zigerly, con la introducción de fibra de asbesto como elemento floculante y para dar mayor facilidad de separación al floculo. El proceso Kraus, que utiliza el sobrenadante del digester y el propio lodo digerido como se indica, el proceso “UNOX” con oxígeno puro en lugar de aire que fue originalmente estudiado por el Dr. Daniel Okum y que está siendo promulgado por la compañía “Linde”, que produce oxígeno como subsidiaria de Union Carbide Co.

III.4. Parámetros típicos de diseño para los diferentes procesos de lodos activados.

En la tabla No. 3, se presenta un resumen de los parámetros operativos que intervienen en el proceso de lodos activados de cada una de las variantes mencionadas.

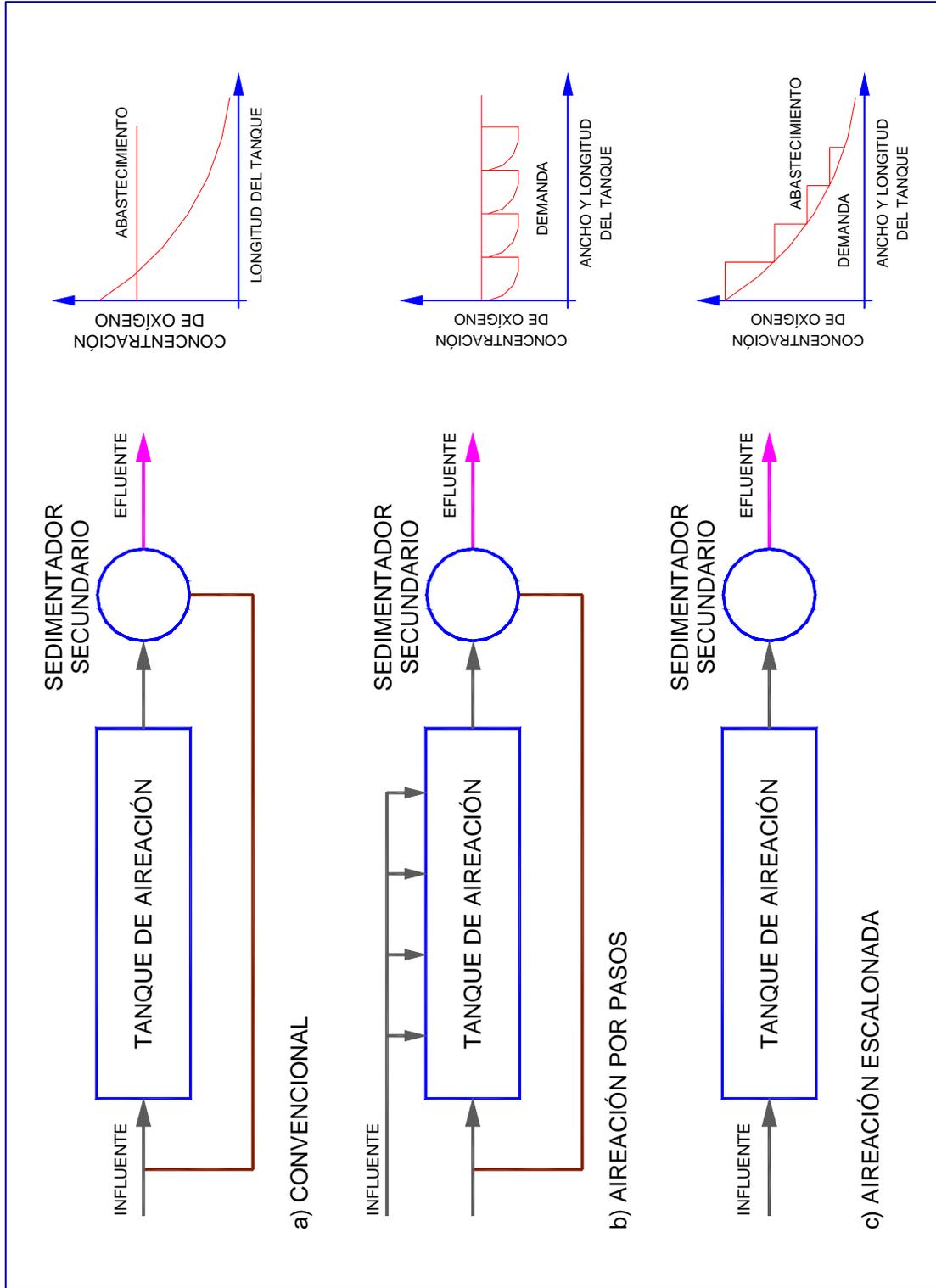


Figura No. 21. Esquema de lodos activados con flujo a pistón. Fuente Dr. Fabián Yáñez.

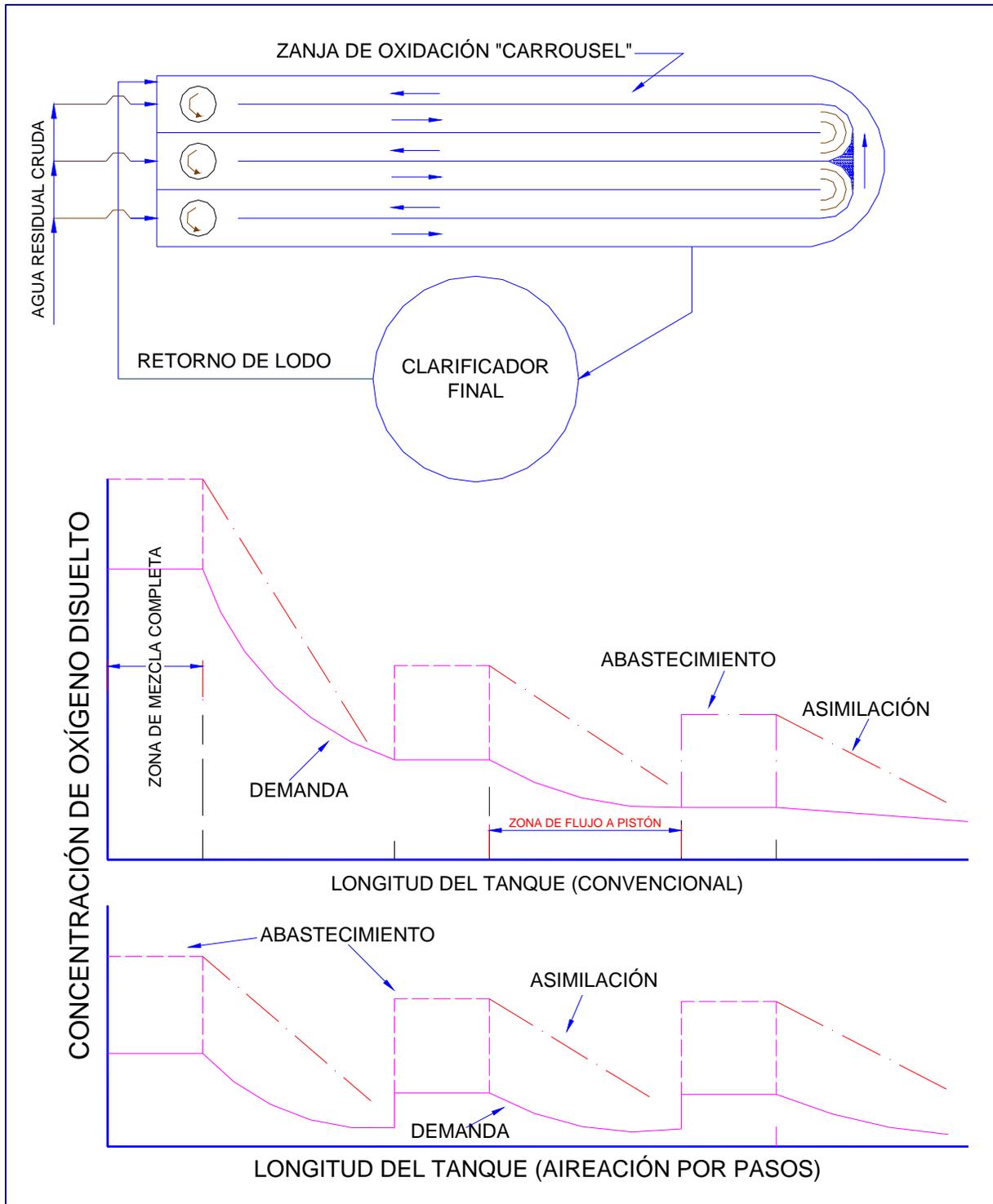


Figura No. 22. Esquema de proceso carrusel. Fuente Dr. Fabián Yáñez.

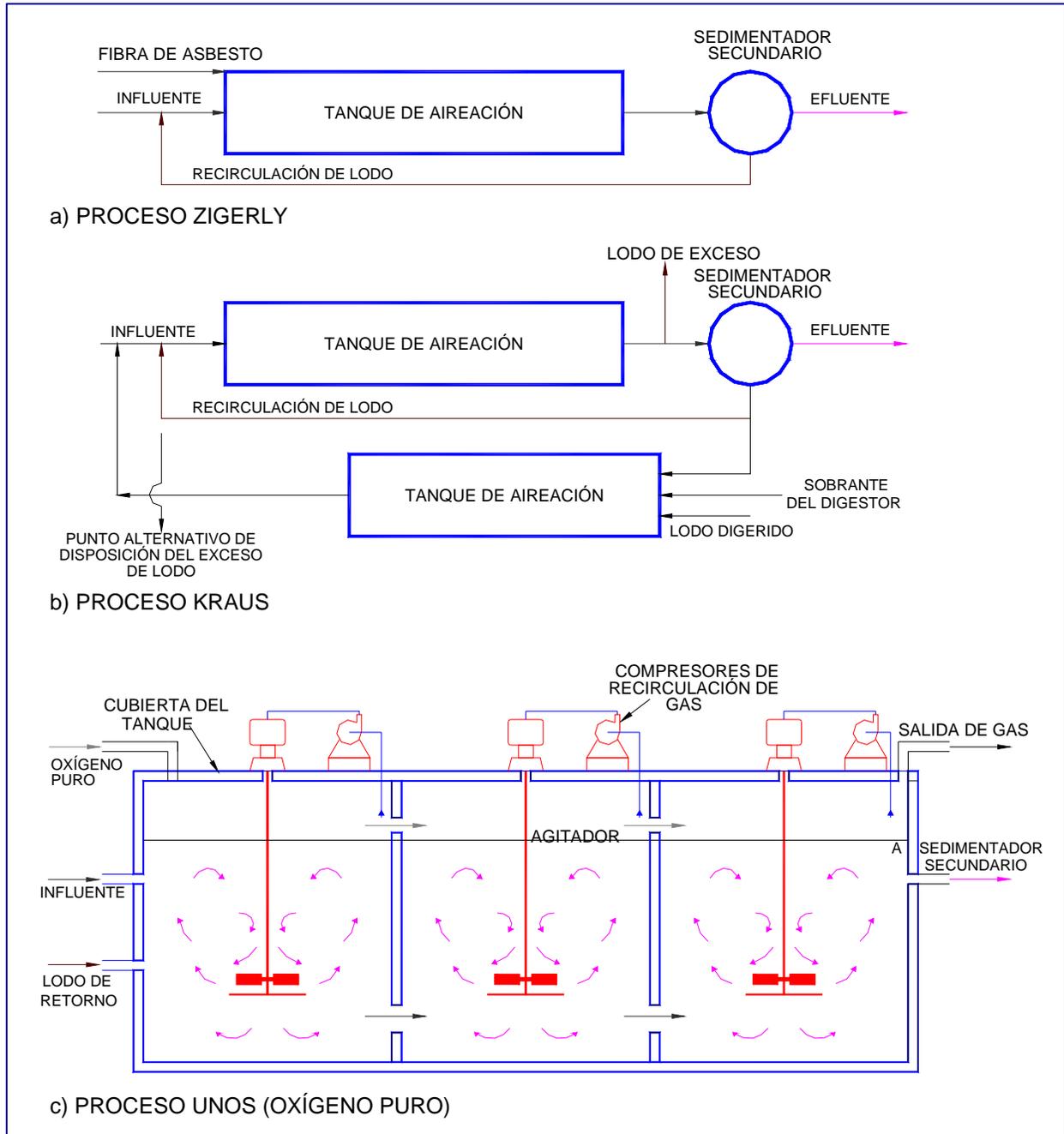


Figura No. 23. Esquemas de Procesos Patentados de Lodos Activados.
Fuente Dr. Fabián Yáñez.

Tabla No. 3. Parámetros típicos de diseño del proceso de lodos activados

Modificación del Proceso	Regimen del flujo	Edad del lodo SRT (días)	F/M $\frac{\text{KgDBO}_5}{\text{kgMLVSS}} \text{ día}^{-1}$	Carga Orgánica $\frac{\text{KgDBO}_5}{1000 \text{ m}_3 \text{ Vol}}$	MLSS mg/l	Tiempo de retención Tr (horas)	Relación de recirculación r
Convencional	Pistón	5 - 15	0.20 - 0.40	320 - 640	1500 - 3000	4.00 - 8.00	0.25 - 0.50
Mezcla completa	Mezcla completa	5 - 15	0.20 - 0.60	800 - 1920	3000 - 60000	3.00 - 5.00	0.25 - 1.00
Aireación en etapas	Pistón	5 - 15	0.20 - 0.40	640 - 960	2000 - 3500	3.00 - 5.00	0.25 - 0.75
Estabilización por contacto	Pistón	5 - 15	0.20 - 0.60	480 - 1200	1000 - 4000* 4000 - 10000+	0.50 - 1.50*	0.50 - 1.50
Aireación extendida	Mezcla completa	20 - 30	0.05 - 0.15	160 - 240	2000 - 6000	12.00 - 36.00*	0.50 - 2.00
Sistema de oxígeno puro	Mezcla completa reactores en serie	8 - 20	0.25 - 1.00	1600 - 4000	4000 - 8000	2.00 - 5.00	0.25 - 0.50

* Unidad de contacto

+ Tanque de estabilización

**Normalmente el valor es de 24 horas

III.5. Diseño del sistema de tratamiento por el proceso de lodos activados convencional.

Para el diseño del sistema de tratamiento por el proceso de lodos activados se utilizará el modelo matemático desarrollado por Eckenfelder y Asociados. En la figura No. 24, se presenta el diagrama de flujo de dicho modelo y a continuación el significado de la simbología.

Índices

Para los sólidos suspendidos (SS), los dobles índices son utilizados, ejemplo: $X_{v,i}$, $X_{NV,i}$, el primer índice (v ó NV) designa los sólidos suspendidos volátiles (SSV) y no volátiles (SSNV) respectivamente, el segundo índice (i) se refiere específicamente al flujo en cuestión:

- F, Influyente (flujo 1).
- O, Alimentación combinada (flujo 2).
- a, Efluente del reactor (flujo 3).
- e, Efluente total (flujo 4).
- u, Efluente de lodos (flujo 5).

Símbolos.

1.- *Flujos ó gastos.*

- Q_F = Influyente; MGD (Millones de galones por día, (flujo 1).
- Q_R = Gasto de recirculación; MGD, (flujo 7).
- r = Tasa de recirculación; dimensional ($r = Q_R/Q_F$).
- Q = Gasto combinado; MGD; $Q = Q_F + Q_R = Q_F(1+r)$ (flujo 2).

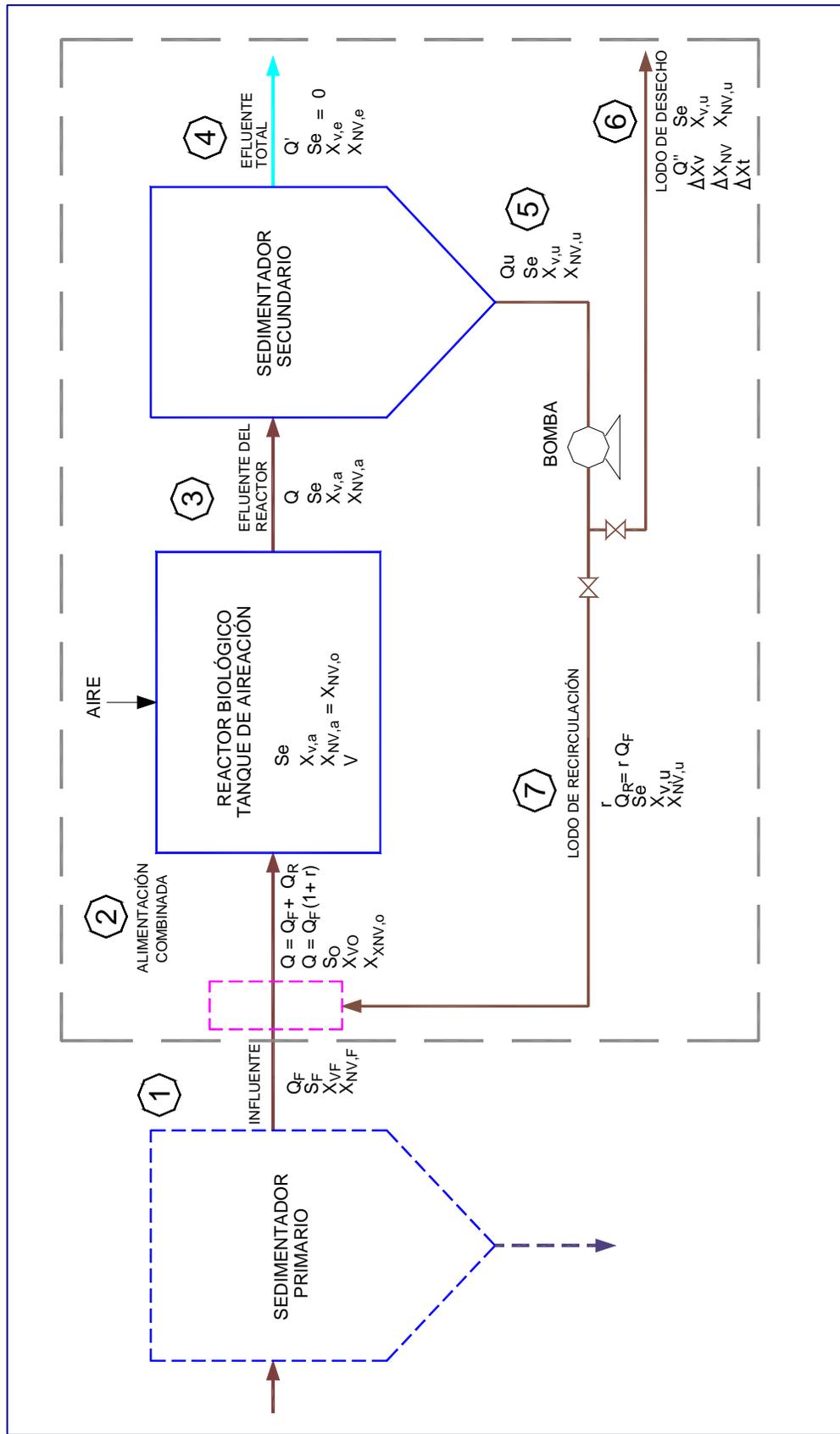


Figura No. 24. Diagrama de flujo de lodos activados convencional. Fuente Introduction to Wastewater Treatment Processes, Ramalho

Q' = Gasto ó efluente total; MGD, (flujo 4).

Q'' = Gasto de desecho (flujo 6), $Q_F = Q' + Q''$

Q_U = Gasto de lodos, MGD, $Q_U = Q'' + Q_R = Q'' + Rq_F$ (flujo 5)

2.- *Concentraciones (mg/l) de $DBO_{soluble}$ ó DBO_5*

S_F = DBO_5 del influente (mg/l).

S_O = DBO_5 de alimentación combinada.

S_e = DBO_5 del efluente total.

3.- *Concentraciones (mg/l) de sólidos suspendidos volátiles (SSV).*

$X_{V,F}$ = SSV en el influente.

$X_{V,o}$ = SSV en la alimentación combinada.

$X_{V,a}$ = SSV en el reactor = SSV en el influente del reactor.

$X_{V,u}$ = SSV en el flujo de recirculación de lodos.

$X_{V,e}$ = SSV en el efluente total ($X_{V,e} \approx 0$).

4.- *Concentraciones (mg/l) de sólidos suspendidos no volátiles (SSNV).*

$X_{NV,F}$ = SSNV en el influente.

$X_{NV,O}$ = SSNV en la alimentación combinada.

$X_{NV,a}$ = SSNV en el reactor ($X_{NV,a} = X_{nv,o}$), esto es igual también a los SSNV en el efluente del reactor.

$X_{NV,U}$ = SSNV en el flujo de recirculación de lodos.

$X_{NV,e}$ = SSNV en el efluente total.

5.- *Lodo de desecho (lb/día).*

ΔX_v = Producción neta de SSVLM en el reactor (desecho de SSVLM).

$$\Delta X_{NV} = \text{Desecho de SSVN.}$$

$$\Delta X_t = \text{Producción de lodo total} = \Delta X_v + \Delta X_{NV} + Q_F X_{V,F}.$$

6.- *Volumen del reactor.*

$$V = \text{Volumen del reactor en MG (millones de galones).}$$

III.5.1. Diseño del sistema de tratamiento por el proceso de lodos activados convencional para un gasto medio de 300 lps.

El proceso estará dividido en dos módulos de tratamiento con un flujo de 150 lps, cada uno.

Los parámetros de diseño son los siguientes:

Qmin	=	75 lps/tren de tratamiento (6480 m ³ /día)(1.7115 mgd)
Qmedio	=	150 lps/tren de tratamiento (12,960 m ³ /día)(3.423 mgd)
Qmax	=	296 lps/tren de tratamiento (25,574 m ³ /día)(6.7547 mgd)
DBO _{5 ent.}	=	350 mg/l
SST	=	229 mg/l.
G y A	=	60.5 mg/l.
N – total	=	53 mg/l.
P - total	=	3.5 mg/l.
S. Sed.	=	ml/l.
Temp. Media	=	°C

III.5.1.1. Cálculo de la tasa de recirculación de los SSVLM (sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado)

De:

$$r = \left[\frac{X_{v,a}(S_F - S_e) + \frac{b S_F - S_e}{k(S_e - S_n)} - X_{V,F}}{(X_{v,u} - X_{v,a})} \right]$$

Donde

$S_F = 350 \text{ mg/l}$	$a = 0.73$	$k = 0.023$
$S_e = 35 \text{ mg/l}$	$b = 0.075$	$X_{V,a} = 3000 \text{ mg/l}$
$X_{v,u} = 10,000 \text{ mg/l}$	$X_{V,F} = 0$	$X_{NV,F} = 30 \text{ mg/l}$
$X_{NV,e} = 20 \text{ mg/l}$	$F_V = 0.8$	

Sustituyendo y valorizando.

$$r = \left[\frac{3000 - 0.73(350 - 35) + 0.075 \frac{(350 - 35)}{0.023(35 - 10)}}{(10,000 - 3000)} \right] = 0.40$$

III.5.1.2. Cálculo de la DBO de alimentación combinada (S_O).

$$S_O = \frac{S_F + rS_e}{1 + r}$$

$$S_O = \left(\frac{350 + 0.40(35)}{1 + 0.40} \right) = 260 \text{ mg/l}$$

III.5.1.3. Cálculo del tiempo de residencia en el reactor.

$$t = \frac{S_O - S_e}{kX_{v,a}(S_e - S_n)} = \frac{260 - 35}{0.023 * 3000 * (35 - 10)} = 0.130 \text{ día} = 3.13 \text{ hr.}$$

Es el tiempo de retención mínimo que se necesita, para tener flexibilidad en la operación se tomará una $t_r = 6.00 \text{ hr.}$ (0.25 día).

Relación F/M

$$\frac{F}{M} = \frac{S_o}{X_{v,a}t} = \frac{260}{3000 \times 25} = 0.35 \text{ día}^{-1}$$

Este valor es compatible para buenas condiciones de floculación, por lo tanto no es necesario ajustar el tiempo de residencia para tener una reducción de DBO y un buen floculo.

III.5.1.4. Cálculo de volumen del reactor

$$Q = Q_F (1+r) = 3.425 (1+0.40) = 4.795 \text{ MGD (210 lps).}$$

$$V = Qt = Q_F(1+r)t = 3.425(1+0.40) \times 0.25 = 1.2 \text{ MG (4,542 m}^3\text{).}$$

III.5.1.5. Cálculo de la producción neta de los SSVLM.

$$\Delta X_v = a(S_F - S_e)Q_F - bX_{v,a} V$$

$$\Delta X_v = 0.73(350 - 35) 3.424 \times 8.34 - 0.075 \times 3000 \times 1.2 \times 8.34$$

$$\Delta X_v = 4,315 \text{ lb/día (1,459 kg/día)}$$

Entonces la concentración de SSV en la alimentación combinada donde $X_{v,F} = 0$

$$X_{v,o} = \frac{(X_{v,F} + rX_{v,u})}{(1+r)}$$

$$X_{v,o} = \left(\frac{0 + 0.40 \times 10,000}{1 + 0.40} \right) = 2,857 \text{ mg/l}$$

III.5.1.6. Cálculo del lodo de desecho (Q'') y del efluente neto (Q').

$$Q'' = \frac{(\Delta X_v + 8.34Q_F X_{v,F})}{8.34X_{v,u}} \text{ para } X_{v,F} = 0$$

$$Q'' = \frac{4,315}{8.34 \times 10,000} = 0.051739 \text{ mgd} = 1.96 \text{ lps} = 169.34 \text{ m}^3\text{/día.}$$

$$Q' = Q_F - Q'' = 150 - 1.96 = 148.04 \text{ lps}$$

$$Q_u = Q'' + Q_R = 1.96 + 61 = 62.96 \text{ lps} = 0.0629 \text{ m}^3/\text{s}$$

III.5.1.7. Cálculo de la concentración de sólidos suspendidos no volátiles ($\Delta X_{N,V}$) y la producción total de lodos ΔX_t .

$$\Delta X_{N,V} = Q_F (X_{NV,F} - X_{NV,e}) + Q'' X_{NV,e}$$

$$\Delta X_{N,V} = 3.425(30 - 20) \times 8.34 + 0.051739 \times 20 \times 8.34 = 294.28 \text{ lb/día.}$$

Producción total de lodos, para $X_{V,F} = 0$

$$\Delta X_t = \Delta X_V + \Delta X_{NV} + Q_F X_{VF} = 4,315 + 294.28 = 4,609.28 \text{ lb/día.}$$

Cálculo de $X_{NV,a}$, y de $X_{NV,u}$ ya que $X_{NV,e} = 0$

$$X_{NV,a} = (1 - F_V) \times X_{V,a} / F_V = (1 - 0.8) \times 3000 / 0.8$$

$$X_{NV,a} = 750 \text{ mg/l}$$

$$X_{NV,u} = Q_F(r + 1)X_{NV,a} / Q_u = 0.15 \times (0.4 + 1) \times 750 / 0.629 = 2,517 \text{ mg/l}$$

III.5.1.8. Cálculo de requerimientos de oxígeno.

$$a' = 0.52 \quad b' = 0.106$$

$$\text{lbO}_2/\text{día} = a' (S_F - S_e) Q_F + b' X_{va} V.$$

$$\text{lbO}_2/\text{día} = 0.52 \times (350 - 35) \times 3.425 \times 8.34 + 0.106 \times 3000 \times 1.20 \times 8.34 =$$

$$7,861.41 \text{ lbO}_2/\text{día.}$$

$$\frac{7,861.41}{24} = 328 \text{ lbO}_2/\text{hr}$$

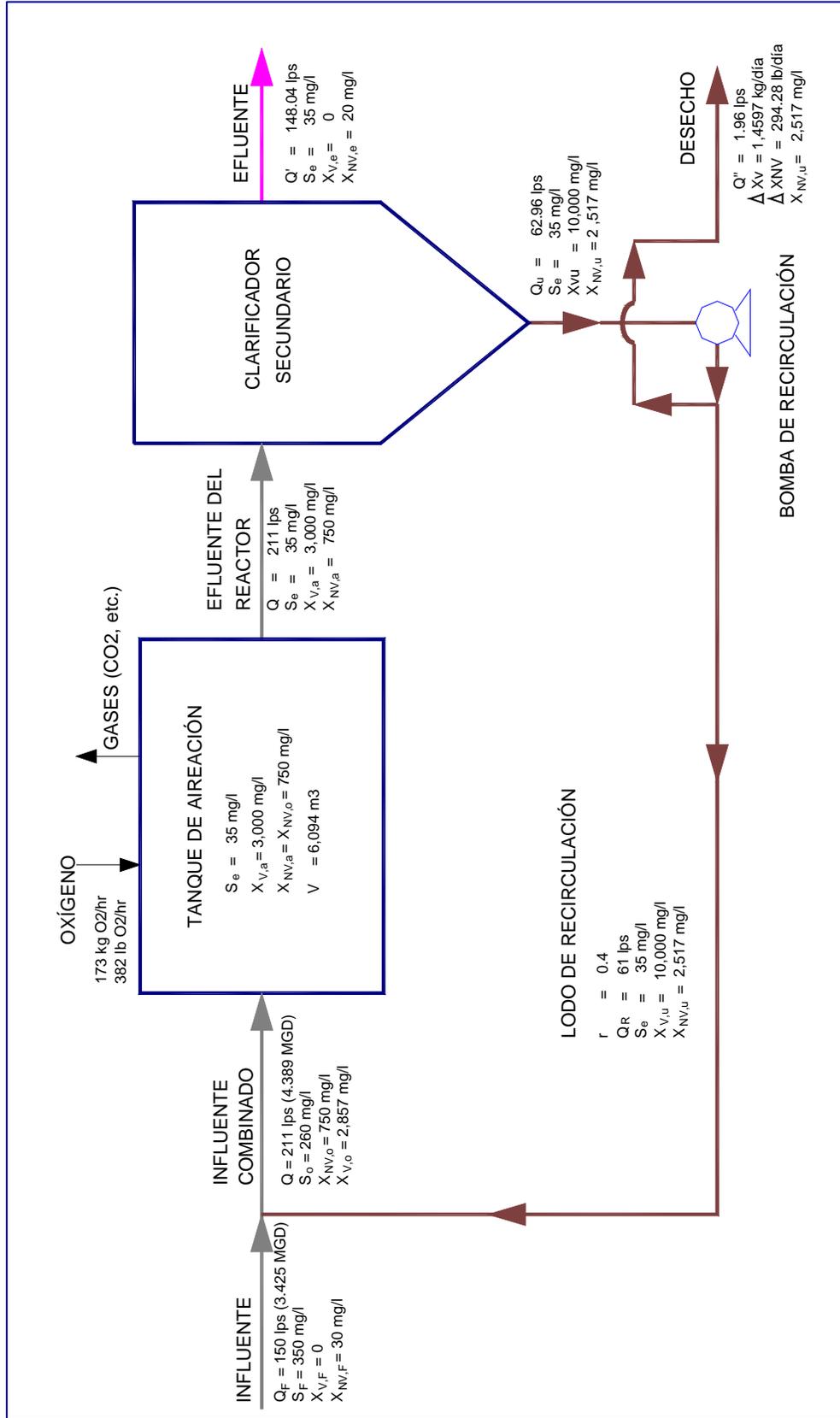


Figura No.25. Diagrama de flujo del diseño de lodos activados convencional.
Fuente del autor

III.6. Alternativas de equipos de aireación.

En la alternativa de tratamiento del agua residual por lodos activos convencional para los equipos de aireación se evaluarán cuatro tipos de aireadores y son los siguientes:

- a) Aireadores superficiales.
- b) Aireadores sumergibles.
- c) Aireadores de desplazamiento positivo.
- d) Aireadores centrífugos de alta eficiencia.

III.6.1. Aireadores superficiales.

Datos de proyecto.

Requerimientos de oxígeno = 328 lb de O₂/hr (149 kgO₂/hr)

Volumen del reactor = 1.2 MG = 4,542 m³.

Temperatura agua residual (verano) = 28°C, C_{SW} = 7.9 mg/l.

Temperatura agua residual (invierno) = 18°C, C_{SW} = 10.3 mg/l.

O.D. en tanque de aireación C_L = 2.0 mg/l, α = 0.72 mg/l.

Cálculo de la eficiencia de transferencia de oxígeno bajo condiciones de campo (N).

$$N = No \left[\frac{C_{SW} - C_L}{9.2} \alpha (1.024^{T-20}) \right]$$

Para las condiciones de verano.

$$N = No \left[\frac{7.9 - 2}{9.2} 0.72 (1.024^{28-20}) \right] = 0.558 No$$

Para las condiciones de invierno.

$$N = No \left[\frac{10.3 - 2}{9.2} 0.72 (1.024^{18-20}) \right] = 0.619 No$$

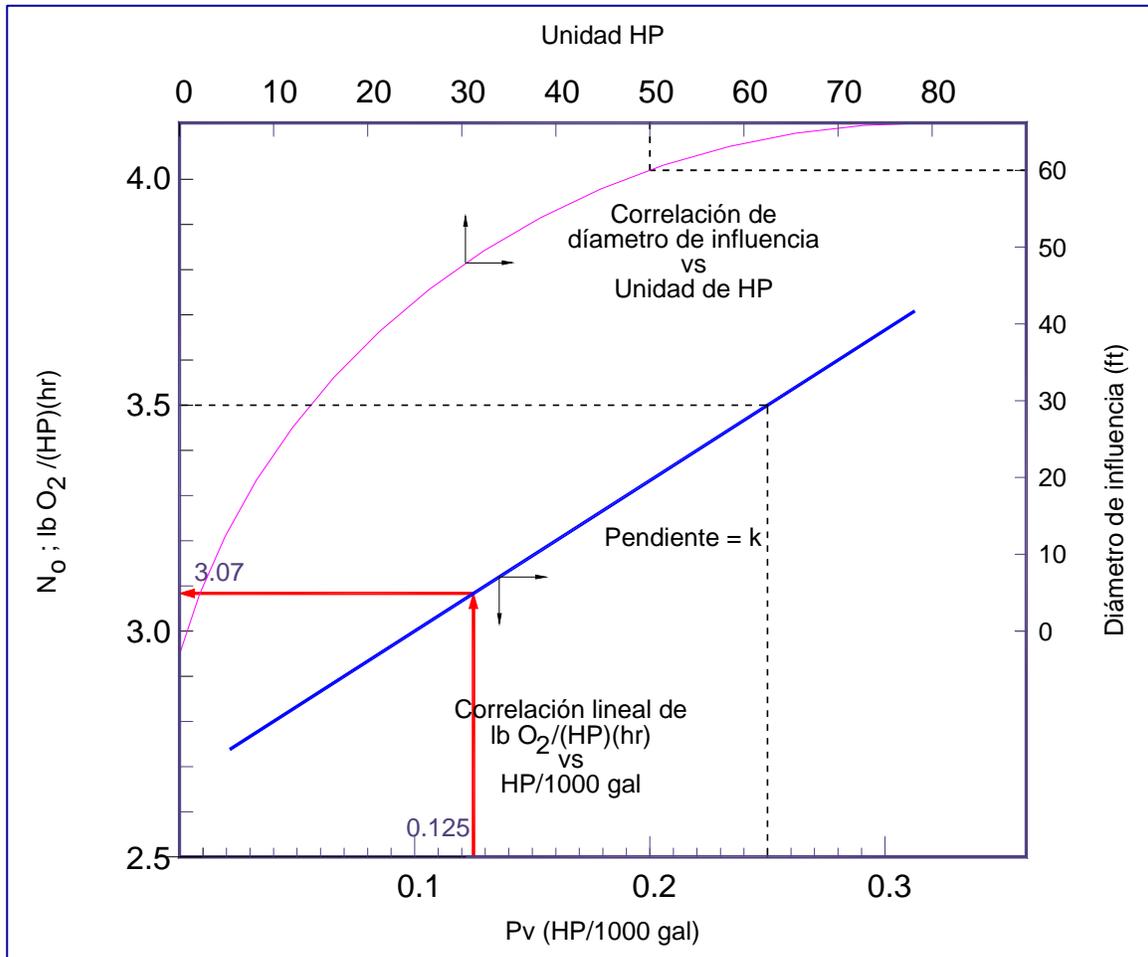


Figura No. 26. Características del aireador superficial. Fuente Introduction to Wastewater Treatment Proceses, Ramalho

Por lo tanto, las condiciones de verano prevalecen para el diseño ya que la eficiencia de transferencia de oxígeno es más baja.

Proponiendo un nivel de potencia de: $\left[\frac{0.125 \text{ HP}}{1000 \text{ gal}} \right]$

De la figura No. 26, se obtiene $\left[\frac{3.07 \text{ lbO}_2}{\text{HP} \times \text{hr}} \right]$

$$N_o = 3.07 \text{ lb/O}_2/\text{HP} \times \text{hr}$$

Entonces se tiene:

$$N = 0.558 N_o = 0.558 \left[\frac{3.07 \text{ lbO}_2}{\text{HP} \times \text{hr}} \right] = 1.71 \frac{\text{lbO}_2}{\text{HP} \times \text{hr}}$$

Requerimiento de oxígeno = 328 lb de O₂/hr

$$\text{Requerimiento de potencia} = \frac{328 \frac{\text{lbO}_2}{\text{hr}}}{1.71 \frac{\text{lbO}_2}{\text{HP} \times \text{hr}}} = 191.82 \text{ HP} \approx 200 \text{ HP}$$

Se seleccionan 4 aireadores superficiales de 50 HP, cada uno

Para un total de potencia = 4 x 50 = 200 HP

Obteniendo el nivel de potencia de:

$$\frac{200 \text{ HP}}{1200 \text{ Miles de galones}} = \frac{0.16 \text{ HP}}{1000 \text{ gal}}, \text{ por lo que el diseño es satisfactorio.}$$

El diámetro de influencia para un aireador de 50 HP, ver figura No. 26, es 60 pies (18.30 m) ó un radio de influencia de 30 pies (9.15 m).

El arreglo de los aireadores superficiales se presenta en la figura No. 27, y en el anexo correspondiente a los planos se muestra el arreglo general de este reactor biológico.

Para un modulo de 150 lps se tiene:

$$\text{Área superficial} = 36 \times 36 = 1,296 \text{ m}^2.$$

$$\text{Tirante de agua} = 4,542 \text{ m}^3 / 1,296 \text{ m}^2 = 3.50 + \text{B.L. (bordo libre).}$$

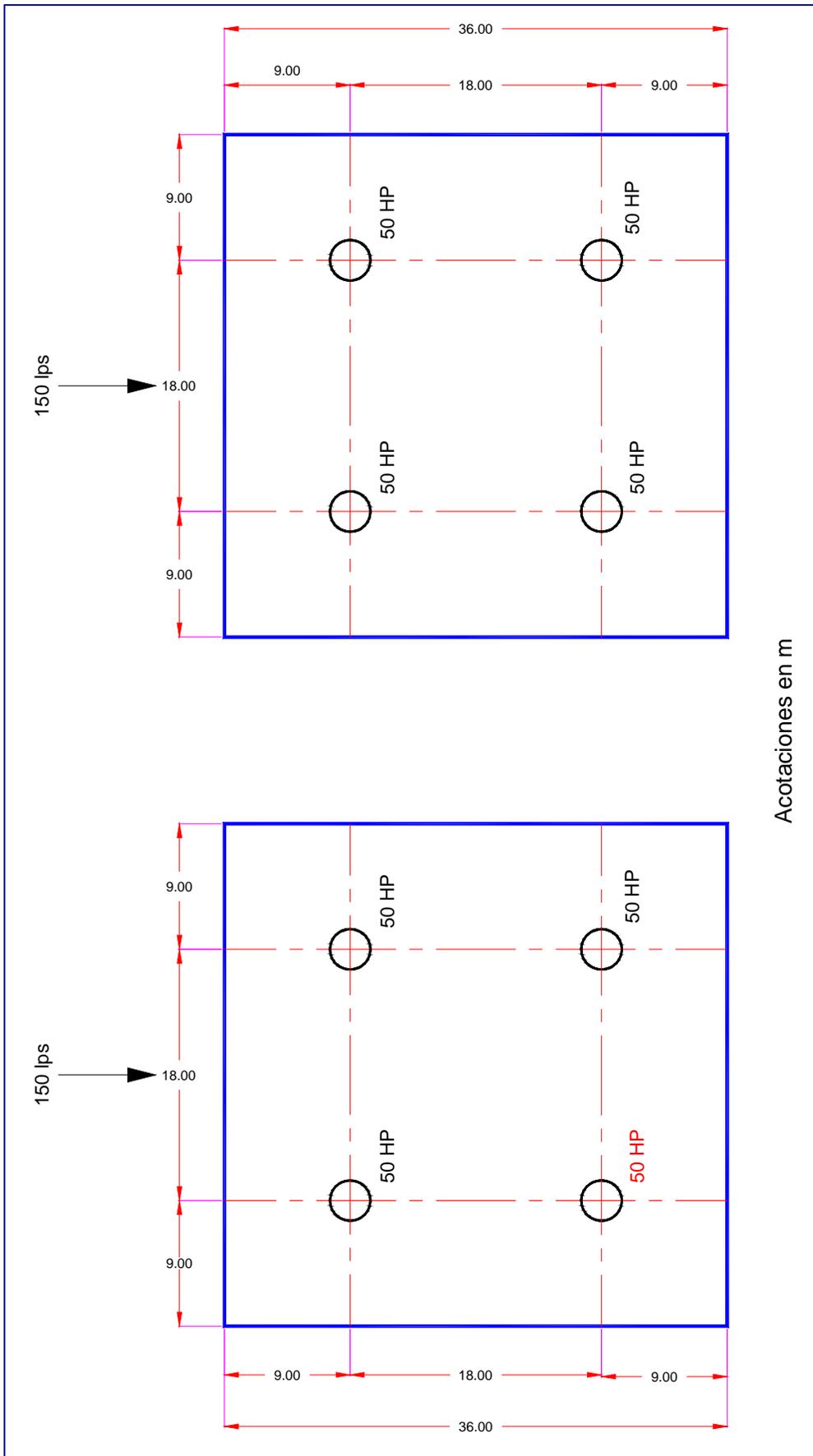


Figura No. 27 Arreglo de Aireadores Superficiales. Fuente del autor.

III.6.2. Aireadores sumergibles.

Datos del proyecto.

$$Q_F = 150 \text{ lps (3.425 MGD)/ modulo de tratamiento.}$$

$$\text{DBO}_5 \text{ ent.} = 350 \text{ mg/l.}$$

$$\text{DBO}_5 \text{ sal} = 35 \text{ mg/l.}$$

$$\text{Vol. reactor} = 4,542 \text{ m}^3 \text{ (1.2 MG).}$$

$$\alpha = 0.90.$$

$$\beta = 0.95.$$

$$t_r = 6 \text{ hr}$$

a) Potencia requerida por mezcla = $100 \frac{HP}{MG}$

$$\text{Entonces} = 100 \frac{HP}{MG} \times \text{VolTanque} = 100 \frac{HP}{MG} \times 1.2 \text{ MG} = 120 \text{ HP}$$

b) Requerimientos de O_2 .

$$(\text{DBO}_5 \text{ ent.} - \text{DBO}_5 \text{ sal.}) Q_F (8.34)/24 = \text{lbs DBO/hr.}$$

$$\text{Requerimiento de } O_2 = (350 - 35) \times \frac{3.425(8.34)}{24} = 375 \frac{\text{lbDBO}}{\text{hr}}$$

c) Requerimiento de Oxígeno actual (AOR).

$$\text{AOR} = (\text{lbs } O_2/\text{lbs DBO})(\text{lbs DBO/hr}) = \text{lbs } O_2/\text{hr.}$$

$$\text{AOR} = 1 \frac{\text{lb}O_2}{\text{lbDBO}} \left(375 \frac{\text{lbDBO}}{\text{hr}} \right) = 375 \frac{\text{lb}O_2}{\text{hr}}$$

d) Requerimiento de oxígeno estándar (SOR).

$$\text{SOR} = \text{AOR} (C_S)/(C_D \beta - O.D.) \alpha (1.024)^{T-20} = \text{lbs } O_2/\text{hr.}$$

$$\text{SOR} = \frac{375 \times 9.2}{[9.2(0.95) - 2.0] \times 0.90(1.024)^{28-20}}$$

$$\text{SOR} = \frac{3450}{7.33} = 471 \frac{\text{lbO}_2}{\text{hr}} = 214 \frac{\text{kgO}_2}{\text{hr}}$$

III.6.2.1 Selección del equipo de acuerdo a las curvas de comportamiento.

En las figuras 28, 29 y 30 se presentan las principales características de los aireadores sumergibles marca NABOHI de fabricación nacional para 40, 50 y 60 HP.

$$\text{No. de aireadores} = \frac{471 \frac{\text{lbO}_2}{\text{hr}}}{94 \frac{\text{lbO}_2}{\text{hr}}} = 5.01$$

$$94 \frac{\text{lbO}_2}{\text{hr}} = 42.64 \frac{\text{kgO}_2}{\text{hr}}$$

Se utilizarán 5 aireadores de 50 HP c/u con una producción total de:

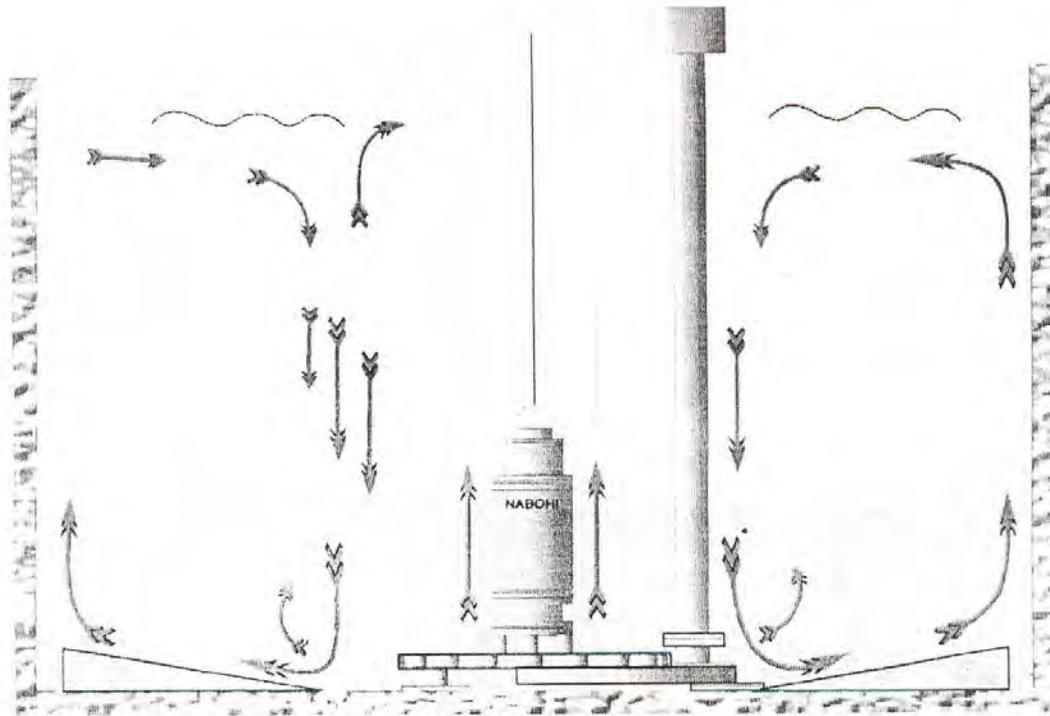
$$94 \frac{\text{lbO}_2}{\text{hr}} \times 5 = 470 \frac{\text{lbO}_2}{\text{hr}} \text{ con una sumergencia de 4.50 m, ver figura No. 31.}$$

El arreglo de este reactor biológico por aireadores sumergibles se presenta en el anexo correspondiente a los planos.

NABOHI

AERADORES SUMERGIBLES PARA PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

ZONAS DE TRABAJO



ZONA DE MEZCLADO

ZONA DE SUSPENSION

ZONA DE MEZCLADO: En esta zona es donde se realiza el íntimo contacto entre la mezcla de aire-agua entregada por el aereador con el seno del fluido. En esta zona es donde se aplica el DBO, llamado factor de purificación.

ZONA DE SUSPENSION: Esta es una zona de mezclado creada por el flujo de aire-agua, donde continúa el intercambio de DBO, gracias a este flujo se mantienen los sólidos del licor en suspensión.

REG. 61715/366191, DERECHOS RESERVADOS NABOHI, S.A. DE C.V. MEXICO., D.F. NOV 1998

NABOHI

Figura No. 28. Aireador sumergible comercial. Fuente Catalogo de NABOHI



ZONAS DE TRABAJO DE LOS EQUIPOS

La instalación y ensamble del equipo es muy sencilla, solo se requiere instalarle un tubo de PVC de diámetro adecuado para la succión de aire del equipo junto con una brida del mismo diámetro, al final del tubo del contacto del agua se coloca un capuchón que evita que entren sólidos al equipo

MODELO	POTENCIA (HP)	ZONA DE MEZCLADO DIAMETRO (m)	ZONA DE DIFUSION DIAMETRO (m)
AS-02-14-23/43	1	5	8
AS-02-24-23/43	2	5.5	8.8
AS-03-54-23/43	5	5.8	9.4
AS-03-7.54-23/43	7.5	6.3	9.8
AS-03-104-23/43	10	8.7	10.1
AS-03-154-23/43	15	10.5	13.95
AS-04-204-23/43	20	11.36	18.2
AS-04-254-23/43	25	12.4	20.5
AS-04-304-23/43	30	13.8	22
AS-06-404-43	40	15.3	24.5
AS-06-504-43	50	21.45	34.8
AS-06-604-43	60	24.3	42.1
AS-08-754-43	75	26.9	38.9
AS-06-1004-43	100	31.3	42.7

Es preciso que haya una circulación de Aire-Agua que garantice las condiciones aerobicas en el proceso, y esto lo logramos con estos equipos ya que trabajan desde el fondo del reactor.

Figura No. 29. Zonas de trabajo del aireador sumergible. Fuente Catalogo de NABOHI



40, 50 Y 60 HP

**AS-06-404-23/43
AS-06-504-23/43
AS-06-604-43**

AERADOR SUMERGIBLE PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

CARACTERISTICAS

- Diseño robusto y confiable
- Trabajo continuo las 24 Horas
- Succión de aire Bridada de 6" de diámetro
- Potencia de 40, 50 y 60 HP
- Operando a 1735 RPM

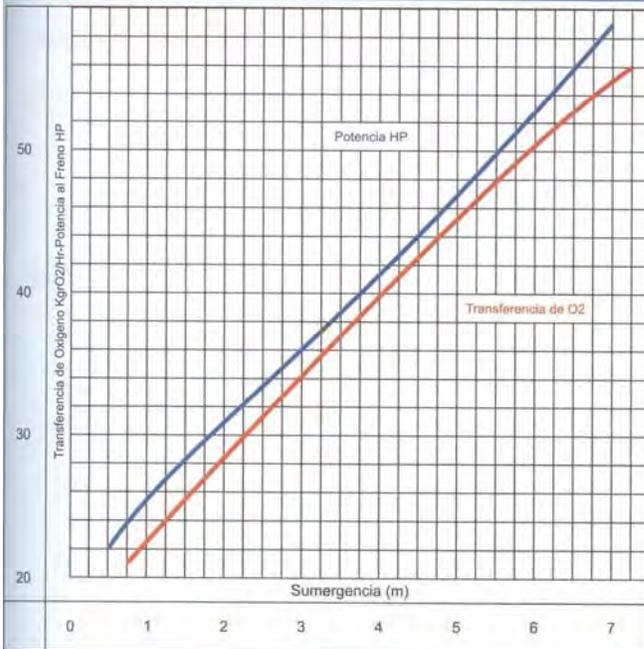


FICHA TECNICA

Aerador Sumergible para el tratamiento de aguas residuales con motor inundado en aceite dieléctrico con impulsor tipo estrella de una sola pieza en acero inoxidable, sello mecánico doble: Superior de Carbón contra Cerámica e Inferior de Carburo de Tungsteno contra Carburo de Silicio. Equipado con sensores de Humedad y Temperatura. Cuenta con 10 metros de cable de acero inoxidable para su izaje, 15 m de cable de alimentación y 15 m de control.



CURVA DE COMPORTAMIENTO



ESPECIFICACIONES

Modelo	AS-06-404-23/43	AS-06-504-23/43	AS-06-604-43
Motor (HP)	40	50	60
Amperaje. Max. Plena Carga	220 440	115 220	132 264
Amperaje. Max. Rotor Bloqueado	220 440	345 690	396 792
Diam. Impulsor	12.3" (312.42 mm)		
Polos (RPM)	4 (1735)		
Tipo de Motor	Inducción Jaula de Ardilla		
Arranque	Estrella		
Volts	220/440		
Fases	3		
Hz	60		
Aislamiento	Clase H		
Diseño NEMA	B		
Temperatura Máxima del Líquido	104°F/40°C		
Longitud de Cable	15 Metros Alimentación y Control		
Impulsor	Una sola pieza tipo estrella		
Diámetro Succión	6" BRIDADA		
Lubricación	Aceite Dieléctrico		



Los datos de la curva de comportamiento están ajustados a condiciones normales de 1 ATM de presión, temperatura de 20° C (68°F), en caso de utilizar el equipo en líquidos con otros parámetros de trabajo, puede variar el rendimiento, por lo que recomendamos llamar a su distribuidor.

Derechos Reservados
Reg. IMPI 366191-617315
Reg. ISO 9001:2000 Septiembre 2004
ISO 9001:2008 Febrero 2010
Revisión No. 07 Marzo 2010

Figura No.30. Selección aireador sumergible. Fuente Catalogo de NABOHI

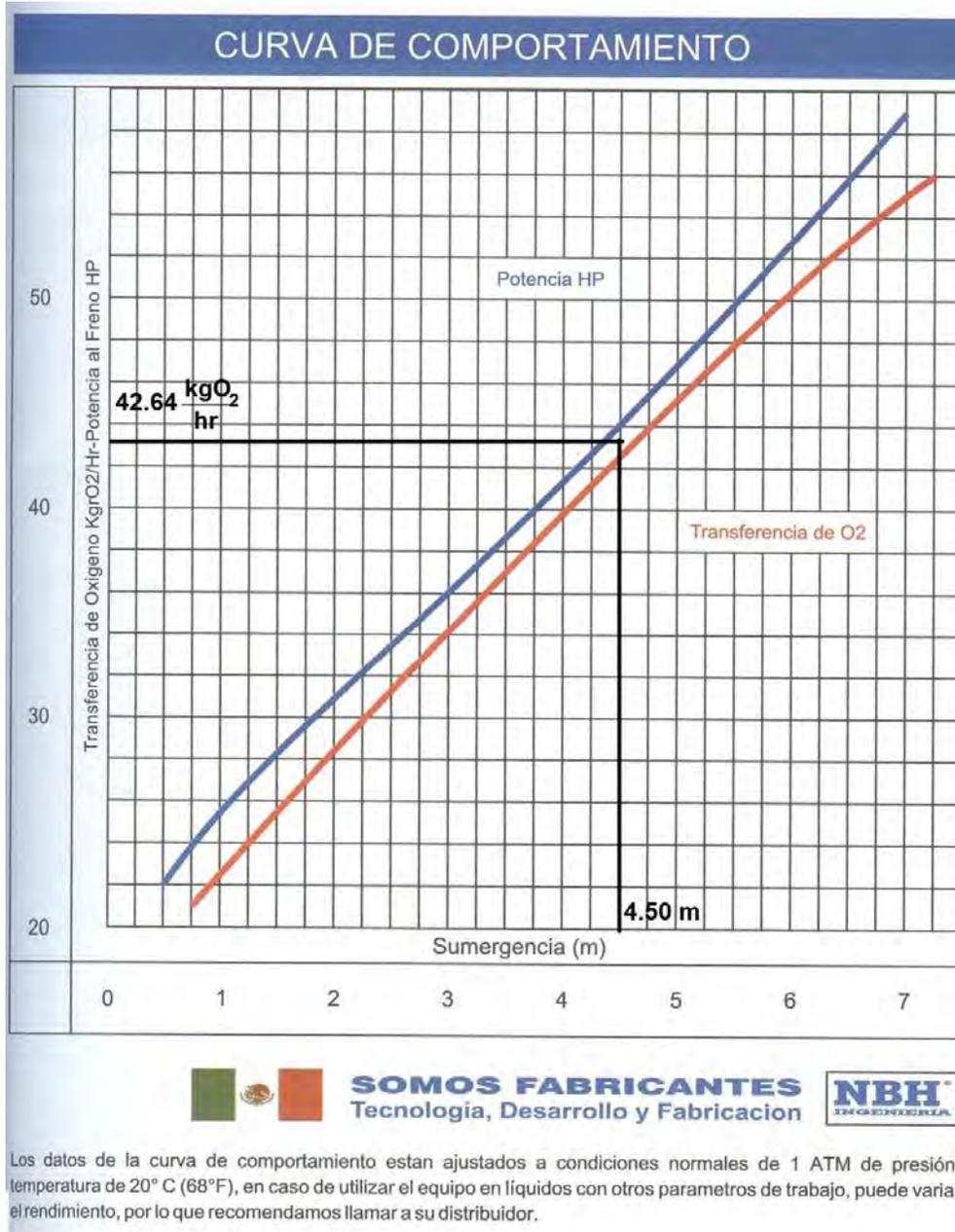


Figura No. 31. Curva de comportamiento del aireador. Fuente Catalogo de NABOHI.

III.6.3. Aireadores de ciclo de desplazamiento positivo y sopladores centrífugos de alta eficiencia.

a) *Cálculo del aire de difusión:*

$$\text{DBO}_5 \text{ removido} = \frac{(S_F - F)}{1+t} 8.34Q$$

$$F = \frac{\frac{S_F}{1+r}}{k_m(t)+1} = \frac{\frac{350}{1+0.4}}{360(0.25)+1} = \frac{250}{91} = 2.75 \text{ mg/l.}$$

$$\text{DBO}_5 \text{ removido} \left(\frac{350 - 2.75}{1+0.25} \right) 8.34 \times 4.795 = 11,109 \text{ lb/día}$$

$$\frac{\text{Demanda total de oxígeno}}{\text{DBO}_5 \text{ removido}} = \frac{7,861}{11,109} = 0.71 O_2$$

Tirante de agua = 3.5 m = 11.48 ft,

O₂ absorción, STE = 0.05

Temperatura = 20°C

C_s = 9.2 mg/l

C_e = 1.0

θ = 1.02 ρ = 0.9 α = 0.9 β = 0.9

b) *Contenido de oxígeno del aire en el tanque de aireación en:*

$$O_t = \frac{21(1 - O_2 \text{ absorción}) \times 100}{79 + 21(1 - O_2 \text{ absorción})}$$

$$O_t = \frac{21(1 - 0.05)100}{79 + 21(1 - 0.05)} = 20.16\%$$

c) *Presión absoluta al soltar el aire al tirante considerado:*

$$P_b = 14.7 + D_r(0.433) = 14.7 + 11.48(0.433) = 19.67 \text{ psi.}$$

d) *Volumen de saturación de oxígeno en el tanque de aireación:*

$$C_{sm} = C_s \left(\frac{Pb}{29.4} + \frac{O_t}{42} \right) = 9.2 \left(\frac{19.67}{29.4} + \frac{20.16}{42} \right) = 10.57 \text{ mg/l}$$

e) *Eficiencia de transferencia de oxígeno:*

$$TEW = STE (\alpha) \frac{(C_{sm} \rho \beta) - C_e}{9.2} \theta^{(T-20)}$$

$$TEW = 0.05(0.9) \left[\frac{10.57 \times 0.9 \times 0.9 - 2.0}{9.2} \right] 1.024^{(20-20)}$$

$$TEW = 0.032$$

f) *Requerimientos de aire:*

$$\frac{ft^3 \text{ aire}}{DBO_5 \text{ removido}} = \frac{lb O_2}{lb DBO_5 \text{ rem.} \cdot 0.0176 (TEW)}$$

$$\frac{ft^3 \text{ aire}}{lb DBO_5 \text{ removido}} = \frac{0.71}{0.0176 \times 0.032} = 1,261 \frac{ft^3}{lb}$$

$$ft^3 \text{ aire/día} = 1,261 \times (11,109) = 14'008,449 \text{ ft}^3/\text{día.}$$

$$PCM \frac{14'008,449}{1,440} = 9,728 \text{ ft}^3/\text{min.}$$

$$\text{Flujo por difusor} = 10 \text{ ft}^3/\text{min.}$$

$$N^\circ \text{ de difusores} = \frac{9,728}{10} = 973 \text{ difusores}$$

g) *Potencia requerida para una presión de 6 lb/pulg² y eficiencia del 85%*

$$\frac{6 \times 9,728 \times 144}{33,000(0.85)} = 300 \text{ HP}$$

h) Selección de sopladores de desplazamiento positivo.

De la figura No. 32, se selecciona por tren de tratamiento (150 lps) 5 (cinco) sopladores marca **SUTORBILT** tipo **8 LP**, el cual proporciona cada uno 2,106 ft³/min a 1,375 rpm con 68 HP (70 HP) a 6 lb/pulg² (psi).

$$5 \times 2,106 = 10,530 \text{ ft}^3/\text{min VS } 9,728 \text{ ft}^3/\text{min potencia instalada}$$

$$5 \times 70 = 350 \text{ HP/modulo de tratamiento.}$$

El arreglo de este reactor biológico y aireación por difusores y sopladores de desplazamiento positivo se presenta en el anexo correspondiente a planos.



These Blower Performance Figures are for the new "P" Series which is the current replacement for the "B", "F" and "L" models. Although dimensionally interchangeable, there are some performance improvements that may enable you to produce more cfm and/or psi with the new "P" series. Motor and V-drive changes may be required. Blowers weighing over 70 lbs ship motor freight.

BLOWER PERFORMANCE TABLE

LOW PRESSURE UNITS

SIZE	DIA. INLET & OUTLET	SHAFT SIZE	RPM	2 PSIG		3 PSIG		4 PSIG		5 PSIG		6 PSIG		7 PSIG		WT (LBS)	ITEM	HORIZONTAL STOCK #	VERTICAL STOCK #	EACH
				CFM	BHP															
2LP 2LVP	2"-S	0.625	2800	76	1.1	71	1.6	66	2.1	63	2.5	59	3.0	56	3.5	62	BLOWER GAS PUMP	67966 11031	69930 11032	CALL CALL
			3250	91	1.3	86	1.8	82	2.4	78	2.9	75	3.4	72	4.0					
			3560	102	1.4	97	2.0	93	2.6	88	3.2	86	3.7	83	4.3					
			5275	162	2.0	157	2.8	153	3.7	149	4.6	146	5.3	143	6.1					
3LP 3LVP	2 1/2"-S	0.750	1760	149	1.9	142	2.8	135	3.7	129	4.5	124	5.2	120	5.1	108	BLOWER GAS PUMP	67965 11033	69931 11034	CALL CALL
			2265	202	2.4	194	3.5	188	4.7	182	5.6	177	6.7	172	7.8					
			2770	254	2.9	247	4.3	240	5.5	235	6.5	229	8.2	225	9.6					
			3600	341	3.7	333	5.3	326	7.1	321	8.9	316	10.6	311	12.4					
4LP 4LVP	3"-S	0.875	1760	253	3.0	243	4.5	234	6.7	226	7.1	220	8.5	213	9.9	155	BLOWER GAS PUMP	67964 11035	69932 11036	CALL CALL
			2190	326	3.7	316	5.3	307	7.3	300	8.8	293	10.6	286	12.4					
			2620	399	4.4	389	6.3	380	8.4	373	10.6	366	12.7	359	14.8					
			3600	566	5.8	556	8.7	547	11.6	539	14.5	532	17.4	526	20.3					
5LP 5LVP	4"-S	1.125	1500	463	5.2	449	7.5	437	10.0	427	12.4	418	14.9	409	17.4	255	BLOWER GAS PUMP	67963 11037	69933 11038	CALL CALL
			1760	554	5.8	540	8.8	528	11.7	519	14.6	509	17.5	500	20.4					
			2100	673	7.0	659	10.5	647	13.9	637	17.4	628	20.9	619	24.4					
			2850	936	9.5	922	14.2	910	18.9	900	23.6	890	28.4	882	33.1					
6LP 6LVP	6"-F	1.375	1170	798	8.0	715	11.9	696	15.9	679	19.9	664	23.9	650	27.9	505	BLOWER GAS PUMP	67962 11039	69934 11040	CALL CALL
			1760	1162	12.0	1139	18.0	1120	24.0	1103	29.9	1088	35.9	1073	41.9					
			1930	1284	13.1	1261	19.7	1242	26.3	1225	32.8	1210	39.4	1196	46.0					
			2350	1586	16.0	1563	24.0	1543	32.0	1526	40.0	1511	48.0	1497	56.0					
7LP 7LVP	8"-F	1.562	1170	1277	13.3	1248	20.0	1224	26.6	1202	33.3	1183	39.9		705	BLOWER GAS PUMP	67961 11041	69935 11042	CALL CALL	
			1465	1631	16.7	1602	25.0	1578	33.3	1556	41.7	1537	50.0							
			1760	1985	20.0	1956	30.0	1932	40.0	1910	50.1	1891	60.1							
			2050	2333	23.3	2304	35.0	2280	46.0	2258	58.3	2239	70.0							
8LP 8LVP	10"-F	1.750	880	1365	14.5	1329	21.8	1296	29.0	1270	36.3	1245	43.5		1145	BLOWER GAS PUMP	67960 11043	69936 11044	CALL CALL	
			1170	1871	19.3	1834	28.9	1802	38.6	1775	48.2	1750	57.9							
			1375	2227	22.7	2190	34.0	2159	45.4	2131	56.7	2106	68.0							
			1800	2967	29.7	2930	44.5	2898	59.4	2871	74.2	2846	89.1							

MEDIUM PRESSURE UNITS

SIZE	DIA. INLET & OUTLET	SHAFT SIZE	RPM	7 PSIG		9 PSIG		10 PSIG		12 PSIG		13 PSIG		14 PSIG		WT (LBS)	ITEM	HORIZONTAL STOCK #	VERTICAL STOCK #	EACH
				CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP					
2MP 2MVP	1"-S	0.625	2800	25	1.7	30	2.5									55	BLOWER GAS PUMP	48520 11045	69937 11046	CALL CALL
			3250	33	1.9	36	2.7													
			3560	38	2.1	45	3.1													
			5275	67	3.1	64	3.9	63	4.4	60	5.1									
3MP 3MVP	2"-S	0.750	1760	64	3.6	59	4.6								88	BLOWER GAS PUMP	48522 11047	69938 11048	CALL CALL	
			2265	95	4.6	89	5.8	86	6.4											
			2770	125	5.5	119	7.1	117	7.9	112	9.5									
			3600	175	7.2	169	9.2	167	10.2	162	12.3									
4MP 4MVP	2 1/2"-S	0.875	1760	144	6.8	136	8.8	132	9.8						125	BLOWER GAS PUMP	48524 11049	69939 11050	CALL CALL	
			2190	194	8.5	186	10.9	182	12.1											
			2620	245	10.2	236	13.1	232	14.5											
			3600	359	14.0	351	18.0	347	20.0											
5MP 5MVP	4"-S	1.125	1500	237	10.5	227	13.4	222	14.9	213	17.9	209	19.4		215	BLOWER GAS PUMP	48526 11051	69940 11052	CALL CALL	
			1760	292	12.3	281	15.8	276	17.5	268	21.0	263	22.8							
			2100	363	14.6	353	18.8	348	20.9	339	25.1	335	27.2							
			2850	521	19.9	510	25.5	505	28.4	496	34.0	492	36.9							
6MP 6MVP	5"-S	1.375	1170	331	14.9	316	19.1	309	21.2	295	25.5	289	27.6	283	29.7	330	BLOWER GAS PUMP	48521 11053	69941 11054	CALL CALL
			1760	557	22.4	542	28.8	535	32.0	521	38.3	515	41.5	509	44.7					
			1930	622	24.5	607	31.5	600	35.0	596	42.0	590	45.5	574	49.1					
			2350	783	29.9	768	38.4	761	42.7	747	51.2	741	55.5	735	59.7					
7MP 7MVP	6"-F	1.562	1170	693	28.5	670	36.6	660	40.7						600	BLOWER GAS PUMP	48523 11055	69942 11056	CALL CALL	
			1465	909	35.6	887	45.8	877	50.9											
			1760	1125	42.8	1103	55.0	1093	61.1											
			2050	1338	49.9	1315	64.1	1305	71.2											
8MP 8MVP	8"-F	1.750	880	709	30.4	681	38.0	668	43.4						885	BLOWER GAS PUMP	48525 11057	69943 11058	CALL CALL	
			1170	1010	40.4	982	51.9	970	57.7											
			1375	1223	47.4	1196	61.0	1183	67.8											
			1800	1665	62.1	1638	79.9	1625	88.7											

HIGH PRESSURE UNITS

SIZE	DIA. INLET & OUTLET	SHAFT SIZE	RPM	7 PSIG		8 PSIG		9 PSIG		11 PSIG		13 PSIG		15 PSIG		WT (LBS)	ITEM	HORIZONTAL STOCK #	VERTICAL STOCK #	EACH
				CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP	CFM	BHP					
3HP 3HVP	1 1/2"-S	0.750	1760	46	2.8	44	3.2								82	BLOWER GAS PUMP	69270 11059	69278 11060	CALL CALL	
			2265	69	3.6	66	4.1	64	4.5											
			2770	91	4.3	89	4.9	87	5.3	83	6.5									
			3600	129	5.4	126	6.1	124	6.9	120	8.4	116	10.0	113						11.5
4HP 4HVP	1 1/2"-S	0.875	1760	80	4.2	77	4.8	74	5.2					110	BLOWER GAS PUMP	69271 11061	69279 11062	CALL CALL		
			2190	110	5.0	107	5.7	104	6.4	99	7.9									
			2620	139	6.0	136	6.9	134	7.7	129	9.4	129	10.9						109	12.4
			3600	207	8.2	204	9.4	201	10.6	196	13.0	192	15.3						188	17.7
5HP 5HVP	2 1/2"-S	1.125	1500	154	7.0	151	8.0	147	9.0	140	10.9			196	BLOWER GAS PUMP	69272 11063	69280 11064	CALL CALL		
			1760	191	8.2	187	9.3	183	10.5	177	12.8	171	15.2						165	17.5
			2100	238	9.8	235	11.1	231	12.5	224	15.3	218	18.1						213	20.9
			2850	343	13.2	340	15.1	336	17.0	329	20.9	323	24.6						318	28.4
6HP 6HVP	3"-F	1.375	1170	187	8.8	182	10.1	177	11.3	168	13.8	159	16.4		305	BLOWER GAS PUMP	69273 11065	69281 11066	CALL CALL	
			1760	321	13.3	316	15.1	311	17.0	301	20.8	293	24.6	285						28.4
			1930	360	14.5	355	16.6	349	18.7	340	22.8	332	27.0	324						31.1
			2350	455	17.7	450	20.2	445	22.8	435	27.8	427	32.9	419						37.9
7HP 7HVP	4"-F	1.562	1170	332	14.2	325	16.3	319	18.3	307	22.4	297	26.5	287	30.5	405	BLOWER GAS PUMP	69274 11067	69	

i) Selección de sopladores centrífugos

De la figura No. 34 se selecciona por módulo de tratamiento dos sopladores marca SPENCER tipo centrifugo Serie 5000 para un flujo de 5,500 pie²/min, c/u a una presión de descarga de 6 – 7 lbs/pulg² con 150 HP de potencia.

$$2 \times 5,500 = 11,000 \text{ ft}^3/\text{min VS } 9,728 \text{ ft}^3/\text{min}$$

$$\text{Potencia instalada } 2 \times 150 = 300 \text{ HP/tren de tratamiento.}$$

El arreglo de este reactor biológico por aireación por difusores y sopladores centrífugos se presenta en el anexo correspondiente a planos.

Spencer.

Power Mizer® Series 5000 Cast Multistage Centrifugal Blowers and Exhausters

TECHNICAL DATA SHEET



Rugged, energy efficient multistage blowers and exhausters

The Power Mizer® Series 5000 employs proven Spencer technology to meet heavy-duty air and gas handling requirements at peak energy efficiency.

Spencer's multistage centrifugal blowers and exhausters have a long track record of performance. The product line can be paired with Spencer's variable frequency drives (VFD), operator interface, a variety of control system options, and blower protection devices for optimum energy efficiency. It is ideal for maximum uptime in demanding environments.

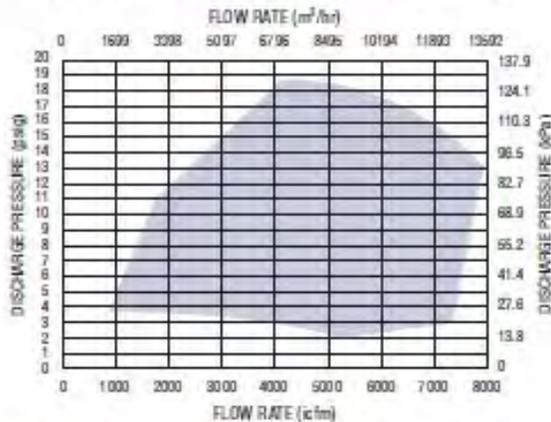
Applications include petrochemical refineries/sulfur recovery; mining/flotation; chemical/combustion air or process air; and municipal and industrial wastewater treatment/aeration.

Spencer's specially engineered aerodynamic components mean smoother, more efficient airflow from blower inlet to discharge. The Power Mizer Series 5000 is a cost-effective solution providing long-term power savings.

Performance Range

Performance at Standard Density

(Air at 68°F, Relative Humidity of 36%, Inlet Pressure 14.7 psia) 3550 rpm



Product Features

Technical Data
Number of stages: 2-8
Operating speed: 3550 rpm
Casing design pressure: 25 psig
Inlet connection: 16" (406mm) flange 125lb/150lb ANSI drilled and tapped
Outlet connection: 14" (356mm) flange 125lb/150lb ANSI drilled and tapped
Seals: labyrinth (single and double carbon ring available)
Bearings: 7312/6312 ball, minimum L10 bearing life of ten years per AFBMA
Lubrication: oil
Drains: 3/8 NPT with plugs
Impeller diameter: 25.5" (648mm)
Impeller tip speed: 395 ft/sec (120 m/sec)
First critical speed: 4286 rpm for maximum stages
Vibration: 0.23 in/sec
Accessories
Full line of standard and custom electrical control panels for packaged systems – UL and CUL Listed available
Dissolved oxygen control system
Flexible sleeve connectors and expansion joints
Filters and silencers
Butterfly valves and check valves

▶ Note: Specifications may vary and change without notice.

Materials of Construction

- Casing and heads: cast iron Class 30
- Tie rods: AISI 1035 carbon steel
- Interstage sealing: silicone rubber
- Shaft: AISI 1144 carbon steel
- Impellers: ASTM A356.0 cast aluminum
- Base: A36 structural steel
- Finish: epoxy primer with urethane topcoat
- Isolation pads: synthetic rubber and cork

The Spencer Turbine Company • 800 Day Hill Road, Windsor, CT USA 06095 • TEL 800-232-4321 • 860-688-8381 • www.spencerturbine.com

**Figura No. 33. Rango de comportamiento de los sopladores Spencer Serie 5000.
Fuente Catalogo SPENCER**

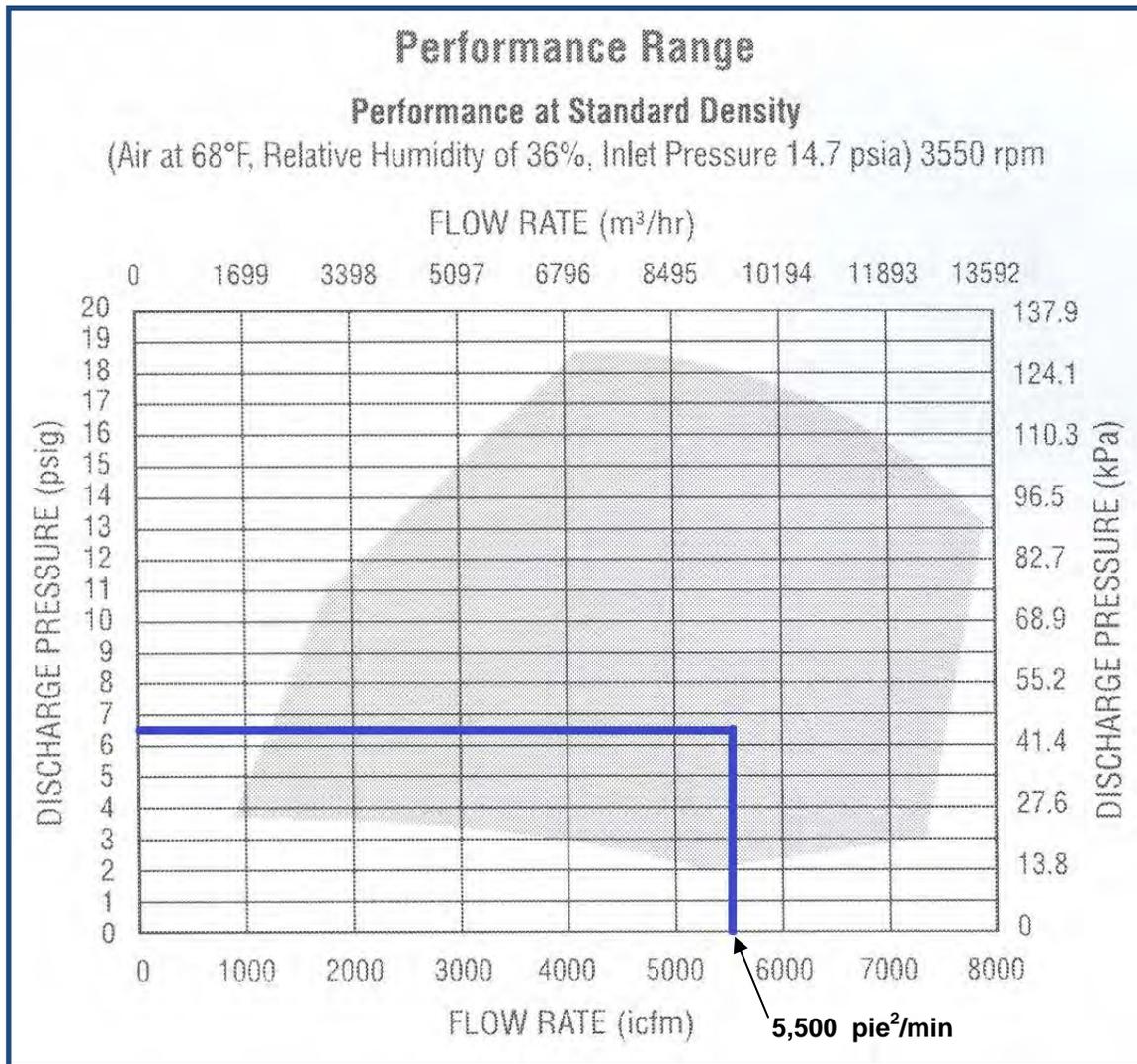


Figura No. 34. Curva de selección de soplador. Fuente Catalogo SPENCER.

IV. FILTROS PERCOLADORES.

IV.1. Descripción del proceso.

Un filtro percolador o filtro rociador consiste en una estructura de material granular o material de soporte a través de la cual se hace pasar un efluente de aguas residuales previamente clarificadas, mediante un tratamiento primario, figura No. 35.

Los filtros percoladores, al igual que otros procesos de tratamiento secundario como los filtros de arena y los contenedores biológicos constan de tres partes básicas.

- *Medio filtrante.*
- *Sistema de distribución.*
- *Sistema de bajo dren.*

IV.1.1. Medio filtrante.

El medio filtrante en un filtro percolador puede estar formado por grava, escoria, carbón, pedacera de ladrillo, material de plástico o cualquier otra sustancia durable y resistente; sobre la cual se propicia la formación de una película gelatinosa (llamada zooglea) constituida por una población microbiana heterogénea cuya acción física y físico – química retiene la materia orgánica y se alimenta de ella.

El medio filtrante debe tener una relación de vacíos tal que permita su adecuada ventilación para proporcionar condiciones aeróbicas, por lo que se usan tamaños de material comprendidos entre 2 y 4 pulgadas (5 a 10 cm) con una granulometría casi uniforme; y una profundidad que oscila entre 1 y 2.5 m; colocado de tal manera que el material más fino ocupe las posiciones superiores. En el caso de utilizar material plástico el tirante tiene profundidades hasta de 6.50 m.

El medio filtrante ideal es aquel material que posea una elevada área superficial por unidad de volumen, que sea económico, duradero y que no se obstruya fácilmente. El material más aconsejable por su economía suele ser la grava formada por roca volcánica triturada y clasificada por tamaños uniformes. Sin embargo, este material es, en la mayoría de los casos, sumamente pesado lo que involucra construir cimentaciones más profundas y costosas, por lo que recientemente se han experimentado materiales plásticos más ligeros pero más caros que los anteriores.

Respecto a la granulometría del medio, se puede decir que un material con un tamaño menor que 1 pulgada (2.54 cm) no proporciona suficiente espacio de poros entre las piedras que permitan el flujo del agua residual, y los sólidos que pudieran acarrear del tratamiento primario, darán como resultado una obstrucción más rápida del filtro; por otra parte las piedras con un tamaño mayor a 2 2/4 pulgadas (7 cm) evitan los taponamientos pero presentan un área superficial pequeña en relación a su volumen; razón por la cual o pueden soportar una zooglea grande, bajando considerablemente la eficiencia de remoción del filtro.

Una característica muy importante del medio filtrante es su durabilidad y resistencia, la cual se determina mediante pruebas de "Intemperismo Acelerado", de una manera idéntica a los ensayos que se realizan para probar la consistencia de los agregados utilizados en la fabricación del concreto.

Recientemente se han empleado con éxito medios filtrantes plásticos tales como el cloruro de polivinilo (PVC), que consisten en estructuras laminares que semejan panales de miel y se montan ensamblándolos de forma modular, o bien en láminas acanaladas colocadas e estructuras de 60 cm de profundidad y 1.20 m de largo; las cuales ya instaladas forman un medio sumamente poroso y ligero resistente a residuos industriales fuertes, permitiendo la construcción de filtros profundos de hasta 6 m, figura No. 36.

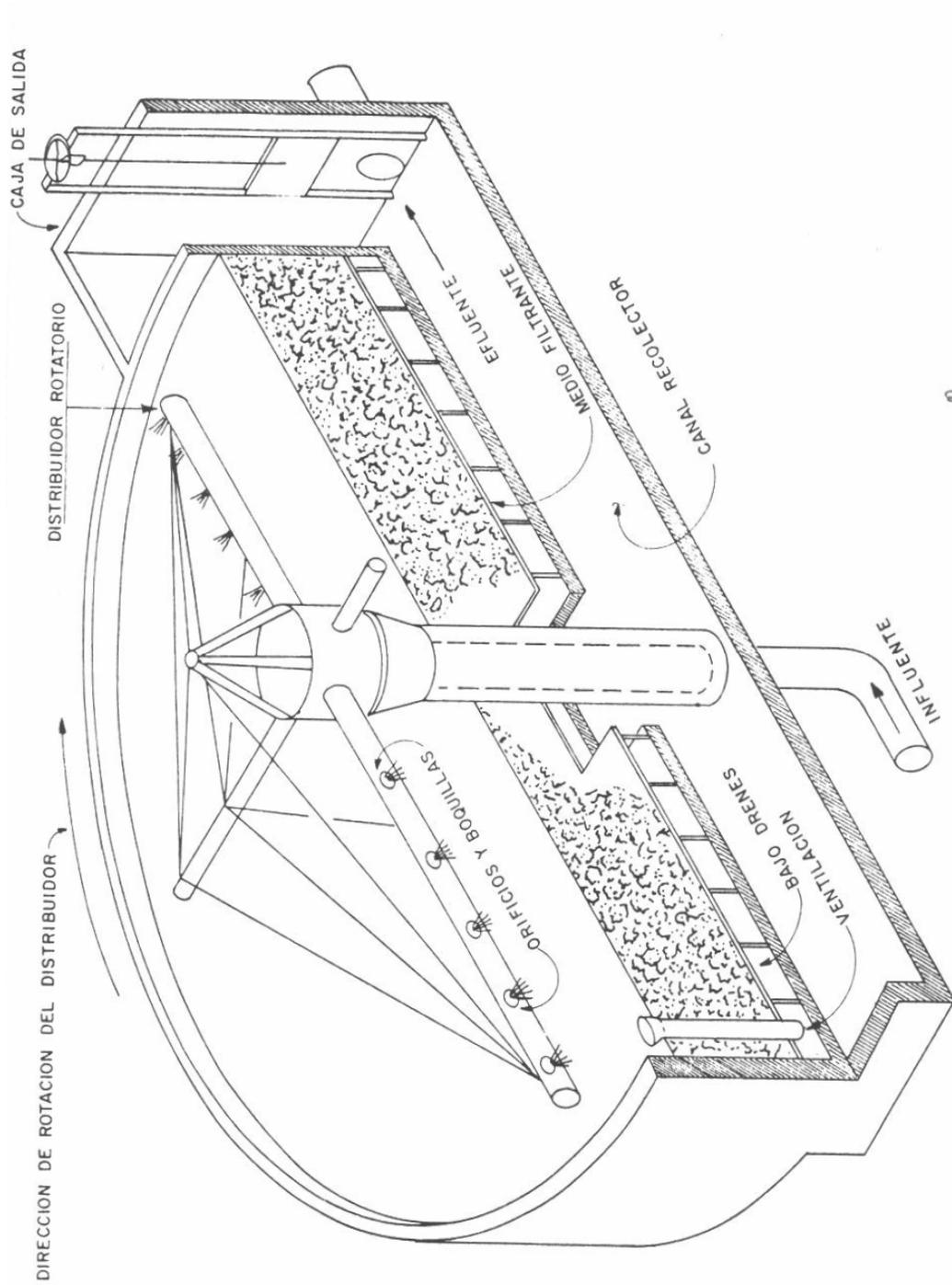


Figura No. 35. Sección transversal de un filtro percolador típico. Fuente Operación y mantenimiento de filtros percoladores, SEDUE.



Figura No. 36. Diferentes tipos de medios filtrantes comúnmente utilizados en filtros percoladores. Fuente del autor.



Figura No. 37. Medio filtrante y brazo rotatorio. Fuente del autor.



Figura No. 38. Medio filtrante compacto y brazo rotatorio. Fuente del autor.



Figura No. 39. Distribuidor Rotatorio. Fuente del autor.

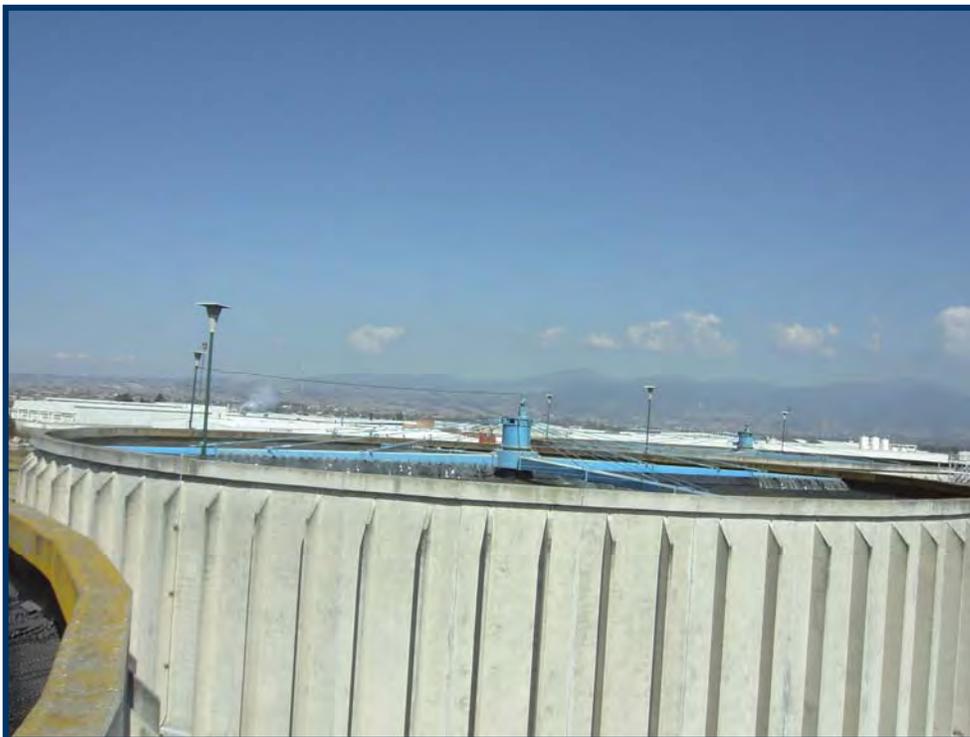


Figura No. 40. Vista del filtro percolador. Fuente del autor.

No obstante el elevado costo de estos materiales manufacturados, se obtienen grandes ventajas debido a su alta capacidad hidráulica, baja disposición de obstrucciones y formación de una adecuada zooglea que permite construir filtros de altas cargas, lo cual aunado a su durabilidad lo transforman en el medio filtrante idóneo desde el punto de vista técnico.

IV.1.2. Sistema de distribución.

El sistema de distribución de un filtro percolador tiene por objeto uniformizar el reparto del agua residual en el medio filtrante. El distribuidor rotativo ha sido el elemento estándar en estos filtros debido a su facilidad de mantenimiento, bajo costo de propulsión, y confiabilidad. Este sistema consiste de dos o más tuberías montadas sobre una columna que sirve como pivote en el centro del filtro y gira en un plano horizontal a pocos centímetros sobre el medio filtrante, figura No. 35.

El distribuidor puede ser impulsado por un motor eléctrico o bien por la reacción dinámica del agua residual a tratar. En el primer caso la velocidad de rotación es constante, mientras en el segundo caso dicha velocidad depende del gasto con que esté trabajando la unidad; pero en ambos casos la velocidad de giro deberá de ser del orden de una vuelta completa cada 10 minutos, o menos para distribuidores de dos brazos.

De acuerdo con la experiencia, los brazos al girar deben mantenerse a una distancia de 15 a 22 cm de la parte superior del medio filtrante, para permitir que el agua residual salga por las boquillas de modo uniforme, distribuyéndose en todo el lecho, evitando así en las regiones frías que las posibles acumulaciones de hielo, puedan impedir el movimiento de los brazos durante la época de heladas.

Los brazos del distribuidor están provistos de boquillas para proporcionar un chorro redondo o plano. El chorro redondo se obtiene mediante una boquilla de orificio, mientras que el chorro plano se produce haciendo que el chorro redondo pegue con una lámina situada bajo la boquilla.

Los brazos del distribuidor en unidades pequeñas son de sección transversal constante, mientras que, para unidades grandes son de sección decreciente con el prospecto de tener un gasto de salida constante en todas las boquillas.

A lo largo de los brazos del distribuidor, algunos fabricantes colocan las boquillas irregularmente de tal manera que se consigue un gasto mayor por unidad de longitud en la periferia, lo que involucra un mayor número de orificios en el contorno.

Otras características importantes que deben tomarse en cuenta al diseñar o elegir un distribuidor son la resistencia de su construcción, facilidad de limpieza, resistencia a la corrosión del material y su capacidad para recibir fluctuaciones grandes de gasto, sin variar considerablemente su velocidad de giro. Actualmente en el mercado existen distribuidores hasta de 60 m de diámetro.

IV.1.3. Sistema de bajo dren.

El sistema de bajo dren debe cumplir dos requisitos esenciales:

- a) Recolectar el agua residual tratada y los sólidos que se desprenden del medio filtrante.
- b) Permitir una buena ventilación para mantener adecuadas condiciones aerobias en la zooglea, evitando que ésta se descomponga al entrar en condiciones anaerobias.

Los requisitos anteriores se cumplen si los drenes presentan una capacidad y pendiente suficiente para que operen a satisfacción por si solos, permitiendo el libre paso del aire para una buena ventilación, por lo que es recomendable que los drenes inferiores y canaletas de recolección se diseñen para transportar el gasto de diseño con un tirante hasta la mitad de su altura.

Los drenes inferiores están constituidos por medios tubos de arcilla nitrificada, asbesto cemento o mortero cemento, con una pendiente de 1 a 2 %, los cuales descargan sobre el canal recolector. Estos drenes se encuentran tapados por un firme ranurado que permite el paso del agua residual y soporta el medio filtrante.

Un sistema económico que ha producido buenos resultados consiste en construir un entarimado de madera, figura No. 41 o un fondo falso formado por viguetas de concreto separadas unos 4 cm entre si que descansan sobre las canaletas recolectoras que constituyen el fondo real del filtro percolador.

Es conveniente que los drenes estén abiertos en ambos extremos para que puedan inspeccionarse fácilmente y evitar las obstrucciones, para lo cual se limpian con descargas de aguas realizadas mediante una manguera a presión.

Por lo que respecta al canal de recolección, éste se diseña de tal manera que pueda controlarse con una válvula de modo que el medio filtrante pueda inundarse con agua residual, y a continuación desaguar sin provocar rebosamiento. La inundación del medio filtrante es un procedimiento eficaz para lavar el filtro, corregir obstrucciones y controlar las larvas de moscas que se crían en el medio filtrante, las cuales causan muchas molestias.

Usualmente el canal recolector se ensancha en el centro del filtro formando una galería, sobre la cual se soporta la columna del distribuidor.

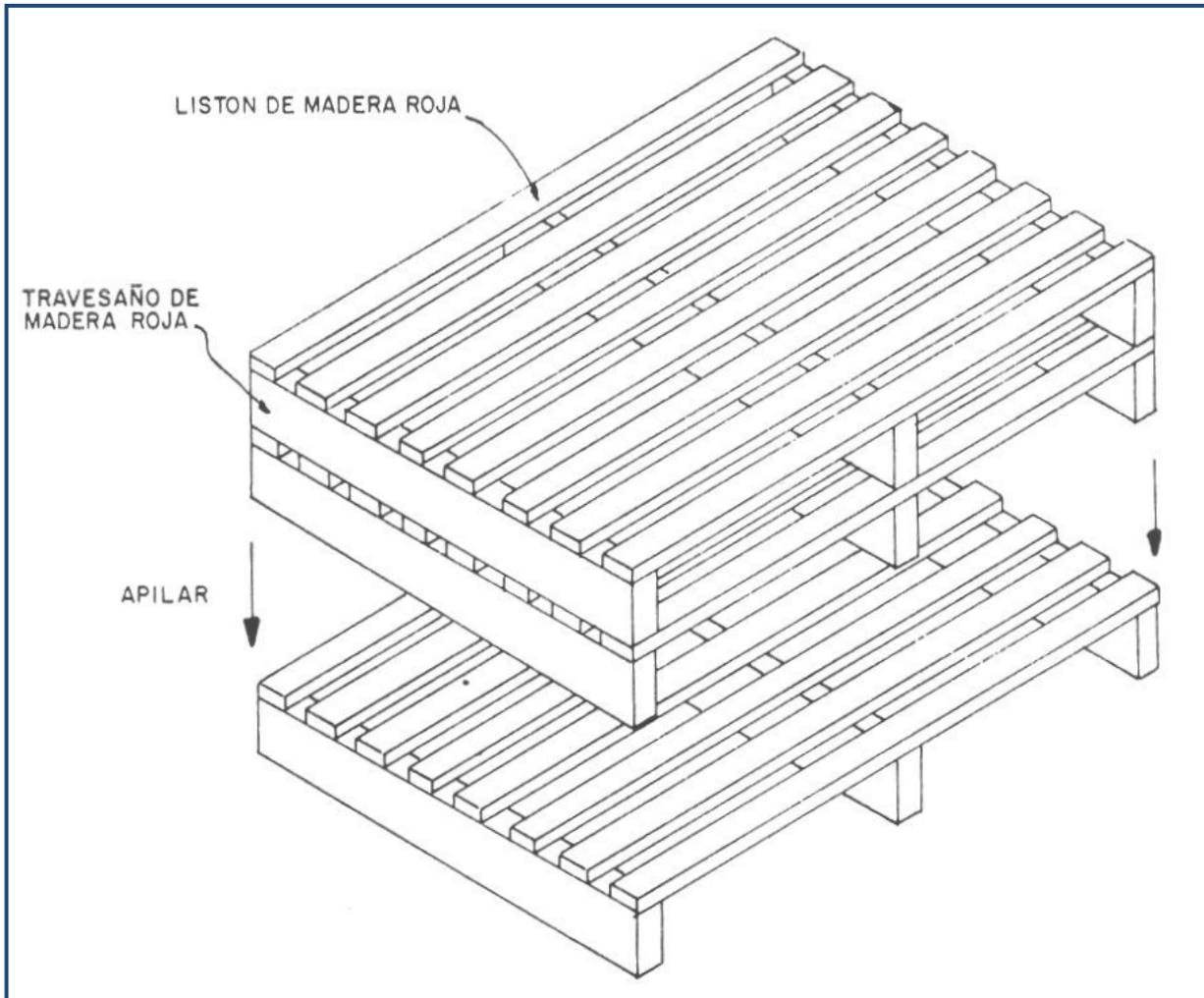


Figura No. 41. Soporte de medio filtrante. Fuente Manual operación y mantenimiento de filtros percoladores, SEDUE.

Por lo que respecta al sistema de ventilación, cabe decir que la aireación natural del filtro está íntimamente relacionada con la temperatura del ambiente y del agua residual; como dichas temperaturas son generalmente diferentes existe un intercambio de calor en el medio filtrante, el cambio de temperatura del aire dentro del filtro provoca de modo natural los cambios de dirección de las corrientes de aire. El flujo del aire a través de un filtro es descendente si la temperatura del aire es mayor que la del agua residual y viceversa. Durante el invierno, cuando las temperaturas del ambiente son bajas el flujo del aire será ascendente.

Los drenes inferiores ventilan el filtro proporcionando aire a los microorganismos que viven en las capas inferiores del medio filtrante. La ventilación natural es muy conveniente y eficaz si se cumplen los siguientes requisitos:

- a) Que los drenes inferiores y canales recolectores estén diseñados para que, en flujo máximo, estén llenos hasta la mitad de su altura.
- b) Que en ambos extremos del canal de recolección se instalen chimeneas de ventilación.
- c) Que los filtros de gran diámetro tengan canales recolectores secundarios con orificios o chimeneas de ventilación cercanos a la periferia.
- d) Que el área de los orificios de los bloques en los drenes inferiores no sea menor del 15% del área total de filtro.
- e) Que por cada 25 m² de área de filtro se proporcione un área total de 0.10 m² de rejilla abierta en las chimeneas de ventilación.

Cuando los filtros van a trabajar sumamente cargados o son extremadamente profundos, es adecuado proyectar un sistema de ventilación forzado proporcionando un flujo de aire de $0.3 \frac{m^3}{min} m^2$ de superficie de filtro en cualquier dirección. El aire se puede suministrar por medio de sopladores y un sistema difusor cercano a los drenes. En este caso no es conveniente que se inunde el lecho filtrante para corregir estancamiento ya que puede averiarse el sistema de inyección de aire, y siempre debe de hacerse funcionar el sistema de aireación conjuntamente con la inclusión de agua residual.

Durante el invierno, en los lugares donde la temperatura del ambiente es muy baja, es conveniente limitar el flujo de aire al filtro para evitar su congelación.

IV.2. Proceso de depuración de aguas residuales.

Cuando en el medio filtrante existen las condiciones propicias para el desarrollo de los microorganismos, es decir existe una alimentación constante de agua residual, aunada a una temperatura óptima y a una buena ventilación del filtro; se observa que sobre el medio filtrante se desarrolla una película gelatinosa (zooglea) y formas de vida macroscópica. La zooglea está formada por microorganismos y constituye la base del tratamiento biológico, mientras que las formas de vida macroscópica ayudan a realizar el tratamiento y equilibran la vida biológica en el medio.

A grandes rasgos el proceso de depuración del agua residual se efectúa de la siguiente manera: El agua residual cruda posee una cierta cantidad de materia orgánica y/o compuestos degradables, que son susceptibles de ser medidos mediante una prueba como la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), dichas sustancias sirven de alimento a los microorganismos, los cuales las utilizan en sus procesos metabólicos, generando nuevas células y oxidando la materia orgánica, dando como subproductos finales dióxido de carbono y agua.

La creación de nuevas células ocasiona el crecimiento de la zooglea, mientras que el proceso de oxidación produce la depuración del agua residual. Cabe hacer notar que para que sucedan estos fenómenos es indispensable que el filtro sea alimentado constantemente con agua residual.

IV.3. Aplicaciones de los filtros percoladores.

Los filtros rociadores ó percoladores son aplicables al tratamiento tanto de aguas residuales municipales como industriales, siendo recomendable que el terreno donde se localice la planta de tratamiento presente un desnivel, tal que, proporcione la carga hidráulica suficiente para impulsar los distribuidores sin necesidad de emplear motores eléctricos.

En el tratamiento de aguas residuales industriales se han usado filtros percoladores de medio plástico en la depuración de los siguientes desechos:

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| 1.- Compuestos amoniacales. | 20.- Gaseras. |
| 2.- Antitoxinas. | 21.- Productos químicos orgánicos |
| 3.- Radiactivos. | 22.- Empaquetado de comida. |
| 4.- Azúcar de remolache. | 23.- Molinos de pulpa de papel. |
| 5.- Cervecerías. | 24.- Lavanderías. |
| 6.- Producto de coque. | 25.- Petroquímica. |
| 7.- Conservas. | 26.- Petróleo. |
| 8.- Acetato de celulosa. | 27.- Farmacéutica (antibióticos). |
| 9.- Fenolesclorados. | 28.- Refinerías de petróleo. |
| 10.- Planta de coque. | 29.- Encurtidos. |
| 11.- Conservas de maíz. | 30.- Almidón de papa. |
| 12.- Cianuro. | 31.- Rastros de aves. |
| 13.- Bebidas. | 32.- Fenol puro. |
| 14.- Destilerías. | 33.- Textil. |
| 15.- Procesos de fermentación. | 34.- 2, 4 – D. |
| 16.- Procesamiento de comida. | 35.- Vacunas. |
| 17.- Procesamiento de fibras. | 36.- Agua blanca. |
| 18.- Azúcar de caña. | 37.- Glicoles. |
| 19.- Comidas congeladas. | 38.- Curtidurías. |

Como se puede observar el uso de filtros percoladores es sumamente versátil y su empleo queda restringido a características del terreno y costos tanto de construcción como de mantenimiento y operación.

IV.4 Consideraciones de diseño.

Al diseñar un filtro percolador, el ingeniero sanitario debe de considerar tanto las cargas orgánicas como hidráulicas y el grado de purificación deseado en el efluente. Se han desarrollado a lo largo del tiempo una serie de ecuaciones para describir el funcionamiento de filtros percoladores como las fórmulas de: Veltz, The National Research Council (NRC), Fairall, Rankin, Eckenfelder y Galler Gotaas, etc.; a continuación discutiremos la de Veltz, las del NRC y la de Eckenfelder.

Fórmula de Veltz.

La fórmula de Veltz relaciona la DBO aplicada y la DBO esperada con la profundidad del filtro según la siguiente ecuación:

$$\frac{LD}{L} = 10^{-3.3KD} \quad (1)$$

Donde:

LD = DBO a la profundidad D (DBO del efluente si D representa la altura del medio filtrante), en mg/l.

L = DBO aplicada que es eliminable (no mayor del 90% de la DBO que representa el desecho), en mg/l.

K = Parámetro de eliminación.

K = 0.175 para filtros de baja carga *.

K = 0.15 para filtros de alta carga *.

D = Profundidad del medio filtrante, en metros.

* Se refiere a carga orgánica.

En la ecuación de Veltz, cuando se recircula el agua tratada; la DBO aplicada se calcula mediante la siguiente expresión:

$$La = \frac{Lo + RLe}{1 + R} \quad (2)$$

Donde:

La = DBO aplicada tras dilución por recirculación en mg/l.

Lo = DBO del agua residual sin tratar, en mg/l.

Le = DBO del efluente, en mg/l.

R = Relación de recirculación.

Donde:

$$R = \frac{Qr}{Q} \quad (3)$$

Qr = Gasto de recirculación, en lt/seg.

Q = Gasto de agua cruda, en lt/seg.

Fórmulas del NRC.

La ecuación que propone el National Research Council (Entidad del gobierno de Canadá, encargada a la ciencia e investigación) para el diseño de filtros percoladores, se obtuvo de una forma empírica tomando como base las observaciones de filtros instalados en una serie de bases militares. Las fórmulas son aplicables a sistemas de fase única y de fase múltiple, figura No. 42. La ecuación para un filtro de una sola etapa o para la primera etapa es:

$$E_1 = \frac{100}{1 + 0.014 \sqrt{\frac{W}{VF}}} \quad (4)$$

Donde:

E₁ = Eficiencia de eliminación de DBO para el proceso, incluyendo recirculación y sedimentación, en %.

W = Carga de DBO del filtro, en kg/día.

V = Volumen del medio filtrante, en miles de m³.

F = Factor de recirculación.

El factor de recirculación se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F = \frac{1 + R}{(1 + R/10)^2} \quad (5)$$

El factor de recirculación simboliza el promedio de pasadas de la materia orgánica a través del filtro. El término $R/10$ toma en consideración la facilidad de eliminación de materia orgánica, observando de una forma experimental, pues parece decrecer al aumentar el número de pasadas.

Para un filtro de segunda etapa, figura No. 42, se tiene la siguiente expresión:

$$E_2 = \frac{100}{1 + \frac{0.014}{1 - E_1} \sqrt{\frac{W'}{VF}}} \quad (6)$$

Donde:

E_1 = Eficiencia de remoción de 1ª fase, en %

E_2 = Eficiencia de remoción de DBO para la filtración en la segunda fase de filtración, incluyendo recirculación y sedimentación, en %.

W' = Carga de DBO al filtro de segunda fase, en kg/día.

Fórmula de Eckenfelder.

La ecuación que desarrolló el profesor Eckenfelder se basa en la simulación del funcionamiento de filtros percoladores en modelos de laboratorio. Esta ecuación tiene la misma estructura que la fórmula de Veltz, en donde se incluyen factores como el tiempo de contacto y la superficie específica del filtro. Dicha ecuación es la siguiente.

$$\frac{S_e}{S_o} = e^{-kX_v t} = e^{-Kt} \quad (7)$$

$$k = kX_v \quad (8)$$

Donde:

S_e = DBO del efluente, en mg/l.

S_o = DBO del influente, en mg/l.

k = Constante de remoción a determinar en laboratorio.

e = Base de los logaritmos naturales = 2.71828182845.

t = Tiempo de residencia en días.

X_v = Sólidos volátiles en el efluente del filtro, en mg/l.

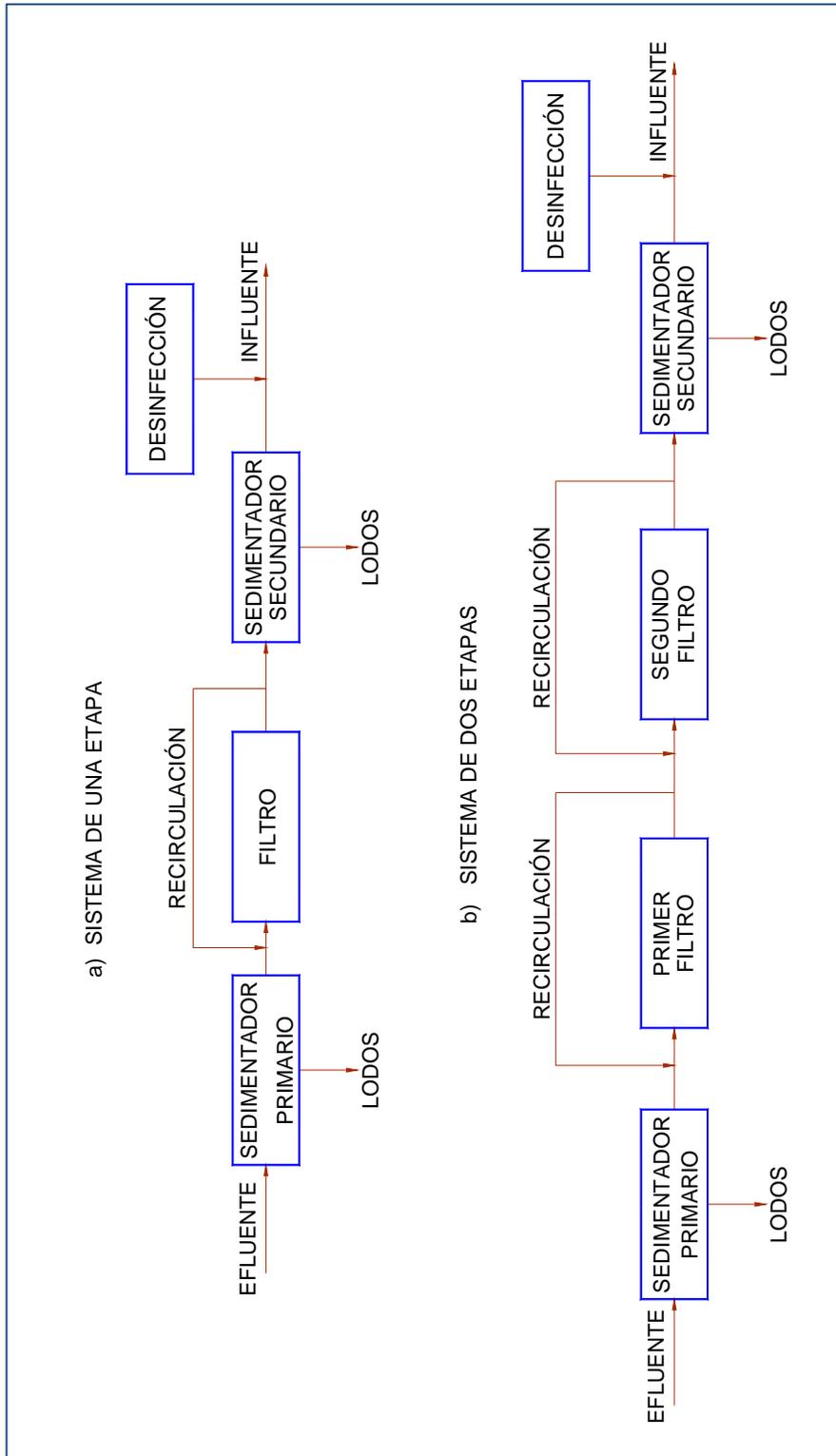


Figura No. 42. Sistema de uno y dos etapas en filtros percoladores. Fuente Manual operación y mantenimiento de filtros percoladores, SEDUE.

Donde el tiempo de residencia se define con la siguiente expresión.

$$t = \frac{CD}{L^n} \quad (9)$$

Donde:

D = Altura del medio filtrante, en m.

L = Carga hidráulica, lt/seg – m².

C,n= Constantes que son función del medio filtrante y de la superficie específica del filtro. (Se entiende por superficie del filtro, la relación que existe entre el área de la sección transversal y su volumen).

Las ecuaciones anteriores que se emplean para el dimensionamiento de filtros percoladores; involucran conceptos como “baja carga”, “alta carga”, ecuación de Veltz, filtro de primer y segunda fase, ecuación del NRC, y constantes de laboratorio, conceptos que se aclaran a continuación.

IV.4.1.Carga de los filtros.

Se entiende por carga hidráulica sobre un filtro percolador, a la cantidad de agua residual que recibe un filtro en términos de miles de metros cúbicos, aplicados por día y por hectárea de superficie del lecho.

En el sistema inglés la carga hidráulica se expresa en millones de galones por día y por acre. Cabe hacer notar que en algunos libros de texto, sobre todo europeos, la carga hidráulica recibe los nombres de carga superficial o carga líquida.

La carga hidráulica para filtros normales oscila entre 19,000 y 38,000 m³/Ha-día (2 a 4 millones de galones/acre-día, 46 a 92 gal/ft²-día), incluyendo el caudal de recirculación. Los filtros rápidos reciben una dosificación que varía entre 95,000 y 285,000 m³/Ha-día (10 a 30.5 millones de galones/acre-día, 230 a 700 gal/ft²-día), incluida la recirculación y los filtros lentos presentan una carga menor que 19,000 m³/Ha-día (menor que 2 millones de galones/acre-día, 46 gal/ft²-día).

También es usual determinar la carga hidráulica en $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-día}$ en el sistema métrico decimal y en galones por minuto/ pie^2 (gpm/ft^2) en el sistema inglés.

Recibe el nombre de carga orgánica o carga másica de un filtro percolador la cantidad de DBO de 5 días que recibe el filtro, medida en kilogramos por día por m^3 de medio filtrante, sin incluir la DBO del caudal recirculado.

En el sistema inglés la carga orgánica se expresa en libras de DBO de 5 días por cada 1000 pies cúbicos de medio filtrante.

De acuerdo con su carga orgánica; los filtros lentos reciben de 0.08 a 0.4 $\text{kg DBO}/\text{m}^3$ día (25 a 300 $\text{lb DBO}/1000 \text{ft}^3$ día).

Algunos departamentos de Estados Unidos expresan las cargas orgánicas en libras de DBO por acre-pie día. Dando los siguientes valores permisibles: para filtros lentos de 400 a 600 $\text{lb DBO}/\text{acre-pie día}$ y para rápidos de 2,000 a 50,000 $\text{lb DBO}/\text{acre-pie día}$. Lo que corresponde a 0.15 – 0.22 $\text{kg DBO}/\text{m}^3$ día para filtros lentos y 0.74 – 1.84 $\text{kg DBO}/\text{m}^3$ día para filtros rápidos respectivamente.

Cabe hacer notar que los rangos para definir el tipo de filtro según se velocidad de filtración tanto hidráulica como orgánica, es un tanto cuanto arbitraria dependiendo de la institución de que se trate. Lo importante es que normalmente existe una correspondencia entre la carga hidráulica y la carga másica; así pues, no es común tener un filtro lento desde un punto de vista hidráulico y rápido desde un punto de vista orgánico o viceversa, aunque la posibilidad de incongruencia no se descarta dependiendo del grado de concentración de la materia orgánica en el desecho.

IV.4.2. Recirculación de los filtros.

El proceso de recircular del efluente de un filtro rara vez se utiliza en plantas de filtros normales o lentos; es una peculiaridad de la filtración rápida. Sus ventajas son:

- a) Permite la dosificación continua de los filtros, independientemente de las fluctuaciones de gastos manteniendo los lechos trabajando continuamente.
- b) Al mezclarse la cruda del influente con el agua de recirculación se reducen los malos olores.
- c) Va sembrando continuamente en el lecho nuevas células en la zooglea.
- d) Elimina la película gastada, reduciendo el grueso de la misma y ayuda a controlar la producción de moscas en el medio filtrante.
- e) Diluye el agua residual cruda mejorando la eficiencia del proceso, aunque desgraciadamente aumenta la carga hidráulica para un caudal determinado de agua cruda.

El proceso de recirculación puede efectuarse en una o en dos fases. Se recircula en una fase cuando en el sistema de tratamiento únicamente existe un solo filtro; mientras que se lleva la recirculación de dos fases cuando dentro del sistema existen dos filtros, los cuales se encuentran conectados en serie. Un diagrama que muestra estos sistemas de disposición de filtros percoladores aparece en la figura No. 43.

IV.4.3. Condiciones de operación.

Cuando se usan filtros percoladores en el tratamiento de desechos domésticos, éstos usualmente se preceden de un clarificador primario, colocándose posteriormente un clarificador final o secundario. Cuando el sistema no consta de clarificador primario, se coloca un triturador, seguido de una criba, para evitar posibles atascamientos.

La mayoría de los filtros percoladores que se construyen constan de distribuidores patentados, siendo los detalles exclusivos de cada fabricante. El ingeniero sanitario que diseña la instalación específica tipos y rendimientos pero, usualmente, no le corresponde proyectar los detalles. Al personal de la planta le corresponde ponerla en marcha, operarla y darle el mantenimiento adecuado garantizando su buen funcionamiento.

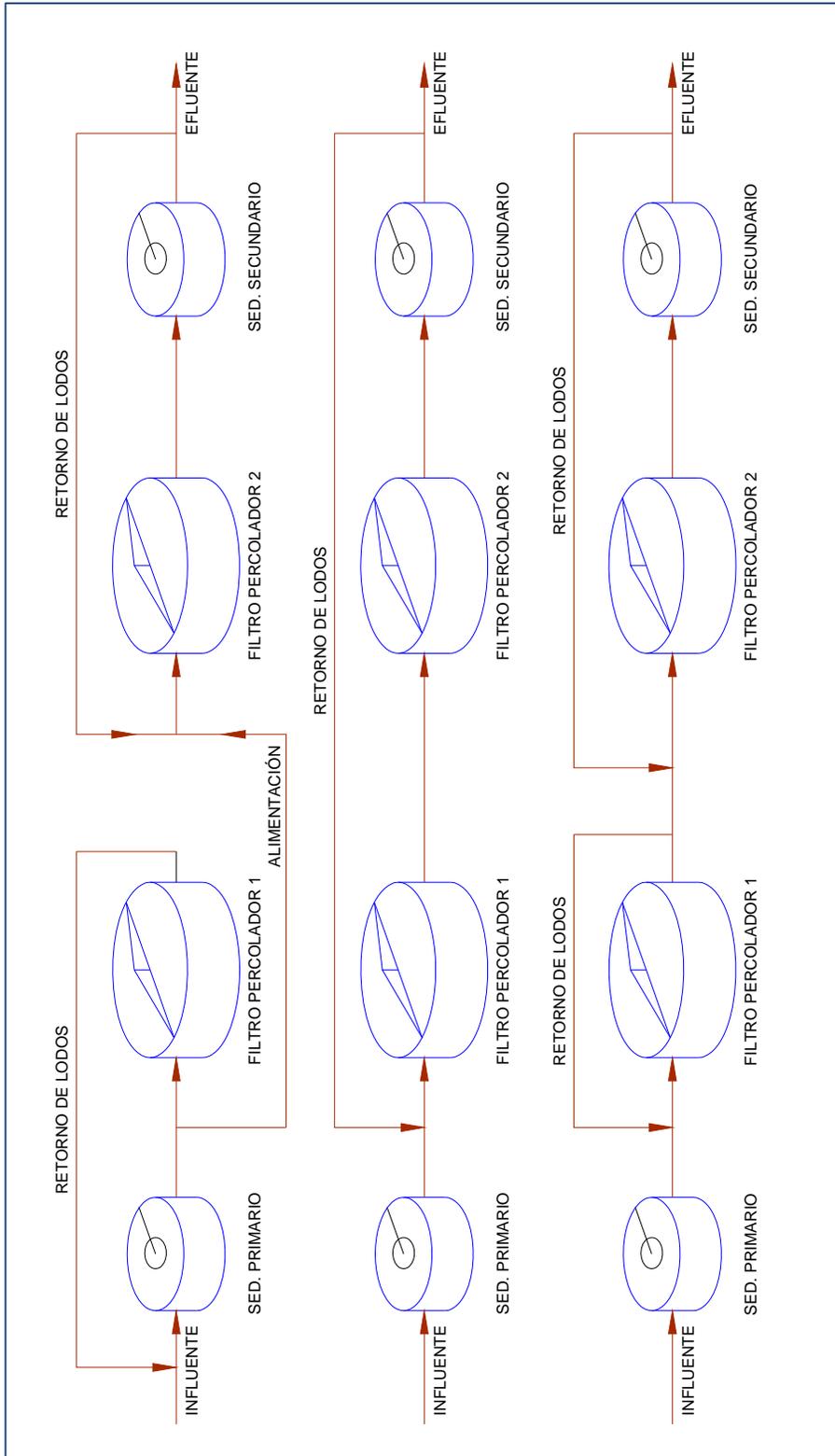


Figura No. 43. Arreglos típicos de recirculación de filtros percoladores. Fuente Manual operación y mantenimiento de filtros percoladores, SEDUE.

IV.5. Diseño del sistema de tratamiento por el proceso de filtros percoladores.

Para el diseño se utilizará la metodología de Eckenfelder por ser la más racional, ya que su formulación se dedujo de pruebas de laboratorio.

IV.5.1. Datos de proyecto.

Caudal	=	150 lps (3.43 MGD)/por modulo de tratamiento
DBO _{5 ent.} So	=	350 mg/l.
DBO _{5 sal.} Se	=	35 mg/l.
K	=	0.082 Constantes de remoción
n	=	0.50 para desechos domésticos.
m	=	1.0
D	=	14 pies (4.27) profundidad del lecho.
Q	=	carga hidráulica.

IV.5.2. Cálculos del diseño.

La ecuación de diseño cuando se utiliza recirculación:

$$\frac{Se}{Sa} = e^{\frac{-KD^m}{Q^n}}$$

Con recirculación con un factor de N = 1.5

$$Sa = \frac{So + N Se}{1 + N} = \frac{350 + 1.5(35)}{1 + 1.5} = 161 \text{ mg/l.}$$

$$\frac{Se}{Sa} = \frac{35}{161} = 0.217$$

$$0.217 = \frac{1}{e^{\frac{0.082(14)}{Q^{0.5}}}} = \frac{1}{e^{\frac{1.148}{Q^{0.5}}}}$$

$$e^{\frac{1.148}{Q^{0.5}}} = 4.608$$

$$1.148/Q^{0.5} = 1.528$$

$$Q^{0.5} = \frac{1.148}{1.528} = 0.751$$

$$Q = 0.564 \text{ gpm/ft}^2$$

Área del filtro requerida.

$$A = \frac{8.58 \times 10^6}{0.564(1440)} = 10,564 \text{ ft}^2$$

Diámetro del filtro percolador.

$$D = \sqrt{\frac{10,564}{0.785}} = 116 \text{ ft (35.38 m)}$$

Los investigadores Schulze, Gemain y Velz, obtuvieron una ecuación para el cálculo directo del diámetro del filtro y es la siguiente:

$$\frac{L_e}{L_o} = e^{-\frac{kD}{q^n}}$$

$$q^n = \left(\frac{Q}{A}\right)^n = \left(\frac{4Q}{\pi D^2}\right)^n$$

sustituyendo para q^n

$$\Phi = \frac{2 \ln\left(\frac{L_o}{L_e}\right)}{kD} \left(\frac{gpm}{\pi}\right)^{0.5}$$

Donde:

- Φ = Diámetro del filtro (ft).
- n = 0.5
- Q = 150 lps (2,378 gpm).
- L_o = 350 mg/l.
- L_e = 35 mg/l.
- R = 0.082
- D = 14 ft (4.27 m).

$$\Phi = \frac{2 \ln\left(\frac{350}{35}\right)}{0.082(14)} \left(\frac{2,378}{3.1416}\right)^{0.5} = \frac{4.605(27.51)}{1.148} = 110.36 \text{ ft (33.66 m)}$$

Coincide con el diámetro calculado, se tomará para fines de evaluación un diámetro de 36.00 m.

IV.5.3. Cálculo del empaque del medio filtrante.

$$V = A \cdot h = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h = 0.785 D^2 \cdot h = 0.785(36^2)4.27 = 4344 \text{ m}^3$$

$$V = 4344 \text{ m}^3 (153,105 \text{ ft}^3) / \text{tren de tratamiento}$$

Se utilizará un medio filtrante plástico de cloruro de polivinilo tipo X-FLO-30, con una superficie de contacto de 30 ft²/ft³ o similar.

IV.5.4. Cálculo de la potencia del equipo de bombeo.

En el proceso de filtros percoladores al igual que al de lodos activados es necesaria la recirculación de lodos para tener las eficiencias requeridas de remoción de materia orgánica.

$$HP = \frac{Q(h + H_f)}{76x\eta} \cdot (1000)$$

en la cual

Q = Gasto en m³/seg

H = Desnivel entre el espejo del agua en la succión y la descarga.

H_f = Pérdidas de carga por fricción en la tuberías

$$\eta = \eta_m \times \eta_B = \text{Eficiencia del conjunto motor-bomba}$$

Los datos son:

$$Q = 0.150(1.5) = 0.225 \text{ m}^3/\text{seg} / \text{tren de tratamiento}$$

$$d = 25.4 \text{ cm (10")}$$

$$L = 60.00 \text{ m (PVC)}$$

$$h = 9.27 \text{ m}$$

Pérdidas por fricción

$$H_f = KLQ^2 = 1.24(60)(0.275)^2 = 3.77 \text{ m}$$

Potencia necesaria para recirculación

$$HP = \frac{225(9.27 + 3.77)}{76 \times 0.63} = 61.27 = 60 \text{ HP/tren de tratamiento}$$

Para el caso de filtros percoladores se tendrá triple bombeo uno para recirculación, otra para vertido final de las aguas tratadas y el de elevación del influente al filtro percolador.

El arreglo de este reactor biológico a base de filtros percoladores se presenta en el anexo correspondiente a planos.

V. ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO (CASO ESTUDIO).

V.1. Análisis técnico.

En este capítulo se analizarán en el área técnica los sistemas de tratamientos, de acuerdo a las condiciones de operación, tomando en cuenta el equipamiento, arranque y puesta en marcha.

V.1.1. Análisis técnico de discos biológicos rotatorios, (Biodiscos).

V.1.1.1. Pre arranque, arranque y operación normal.

Pre arranque.

Previo a la introducción de agua a la planta se revisará lo siguiente:

- Condiciones de la obra civil
- Condiciones de anclaje de equipo, vertedores, mamparas.
- Nivelación de vertedores, rastras y flechas de los discos biológicos rotatorios.
- Verificar la conexión eléctrica de bombas, motores, equipos, que esta sea la adecuada.
- Operación general.

El operador deberá estar presente y observará que el aceite sea usado correctamente en los depósitos.

Verificar los discos biológicos rotatorios para ajuste y nivelado, rotando la unidad con la mano y observando que el movimiento sea suave, que no haya objetos que interrumpan el giro. Cualquier vibración o rozamiento deberá ser corregido antes de poner en marcha la unidad.

Arranque

- Después de la revisión de la obra civil y la verificación de los equipos electromecánicos, se realizará la introducción del flujo de agua residual.

- Se observara cuidadosamente la rotación de los discos biológicos, la suavidad del giro, la velocidad y la distribución del agua.
- Verificar que las bombas, motores o equipos no trabajen forzados, no se sobre calienten.

Operación normal

Una vez que el crecimiento de micro-organismos en el medio se ha estabilizado, existe realmente una operacional muy simple, y consiste en observar la presencia de olores, existencia de vibraciones en las flechas y crecimiento de la biomasa.

El funcionamiento del disco biológico requiere de menos monitoreo y control, sin embargo, un apropiado control y operación se requiere para alcanzar el funcionamiento deseado y evitar problemas operacionales.

V.1.1.2. Control de proceso.

V.1.1.2.1. Inspección del equipo.

Una buena operación del sistema depende del buen funcionamiento del equipo. El mantener el equipo en óptimas condiciones de operaciones nos ayuda a controlar mejor el proceso, por lo que es recomendable verificar los siguientes conceptos como parte de una rutina operacional.

- a) Observar si la caja el cojinete (rodamiento) de la flecha se calienta. Use termómetro si esta demasiado caliente para su mano. Si la temperatura excede 93°C, el rodamiento deberá ser cambiado. Verificar también la lubricación y que la flecha esté bien alineada.
- b) Verificar si existen ruidos anormales en el rodamiento del motor de los discos biológicos. Cualquier ruido anormal debe ser corregido inmediatamente.

- c) Observar si los motores se sobre-calientan. Cualquier calentamiento anormal deberá ser corregido.
- d) Verificar si existen derrames de aceite alrededor del sistema motriz y flecha principal. En caso de que éstos se presenten, verificar los niveles de aceite el reductor de velocidad y sistema de la cadena motriz. Observar si existen daños sobre los empaques o sellos.
- e) Verificar que la cadena motriz esté bien alineada.
- f) Verificar la tensión de la cadena.
- g) Verificar que las guardas sobre las partes móviles y equipo estén colocadas en su lugar.
- h) Mantener limpia el área del trabajo.

V.1.1.2.2. Eficiencia de tratamiento.

Éste punto constituye propiamente lo que sería el control del proceso. Para conocer la eficiencia de tratamiento se deben hacer análisis del influente y del efluente de la planta, para detectar diariamente cualquier anomalía en el rendimiento de ella. Para determinar si el sistema de discos biológicos rotatorios está operando en forma correcta se deberá llevar un control de los siguientes parámetros:

- DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)
- SS (Sólidos Suspendidos)
- pH (Potencial de Hidrógeno)
- OD (Oxígeno Disuelto)

Para el caso de DBO y SS es recomendable hacer análisis diarios de muestras compuestas durante las 24 horas, para obtener una eficiencia de tratamiento más cerca a la realidad. Para el pH y OD se podrán tomar muestras simples a diferentes tiempos. La frecuencia de muestreo dependerá de las necesidades del proceso y/o de los requerimientos de las autoridades federales, si este es el caso.

a) Oxígeno disuelto (OD).

El nivel de oxígeno disuelto del agua residual en el tanque que contiene los discos biológicos rotatorios, varía de etapa a etapa. Si la planta fue diseñada para remover únicamente DBO y sólidos suspendidos, el nivel de OD se incrementara de 0.5 a 1.0 mg/l en la primera etapa, hasta 1 a 3 mg/l en la última etapa.

Si la planta fue diseñada para remover también nitrógeno amoniacal y orgánico (nitrificación), la primera etapa tendrá un nivel de OD mayor de 1 mg/l (frecuentemente entre 2-3 mg/l) y en la última etapa normalmente será de 4-8 mg/l. Los niveles de oxígeno disuelto en las diferentes etapas del proceso, se ven afectadas por la calidad del agua residual y carga hidráulica aplicada.

La diferencia entre una unidad diseñada para remoción de DBO y una diseñada para nitrificación, es el flujo aplicado por unidad de área del medio (l/día-m²).

b) DBO y sólidos suspendidos en el efluente.

Si una planta fue diseñada para remover DBO, la concentración de SS en el efluente será aproximadamente la mitad de la concentración de DBO en el influente. Si existe también nitrificación, el efluente contendrá aproximadamente una tercera parte de SS de la concentración de DBO en el influente.

Las variaciones de flujo afectan en forma directa la eficiencia de remoción. Un incremento en el flujo, incrementa el contenido de DBO y SS en el efluente, debido a que se incrementa la tasa de flujo por unidad de superficie del disco biológico, disminuyendo el tiempo de contacto del agua residual con la película biológica.

Los aumentos en el influente de la carga orgánica, SS y nitrógeno, nos darán también un aumento en los niveles del efluente de la planta.

Otra causa de disminución de eficiencia es debido a la “temperatura”. Temperaturas del agua residual menores de 13°C ejercen una reducción en la actividad biológica de los micro-organismos y por lo tanto una disminución en la remoción de materia orgánica. Sin embargo en estos casos el operador no puede hacer gran cosa, sino esperar a que la temperatura se restablezca de nuevo. En lugares donde los climas son muy fríos se deberá tomar en consideración este aspecto, para que durante el diseño de la planta quede ya contemplado. El diseño podría incluir estructuras más bajas, el uso de calentadores solares para las estructuras, etc.

Resumiendo tendremos, que si el análisis de las muestras nos revela una disminución en la eficiencia del proceso, tres son las posibles causas:

1. Disminución en la temperatura del agua residual.
2. Variaciones inesperadas en el flujo o carga orgánica.
3. Altos o bajos valores de pH (menor que 6.5 o mayor de 8.5).

Una vez identificadas las causas del problema, se determinaran las posibles soluciones para corregirlo.

c) Cambios en el influente.

Cuando se tienen grandes variaciones de flujo y/o carga orgánica en el influente, la eficiencia del sistema se verá afectada. Sin embargo, antes de realizar cualquier acción para corregir el problema, se deberá determinar la magnitud exacta del mismo y del cambio en la eficiencia, ya que la mayoría de los casos cuando estas alteraciones (cargas picos) no rebasan tres veces los valores promedios durante un lapso de 24 horas, no tendrán un efecto significativo en la eficiencia.

En las plantas de tratamiento que presenten sobrecargas orgánicas por largos periodos, se puede remover el baffle entre la primera y segunda etapa del tratamiento. Si la planta está sujeta a continuas sobrecargas y el efluente no cumple con las especificaciones

fijadas, se deberán instalar unidades adicionales. Una posible solución a corto plazo sería recircular el efluente, aunque esto nos ocasionaría una sobrecarga hidráulica.

d) pH (potencial de hidrógeno).

La tratabilidad de la mayoría de las aguas residuales está sujeta a un nivel óptimo de pH. El pH de las aguas domésticas varía de 6.5 a 8.5 el cual no tiene un efecto significativo en la eficiencia de tratamiento. Pero, cualquier variación fuera de estos límites (debido a descargas industriales), afectará la eficiencia del proceso.

El ajuste de pH a un valor óptimo, se puede hacer por medio de la adición de químicos o aireando el influente. Si el pH es muy bajo se puede dosificar bicarbonato de sodio o cal. Cuando el pH, es demasiado alto se puede ajustar con ácido acético. Las pruebas de laboratorio son de mucha utilidad para determinar las dosis de compuestos químicos.

En el caso de la nitrificación, el pH y la alcalinidad son factores determinantes, ya que éste deberá mantenerse lo más cercano posible a 8.4, la alcalinidad en el agua residual deberá ser al menos 7.1 mayor que el contenido de nitrógeno amoniacal en el influente para que la reacción de nitrificación sea completa. Se puede utilizar bicarbonato de sodio para aumentar la alcalinidad.

La adición del sobrenadante de un digestor también ayuda en el control de pH, aunque, deberá tenerse mucho cuidado de no adicionar una sobrecarga de sólidos al sistema.

V.1.1.2.3. Observación de la película biológica.

La parte esencial del tratamiento es el crecimiento biológico sobre el medio, sino hay crecimiento no habrá depuración del agua residual. La película biológica o biomasa como parámetro de control es muy importante, ya que solo con la observación visual de su apariencia se pueden identificar algunos problemas de operación. La biomasa deberá tener un color entre café y gris, con un aspecto rugoso uniforme, no deberá haber

presencia de algas y muy pocos o nada de espacios vacíos. No se debe detectar ningún olor desagradable, sobre todo de sulfuros (huevos podridos).

En las etapas de nitrificación la película biológica es mucho más delgada, menos rugosa y de un color café más brillante. El crecimiento se presenta en forma más irregular, debido a que en estas etapas la actividad de los predadores (protozoarios, rotíferos y gusanos) es más grande.

a) Desarrollo de una película biológica negra.

Si la película biológica tiene una apariencia negra y algún olor fuera de lo normal, nos indicará que existe una sobrecarga de sólidos o de DBO y posiblemente se manifieste en una baja de OD en el efluente de la planta. Se deberán comparar estos datos con los registrados anteriormente para determinar si realmente existe un incremento. Este problema se puede resolver poniendo otra unidad en servicio, si se tiene o se puede probar pre-aireando el influente del sistema. También se deberá revisar la operación del clarificador primario para determinar si éste no es la fuente de la sobrecarga.

b) Desarrollo de una película biológica blanca.

También puede ser causa de una sobrecarga en el influente si la superficie de los discos biológicos tiene una apariencia blanquecina. Esto se debe al efecto que producen las bacterias que se alimentan de compuesto del azufre. Estos compuestos pueden estar presentes en algunas descargas industriales. La solución a este problema es la misma que se dio en el punto anterior. También se puede quitar el baffle entre las etapas 1 y 2, durante el periodo de altas cargas orgánicas y/o de compuestos sulfurados.

Otra causa de sobrecarga se puede deber a los depósitos de lodos acumulados en el fondo de las secciones (etapas) del tanque los cuales deben ser removidos. Para esto se tendrá que parar la unidad, drenar cada sección del tanque y lavar los depósitos de lodos,

teniendo cuidado que los orificios de los baffles entre las etapas queden perfectamente limpios.

c) Desprendimiento de la película biológica.

Dentro de las etapas de la estabilización de la película biológica, generalmente la primer semana después del arranque, habrá desprendimientos normales de biomasa las cuales no causan ningún problema y se corrigen por si solos. Si los desprendimientos son severos y ocurren después del periodo de estabilización o éste es difícil de alcanzar, las causas pueden ser que el agua residual contenga sustancias tóxicas e inhibidoras, las cuales están matando los organismos de la biomasa se deben tomar las medidas necesarias para eliminar estas sustancias tóxicas, aunque esto puede representar un alto costo difícil de hacer y un proceso biológico nunca trabajara adecuadamente en presencia de sustancias tóxicas.

Una medida de atenuación de las sustancias tóxicas sería diluyendo el influente por medio de un tanque de regularización de tal forma de alcanzar un nivel medio de toxicidad y que los efectos sobre los micro-organismos no sean tan significativos.

También puede haber pérdidas de película biológica por variaciones en el flujo o la carga orgánica. Esto es común en pequeñas localidades donde en el día el flujo es alto y la cantidad de alimento que reciben los micro-organismos también es alta, por lo que no tendrán ningún problema para crecer. Pero, por la noche el flujo es casi cero, entonces habrá falta de alimento, disminuyendo considerablemente la actividad biológica, lo que puede ocasionar desprendimiento de la biomasa.

La solución a los problemas de variación de flujo y/o carga orgánica puede hacerse estrangulando la válvula del efluente la planta, cuando se presenten altos flujos o recirculando agua del sedimentador secundario cuando el flujo sea mínimo. Aunque, se deberá tener mucho cuidado de no estrangular demasiado o recircular más de 1.0 a 1.5 gpd/ft² (18 l/día-m² promedio).

V.1.1.3. Problemas operacionales.

V.1.1.3.1. Pérdidas de la película biológica.

El desprendimiento de la película biológica durante las primeras dos semanas después del arranque, no presenta un problema de operación, esto ocurre durante la etapa de aclimatación de los micro-organismos en la superficie del medio.

Aunque, si los desprendimientos son severos durante o después del periodo de estabilización, se deberán tomar acciones correctivas necesarias identificando primero las posibles causas.

Causas y soluciones:

a) Presencia de sustancias tóxicas en el influente.

Acción correctiva. Primero se deberá identificar la sustancia o sustancias que ocasionan la toxicidad, su concentración, la frecuencia y duración con que se presentan. La eliminación de estas sustancias sería la mejor solución, pero muchas veces esto no será posible ya que su procedencia normalmente es desconocida. Para el caso que no se pueda hacer esto, las cargas picos habrán de ser amortiguadas (diluidas) formando una concentración uniforme, para facilitar la aclimatación de los micro-organismos. El considerar tanques de homogenización a la entrada de la planta normalmente cumple con este requisito, el cual puede ir acompañado de una pre-aireación para facilitar la acción de los micro-organismos.

b) Variaciones del pH.

Generalmente un pH entre 6.5 y 8.5 no causa alguna alteración del proceso, pero si las variaciones son más severas, fuera de este rango, habrá desprendimiento de la biomasa.

Acción correctiva. La solución consiste en ajustar el pH en la forma más económica posible. La neutralización se requiere para asegurar que el pH del agua en la entrada de la planta, se mantenga dentro del rango normal de operación (6.5 y 8.5). La eficiencia de la planta dependerá mucho del control que se lleve del pH.

c) Variaciones en el flujo y/o carga orgánica.

En plantas de tratamiento donde el flujo no es homogéneo, los microorganismos estarán sujetos a fluctuaciones de la carga orgánica, manifestando un crecimiento anormal, lo que puede ocasionar desprendimiento de la película biológica. También ocurrirá lo mismo si se varía el tiempo de retención del agua residual con microorganismos.

Acción correctiva. En el caso que se presente una baja en el flujo o carga orgánica lo que se puede hacer es recircular agua del efluente del reactor biológico o del sedimentador secundario, con el fin de compensar esta falta de carga. Cuando se presentan altos flujos y altas cargas orgánicas se puede estrangular la válvula que permite la entrada del flujo a la planta con el fin de compensar el exceso de carga. Otra medida es colocando un tanque de regularización a la entrada de la planta. Cuando las cargas orgánicas son extremadamente altas se puede retirar el primer bloque, entre las etapas 1 y 2 para proporcionar mayor superficie de contacto a la primera etapa.

V.1.1.3.2. Color anormal de la película biológica.

La apariencia normal de la película biológica es de color entre café o gris y uniformemente distribuida en toda el área del medio de sustentación. El cambio de color a blanco o negro indica la presencia de algún problema.

Desarrollo crecimiento blanco.

La presencia de crecimientos blancos sobre el medio de contacto no es común, aunque pueden estar presentes siempre y cuando su cobertura del área de contacto de disco biológico no sea dominante, de lo contrario la eficiencia del proceso se verá fuertemente afectada.

Causas y soluciones:

a) Influyente séptico o altas concentraciones de H₂S (ácido sulfhídrico).

Las aguas residuales en condiciones sépticas y las descargas industriales con altos contenidos de H₂S, ocasionan que predominen un tipo de organismos filamentosos blancos (bacterias que se alimentan de los compuestos de azufre).

Acción correctiva. La solución a este problema es pre-aireando el influente a la planta de tratamiento o dosificando químicos oxidantes (nitrato de sodio o peróxido de hidrógeno). El grado de aireación o cantidad de químicos necesarios, dependerá de la relación original de materiales oxidados y reducidos y del nivel de pH.

b) Sobre carga orgánica de la primera etapa del sistema.

Cuando se presenta una sobre carga orgánica en la primera etapa del tratamiento, es posible que se desarrolle un crecimiento filamentosos blanco en esta.

Acción correctiva. Este problema se puede resolver aumentando el área superficial en la primera etapa, por lo que se deberá remover el baffle entre la primera y segunda etapa.

Desarrollo de crecimiento negro.

La presencia de crecimientos negros en la película biológica nos indicará que existe una sobre carga de DBO o de sólidos en el efluente. Las acciones correctivas para este problema son las mismas que el caso anterior (puntos a y b).

V.1.1.3.3. Disminución de la eficiencia de tratamiento.

La eficiencia de tratamiento de una planta es el reflejo de lo bien o mal que está operando y cualquier alteración en el proceso se verá afectado en la eficiencia. Es por ello que en alguna u otra forma se ha venido mencionando ya las posibles causas que nos ocasionan problemas de eficiencia.

Algunos de los principales factores que afectan la eficiencia de un proceso de discos biológicos rotatorios, son los siguientes:

Causas y soluciones:

a) Sobrecarga orgánica y/o hidráulica.

Las variaciones en el flujo y/o carga orgánica, inmediatamente se reflejan en una reducción de la eficiencia del proceso. Antes de realizar cualquier acción correctiva, se determinará la magnitud exacta del problema. Primeramente se calculara el tiempo de retención y compararlo con los datos de flujo y eficiencias de remoción horarias. En el caso que el flujo y cargas orgánicas pico no exceden dos veces el promedio diario, el reflejo en la eficiencia es máximo y ésta no será la causa del problema.

En el caso que las sobrecargas hidráulicas y/u orgánicas sean excedidas por periodos prolongados se podrán tomar las siguientes medidas.

Acción correctiva. En el caso de sobrecargas orgánicas se debe mejorar el sistema de pretratamiento a la planta o en último de los casos ampliar la planta. Cuando se tiene sobrecargas hidráulicas, se puede poner un sistema de regularización de flujo para amortiguar los picos y distribuir mejor el flujo entre las unidades biológicas.

b) Variaciones en pH.

Valores de pH demasiado altos o demasiado bajos afectan en gran forma la eficiencia de un proceso biológico. El pH normal de un agua residual doméstica, varía en un rango entre 6.5 y 8.5, lo que no causa problemas apreciables de eficiencia. Aunque, si excede este rango los microorganismos se verán afectados en sus funciones biológicas de crecimiento; disminuyendo la eficiencia del proceso. Si el sistema de tratamiento fue diseñado también para remoción de nitrógeno, el pH y la alcalinidad son parámetros críticos. El pH deberá mantenerse, en este caso lo más cercano a 8.4 y la alcalinidad deberá ser cuando menos 7.1 veces mayor que la concentración de nitrógeno amoniacal en el influente, para que la reacción de nitrificación sea completa.

Acción correctiva. La mejor solución es eliminar la fuente que ocasiona las variaciones en el pH, si no es posible se debe hacer un ajuste de él con ácido o base, según sea el caso. Si el proceso incluye nitrificación, se debe controlar la alcalinidad en un nivel 7 veces mayor que la concentración de nitrógeno amoniacal en el influente, normalmente con cal o bicarbonato de sodio.

c) Bajas temperaturas.

La temperatura es otro de los parámetros muy importantes en el diseño de plantas, principalmente si esta contemplada la etapa de nitrificación. Temperaturas debajo de 13°C disminuyen considerablemente la actividad biológica y con ello la remoción orgánica.

Acción correctiva. Las posibles soluciones a este problema son, calentar el ambiente interior de las unidades biológicas o el influente de la planta y en último de los casos si se cuenta con el espacio en la estructura, aumentar unidades de tratamiento.

V.1.1.3.4. Acumulación de sólidos.

La acumulación de sólidos en el reactor biológico puede ocasionar que se generen condiciones sépticas en el tanque de agua residual y puede ocasionar una baja de tratamiento.

Causas y soluciones:

a) Pretratamiento inadecuado.

Si la remoción de arena y sólidos es inadecuada, puede haber una acumulación de sólidos suspendidos en el reactor biológico y bloquear el paso del agua residual al medio.

Acción correctiva. Cuando se presente un problema de acumulación de sólidos, lo primero que se debe hacer es vaciar el tanque de agua residual para determinar el tipo de sólidos (arena o material orgánico) y poder establecer la mejor solución, esto es mejorar el sistema de desarenado o sedimentación primaria, según sea el caso.

V.1.2. Análisis técnico de lodos activados.

V.1.2.1. Problemas operacionales.

En esta sección se observarán los problemas operacionales más comunes y que se han presentado en el proceso de lodos activados. En general estos pueden ser clasificados por condiciones que el operador puede ver en el tanque de aireación y el clarificador secundario.

V.1.2.2. Tanque de aireación.

La aireación y el mezclado de MLSS es esencial para mantener el ambiente adecuado para que los microorganismos permanezcan activos y saludables. El mezclado en el tanque de aireación puede verificarse observando la turbulencia en la superficie del tanque de aireación. Áreas muertas indicaran un difusor tapado o una mala distribución del aire en las válvulas de la línea principal de alimentación de aire. Periódicamente (generalmente cada seis meses) el operador debe realizar perfiles de oxígeno disuelto (O.D.) en los tanques de aireación y tratar de mantener preferentemente de 1 a 3 mg/l de O.D. en todo el tanque.

V1.2.2.1. Problemas en el tanque de aireación.

Algunas causas probables en el tanque de aireación son las siguientes:

- a) Las tasas de aire son muy altas o bajas para que el difusor trabaje apropiadamente.
- b) Las válvulas necesitan ajuste para balancear para balancear la distribución del aire.
- c) Los difusores o aireadores mecánicos necesitan repararse y limpiarse.
- d) Limitaciones de capacidad del equipo mecánico.

Las siguientes medidas aplicables deben ser implementadas para corregir los problemas de aireación:

- a) Ajustar la tasa de aire para mantener el O.D. en el rango apropiado entre 1 y 3 mg/l. La cantidad de aire por pie de tubería de difusor deberá ser de 0.28 m^3 para asegurar una aireación adecuada y un buen mezclado.
- b) Ajustar las válvulas de alimentación de aire.
- c) Limpie y observe los difusores (normalmente cada seis meses).
- d) Relocalizar el número de difusores o aireadores mecánicos.

- e) Si se tienen dificultades con difusores de burbuja fina, cambiar por difusores de burbuja grande, pero habrá que verificar que se tiene suficiente capacidad de aireación, ya que se requiere más aire.

V.1.2.2.2. Problemas de espuma.

La presencia de espuma en el tanque de aireación es normal para el proceso de lodos activados. Frecuentemente del 10 al 25% de la superficie del tanque de aireación esta cubierta con una película de espuma. Bajo ciertas condiciones de operación, la espuma puede convertirse en excesiva y puede afectar la operación del proceso. Normalmente hay dos tipos de espuma: espuma color café espesa y de consistencia grasosa y espuma blanca típica de detergentes.

a) Espuma blanca.

La espuma blanca es indicativo de una planta sobrecargada o cuando se arranca por primera vez o arranque después de un paro largo. Lo anterior significa que la concentración de MLSS es muy baja y que el F/M es muy alto. La espuma puede ser por detergentes o proteínas las cuales no pueden ser convertidas a comida por los microorganismos jóvenes que crecen en el MLSS a un F/M alto.

Algunas causas probables de esta espuma son:

- Bajos MLSS debido a inicio de arranque
- Exceso de desecho de lodos activados ocasionando una disminución de los MLSS y un alto F/M.
- Presencia de condiciones desfavorables tales como:
 - Sustancias tóxicas o material inhibidor
 - pH bajo o alto, fuera del rango normal 6.5 – 8.5
 - Bajo nivel de O.D.
 - Deficiencia de nutrientes
 - Temperatura muy baja o alta

- Desecho de lodo activado, no intencional, causado por:
 - Cargas repentinas de materia orgánica
 - Perturbación biológica
 - Colchón de lodos alto en el clarificador secundario
 - Deficiencias mecánicas en el clarificador secundario
 - Desnitrificación en clarificador secundario
 - Distribución impropia de flujo o sólidos en los clarificadores secundarios

- Distribución inadecuada del flujo de retorno de lodo activado (RAS) a los tanques de aireación.

Las siguientes medidas deben ser implementadas para corregir el problema de espuma.

- Reducir el desecho de lodo activado para aumentar la concentración de MLSS. La disminución del flujo del lodo de desecho (WAS) debe ser lenta y gradual.
- Realizar una recirculación suficiente para conservar un tirante de lodo a 1/3 de la altura del clarificador.
- Controlar la tasa de aire para mantener 1-3 mg/l de O.D. en el tanque de aireación.
- Se deberá vigilar que las descargas de tóxicos no se repitan o ponerse de acuerdo con los industriales para prever y prepararse con la planta para tales condiciones.
- Modificar tuberías o estructuras que le permitan mantener una distribución adecuada de flujos en los tanques de aireación y clarificadores secundarios.

b) Exceso de espuma color café, espesa y de consistencia grasosa.

Este tipo de espuma es asociada con plantas que están operando entre el rango convencional y aireación extendida en cuanto a carga orgánica. La nitrificación y los microorganismos filamentosos son con frecuencia asociados con este tipo. También esta espuma es normal en cualquier planta que opere con re-aireación de lodo.

Algunas causas probables de este tipo de problema son las siguientes:

- El tanque de aireación está operando a bajo F/M, pues requiere nitrificación para eliminar nitrógeno en el efluente para cumplir con las condiciones particulares de descarga.
- Formación de alta concentración de MLSS debido a un insuficiente desecho de lodo activado. Esto puede ocurrir en los cambios estacionales por variación en temperatura, resultando de invierno a verano mayor temperatura; por lo tanto más actividad microbiana y consecuentemente mayor cantidad de lodo.
- Operación de la planta en re-aireación de lodo.
- Desecho de lodo inapropiado.

Las siguientes medidas deberán ser implementadas para corregir el problema de espuma:

- Si no requiere operar para nitrificación, entonces gradualmente aumente la relación de F/M.
- Cuando hay presencia de microorganismos filamentosos en el lodo, ellos pueden ser eliminados con la adición de cloro a la recirculación de lodo. La adición de cloro sería de 2 a 3 kg de cloro por cada 1000 kg de MLVSS por día. Se deberá tener mucho cuidado en la dosis, porque se pueden eliminar microorganismos deseables.
- Implementar un mejor programa de desecho de lodo.

V.1.3. Análisis técnico de filtros percoladores.

V.1.3.1. Problemas más comunes de operación.

Los problemas que con mayor frecuencia se presentan en la operación de filtros percoladores son:

- a) Formación de moscas
- b) Malos olores
- c) Taponamiento y obstrucciones
- d) Alta cantidad de sólidos suspendidos en el efluente
- e) Congelamientos durante la época de invierno en los lugares fríos.

Los procedimientos para resolver estos problemas de operación se presentan a continuación:

V.1.3.1.1. Proliferación de moscas.

Aparición de mosquitos y polillas.

Causa probable:

- Mala distribución del agua, especialmente a lo largo de las paredes del filtro.

Solución:

- Limpiar los orificios de las boquillas.
- Abrir los orificios terminales de los brazos del distribuidor para limpiar las paredes del filtro.

Exceso de larvas en el medio filtrante.

Causa probable:

- Carga hidráulica insuficiente para arrastrar las larvas.

Solución:

- Calcular la carga hidráulica. Ésta deberá ser mayor que 136 lps/m² (200 gmp/ft²).
 - Complementar con los siguientes correcciones en el siguiente orden:
 - Incrementar la tasa de recirculación.
 - Alimentar el filtro continuamente.
 - Clorar el influente por varias horas cada semana manteniendo de 1 a 2 mg/l de cloro-residual combinado a la salida del distribuidor.

- Rocíar las paredes y las partes donde se posan las moscas con insecticida.

V.1.3.1.2. Olores.

Descomposición anaerobia fuera del filtro.

Causa probable:

- Excesiva carga orgánica.
- Desechos industriales.

Solución:

- Calcule la carga orgánica.
- Verifique las descargas de las industrias.
 - Utilizar alguna sustancia comercial que corrija el defecto.
 - Aumentar las condiciones aeróbicas en las unidades de pretratamiento, se tratara de pre-clorar, airear o recircular durante la noche y cuando se presente poco gasto de entrada.
 - Fortalezca los desechos industriales ordinarios.
 - Mejorar el tratamiento primario. Incremente la recirculación para diluir el desecho orgánico y dotar de mayor oxígeno disuelto al agua por tratar.
 - Clorar el influente del filtro por varias horas del día obteniendo de 1 a 2 mg/l de cloro residual combinado a la salida del distribuidor.
 - Si las cargas de diseño están excedidas, se requiere la expansión de la planta.

Causa probable:

- Mala ventilación.

Solución:

- Revisar las ventanas de las tuberías y limpiar el filtro.
- Revisar que el sistema de bajo dren no tenga obstrucciones.
- Revisar los vacíos en el medio filtrante y cerciorarse que no estén tapados por la zooglea.
 - Destapar las ventilas de las tuberías.
 - Quitar las obstrucciones tanto del canal recolector como de los bajos drenes.
 - Si no hay obstrucciones en el sistema de bajo dren reducir la recirculación si es posible.
 - Incrementar la circulación de flujo para sacar fuera la zooglea desprendida.
- Mala operación
 - Quitar todos los escombros de medios filtrantes.
 - Lavar las boquillas del distribuidor y las paredes del filtro que están en contacto con el medio filtrante.

V.1.3.1.3. Taponamientos.**Taponamiento del medio filtrante.****Causa probable:**

- Crecimiento excesivo de la zooglea.

Solución:

- Revisar los registros por incrementos de carga orgánica o disminuciones de carga hidráulica.
 - Esparcir la superficie del medio filtrante rocoso.
 - Regar el área del medio con una corriente de alta presión.
 - Incrementar la recirculación.

- Dosificar el influente del filtro con cloro de 2 a 4 horas obteniendo de 1 a 2 mg/1 de cloro residual combinado a la salida del distribuidor.
- Si es posible, alimentar el filtro por 24 horas.
- Si es posible, poner fuera de operación el filtro y limpiar el medio filtrante.

Causa probable:

- El medio filtrante no tiene granulometría uniforme o presenta partículas muy pequeñas.

Solución:

- Dejar fuera de operación el filtro y revisar la granulometría del medio colocando tamaños uniformes.

Causa probable:

- Mala operación

Solución:

- Quitar las obstrucciones como palos, papeles, etc. y otros objetos acumulados en el medio filtrante.

V.1.3.1.4. Alta cantidad de sólidos suspendidos en el efluente.

Incremento de sólidos suspendidos en el efluente del clarificador.

Causa probable:

- Exceso de lodo en el lecho filtrante.

Solución:

- Revisar los cambios estacionales que pueden afectar a los microorganismos.
 - Agregar algún polímero en el sedimentador primario

- Revisar la carga orgánica. Desechos industriales
 - Disminuir la carga orgánica desviando el gasto hacia otros filtros, si esto es posible.
 - Revisar el desecho industrial.
 - Limpiar de lodos el sedimentador primario.
 - Deberá expandirse la planta de tratamiento.

Causa probable:

- Desnitrificación en el sedimentador primario.

Solución:

- Revise visualmente si el efluente del filtro esta nitrificado y el lodo flota en cúmulos.
 - Limpiar de lodos el sedimentador.

Causa probable:

- Exceso de carga hidráulica en el sedimentador

Solución:

- Calcular la superficie necesaria para proporcionar una carga hidráulica menor que 0.566 lt/seg-m^2 (122 gpd/ft^2) en las horas pico del flujo.
 - Reduzca la recirculación durante las horas pico del flujo.
 - Se podrá requerir mayor número de sedimentadores.

Causa probable:

- Mal funcionamiento del clarificador secundario

Solución:

- Revisar las rastras que recogen el lodo.
- Revisar que las placas deflectoras no estén rotas.
- Revisar los vertedores del efluente.
 - Reemplazar las rastras rotas.
 - Ajustar el nivel de los vertedores.

Causa probable:

- Corrientes de temperatura en el clarificador secundario.

Solución:

- Examinar la temperatura del clarificador.
 - Instalar deflectores para evitar cortos circuitos.

V.1.3.1.5. Congelamientos.

Causa probable:

- Bajas temperaturas.

Solución:

- Tomar la temperatura atmosférica.
 - Disminuir la recirculación.
 - Operar dos filtros en paralelo.
 - Ajustar las boquillas del distribuidor para que proporcionen un rocío menos frío.
 - Construir pantallas contraviento.
 - Derivar parte del gasto con la válvula de la distribución principal.
 - Abrir las puertas extremas de los brazos del distribuidor principal.
 - Cubrir bombas, tanques de dosificación y canales principales.
 - Quitar el hielo que se haya formado.

V.2. Determinación de presupuestos.

En este apartado para la determinación del análisis económico se consideraron aspectos generales de la obra civil como son:

- Excavación
- Plantilla de concreto de simple
- Cimbra acabado aparente
- Concreto premezclado
- Acero de refuerzo
- El equipamiento correspondiente de acuerdo a cada reactor planteado.

Para la obtención del costo referente al acero de refuerzo se considero un factor de acuerdo al volumen de concreto obtenido, este se toma de proyectos similares y el cual es de 120 kg/m³, además de que solo se realizo el plano a nivel funcional y no se contemplo el diseño estructural de cada tanque.

A continuación se muestran los presupuestos obtenidos para cada uno de los procesos que se analizaron y en los anexos se incluirán los números generadores que sirvieron como base para obtener los costos correspondientes. Los presupuestos obtenidos se consideraron a costo directo, para materiales, mano de obra y equipo, no se incluyeron cargos indirectos, utilidad y financiamiento.

V.2.1. Costos de obra civil y equipamiento para el proceso tratamiento de discos biológicos rotatorios.

Tabla No. 4. Resumen de Costos para Discos Biológicos Rotatorios.

No.	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO \$	IMPORTE \$
1	EXCAVACIÓN	535.00	m ³	45.50	24,342.50
2	PLANTILLA CONCRETO f'c= 100 kg/cm ² , 5 cm DE ESPESOR	49.00	m ³	758.79	37,180.71
3	CIMBRA APARENTE	1,880.00	m ²	212.60	399,688.00
4	CONCRETO PREMEZCLADO f'c= 200 kg/cm ² CON IMPERMEABILIZANTE INTEGRAL	319.00	m ³	1,445.32	461,057.08
5	ACERO DE REFUERZO f'y= 1500 kg/cm ²	38.30	Ton	16,500.00	631,950.00
6	DISCO BIOLÓGICO DE 3.60 m DE DIÁMETRO POR 8.00 m DE LONGITUD CON UN ÁREA DE SUSTENTACIÓN DE 9303 m ² (100,000 ft ²) CONSTRUIDA CON POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD, VELOCIDAD DE ROTACIÓN 1.60 RPM, MOTOR 7.50 HP, 220/440 V, TIPO TCVF, 3 FASES, EQUIPADO CON CUBIERTA CONSTRUIDA EN FIBRA DE VIDRIO, INCLUYE INSTALACIÓN.	24.00	Pza.	887,379.00	21,297,096.00
Nota: Costos obtenidos en Pesos Mexicanos				Total \$	22,851,314.29

V.2.2. Costos de obra civil y equipamiento para la alternativa por el proceso lodos activados con aireadores superficiales.

Tabla No. 5. Resumen de Costos Lodos Activados-Aireadores Superficiales.

No.	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO \$	IMPORTE \$
1	EXCAVACIÓN	1,446.00	m ³	45.50	65,793.00
2	PLANTILLA CONCRETO f'c= 100 kg/cm ² , 5 cm DE ESPESOR	135.00	m ³	758.79	102,436.65
3	CIMBRA APARENTE	2,840.00	m ²	212.60	603,784.00
4	CONCRETO PREMEZCLADO f'c= 200 kg/cm ²	1,220.00	m ³	1,445.32	1,763,290.40
5	ACERO DE REFUERZO f'y= 1500 kg/cm ²	146.00	Ton	16,500.00	2,409,000.00
6	AERADOR MECÁNICO SUPERFICIAL DE BAJA VELOCIDAD, MONTAJE FIJO CON LAS CARACTERÍSTICAS SIGUIENTES: TRANSFERENCIA DE 180 LB O ₂ /Hr, DIÁMETRO MÍNIMO DE INFLUENCIA DE 10 m, VELOCIDAD DE OPERACIÓN 56 RPM, ALABES RADIALES SUMERGENCIA NOMINAL 50.8 mm (2") DIÁMETRO, BOMBEO MÍNIMO DE 50,000 gpm, PARA UNA PARED HUMEDA DE 3.50 m, ACOPLADO MEDIANTE REDUCTOR DE VELOCIDAD A MOTOR ELÉCTRICO DE 50 HP, 1750 RPM, 220/440 V, 3 FASES 60 Hz, Y 4 POLOS.	8.00	Pza.	445,500.00	3,564,000.00
				Total \$	8,508,304.05

Nota: Costos obtenidos en Pesos Mexicanos

V.2.3. Costos de obra civil y equipamiento para la alternativa por el proceso de lodos activados con aireadores sumergibles.

Tabla No. 6. Resumen de Costos Lodos Activados-Aireadores Sumergibles.

No.	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO \$	IMPORTE \$
1	EXCAVACIÓN	1,120.00	m ³	45.50	50,960.00
2	PLANTILLA CONCRETO f'c= 100 kg/cm ² , 5 cm DE ESPESOR	103.00	m ³	758.79	78,155.37
3	CIMBRA APARENTE	2,990.00	m ²	212.60	635,674.00
4	CONCRETO PREMEZCLADO f'c= 200 kg/cm ²	1,398.00	m ³	1,445.32	2,020,557.36
5	ACERO DE REFUERZO f'y= 1500 kg/cm ²	168.00	Ton	16,500.00	2,772,000.00
6	AERADOR MECÁNICO SUMERGIBLE CON UNA TRANSFERENCIA MÍNIMA DE 94 lb O ₂ /Hr, DIÁMETRO MÍNIMO DE INFLUENCIA DE 20 m A UNA SUMERGENCIA DE 4.50 m, MOTOR ELÉCTRICO 50 HP, 220/440 V, 3 FASES, 60 Hz, 4 POLOS, EQUIPADO CON SENSOR DE HUMEDAD.	10.00	Pza.	152,213.00	1,522,130.00
				Total \$	7,079,476.73

Nota: Costos obtenidos en Pesos Mexicanos

V.2.4 Costos de obra civil y equipamiento para la alternativa por el proceso lodos activados con aireadores de desplazamiento positivo.

Tabla No. 7. Resumen de Costos Lodos Activados Sopladores de Desplazamiento Positivo

No.	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO \$	IMPORTE \$
1	EXCAVACIÓN	1,450.00	m ³	45.50	65,975.00
2	PLANTILLA CONCRETO f'c= 100 kg/cm ² , 5 cm DE ESPESOR	135.00	m ³	758.79	102,436.65
3	CIMBRA APARENTE	2,913.00	m ²	212.60	619,303.80
4	CONCRETO PREMEZCLADO f'c= 200 kg/cm ²	1,152.00	m ³	1,445.32	1,665,008.64
5	ACERO DE REFUERZO f'y= 1500 kg/cm ²	138.30	Ton	16,500.00	2,281,950.00
6	TUBERÍA DE ACERO AL CARBÓN CED. 40 DE 457.20 mm (18") DE DIÁMETRO.	92.00	m	1,480.15	136,173.80
7	TUBERÍA PVC HIDRÁULICO RD-26 DE 101.6 mm (4") DE DIÁMETRO	2,760.00	m	19.40	53,544.00
8	DIFUSORES DE BURBUJA FINA TIPO FLEXAIR O SIMILAR PARA UN RANGO DE 6-18 CFM.	1,042.00	Pza.	650.00	677,300.00
9	SOPLADORES DE AIRE GARDNER DENVER MCA. SUTORBILT MOD. 8 LVP O SIMILAR EQUIPADO CON BASE ESTRCTUCTURAL FILTRO, SILENCIADORES, MANOMETROS, MOTOR ELÉCTRICO 75 HP C/U, 220/440V, 1750RPM, FS 1.15.	10.00	Pza.	201,971.00	2,019,710.00
Nota: Costos obtenidos en Pesos Mexicanos				Total \$	7,621,401.89

V.2.5. Costos de obra civil y equipamiento para la alternativa por el proceso lodos activados con aireadores centrífugos de alta eficiencia.

Tabla No. 8 Resumen de Costos Lodos Activados Sopladores Centrífugos Alta Eficiencia.

No.	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO \$	IMPORTE \$
1	EXCAVACIÓN	1,450.00	m ³	45.50	65,975.00
2	PLANTILLA CONCRETO f'c= 100 kg/cm ² , 5 cm DE ESPESOR	135.00	m ³	758.79	102,436.65
3	CIMBRA APARENTE	2,913.00	m ²	212.60	619,303.80
4	CONCRETO PREMEZCLADO f'c= 200 kg/cm ²	1,152.00	m ³	1,445.32	1,665,008.64
5	ACERO DE REFUERZO f'y= 1500 kg/cm ²	138.30	Ton	16,500.00	2,281,950.00
6	TUBERÍA DE ACERO AL CARBÓN CED. 40 DE 457.20 mm (18") DE DIÁMETRO.	92.00	m	1,480.15	136,173.80
7	TUBERÍA PVC HIDRÁULICO RD-26 DE 101.6 mm (4") DE DIÁMETRO	2,760.00	m	19.40	53,544.00
8	DIFUSORES DE BURBUJA FINA TIPO FLEXAIR O SIMILAR PARA UN RANGO DE 6-18 CFM	1,042.00	Pza.	650.00	677,300.00
9	SOPLADORES CENTRIFUGOS MCA. SPENCER DE 2-8 ETAPAS, PRESIÓN DE DESCARGA 7 lb/plg ² , 150 HP, 3550 RPM, BRIDA DE ENTRADA 16 plg, BRIDA DE SALIDA 14 plg, INCLUYE PANEL DE CONTROL, SISTEMA DE CONTROL DE OXÍGENO DISUELTO, JUNTAS DE EXPANSIÓN FLEXIBLES, FILTRO Y SILENCIADOR, VÁLVULAS CHECK Y MARIPOSA.	4.00	Pza.	308,921.03	1,235,684.11
Nota: Costos obtenidos en Pesos Mexicanos				Total \$	6,837,376.00

V.2.6. Costos de obra civil y equipamiento para la alternativa por el proceso filtros percoladores.

Tabla No. 9 Resumen de Costos Filtros Percoladores

No.	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	P.U. \$	IMPORTE \$
1	EXCAVACIÓN	1,180.00	m ³	45.50	53,690.00
2	PLANTILLA CONCRETO f'c= 100 kg/cm ² , 5 cm DE ESPESOR	106.00	m ³	758.79	80,431.74
3	CIMBRA APARENTE	3,130.00	m ²	212.60	665,438.00
4	CONCRETO PREMEZCLADO f'c= 200 kg/cm ²	1,300.00	m ³	1,445.32	1,878,916.00
5	ACERO DE REFUERZO f'y= 1500 kg/cm ²	153.80	Ton	16,500.00	2,537,700.00
7	MEDIO FILTRANTE PLÁSTICO TIPO X-FLO-30 CON UNA SUPERFICIE DE CONTACTO DE 30 ft ² /ft ³ O SIMILAR.	8,688.00	m ³	1,650.00	14,335,200.00
8	DISTRIBUIDOR ROTATORIO HIDRÁULICO PARA 396 m DE DIÁMETRO PARA 150 lps	2.00	Pzas.	175,350.00	350,700.00
				Total \$	19,902,075.74

Nota: Costos obtenidos en Pesos Mexicanos

VI. RESULTADOS.

VI.1. Análisis de los resultados económicos de las alternativas de tratamiento.

Un aspecto a considerar es el traspaleo del agua a tratar el cual podría tener un impacto importante en la operación de los tres sistemas de tratamiento planteados, a continuación se obtiene el cálculo de la potencia necesaria para vertido final y elevación del influente, este concepto se aplicara únicamente para el sistema de filtros percoladores.

$$HP = \frac{150(9.27 + 3.77)}{76 \times 0.63} = 40.8 = 40 \text{ HP/tren de tratamiento}$$

En donde:

- 150 Gasto de por modulo de tratamiento, en lps
- 9.27 y 3.77 Perdidas locales y por fricción
- 0.63 Eficiencia del equipo de bombeo, η

En la tabla No.10 se presentan las potencias obtenidas para los diferentes procesos de tratamiento, considerando únicamente los equipos o motores que se utilizaran en el reactor biológico.

Tabla No. 10
Potencias necesarias para los diferentes procesos de tratamiento

PROCESO		POTENCIA POR TRATAMIENTO		POR ELEVACIÓN DEL INFLUENTE HP	POR RECIRCULACIÓN HP	POR VERTIDO HP	TOTAL HP
		HP	HP/LPS				
DISCO BIOLÓGICO		120	0.40	0	0	0	120
L O D O S A C T I V A D O S	AIREADORES SUPERFICIALES	400	1.33	0	80	0	480
	AIREADORES SUMERGIBLES	500	1.67	0	80	0	580
	DESPLAZAMIENTO POSITIVO	750	2.50	0	80	0	830
	AIREADORES CENTRÍFUGOS	700	2.33	0	80	0	700
FILTROS PERCOLADORES		0	0	80	120	80	280

De la tabla anterior observamos que el sistema de tratamiento denominado Discos Biológicos Rotatorios es el que presenta menor potencia de tratamiento con 120 HP, siguiéndole los Filtros Percoladores con 280 HP, y el de mayor es el de Lodo Activados en la modalidad de aireadores de desplazamiento positivo con 830 HP.

Las potencias obtenidas en la tabla No. 10, servirán como complemento para obtener diferentes rubros que se indicaran en la tabla No. 11, referente al resumen económico de las alternativas de tratamiento.

Los conceptos observados en la tabla No. 11, serán los siguientes:

- Área necesaria
- Potencia
- Consumo de KWh
- Costo KWh considerando \$ 1.2 KW
- Cargo anual por electricidad
- Inversión inicial
- Cargo anual de amortización por tratamiento
- Costo anual de tratamiento más cargo anual por electricidad
- Costo por m3 de aguas tratada, donde considerara la producción de agua tratada por un año siendo de 9'460,800 m3/año.

A mayor potencia instalada para tratamiento se tendrá mayor consumo de energía eléctrica y se percibirá en los costos obtenidos.

Se presenta a continuación el procedimiento para la determinación del coeficiente de amortización considerando 20 años al 9%.

CARGO ANUAL AMORTIZACIÓN **20** años al 9%

$$\text{Coeficiente de amortización} = \frac{i}{1 - \frac{1}{(1+i)^n}} = \frac{9\%}{1 - \frac{1}{(1+9\%)^{20}}} = 0.1095$$

Este se utilizará para el cargo de amortización por tratamiento. Los costos obtenidos son referidos al año 2003 en que se realizó este proyecto para la Junta de Agua Potable y Alcantarillado (JAPAC), organismo operador de aguas de la ciudad de Culiacán, Sin.

Tabla No. 11. Resumen económico de las alternativas de y tratamiento.

PROCESO	ÁREA NECESARIA m ²	POTENCIA HP (1)	KWh (2)	COSTO POR HORA \$ (3)	CARGO ANUAL POR ELECTRICIDAD \$ (4)	INVERSIÓN INICIAL \$ (5)	CARGO ANUAL DE AMORTIZACIÓN POR TRATAMIENTO \$ (6)	COSTO ANUAL TRATAMIENTO + ELECT. \$ (7)	COSTO * \$/m ³ (8)
DISCO BIOLÓGICO ROTATORIO	1293	120	89.484	107.3808	940,655.81	22,851,314.29	2,503,280.93	3,443,936.74	0.36
L O D O	2668	480	357.936	429.5232	3,762,623.23	8,508,304.05	932,054.72	4,694,677.95	0.50
S A C	2070	580	432.506	519.0072	4,546,503.07	7,079,476.73	775,531.72	5,322,034.79	0.56
T I V A	2683	780	581.646	697.9752	6,114,262.75	761,401.89	83,408.89	6,197,671.65	0.66
D O S	2683	700	521.99	626.388	5,487,158.88	6,837,376.00	749,010.44	6,236,169.32	0.66
FILTROS PERCOLADORES	2035	280	208.796	250.5552	2,194,863.55	19,902,075.74	2,180,202.24	4,375,065.79	0.46

Costo KWh = \$ 1.20; (2) = (1) X 0.7457 ; (3) = (2) X \$1.20; (4) = (3) X 8760; (6) = (5) X 0.109546(anualidad) (20 años al 9% anual); (7) = (4) + (6); (8) = (7)/9 460,800 m3/año

De la tabla No. 11, tenemos lo siguiente:

- Discos biológicos rotatorios

Área: 1,293 m², es el sistema que ocupa la menor área con respecto a los demás.

Potencia instalada: 120 HP, es el menor en este concepto, por lo mismo es el menor en los cargos por consumo de energía eléctrica.

Inversión inicial: \$ 22'854,314.29, es el más elevado de todos los sistemas planteados.

Cargo anual de amortización por tratamiento: \$ 2'495,779.05

- Lodos activados

Aireadores superficiales

Área: 2,268 m²

Potencia instalada: 480 HP

Inversión Inicial: \$ 8'508,304.05

Cargo anual de amortización por tratamiento: \$ 932,054.72

Aireadores sumergibles

Área: 2,070 m²

Potencia instalada: 580 HP

Inversión Inicial: \$ 7'079,476.73

Cargo anual de amortización por tratamiento: \$ 764,409.23

Sopladores de desplazamiento positivo

Área:	2,683 m ²
Potencia instalada:	780 HP
Inversión Inicial:	\$ 7'621,401.94
Cargo anual de amortización por tratamiento:	\$ 827,275.54

Sopladores centrífugos

Área:	2,683 m ²
Potencia instalada:	700 HP
Inversión Inicial:	\$ 6'837,376.00
Cargo anual de amortización por tratamiento:	\$ 749,010.44

- Filtros percoladores

Área:	2,035 m ²
Potencia instalada:	280 HP
Inversión Inicial:	\$ 19'902.075.74
Cargo anual de amortización por tratamiento:	\$ 2'180,668.03

En los dos sistemas de tratamiento de aguas residuales en donde se utilizara un medio de sustentación en el reactor biológico, son los que ocuparan menor área, tendrán menor potencia instalada, pero presentaran mayor inversión inicial, siendo arriba del 300% más con respecto al más bajo de lodos activados.

En los sistema de discos biológico rotatorios y filtros percoladores, al haber una inversión inicial alta, el cargo anual de amortización son los más altos, a diferencia del sistema de tratamiento por medio de lodos activados.

VI.2. Costo por metro cubico de agua tratada.

Este rubro se obtiene después de hacer todas las consideraciones como potencia, consumos y costos de KWh, cargos por electricidad, la inversión inicial, la amortización y costos anuales de tratamiento.

Se considera que el sistema de discos biológicos rotatorios mostrara la inversión más alta pero con costo de metro cubico de agua tratada de \$ 0.36/m³, al igual que en los filtros percoladores se obtiene de \$ 0.46/m³ pero con la segunda inversión inicial más alta.

Dentro de los sistemas de lodos activados en la modalidad de aireadores superficiales poseerá un costo de \$ 0.50/m³, este será el más bajo de todas la modalidades. Y en el de sopladores de desplazamiento positivo se lograra un costo de \$ 0.73/m³, siendo este el más alto de estas.

VII. CONCLUSIONES.

VII.1. Aspectos técnicos y económicos.

Los aspectos que se consideraron para el análisis técnico y económico fueron: las posibles fallas en los reactores biológicos y en lo económico lo referente a cargos por inversión inicial, costo por metro cúbico de agua tratada y cargo por amortización anual.

VII.1.1 Discos biológicos rotatorios.

El sistema de tratamiento de aguas residuales denominado Disco Biológico Rotatorio presentará en su funcionamiento una mayor adaptabilidad a los cambios que se puedan mostrar en el influente, absorbiendo con suficiencia las fluctuaciones físico-químicas del agua a tratar; una planta con un buen diseño y con una operación adecuada puede depurar un líquido alcanzando la eficiencia trazada. El sistema motriz que provee el movimiento de rotación al medio de sustentación deberá funcionar en óptimas condiciones, para evitar posibles fallas de operación; observará altas medidas de seguridad para el personal de maniobras, de la misma forma el eje principal que soportará el peso del medio de sustentación con la biomasa deberá estar diseñado ex profesamente para la exigencia de movimiento y cargas que estarán sujetas durante la operación, si no es así y se ocasiona una falla en dicho elemento, la reparación podrá impactar en costos y en tiempo de operación de funcionamiento de la planta; para el proyecto que nos compete se tendrán 24 sistemas motriz para 24 discos biológicos rotatorios, lo cual obliga a llevar un estricto control de mantenimiento preventivo de estos dispositivos, exigiendo un amplio almacenamiento de piezas para sustitución y reemplazo. Por lo que, para este proyecto serían en el estricto apego 24 problemas en sistema motriz y 24 problemas en eje principal.

La planta de tratamiento por medio de discos biológicos rotatorios, funciona muy bien para caudales pequeños que quizás podrían estar en el rango de 1 a 10 lps. De esta forma es posible mantener bajo control la problemática mencionada en el párrafo anterior.

Del proyecto en cuestión y de acuerdo a juntas con el organismo operador del municipio de Culiacán, Sin., se excluyó el sistema de discos biológicos rotatorios, por tener la inversión inicial más alta con **\$ 22'782,833.00**, no obstante es la que muestra el costo más bajo por metro cubico de agua tratada siendo de **\$ 0.36/m³**.

VII.1.2 Filtros percoladores.

La planta de tratamiento de aguas residuales por medio de filtros percoladores, al igual que el anterior sistema absorberá con eficacia los cambios bruscos de variabilidad de flujo así como los cambios de carga orgánica; quizás los problemas para este proceso serán los malos olores, las moscas resultado de una mala operación, los taponamientos en la tubería del brazo distribuidor que deberán ser solucionados lo más pronto posible, para ello se deberá tener y considerar los dispositivos especiales para solventar esta dificultad.

El sistema motriz, así como el brazo distribuidor son importantes para el funcionamiento de esta planta, por lo que se contemplará tener en almacén piezas de reparación y sustitución, además de considerar un control preciso en el mantenimiento preventivo.

Para el proyecto y de acuerdo a reuniones con el organismo operador del municipio de Culiacán, Sin., este sistema no se consideró viable debido a que representa la segunda inversión inicial más alta **con \$ 19'902,075.70** y también presentaría el segundo costo más bajo por metro cubico de agua tratada con **\$ 0.46/m³**.

VII.1.3 Lodos activados.

Del análisis del proceso de lodos activados, este sistema con una operación adecuada y observando los parámetros de control como son los sólidos suspendidos en el licor mezclado, potencial de hidrogeno, oxígeno disuelto, se tendría un sistema que cumpliría con eficacia; ahora dependiendo del diseño y la selección de los dispositivos con los que operará la planta ya sea con aireadores sumergibles o superficiales, sopladores de desplazamiento positivo o centrífugos, con difusores de burbuja fina o gruesa, se deberá

tener los mecanismos y equipos para proporcionar el mantenimiento preventivo, en motores, sopladores, tuberías de alimentación de aire, bajantes y seccionando ramales de difusión para proporcionar dicho mantenimiento a difusores de aire.

Del proyecto en cuestión y para lodos activados se analizaron cuatro modalidades, aireadores superficiales, aireadores sumergibles, sopladores de desplazamiento positivo, sopladores centrífugos.

- Aireadores superficiales.

Inversión inicial:	\$ 8'508,304.05
Costo m ³ agua tratada:	\$ 0.50/m ³
Cargo anual de Amortización por tratamiento:	\$ 932,054.72

- Aireadores sumergibles.

Inversión inicial:	\$ 7'079,476.73
Costo m ³ agua tratada:	\$ 0.56/m ³
Cargo anual de Amortización por tratamiento:	\$ 764,409.23

- Sopladores desplazamiento positivo.

Inversión inicial:	\$ 7'621,401.89
Costo m ³ agua tratada:	\$ 0.73/m ³
Cargo anual de Amortización por tratamiento:	\$ 827,275.54

- **Sopladores centrífugos.**

Inversión inicial:	\$ 6'837,376.00
Costo m ³ agua tratada:	\$ 0.66/m³
Cargo anual de Amortización por tratamiento:	\$ 749,010.44

Así, de lo anterior y de acuerdo a reuniones con el organismo operador de aguas del municipio de Culiacán, Sin., se consideró seleccionar el proceso de lodos activados en la modalidad de “Sopladores Centrífugos”, que presentará una inversión inicial y un cargo anual de amortización por tratamiento más bajo, comparado con los otras modalidades, aunque no ostentará el costo por metro cubico de aguas tratada más bajo, pero que se encontrará dentro un rango bajo. Esta alternativa presentará flexibilidad de control de potencia en función de los requerimientos de oxígeno en el reactor biológico, y lo cual al final redituará en un costo de operación menor. Asimismo, en el estudio denominado, “Análisis del Estado Actual de las Plantas de Tratamiento Operadas por el Sistema de Aguas del Ciudad de México” asignado a la empresa *Compañía Mexicana Zemex, S. A. de C. V.* en el año 2009, se determinó que los sopladores centrífugos demuestran ser los más eficientes y más longevos en cuanto a su vida útil de operación.

Índice de figuras

- Figura No. 1 Prueba de jarras con adición de policloruro de aluminio. Fuente del autor.
- Figura No. 2 Prueba de jarras con adición de poliacrilamida. Fuente del autor.
- Figura No. 3 Prueba de jarras con floculo sedimentado. Fuente del autor.
- Figura No. 4 Modelo experimental de un clarifloculador. Fuente del autor.
- Figura No. 5 Esquema de un clarifloculador. Fuente del autor.
- Figura No. 6 Fabricación de un clarifloculador. Fuente del autor.
- Figura No. 7 Procesos biológicos de tratamiento. Fuente del autor.
- Figura No. 8 Sistema de discos biológicos. Fuente Operación y Mantenimiento de Discos Biológicos. SEDUE
- Figura No. 9 Distribución del agua residual y flujo en el medio corrugado. Fuente Operación y Mantenimiento de Discos Biológicos. SEDUE.
- Figura No. 10 Disco biológico instalado. Fuente del autor.
- Figura No. 11 Observación de la distribución del flujo en el medio corrugado. Fuente del autor.
- Figura No. 12 Opciones de arreglo en un sistema de discos biológicos rotatorios. Fuente Operación y Mantenimiento de Discos Biológicos. SEDUE.
- Figura No. 13 Sistema típico de discos biológicos. Fuente Operación y Mantenimiento de Discos Biológicos. SEDUE.
- Figura No. 14 Curvas de diseño para discos biológicos rotatorios. Fuente Rotating Disc Wastewater Treatment. ENVIRODISC.
- Figura No. 15 Factores esenciales del proceso de lodos activados. Fuente DR. Fabián Yañez
- Figura No. 16 Proceso convencional de lodos activados. Fuente DR. Fabián Yañez.
- Figura No.17 Proceso convencional de lodos activados de alta capacidad o aireación modificada. Fuente DR. Fabián Yañez.
- Figura No. 18 Proceso de contacto-estabilización adsorción rápida o re-aireación de lodos. Fuente DR. Fabián Yañez.
- Figura No. 19 Proceso de aireación extendida. Fuente DR. Fabián Yañez.

- Figura No. 20 Esquema de lodos activados a mezcla completa. Fuente DR. Fabián Yañez.
- Figura No. 21 Esquema de lodos activados con flujo pistón. Fuente DR. Fabián Yañez.
- Figura No. 22 Esquema de Proceso carrusel. Fuente DR. Fabián Yañez.
- Figura No. 23 Esquemas de procesos patentados de lodos activados. Fuente DR. Fabián Yañez.
- Figura No. 24 Diagrama de flujo de lodos activados convencional. Fuente DR. Fabián Yañez.
- Figura No. 25 Diagrama de flujo del diseño de lodos activados convencional. Fuente del autor.
- Figura No. 26 Características del aireador superficial. Fuente Introduction to Wastwater, Treatment Process, Ramalho.
- Figura No. 27 Arreglo de aireadores superficiales. Fuente del autor.
- Figura No. 28 Aireador sumergible comercial. Fuente Catalogo de NABOHI.
- Figura No. 29 Zonas de trabajo del aireador sumergible. Fuente Catalogo de NABOHI.
- Figura No. 30 Selección del aireador sumergible. Fuente Catalogo de NABOHI.
- Figura No. 31 Curva de comportamiento del aireador. Catalogo de NABOHI.
- Figura No. 32 Selección de sopladores. Fuente Catalogo SUTORBILT.
- Figura No. 33 Rango de comportamiento de los sopladores Spencer serie 5000. Fuente Catalogo SPENCER.
- Figura No. 34 Curva de selección de soplador. Fuente Catalogo SPENCER.
- Figura No. 35 Sección transversal de un filtro percolador típico. Fuente Operación y Mantenimiento de Filtros Percoladores, SEDUE.
- Figura No. 36 Diferentes tipos de medios filtrantes comúnmente utilizados en filtros percoladores. Fuente del autor.
- Figura No. 37 Medio filtrante y brazo rotatorio. Fuente del autor.
- Figura No. 38 Medio filtrante compacto y brazo rotatorio. Fuente del autor.
- Figura No. 39 Distribuidor rotatorio. Fuente del autor.
- Figura No. 40 Vista del filtro percolador Fuente del autor.
- Figura No. 41 Soporte de medio filtrante. Fuente Manual Operación y Mantenimiento de Filtros Percoladores, SEDUE.

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

- Figura No. 42 Sistema de uno y dos etapas en filtros percoladores. Fuente Manual Operación y Mantenimiento de Filtros Percoladores, SEDUE.
- Figura No. 43 Arreglos típicos de recirculación de filtros percoladores. Fuente Manual Operación y Mantenimiento de Filtros Percoladores, SEDUE.

Índice de tablas

Tabla No. 1 Caracterización del agua residual.

Tabla No. 2 Comparación de parámetros del influente con respecto a cada una de las normas vigentes.

Tabla No. 3 Parámetros típicos de diseño del proceso de lodos activados.

Tabla No. 4 Resumen de costos para discos biológicos rotatorios.

Tabla No. 5 Resumen de costos de lodos activados-aireadores superficiales.

Tabla No. 6 Resumen de costos de lodos activados-aireadores sumergibles.

Tabla No. 7 Resumen de costos de lodos activados-sopladores de desplazamiento positivo.

Tabla No. 8 Resumen de costos de lodos activados-aireadores centrífugos de alta eficiencia.

Tabla No. 9 Resumen de costos de filtros percoladores.

Tabla No. 10 Potencias necesarias para los diferentes procesos de tratamiento.

Tabla No. 11 Resumen económico de las alternativas de tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. INTRODUCTION TO WASTEWATER TREATMENT PROCESSES
R.S. RAMALHO
ACADEMIC PRESS 1977
2. WASTEWATER ENGINEERING
METCALF & EDDY
TREATMENT, DISPOSAL, REUSE
THIRD EDITION
McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS
3. RESUMEN DE PROYECTO TIPO MEDIANTE EL PROCESO DE BIODISCOS
PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES
INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA 1985
SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGÍA
SUBSECRETARIA DE ECOLOGÍA
4. PROGRAMA DE CAPACITACIÓN PARA OPERADORES DE PLANTAS DE
TRATAMIENTO. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE LODOS
ACTIVADOS.
INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA 1985
SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGÍA
SUBSECRETARIA DE ECOLOGÍA
5. PROGRAMA DE CAPACITACIÓN PARA OPERADORES DE PLANTAS DE
TRATAMIENTO. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE FILTROS
PERCOLADORES.
INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA 1985
SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGÍA
SUBSECRETARIA DE ECOLOGÍA

6. ROTATING DISC WASTEWATER TREATMENT
ENVIRODISC, CORPORATION

7. TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO (ARTÍCULO)
RICARDO Y. TSUKAMOTO, Ph. D.

ANEXOS

ANEXO I NUMEROS GENERADORES

A.I.1 DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS

A.I.2 AIREADORES SUPERFICIALES

A.I.3 AIREADORES SUMERGIBLES

A.I.4 SOPLADORES DESPLAZAMIENTO POSITIVO

A.I.5 SOPLADORES CENTRÍFUGOS

A.I.6 FILTROS PERCOLADORES

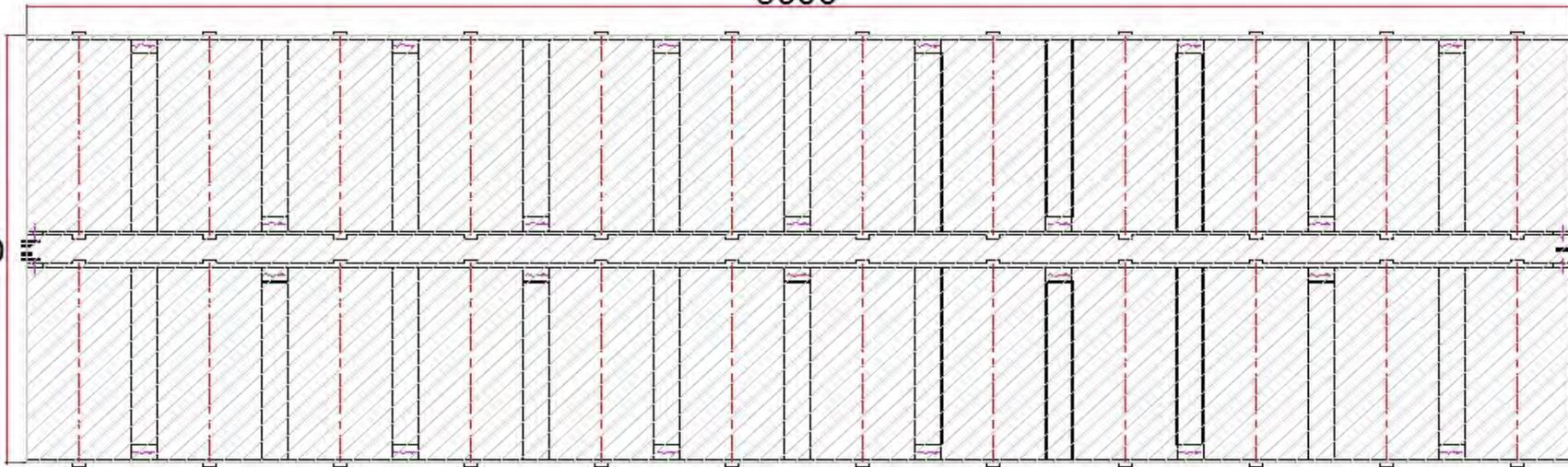
NUMEROS
GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO-DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS			Fecha	30/01/2004
Unicación: CULIACAN, SIN.		Edo:	SIN.	Plano
Partida:	Zona	Unidad	Cargo	

**DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS
EXCAVACIÓN**

5900

1780

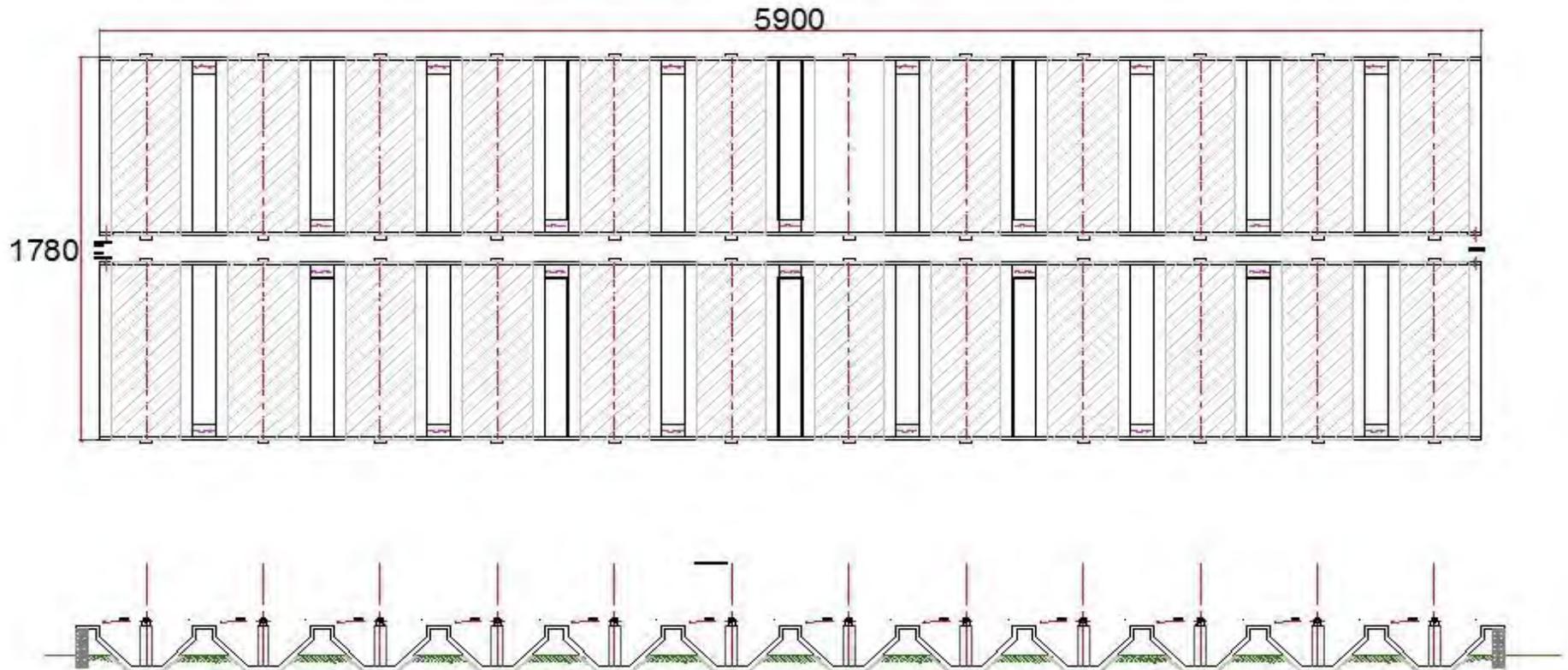


NUMEROS
GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO-DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS				Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.			Edo: SIN.		Plano
Partida:		Zona		Carga	

Clave	Concepto	Localización				Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo						

**DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS
PLANTILLA DE CONCRETO SIMPLE**

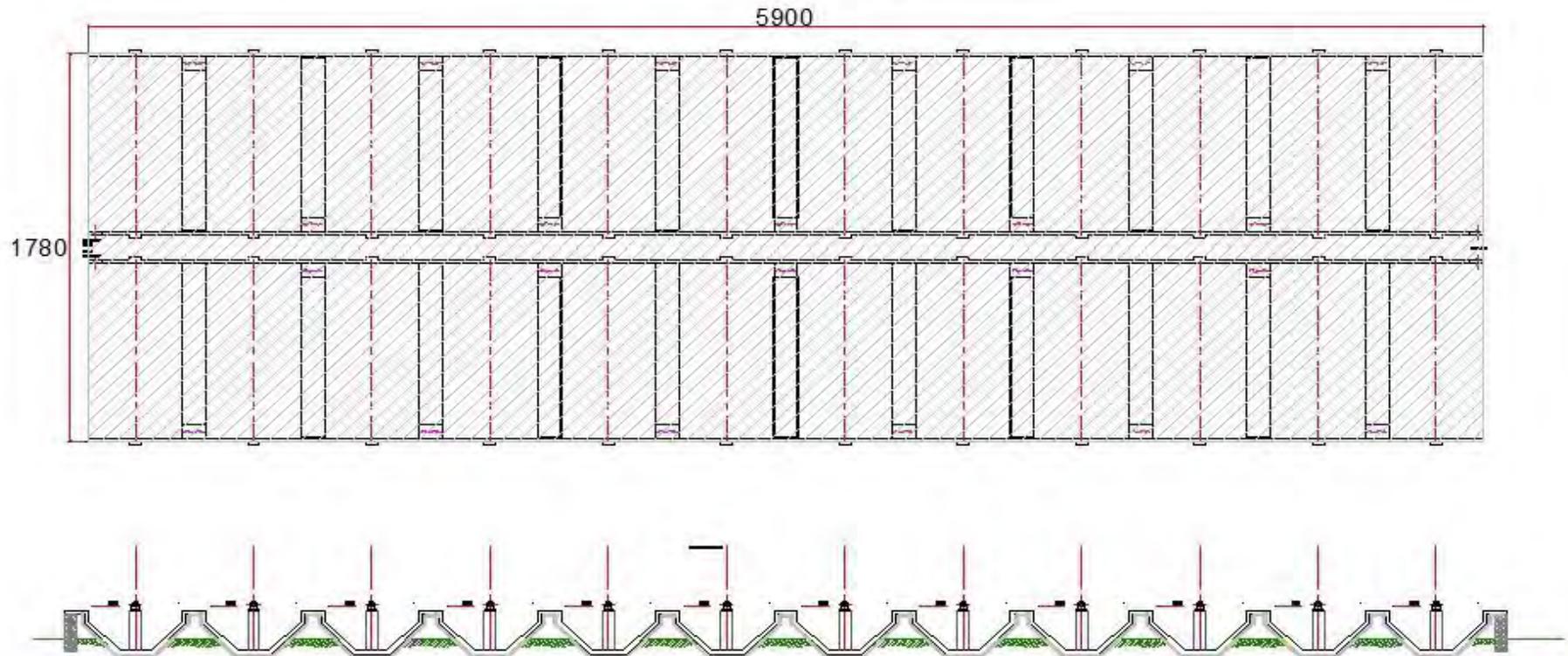


NUMEROS
GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO-DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS				Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.			Edo: SIN.		Plano
Partida:		Zona		Carga	

Clave	Concepto	Localización				Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo						

DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS
CIMBRA ACABADO APARENTE

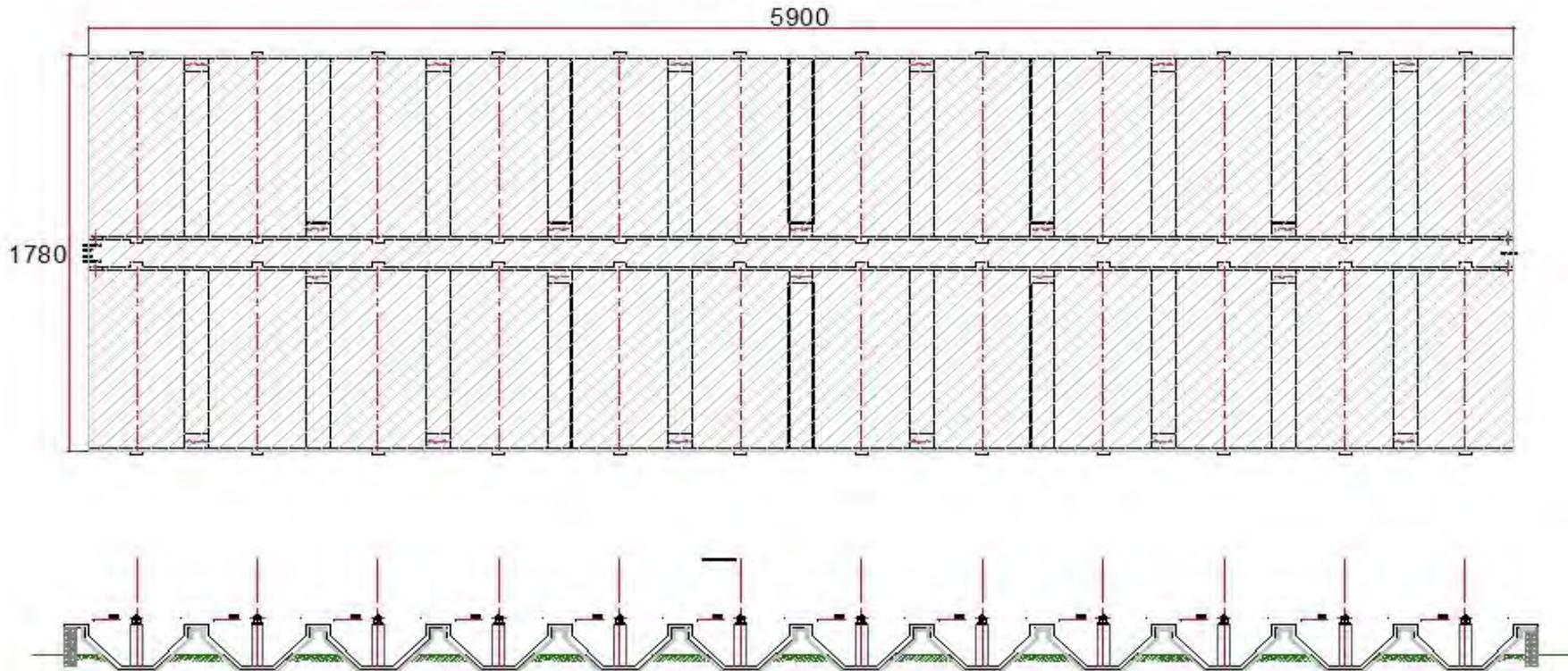


NUMEROS
GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO-DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS				Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.			Edo: SIN.		Plano
Partida:		Zona		Carga	

Clave	Concepto	Localización				Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo						

**DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS
CONCRETO PREMEZCLADO**

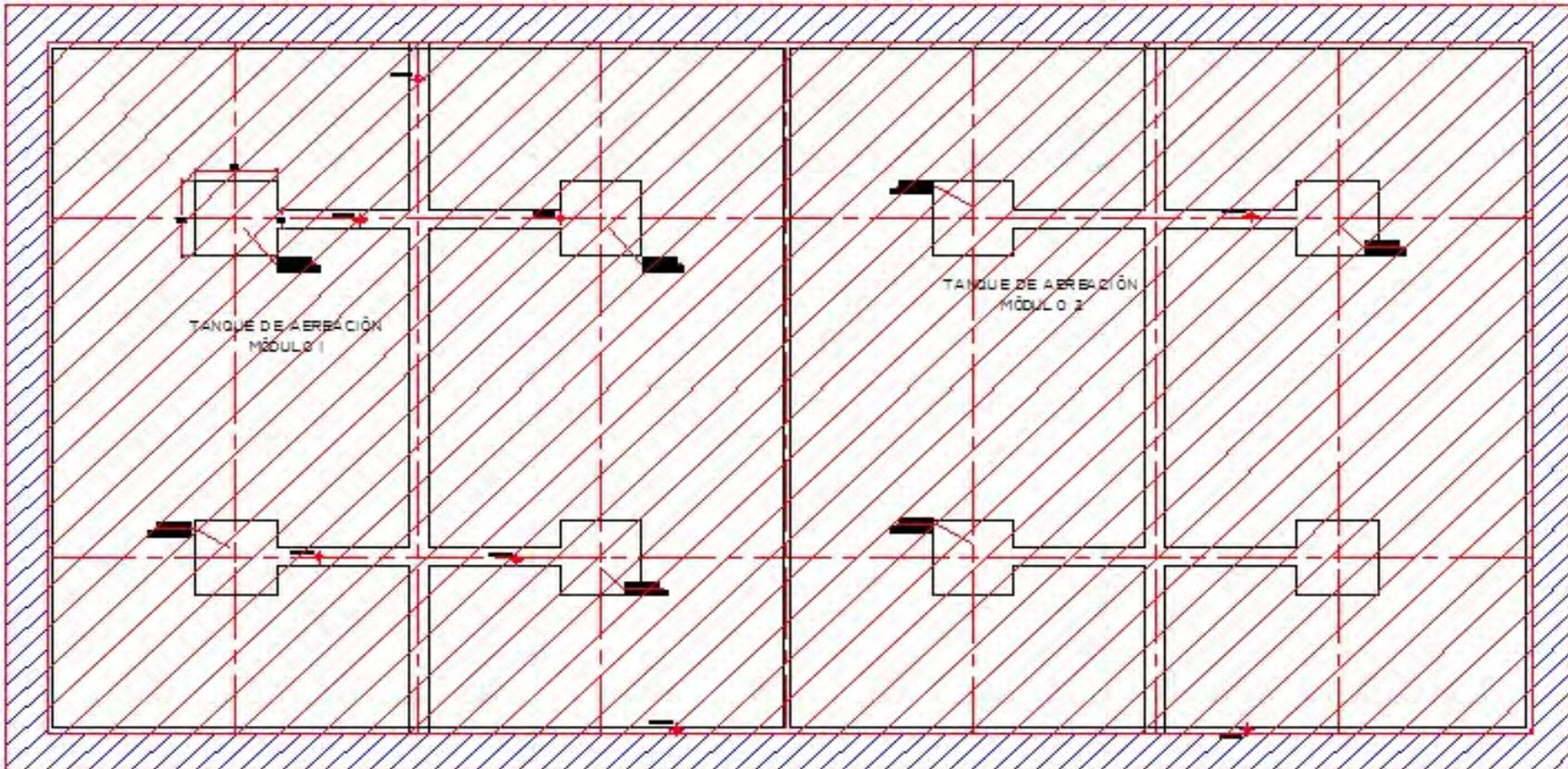


NUMEROS
GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO-AIREADORES SUPERFICIALES				Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.			Edo: SIN.		Plano
Partida:		Zona		Unidad	
				Cargo	

Clave	Concepto	Localización			Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo					

LODOS ACTIVADOS-AIREADORES SUPERFICIALES EXCAVACIÓN

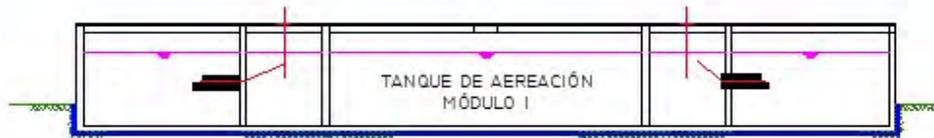
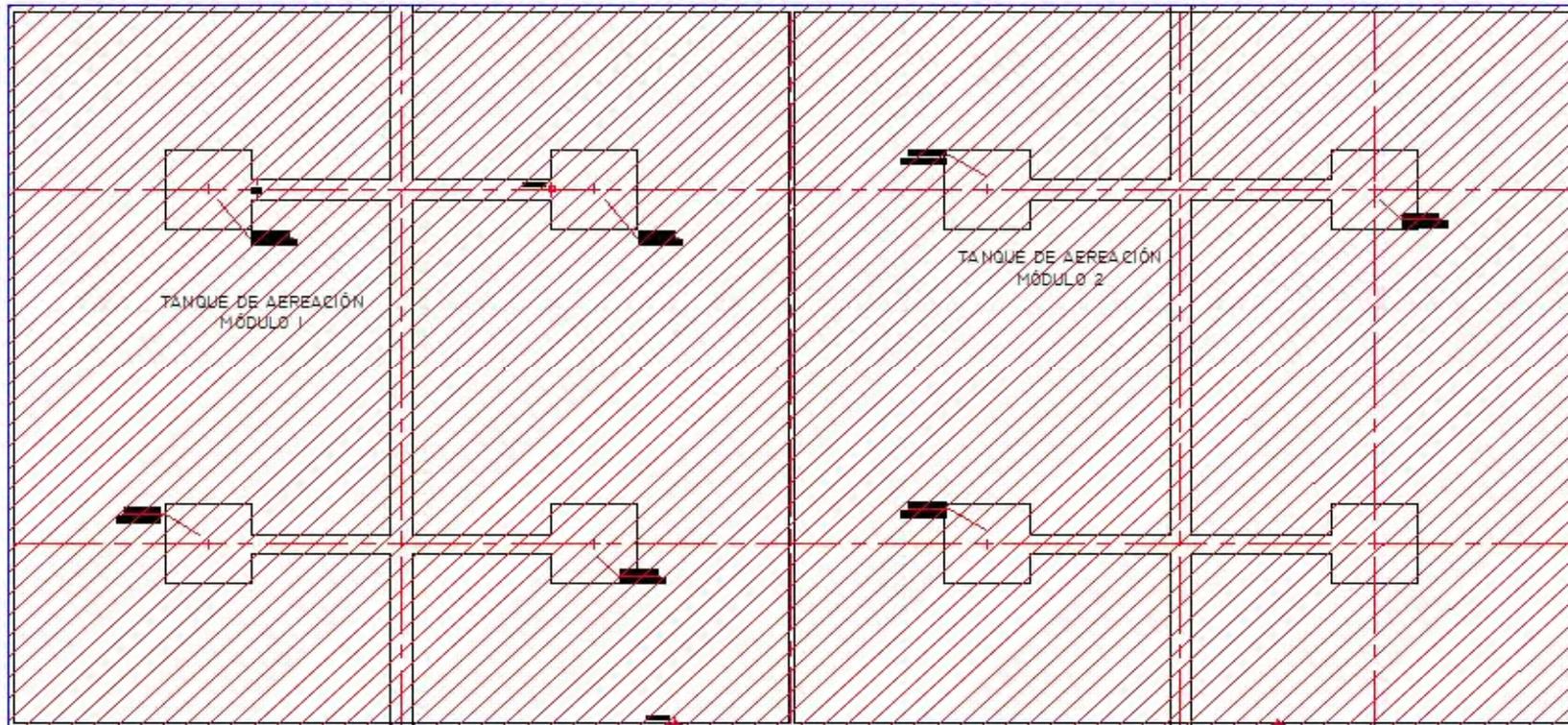


NUMEROS
GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO-AIREADORES SUPERFICIALES		Fecha	30/01/2004
Unicación: CULIACAN, SIN.		Edo:	SIN.
Partida:	Zona	Unidad	Cargo

Clave	Concepto	Localización			Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo					

**LODOS ACTIVADOS-AIREADORES SUPERFICIALES
PLANTILLA DE CONCRETO SIMPLE**

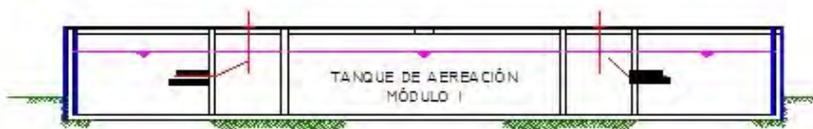
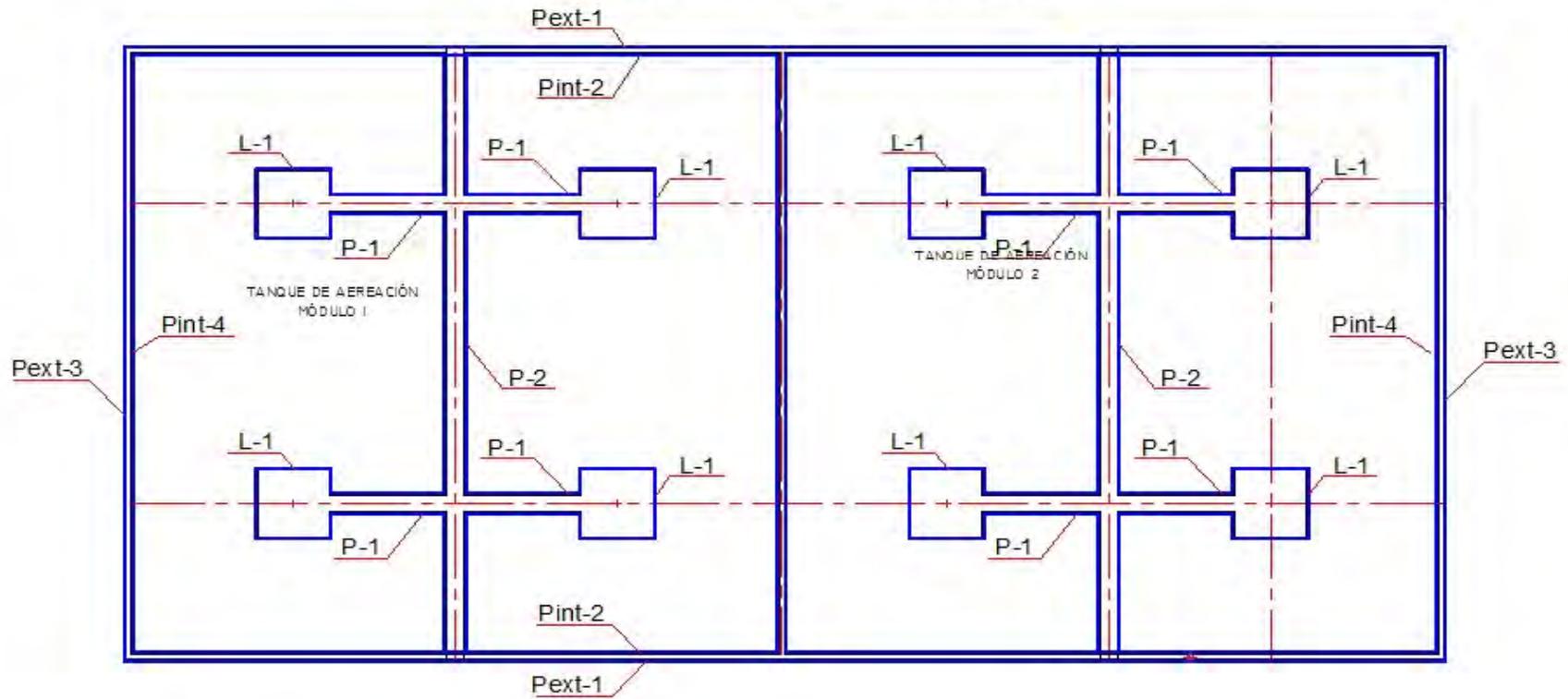


NUMEROS
GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO-AIREADORES SUPERFICIALES				Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.			Edo: SIN.		Plano
Partida:		Zona		Unidad	
				Cargo	

Clave	Concepto	Localización			Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo					

**LODOS ACTIVADOS-AIREADORES SUPERFICIALES
CIMBRA ACABADO APARENTE**

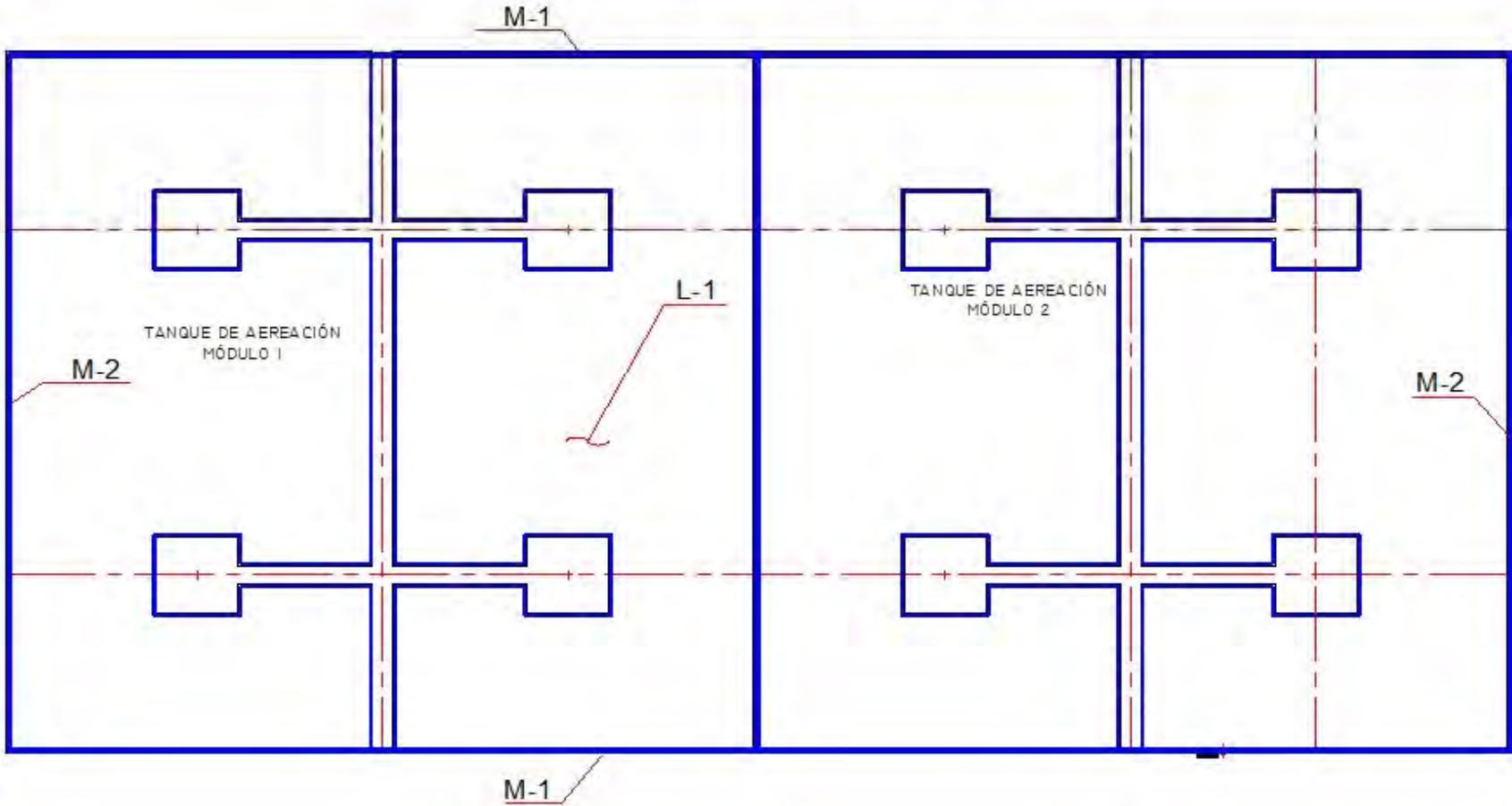


NUMEROS
GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO-AIREADORES SUPERFICIALES			Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.		Edo: SIN.		Plano
Partida:	Zona	Unidad		Cargo

Clave	Concepto	Localización			Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo					

**LODOS ACTIVADOS-AIREADORES SUPERFICIALES
CONCRETO PREMEZCLADO**

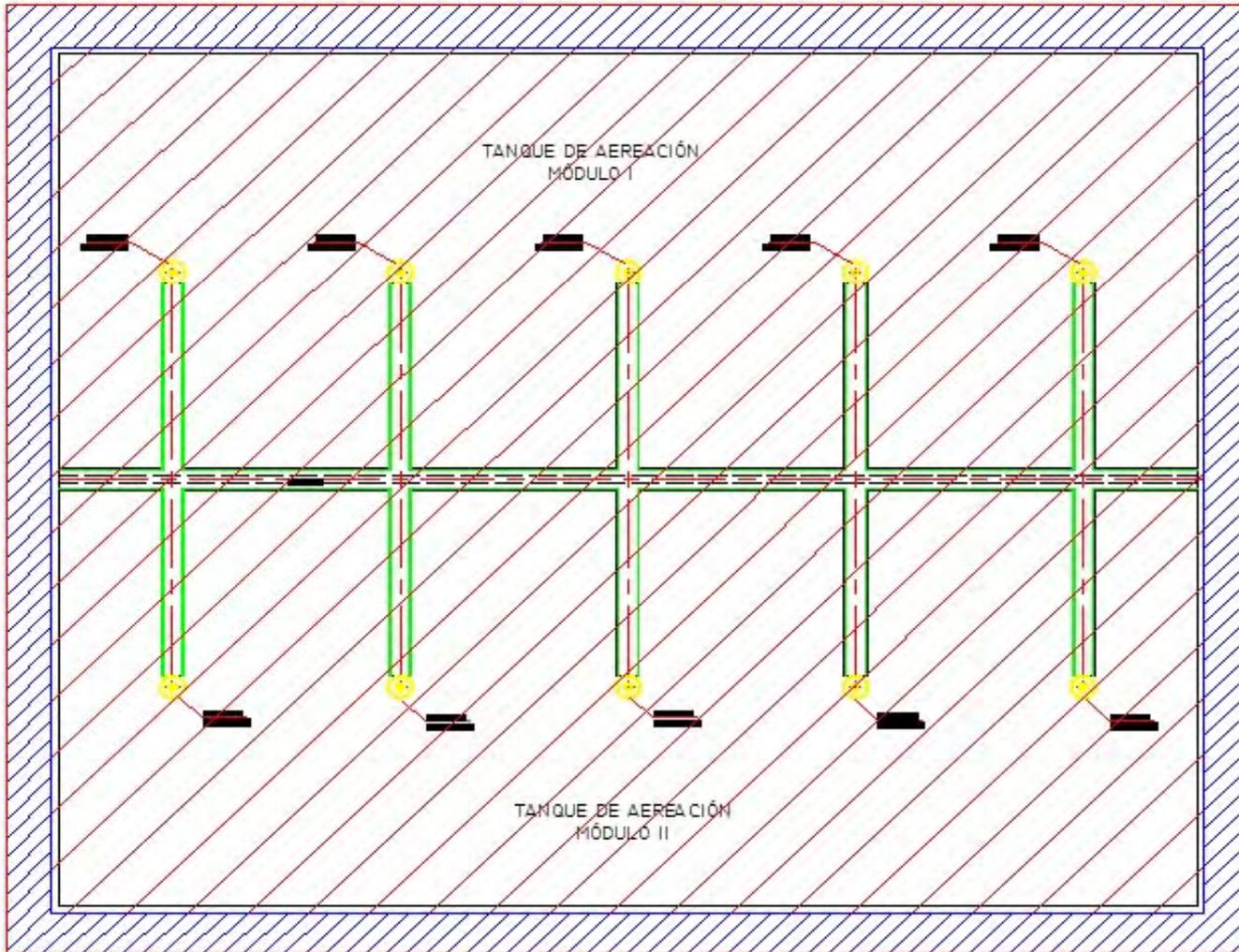


NUMEROS
GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO-AIREADORES SUMERGIBLES				Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.			Edo: SIN.		Plano
Partida: CONSTRUCCION		Zona		Unidad	
Cargo					

Clave	Concepto	Localización			Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo					

**LODOS ACTIVADOS - AIREADORES SUMERGIBLES
EXCAVACIÓN**

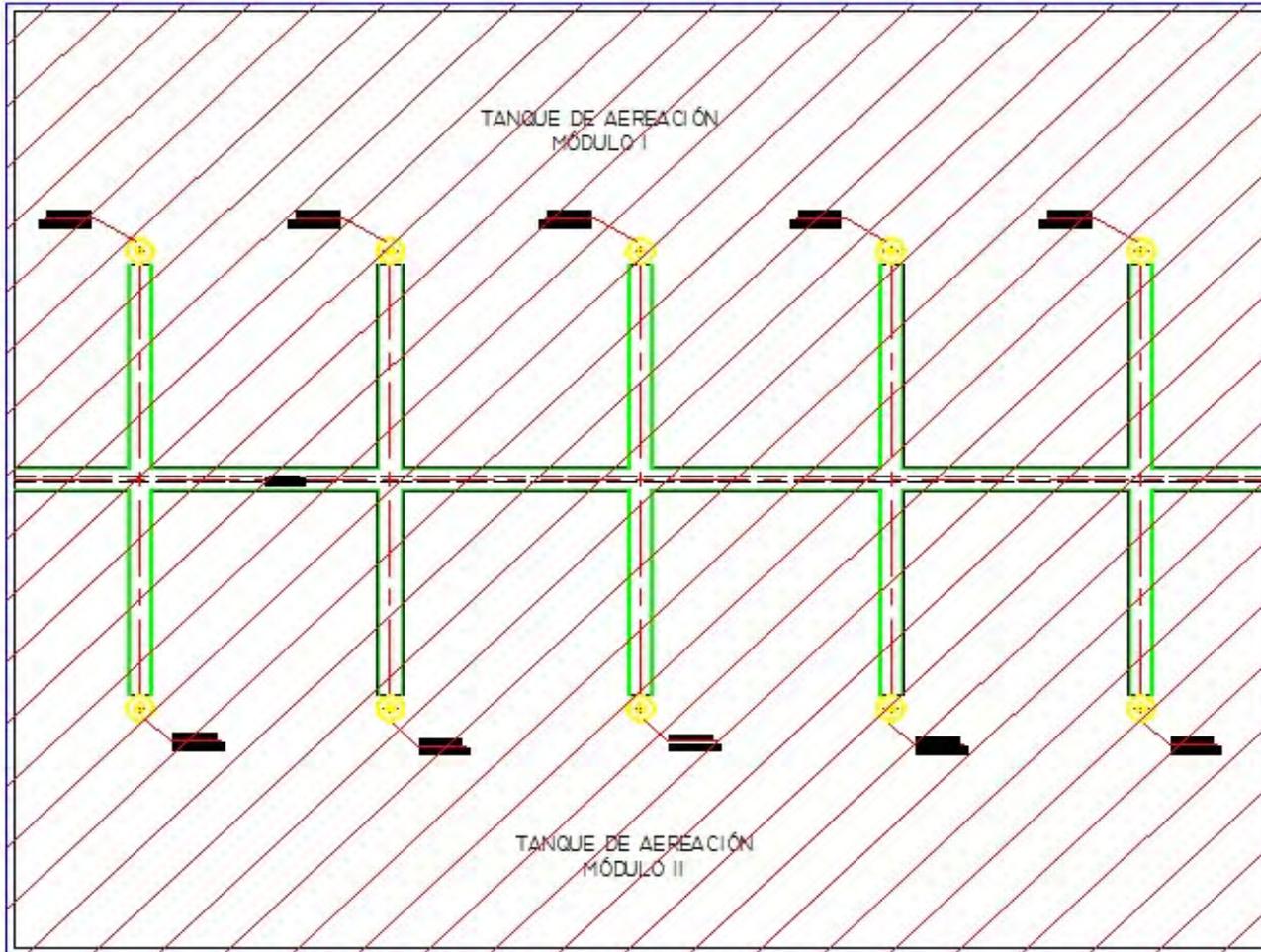


NUMEROS
GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO-AIREADORES SUMERGIBLES				Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.			Edo: SIN.		Plano
Partida:		Zona		Unidad	
				Cargo	

Clave	Concepto	Localización			Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo					

**LODOS ACTIVADOS - AIREADORES SUMERGIBLES
PLANTILLA**

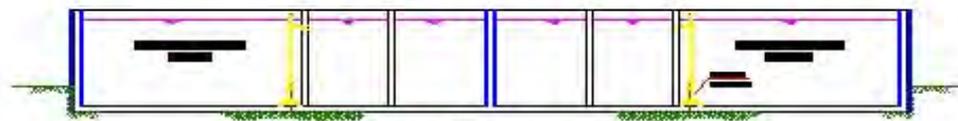
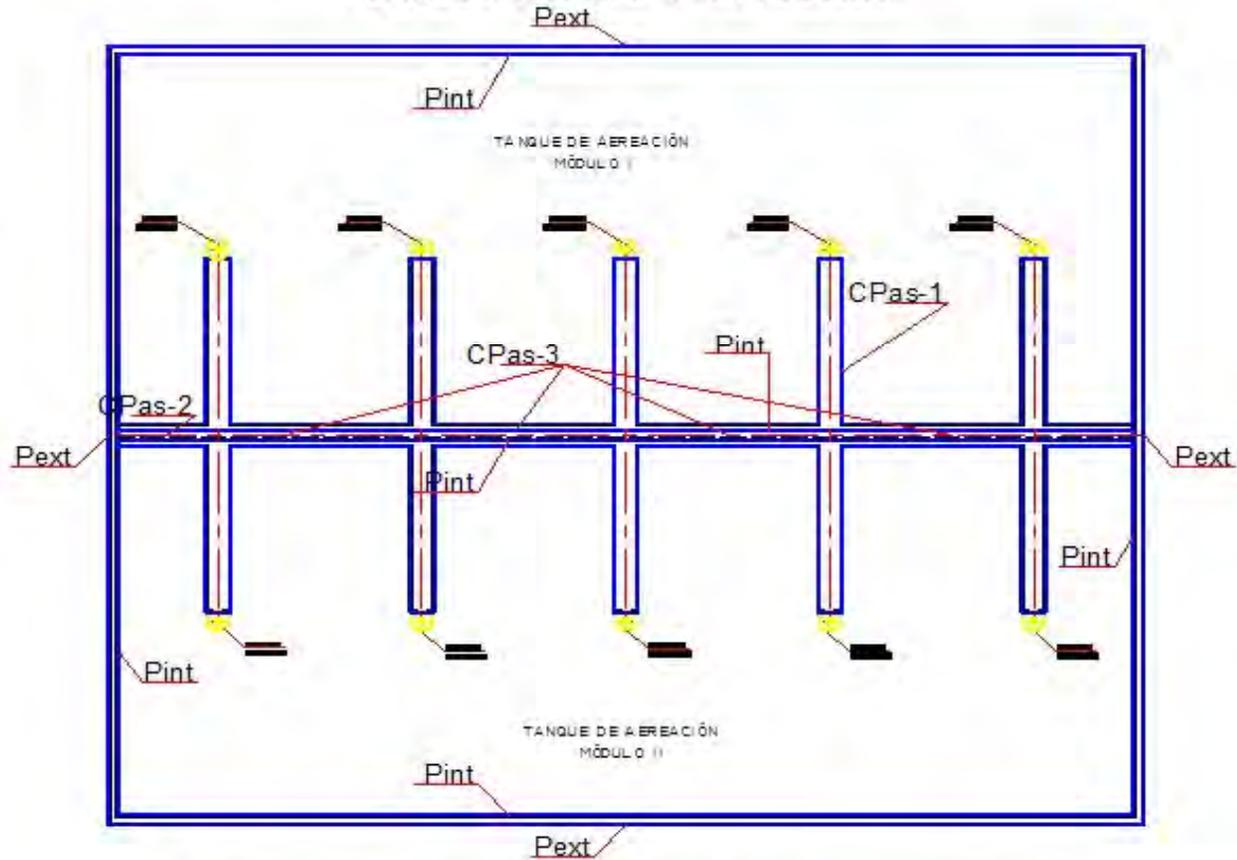


NUMEROS
GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO-AIREADORES SUMERGIBLES				Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.			Edo: SIN.		Plano
Partida:		Zona		Unidad	
				Cargo	

Clave	Concepto	Localización			Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo					

**LODOS ACTIVADOS - AIREADORES SUMERGIBLES
CIBRA ACABADO APARENTE**



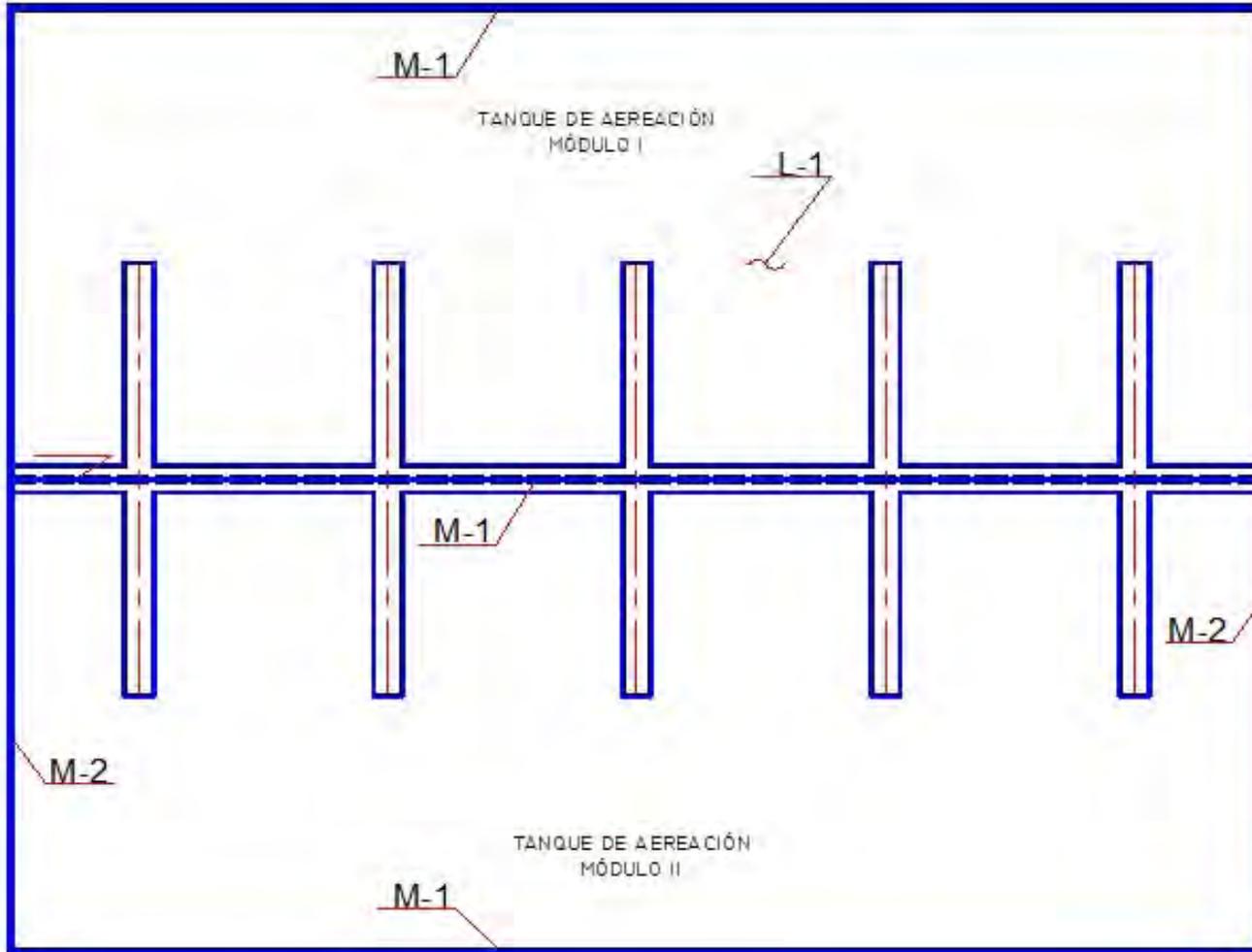
ELEVACIÓN LATERAL

NUMEROS
GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO-AIREADORES SUMERGIBLES				Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.			Edo: SIN.		Plano
Partida:		Zona		Unidad	
				Cargo	

Clave	Concepto	Localización			Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo					

**LODOS ACTIVADOS - AIREADORES SUMERGIBLES
CONCRETO PREMEZCLADO**



NUMEROS
GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO-AIREADORES SUMERGIBLES			Fecha	30/01/2004
Unicación: CULIACAN, SIN.		Edo:	SIN.	
Partida:	Zona	Unidad	Cargo	

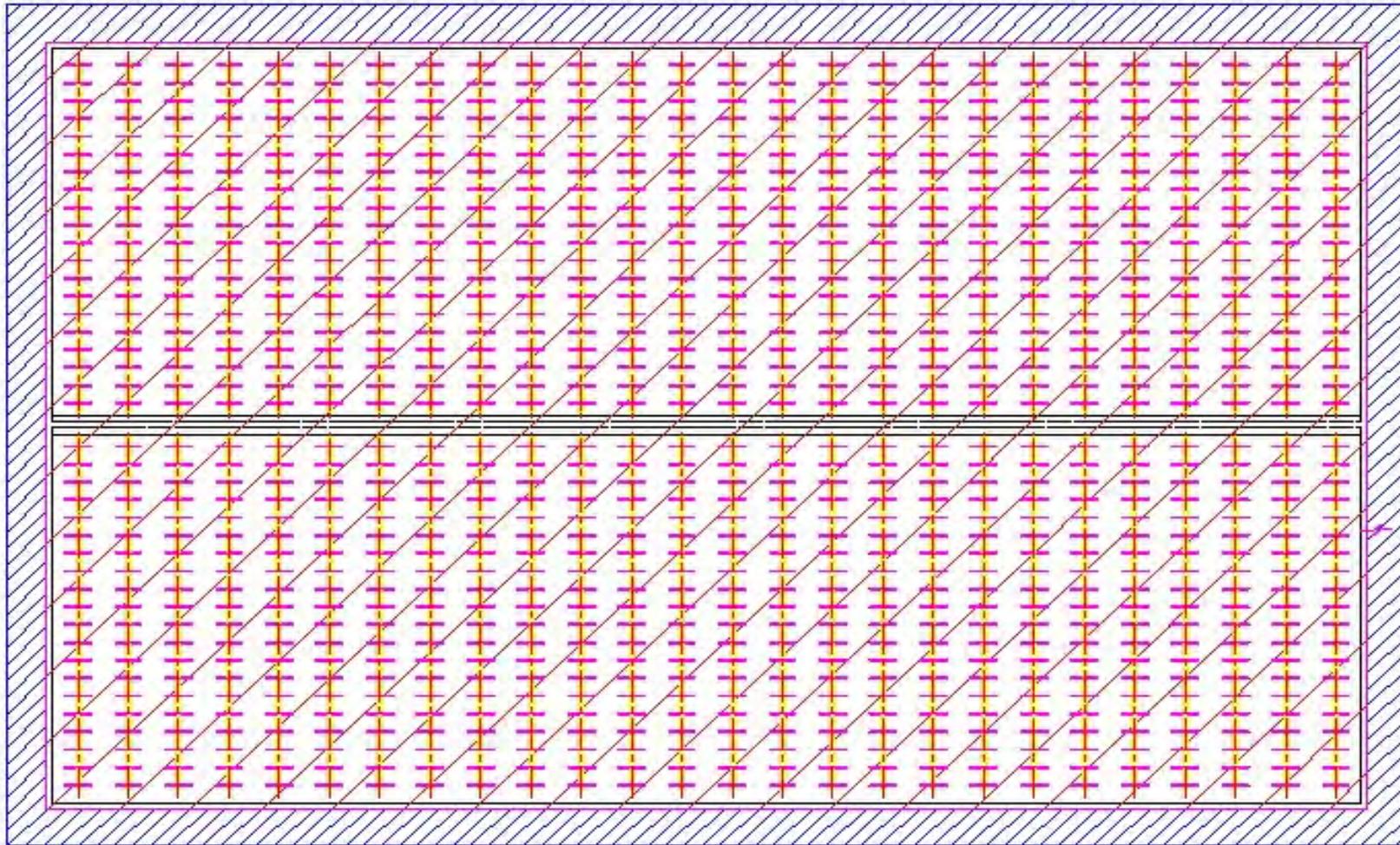
Clave	Concepto	Localización				Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado	
		Eje	Tramo	Tipo							
	HABILITADO Y ARMADO DE ACERO DE REFUERZO EN ELEMENTO DE CONCRETO, INCLUYE: GANCHOS TRASLAPES, DEPERDICIOS Y ACARREOS.	DE EL VOLUMEN DE CONCRETO OBTENIDO, CONSIDERAMOS UN FACTOR DE POR LO QUE OBTENEMOS:							120.00	kg/m3	
					120.00	*	1397.37			167,684.40	kg
		Totales								167,684.40	kg

NUMEROS GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO LODOS ACTIVADOS-SOPLADORES DESPLAZAMIENTO POSITIVO				Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.			Edo: SIN.		Plano
Partida:		Zona		Unidad	
				Cargo	

Clave	Concepto	Localización			Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo					

**LODOS ACTIVADOS - SOPLADORES
EXCAVACIÓN**

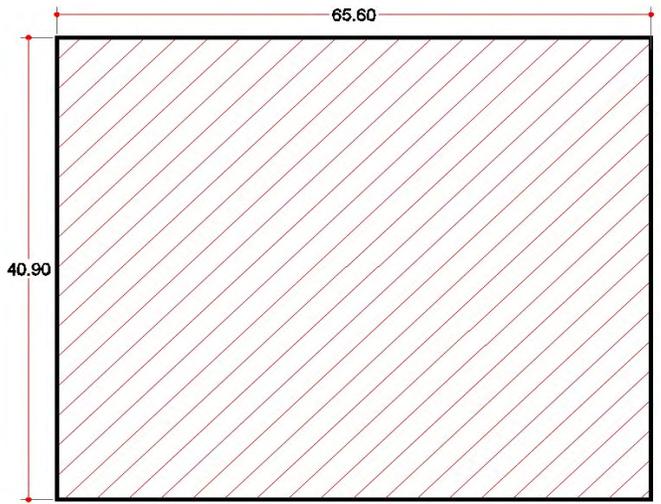


NUMEROS GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO LODOS ACTIVADOS-SOPLADORES DESPLAZAMIENTO POSITIVO			Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.		Edo: SIN.	Plano	
Partida:	Zona	Unidad	Cargo	

Clave	Concepto	Localización			Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado	
		Eje	Tramo	Tipo						
	PLANTILLA DE CONCRETO f'c = 100 kg/cm2 DE ESPESOR									
	INCLUYE ACARREO A 1a. ESTACIÓN A 20 m				65.60	40.90	0.05	1.00	134.15	m2
Totales									134.15	m2

Plantilla f'c=100kg/cm2

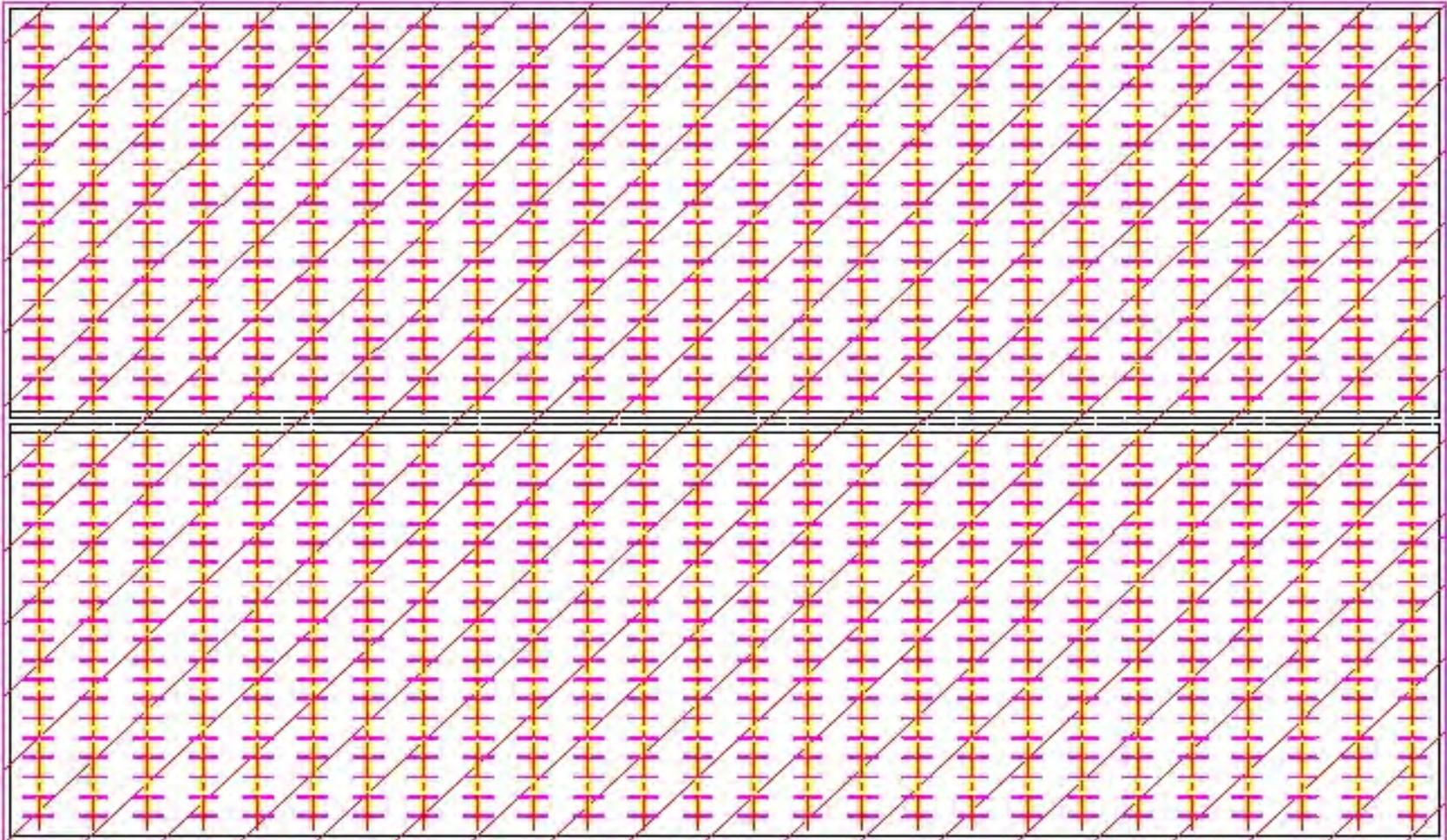


NUMEROS GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO LODOS ACTIVADOS-SOPLADORES DESPLAZAMIENTO POSITIVO				Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.			Edo: SIN.		Plano
Partida:		Zona		Unidad	
				Cargo	

Clave	Concepto	Localización			Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo					

**LODOS ACTIVADOS - SOPLADORES
PLANTILLA CONCRETO SIMPLE**

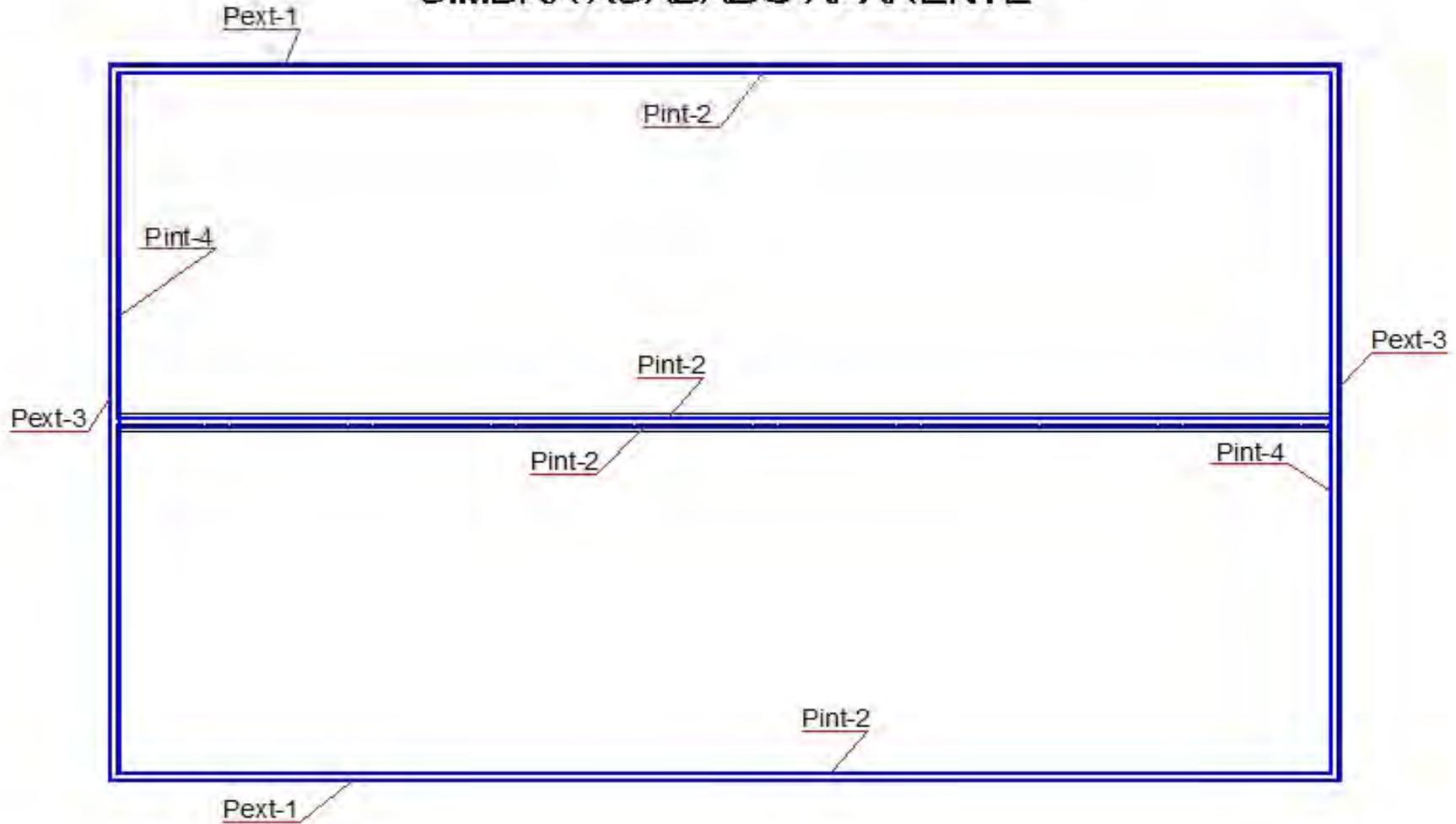


NUMEROS GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO LODOS ACTIVADOS-SOPLADORES DESPLAZAMIENTO POSITIVO			Fecha	30/01/2004
Unicación: CULIACAN, SIN.		Edo: SIN.	Plano	
Partida:	Zona	Unidad	Cargo	

Clave	Concepto	Localización			Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo					

**LODOS ACTIVADOS - SOPLADORES
CIMBRA ACABADO APARENTE**

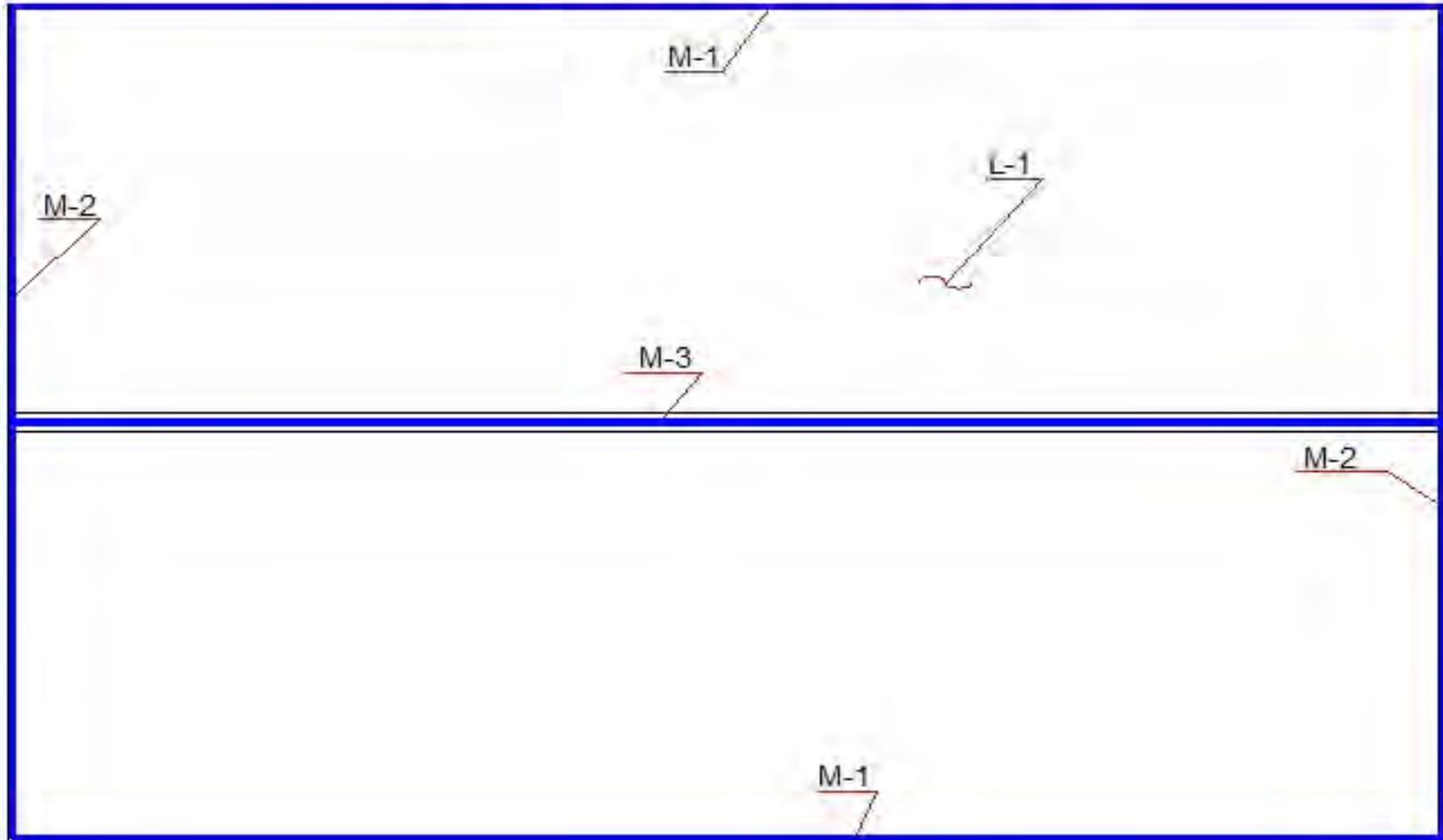


NUMEROS GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO LODOS ACTIVADOS-SOPLADORES DESPLAZAMIENTO POSITIVO			Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.		Edo: SIN.	Plano	
Partida:	Zona	Unidad	Cargo	

Clave	Concepto	Localización			Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo					

**LODOS ACTIVADOS - SOPLADORES
CONCRETO PREMEZCLADO**

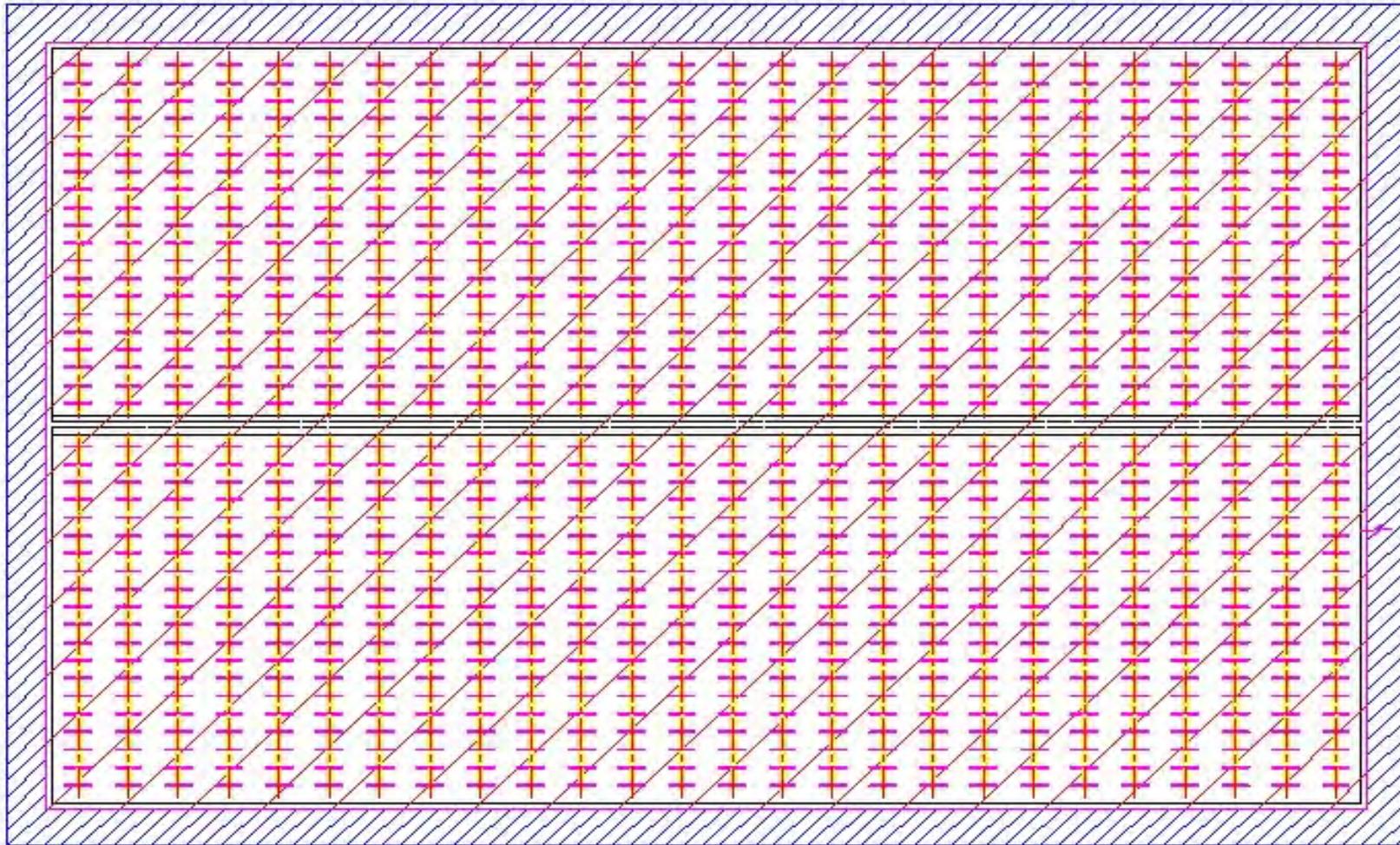


NUMEROS GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO LODOS ACTIVADOS-SOPLADORES CENTRIFUGOS				Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.			Edo: SIN.		Plano
Partida:		Zona		Unidad	
				Cargo	

Clave	Concepto	Localización			Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo					

**LODOS ACTIVADOS - SOPLADORES
EXCAVACIÓN**

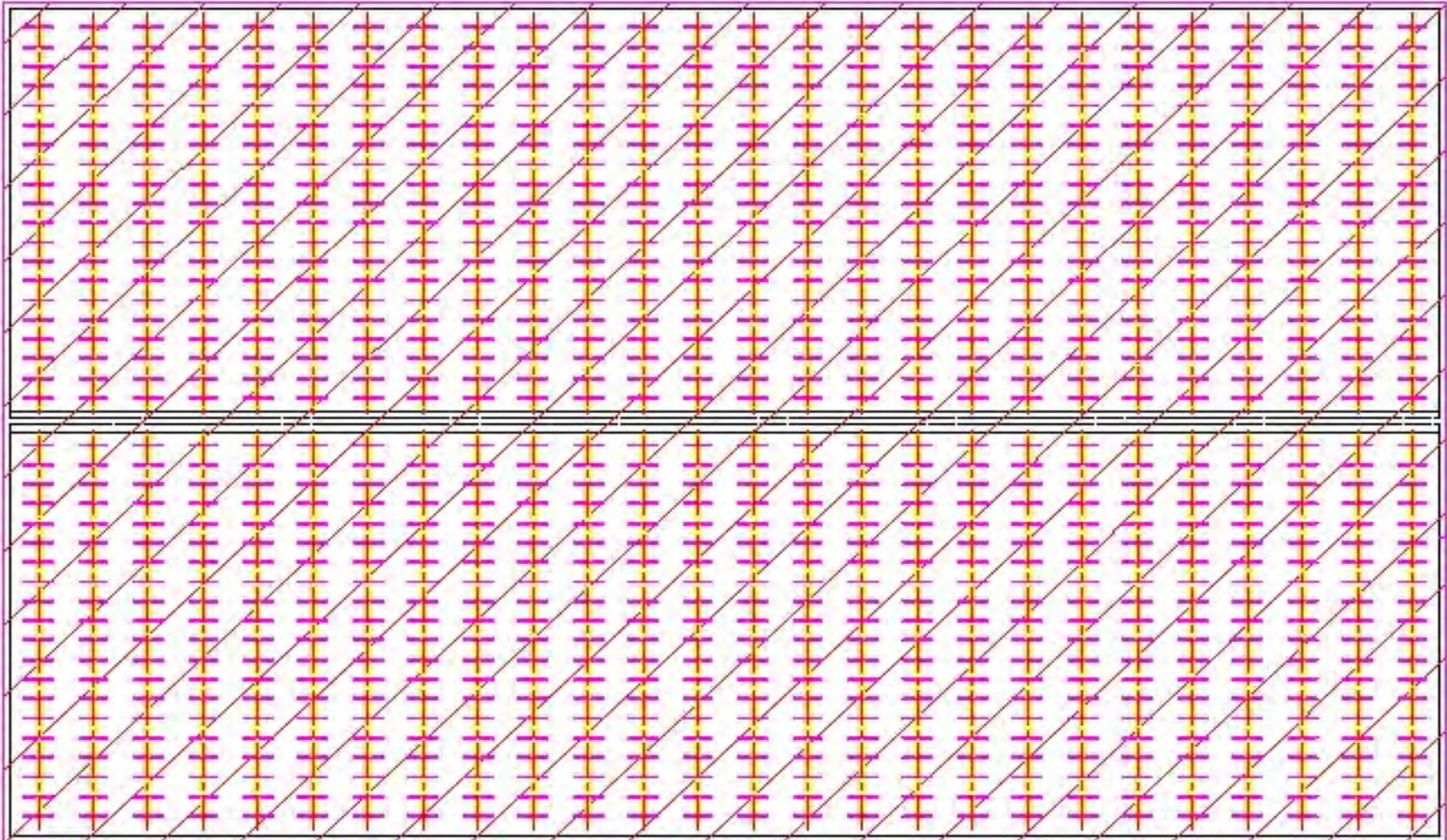


NUMEROS GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO LODOS ACTIVADOS-SOPLADORES CENTRIFUGOS				Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.			Edo: SIN.		Plano
Partida:		Zona		Unidad	
				Cargo	

Clave	Concepto	Localización			Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo					

**LODOS ACTIVADOS - SOPLADORES
PLANTILLA CONCRETO SIMPLE**

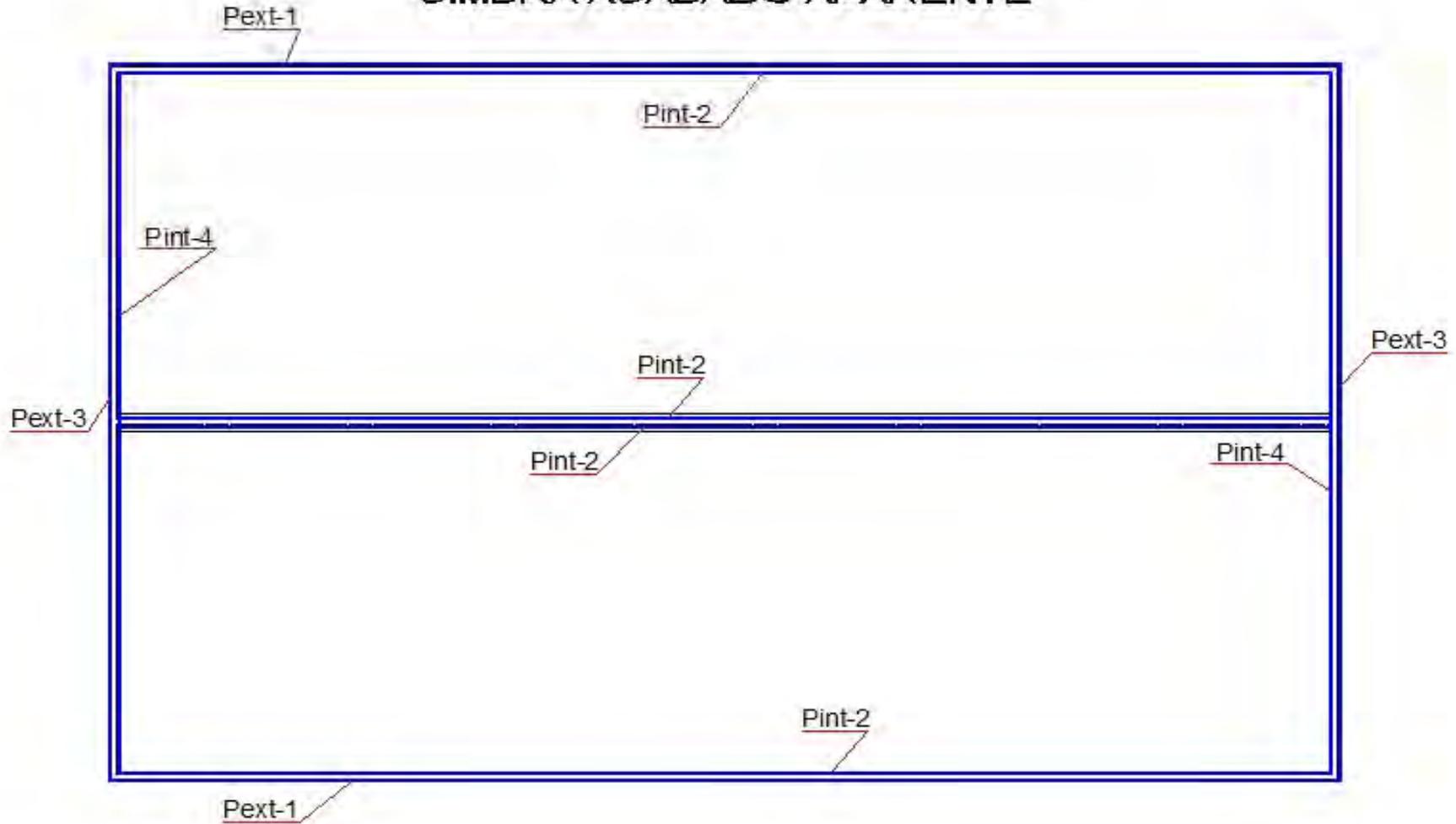


NUMEROS GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO LODOS ACTIVADOS-SOPLADORES CENTRIFUGOS			Fecha	30/01/2004
Unicación: CULIACAN, SIN.		Edo:	SIN.	
Partida:	Zona	Unidad	Cargo	

Clave	Concepto	Localización			Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo					

**LODOS ACTIVADOS - SOPLADORES
CIMBRA ACABADO APARENTE**

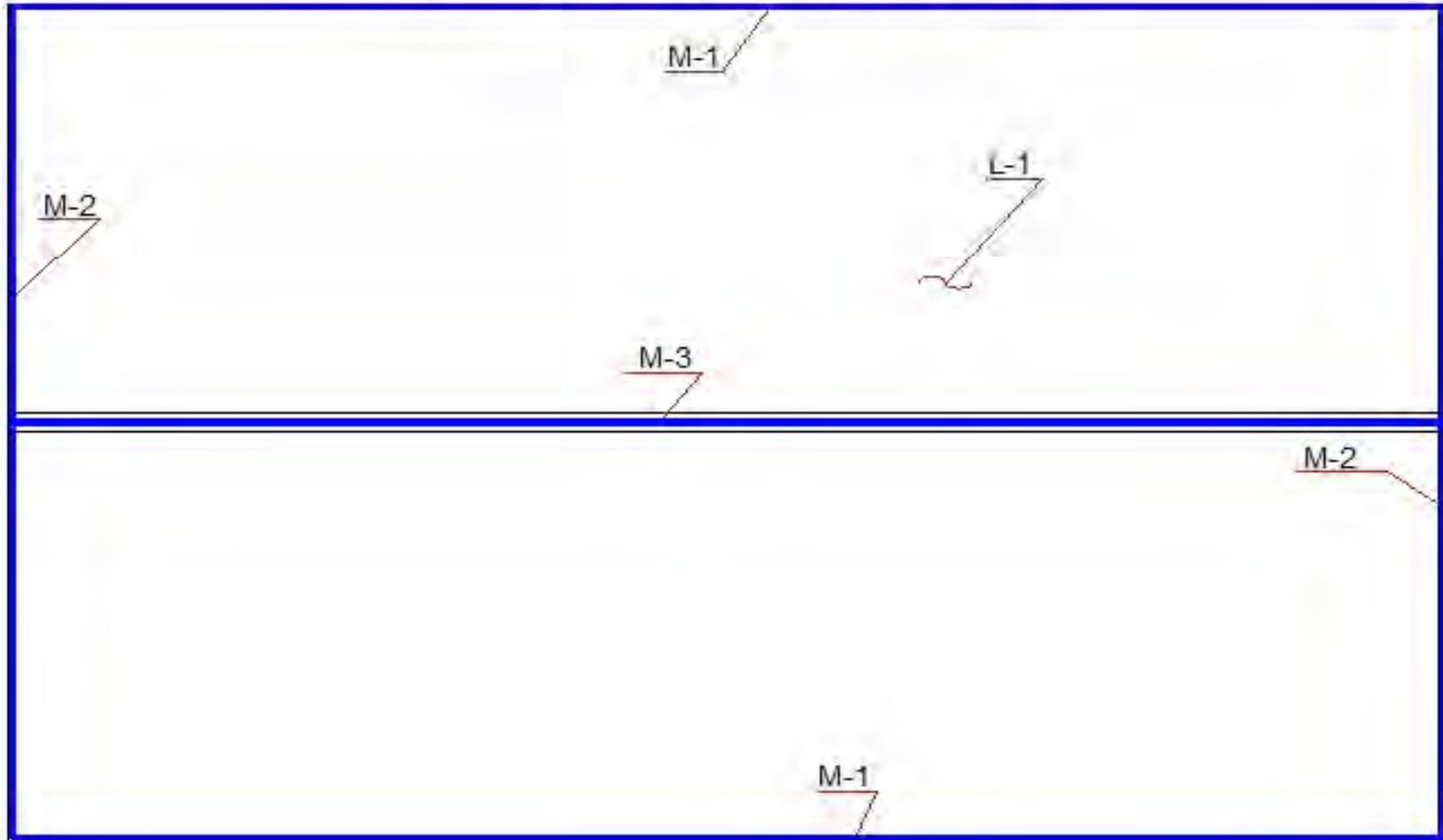


NUMEROS GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO LODOS ACTIVADOS-SOPLADORES CENTRIFUGOS			Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.		Edo: SIN.	Plano	
Partida:	Zona	Unidad	Cargo	

Clave	Concepto	Localización			Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo					

**LODOS ACTIVADOS - SOPLADORES
CONCRETO PREMEZCLADO**



NUMEROS GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO LODOS ACTIVADOS-SOPLADORES CENTRIFUGOS			Fecha	30/01/2004
Unicación: CULIACAN, SIN.		Edo: SIN.	Plano	
Partida:	Zona	Unidad	Cargo	

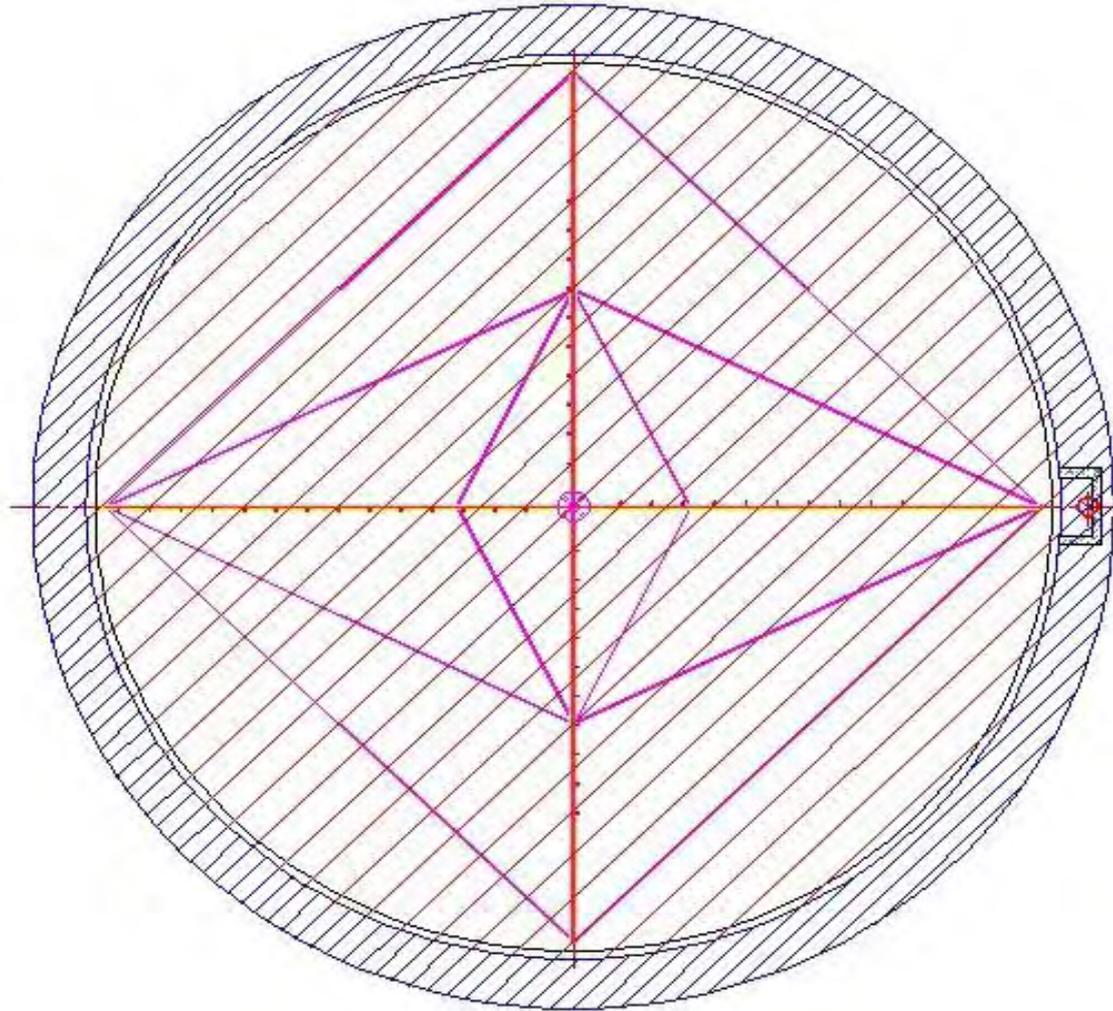
Clave	Concepto	Localización				Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado	
		Eje	Tramo	Tipo							
	HABILITADO Y ARMADO DE ACERO DE REFUERZO EN ELEMENTO DE CONCRETO, INCLUYE: GANCHOS TRASLAPES, DEPERDICIOS Y ACARREOS.	DE EL VOLUMEN DE CONCRETO OBTENIDO, CONSIDERAMOS UN FACTOR DE POR LO QUE OBTENEMOS:							120.00	kg/m3	
					120.00	*	1151.94			138,232.32	kg
									Totales	138,232.32	kg

NUMEROS GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO-FILTROS PERCOLADORES				Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.			Edo: SIN.		Plano
Partida:		Zona		Unidad	Cargo

Clave	Concepto	Localización				Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo						

FILTRO PERCOLADOR EXCAVACIÓN

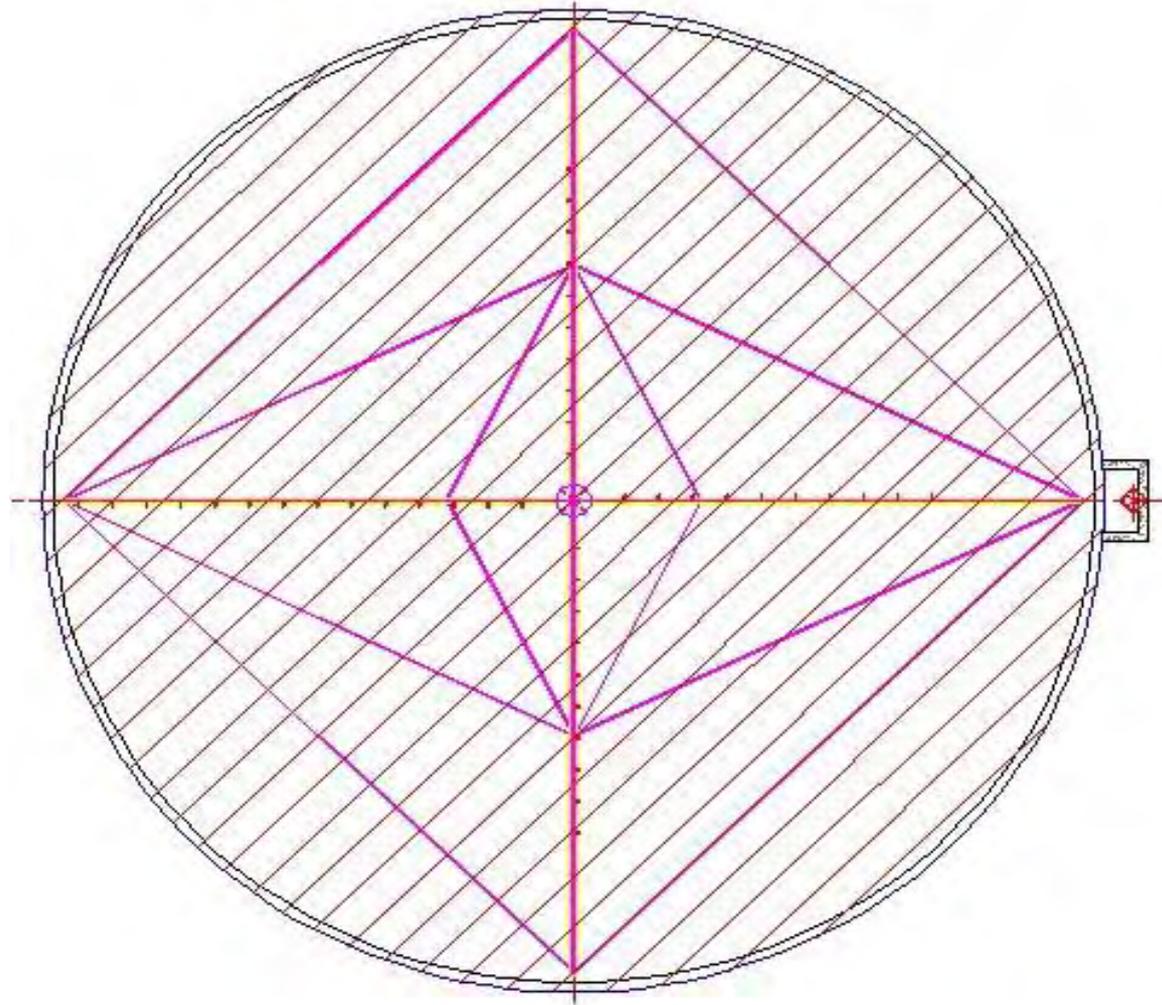


NUMEROS GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO-FILTROS PERCOLADORES				Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.			Edo: SIN.		Plano
Partida:		Zona		Unidad	Cargo

Clave	Concepto	Localización				Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo						

**FILTRO PERCOLADOR
PLANTILLA CONCRETO SIMPLE**

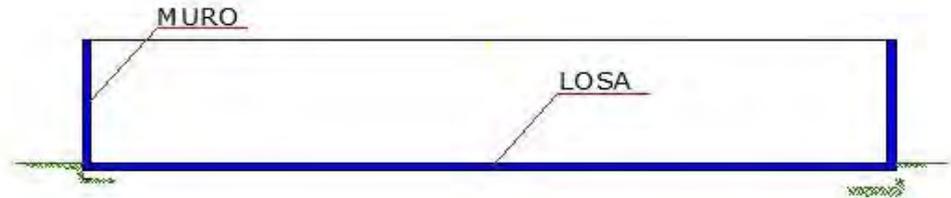
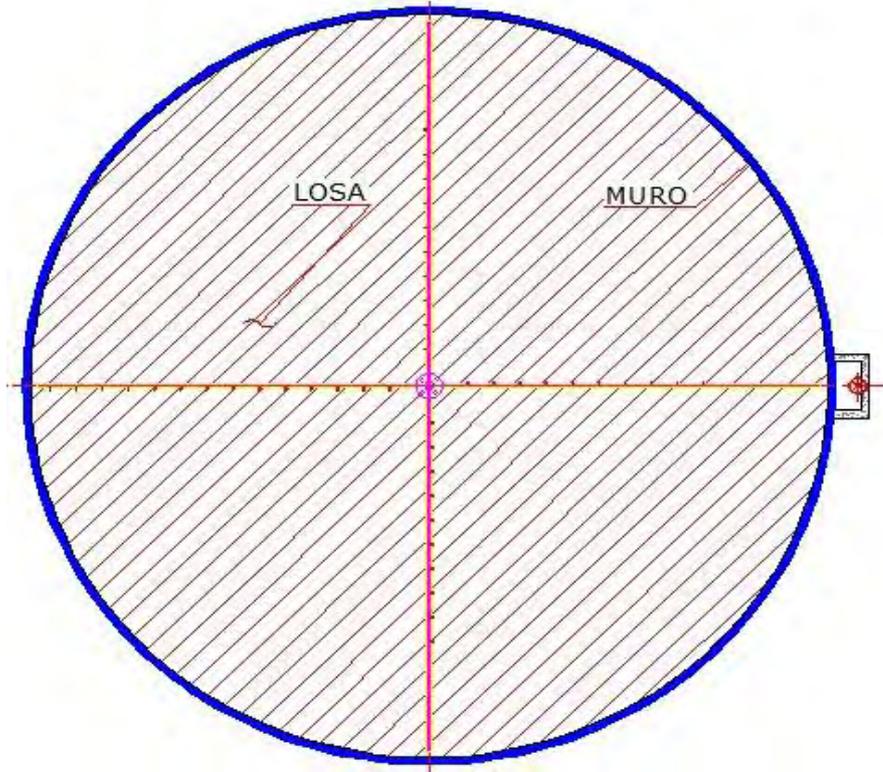


NUMEROS GENERADORES

Obra : ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO-FILTROS PERCOLADORES				Fecha 30/01/2004	
Unicación: CULIACAN, SIN.			Edo: SIN.		Plano
Partida:		Zona		Unidad	
				Cargo	

Clave	Concepto	Localización				Largo	Ancho	Alto	Pzas.	Resultado
		Eje	Tramo	Tipo						

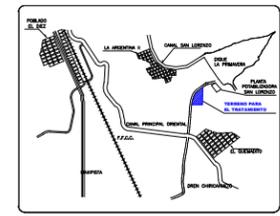
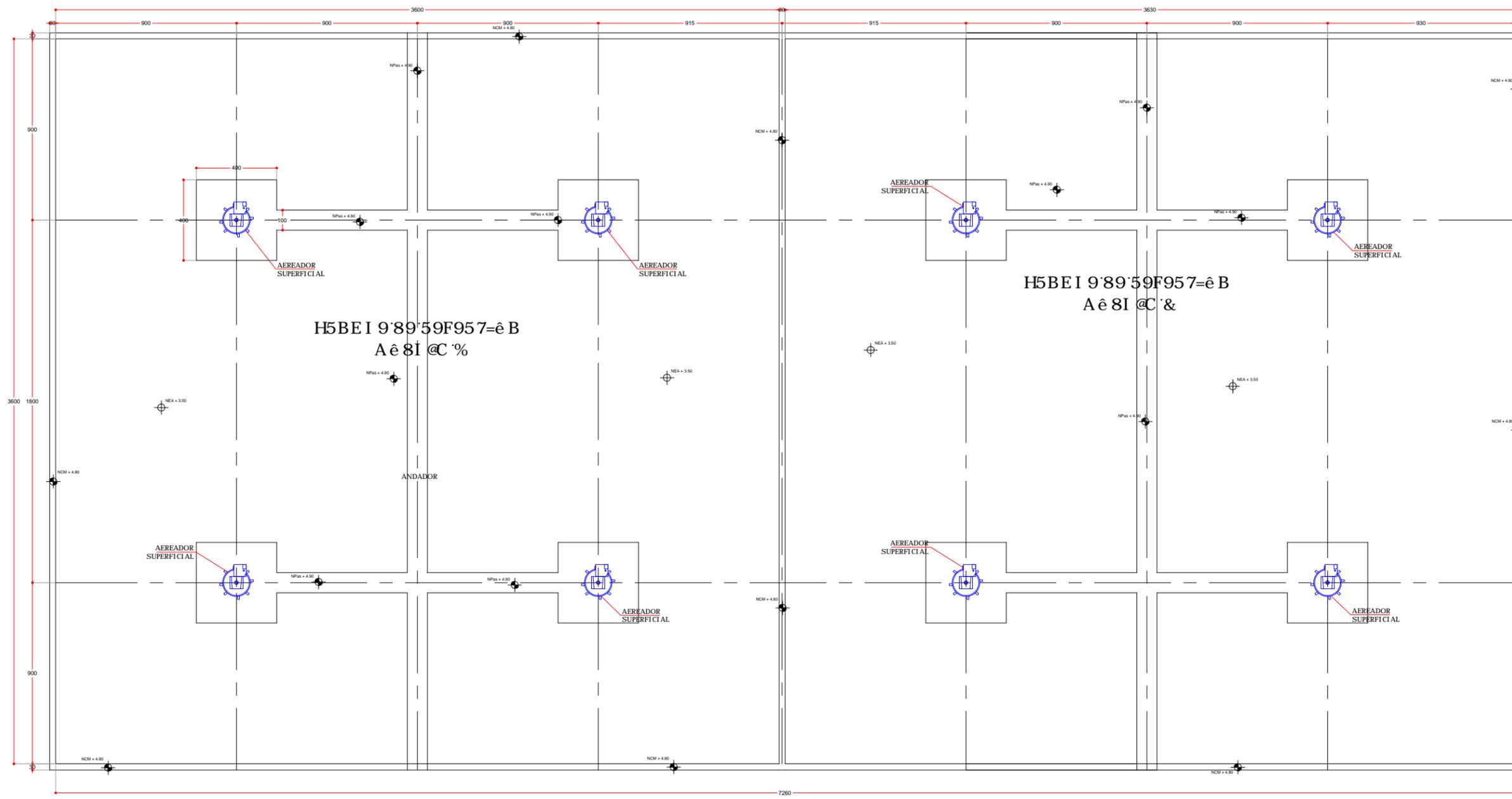
**FILTRO PERCOLADOR
CONCRETO PREMEZCLADO**



ANEXOS

ANEXO II PLANOS

- A.II.1 DISCOS BIOLÓGICOS ROTATORIOS
- A.II.2 AIREADORES SUPERFICIALES
- A.II.3 AIREADORES SUMERGIBLES
- A.II.4 SOPLADORES DESPLAZAMIENTO POSITIVO
- A.II.5 SOPLADORES CENTRÍFUGOS
- A.II.6 FILTROS PERCOLADORES
- A.II.7 ARREGLO GENERAL DEL PROYECTO EJECUTIVO.



DATOS DE PROYECTO

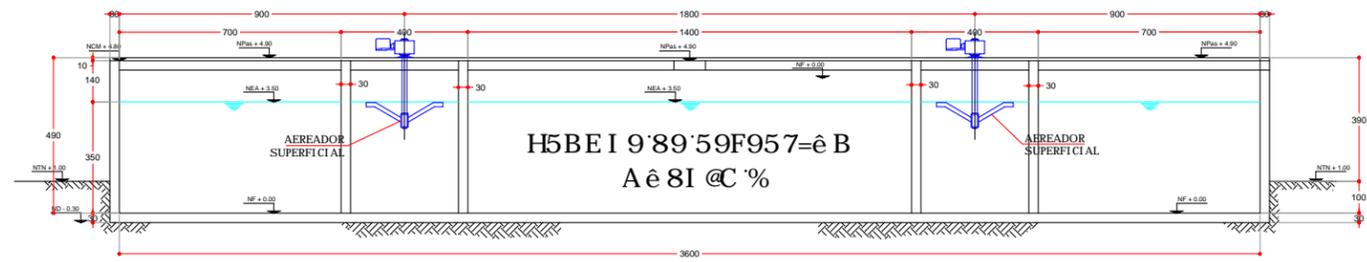
F0571CF 6-C @; -7C DCF 4C8CG 57HJ58CG 7CB19B7-CB5@
EQUIPADO CON AERADORES SUPERFICIALES

NIVEL DE TRATAMIENTO	SECUNDARIO
BI A OFC 801 B-8580G	2
FORMA	CUADRADO
GASTO MEDIO POR MODULO	150 lps
: 5GE A-4B-A-C DCF A C81 @C	75 lps
: 5GE A-4B-A-C DCF A C81 @C	290 lps
TEMPERATURA MEDIA	4587
80A 5B85 0-C E1 -A-75 89 C L@e 9B C 1B6C 1@ZL	350 mg/l
80A 5B85 E1 a@-75 89 C L@e 9B C 1B6 S 1@ZL	525 mg/l
G@-8CG CI GD8B-8CG 1C H5@9G 1G H 1@ZL	300 mg/l
80A 5B85 0-C E1 -A-75 89 C L@e 9B C 1B6C 1@ZL	35 mg/l
G@-8CG CI GD8B-8CG 1C H5@9G 1G H 1@ZL	30 mg/l
H5G 80 F97-F71 @57-4-B	40%
H-9A D 80 F97-F71 @57-4-B	45 X3L
H-9A D 80 F97-F71 @57-4-B	6.00 hr
H-F5B1B1 H-@	3.50 m
VOLUMEN DEL REACTOR/MODULO	4.542 m3
GJ 9B F97-F71 @57-4-B	2.857 mg/l
DFC81 77-e B 89 0C8CG	11.2 % VOVOLL
GASTO DE PURGA DE LODOS	88% - [@ZL
F0E1 9F-A-4B HEG 89 C L@e 9B C 1B6 C 81 @C	% a @ZL
	11.2 % VOVOLL
	% a - [@ZL

- NOTAS:**
- 1- LAS ELEVACIONES ESTAN REFERIDAS AL RN PROPORCIONADO POR EL ORGANISMO.
 - 2- 9@B C F89 7C B@-89F58C 9G A S: BvH-7C"
 - 3- NIVELES Y COORDENADAS EN METROS.
 - 4- @5G 57CH57-CB8G 9G H B 9B 788H-A 9HFC 62H 75H C @5G INDICADAS EN OTRA UNIDAD.
 - 5- MATERIALES Y EQUIPO QUE SE USEN EN ESTA OBRA DEBERAN ESTAR AUTORIZADOS POR EL ORGANISMO.
 - 6- ESTE PLANO SE COMPLEMENTA CON LOS PLANOS FUNCIONALES: CAJA REPARTIDORA, SEDIMENTADOR SECUNDARIO.

- G=A 6C @C; a5 M B C A 9B 7@5H I F5
- NTN NIVEL DE TERRENO NATURAL
 - NFA NIVEL FONDO APARENTE
 - NF NIVEL FONDO
 - NFL NIVEL FONDO DE LOSA
 - NET B-J 9@9-9 89 H 69Fa5
 - NMF NIVEL MEDIO FILTRANTE
 - NEA NIVEL ESPEJO DE AGUA
 - NPaS NIVEL DE PASILLO
 - NPT NIVEL DE PISO TERMINADO
 - INDICA NIVEL
 - INDICA NIVEL DE ESPEJO DE AGUA
 - INDICA FLUJO DE AGUA

PLANTA
ACOT. cm ESC. 1:100



ELEVACIÓN LATERAL
ACOT. cm ESC. 1:100

CANTIDADES DE OBRA

No.	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
OBRA CIVIL			
1	9E 75 J57-a B	m3	1,446.00
2	PLANTILLA DE CONCRETO F'c=100 kg/cm2, 5 cm DE ESPESOR	m2	155.00
3	CIEMBRA ACABADO APARENTE	m2	2,480.00
4	CONCRETO FREMEZCLADO f'c=200 kg/cm2	m3	1,220.00
5	ACERO DE REFUERZO f'y=4,200 kg/cm2	Ton	146.00
EQUIPAMIENTO			
6	59F958CF A 97A B-7C GI DCF: -7-5@89 65-5 J98C 7-8582A CBH5-9 : -@ C 27CB @5G 75F5 7HFA@G H-75G G@: 1-@B HEG. 1F5BG: 9F9B 7-5 89 C L@e 9B C % 5 C A V@JZB-a A 9HFC A a@-A C 89 -B: @ 9B 7-5 89 % a 2 J98C 7-858 89 CBH57-4 B 1 7@L 25@56@G F58-5@4C 7CB GI A 9F: 9B 7-5 B C A -@5@89 1 S' : a @L 89 9-a A 9HFC 28C A 08C A a@-A C 89 1 SSSS 1 da 2 D F5 1 B5 D F98 -@ 1 A 985 89 1 7 S a 57C D@58C A 98-@B 1@ F981 7HCF 89 J98C 7-858 5 A C HCF 9@H 7H F-7C DE 50 HP, 1750 rpm, 220/440 v. 3 F, 60 Hz, 4 POLOS.	Pza	12.00
		Pza	2.00
		Pza	12.00
		Pza	8.00

JAPAC
JUNTOS POR EL AGUA

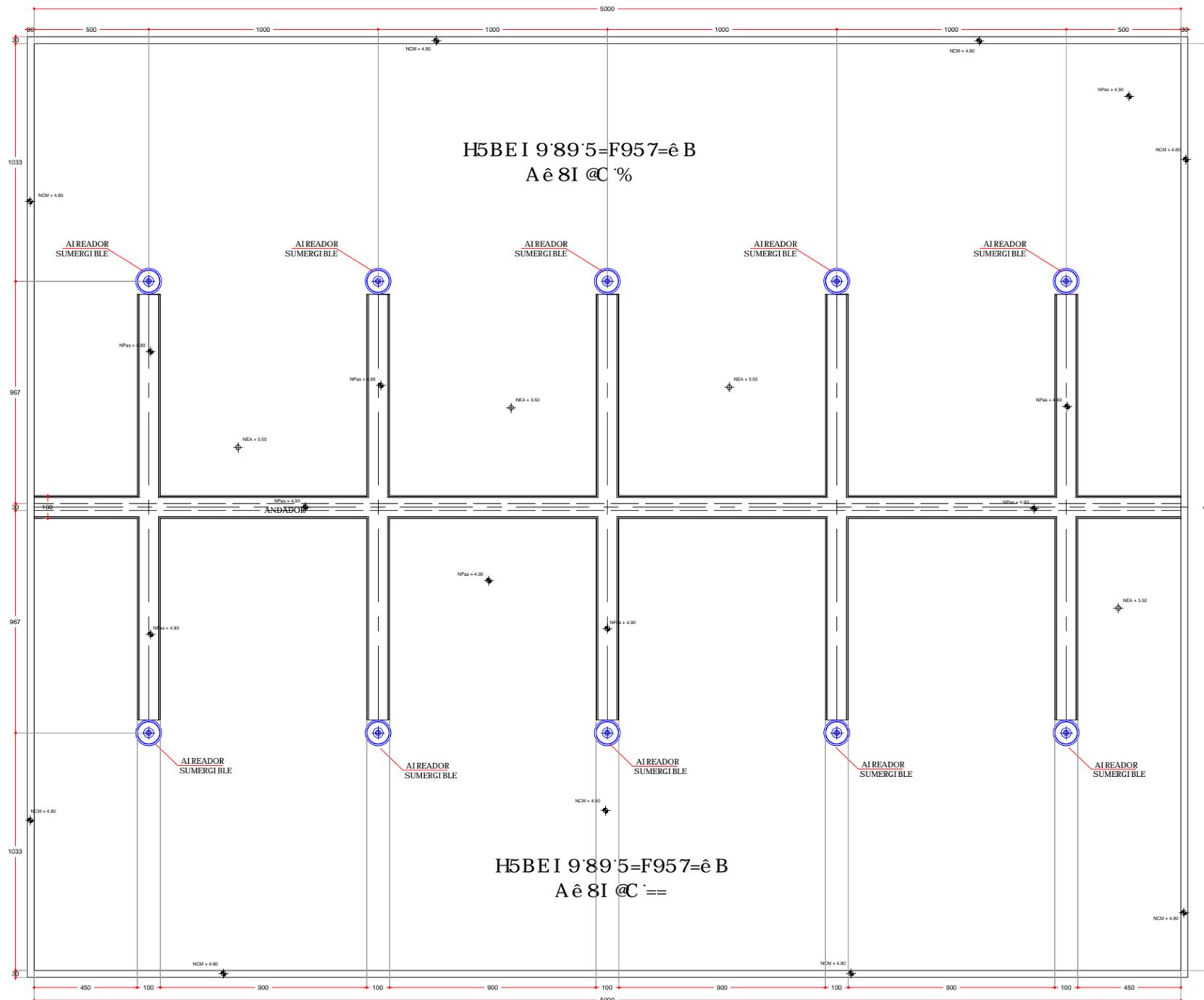
JUNTA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE CULIACAN

GERENCIA DE OBRAS

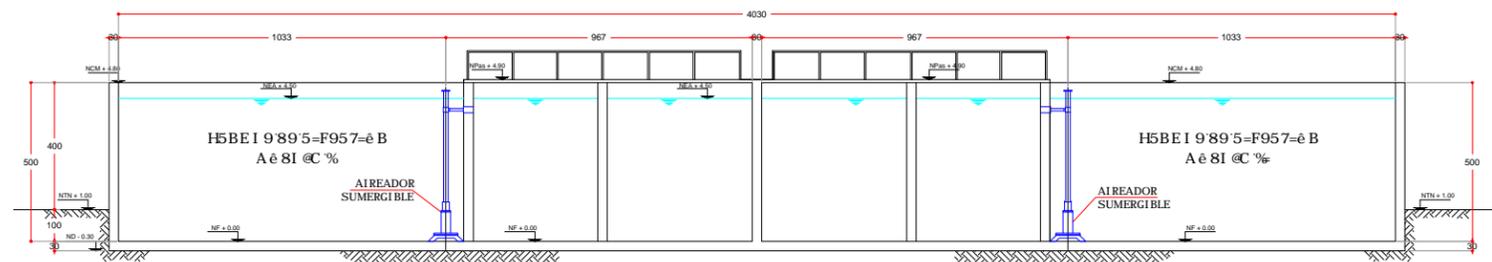
PROYECTO: **PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ZONA SUR**

PLANO: **ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO LODOS ACTIVADOS CON AERADORES SUPERFICIALES**

FECHA: DICIEMBRE 2003	ESCALA: INDICADAS	No. DE PLANO: S/N
REVISO	APROBO	Vo.Bo.
SUBGERENTE DE PROYECTOS	GERENTE DE OBRAS	GERENTE GENERAL



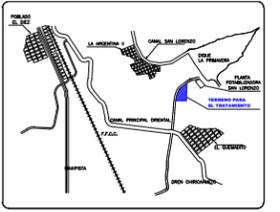
PLANTA
ACOT. cm ESC. 1:100



ELEVACIÓN LATERAL
ACOT. cm ESC. 1:100

DATOS DE PROYECTO

F957HCF'6=C@@; =7C'DCF'@C8CG'57H=J58CG'7CBJ9B7=CB5@
EQUIPADO CON AIREADORES SUMERGIBLES
NIVEL DE TRATAMIENTO SECUNDARIO 2
Bí A 9FC'89I B=8589G
FORMA RECTANGULAR
GASTO MEDIO POR MODULO 150 lps
; 5GHC'A aB=AC'DCF'AC8I @ 75 lps
; 5GHC'A aL=AC'DCF'AC8I @ 296 lps
TEMPERATURA MEDIA 8&S7
89A 5B85'6=CEI =A=75'89'CLæ 9BC'fB6C'jBzL 350 mg/l
89A 5B85'EI aA=75'89'CLæ 9BC'fBE S'jBzL 525 mg/l
Gê @-8CG'GI GD9B8=8CG'HC H5@G'fGH'jBzL 300 mg/l
89A 5B85'6=CEI =A=75'89'CLæ 9BC'fB6C'YZL 35 mg/l
Gê @-8CG'GI GD9B8=8CG'HC H5@G'fGH'YZL 30 mg/l
H5G5'89'F97=F7I @57=ê B 40%
H=9A'DC'89'F9H9B7=ê B'89'79@ @5F 8&S Xjlg
H=9A'DC'89'F9H9B7=ê B'<=8FâI @-7C 6.00 hr
H=F5BH9'i H=@ 3.50 m
VOLUMEN DEL REACTOR/MODULO 4,550 m3
GGJ'9B'F97=F7I @57=ê B 2,857 mg/l
DFC8I 77=ê B'89@C8CG f'z'%'V#XjL&S' 'j' #XjU
GASTO DE PURGA DE LODOS % * 'a' #XjU
F9E I 9F=A=9BHCG'89'CLæ 9BC'AC8I @C 10,422 pie3/min



CANTIDADES DE OBRA

No.	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
OBRA CIVIL			
1	9L75J57=ê B	m3	1,120.00
2	PLANTILLA DE CONCRETO f'c=100 kg/cm2, 5 cm DE ESPESOR	m3	103.00
3	CIMBRA ACABADO APARENTE	m2	2,990.00
4	CONCRETO PREMEZCLADO f'c=200 kg/cm2	m3	1,398.00
5	ACERO DE REFUERZO f'y=4,200 kg/cm2	Ton	168.00
EQUIPAMIENTO			
6	59F958CF'A 97a B=7C'GI A 9F; =6@9'7CB I B5 HF5BG; 9F9B7=5'A aB=A5'89' (%VC&#fz8=aA 9HFC'A aB=A C'89'=B: @ 9B7=5'89'8&S'a 5 I B5	Pza	1,042.00
9	PROFUNDIDAD DE 4.50 m, MOTOR DE 50 HP, 220/440V, 3 F, 60 Hz, 4 O SIMILAR EQUIPADO CON BASE ESTRUCTURAL, FILTRO SILENCIADOR, DC@Cz9E I =D58C'7CB'G9BGCF'89'<i A 9858	Pza	10.00

NOTAS:

- 1.- LAS ELEVACIONES ESTAN REFERIDAS AL BN PROPORCIONADO POR EL ORGANISMO.
- 2.- 9@BCFH9'7CBG=89F58C'9G'A5; BvH=7C"
- 3.- NIVELES Y COORDENADAS EN METROS.
- 4.- @5G'57CH57=CB9G'9GHâ B'9B'79BH=A 9HFC'Gz9L'79IHC' @5G INDICADAS EN OTRA UNIDAD.
- 5.- MATERIALES Y EQUIPO QUE SE USEN EN ESTA OBRA DEBERAN ESTAR AUTORIZADOS POR EL ORGANISMO.
- 6.- ESTE PLANO SE COMPLEMENTA CON LOS PLANOS FUNCIONALES: CAJA REPARTIDORA, SEDIMENTADOR SECUNDARIO.

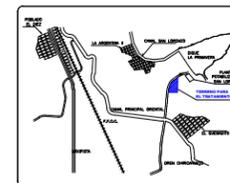
G=A 6C@C; a5 MBCA9B7@5HI F5
 NTN NIVEL DE TERRENO NATURAL
 NFA NIVEL FONDO APARENTE
 NF NIVEL FONDO
 NFL NIVEL FONDO DE LOSA
 NET B-J9@9-9 89'HI 99Fæ6
 NMF NIVEL MEDIO FILTRANTE
 NEA NIVEL ESPEJO DE AGUA
 NPas NIVEL DE PASILLO
 NPT NIVEL DE PISO TERMINADO
 + INDICA NIVEL
 ⊕ INDICA NIVEL DE ESPEJO DE AGUA
 ~ INDICA FLUJO DE AGUA

JUNTA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
JAPAC
 Y ALCANTARILLADO DE CULIACAN
GERENCIA DE OBRAS

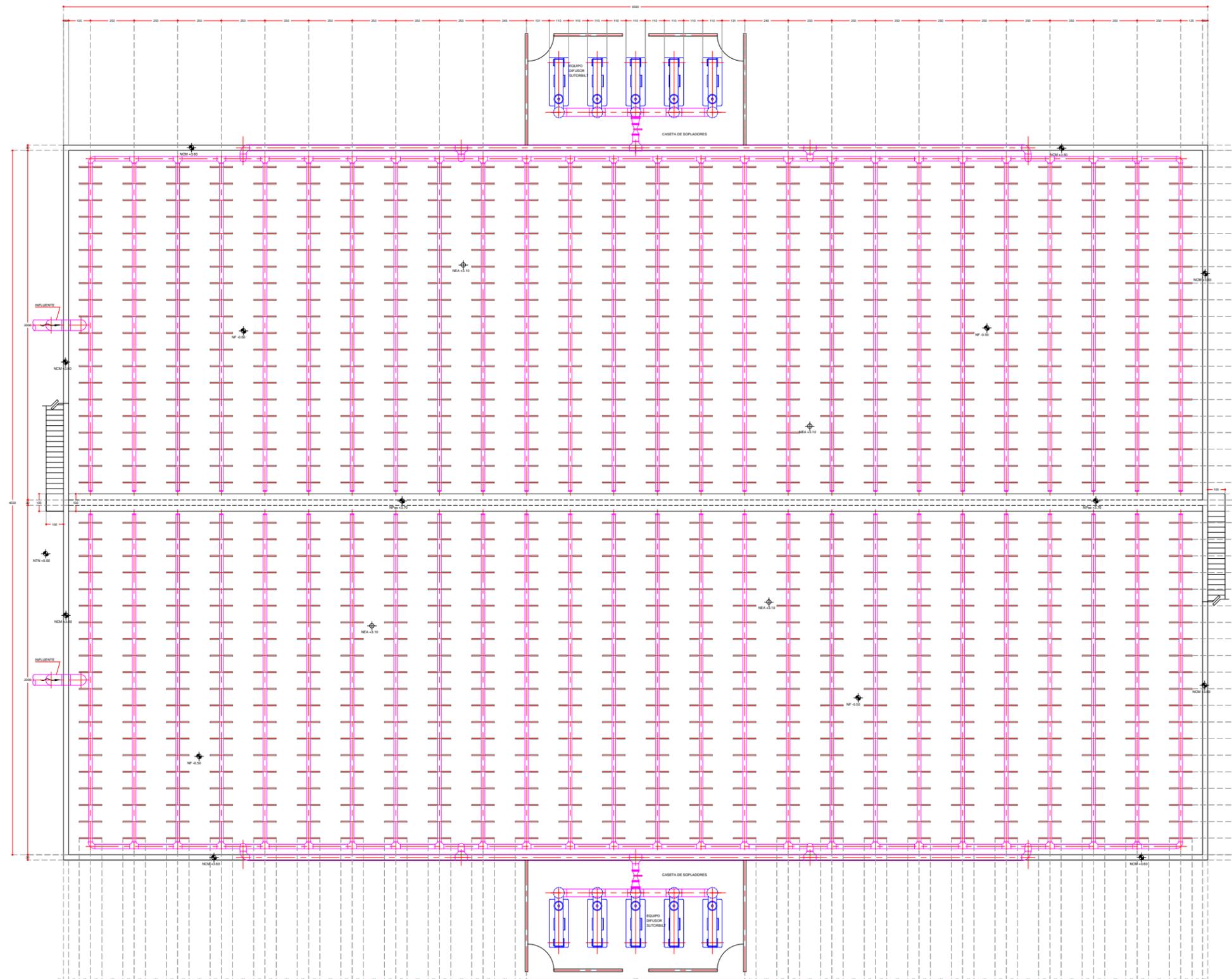
PROYECTO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ZONA SUR

PLANO: **ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO**
LODOS ACTIVADOS CON AIREADORES SUMERGIBLES

FECHA: DICIEMBRE 2003	ESCALA: INDICADAS	No. DE PLANO: 5/N
REVISO	APROBO	Vo.Bo.
SUBGERENTE DE PROYECTOS	GERENTE DE OBRAS	GERENTE GENERAL



©75@-N57-ê B



DATOS DE PROYECTO

F957HCF 6=C@@; =7C DCF C8CG 57HJ58CG 7CBJ9B7=CB5@
 9E1 =D58C 7CB 59F957=ê B DCF 8=; I G=ê B

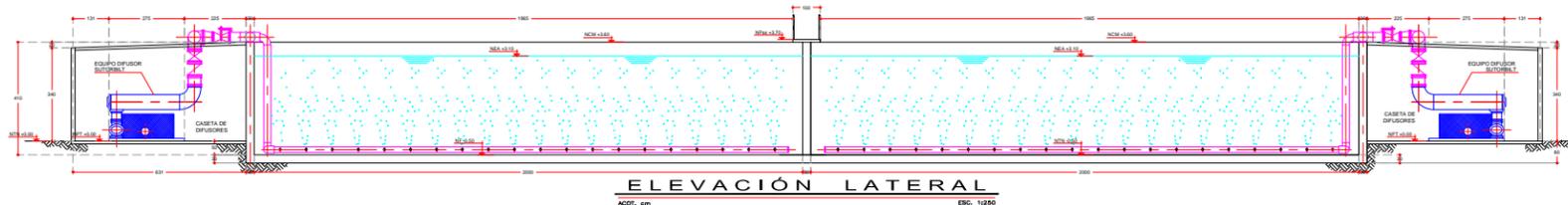
NIVEL DE TRATAMIENTO	SECUNDARIO
Bí A 9FC 89I B=8589G	2
FORMA	RECTANGULAR
GASTO MEDIO POR MODULO	150 lps
: 5GHC A aB=A C DCF A C8I @C	75 lps
: 5GHC A aL=A C DCF A C8I @C	296 lps
TEMPERATURA MEDIA	8&S7
89A 5B85 6=CE I =A =75 89 CL a 9BC fB6C j bZL	350 mg/l
89A 5B85 E I aA =75 89 CL a 9BC fBE S j bZL	525 mg/l
Gê @8CG GI GD9B8=8CG HCH5@9G fEGH j bZL	300 mg/l
89A 5B85 6=CE I =A =75 89 CL a 9BC fB6C YZL	35 mg/l
Gê @8CG GI GD9B8=8CG HCH5@9G fEGHYZL	30 mg/l
H5G5 89 F97=F7I @57=ê B	40%
H=9A DC 89 F9H9B 7=ê B 89 79@ @5F	8&S X i g
H=9A DC 89 F9H9B 7=ê B < =8Fa I @=7C	6.00 hr
H=F5BH9 i H=@	3.50 m
VOLUMEN DEL REACTOR/MODULO	4,550 m ³
GGJ 9B F97=F7I @57=ê B	2,857 mg/l
IFC8I 77=ê B 89 @C8CG	f Z % V#X L L&S ' _ [#XU
GASTO DE PURGA DE LODOS	% * a ³ X U
F9I E 9F=A =9BHC G 89 CL a 9BC #A C8I @C	9,728 ft ³ /min

CANTIDADES DE OBRA

No.	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
OBRA CIVIL			
1	9L75J57-ê B	m ³	1,450.00
2	PLANTILLA DE CONCRETO F c=100 kg/cm2, 5 cm DE ESPESOR	m ³	135.00
3	CIMBRA ACABADO APARENTE	m ²	2,913.00
4	CONCRETO PREMEZCLADO F c=200 kg/cm2	m ³	1,152.00
5	ACERO DE REFUERZO F y=4,200 kg/cm2	Ton	138.30
6	H 69Fa5 89 579FC 5@75F6ê B 798" (S 89 I) + 8&S a a fB L	m	2,760.00
7	H 69Fa5 89 DJ 7 < =8" F8I & 289 8&S" a a f L	m	2,760.00
EQUIPAMIENTO			
8	DI FUSO RES DE BURBUJA FINA TIPO FLEXAIR O SIMILAR, PARA UN RANGO DE 6-18 cfm.	Pza	973.00
9	SOPLADORES DE AIRE GARDNER DENVER MCA. SUTORBILT MODELO 8 LVP O SIMILAR EQUIPADO CON BASE ESTRUCTURAL, FILTRO SILENCIADOR, MANOMETROS, MOTOR ELECTRI CO 75 HP C/U, DE 1,750 rpm, FS 1.15, 220/440 V, 3 FASES, 60 Hz, 4 POLOS.	Pza	10.00

NOTAS:

- 1.- LAS ELEVACIONES ESTAN REFERIDAS AL BN PROPORCIONADO POR EL ORGANISMO.
- 2.- 9@BCFH9 7CBG=89F58C 9G A 5; BvH=7C"
- 3.- NIVELES Y COORDENADAS EN METROS.
- 4.- @5G 57CH57=CB9G 9GH B 9B 79B H=A 9HFC G29L 79DHC @5G INDI CADAS EN OTRA UNIDAD.
- 5.- MATERIALES Y EQUIPO QUE SE USEN EN ESTA OBRA DEBERAN ESTAR AUTORIZADOS POR EL ORGANISMO.
- 6.- ESTE PLANO SE COMPLEMENTA CON LOS PLANOS FUNCIONALES: CAJA REPARTIDORA, SEDIMENTADOR SECUNDARIO.



PLANTA
ACOT. cm ESC. 1:250

ELEVACION LATERAL
ACOT. cm ESC. 1:250

G=A6C@C; a5 MBCA9B7@5HI F5

- NTN NIVEL DE TERRENO NATURAL
- NFA NIVEL FONDO APARENTE
- NF NIVEL FONDO
- NFL NIVEL FONDO DE LOSA
- NET B=J9@9-9 89 HI 69Fa5
- NMF NIVEL MEDIO FILTRANTE
- NEA NIVEL ESPEJO DE AGUA
- NFas NIVEL DE PASTILLO
- NFT NIVEL DE PISO TERMINADO
- INDICA NIVEL
- INDICA NIVEL DE ESPEJO DE AGUA
- INDICA FLUJO DE AGUA

JAPAC
JUNTOS POR EL AGUA

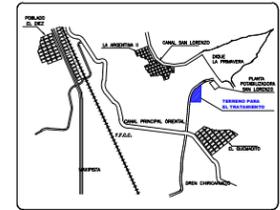
UNTA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO DE CULIACAN

GERENCIA DE OBRAS

PROYECTO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ZONA SUR

PLANO: **ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO LODOS ACTIVADOS CON SOPLADORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO**

FECHA: DICIEMBRE 2003	ESCALA: INDICADAS	No. DE PLANO: 5/N
REVISO	APROBO	Vo.Bo.
SUBGERENTE DE PROYECTOS	GERENTE DE OBRAS	GERENTE GENERAL



©75@N57=é B

DATOS DE PROYECTO

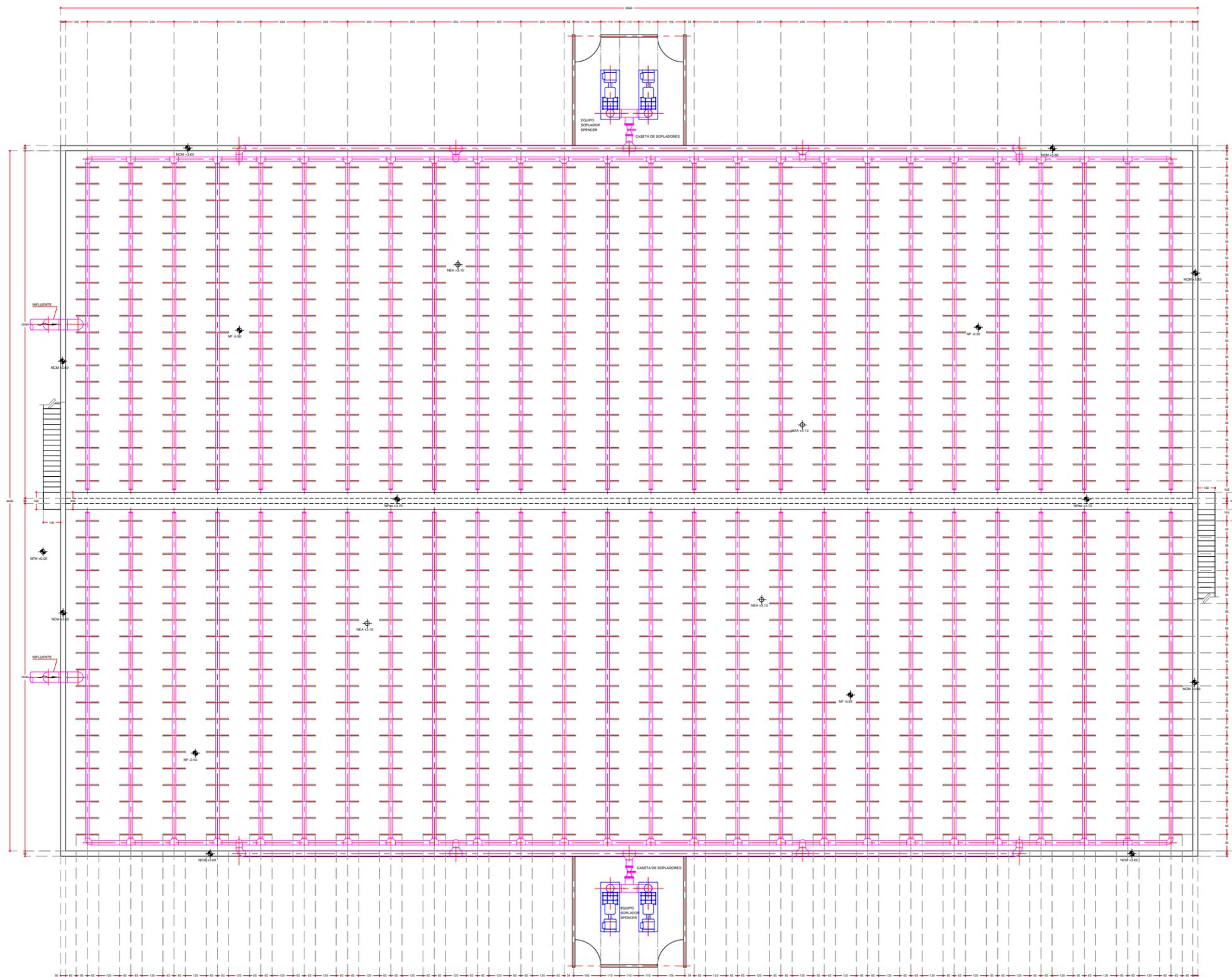
F957HCF 6-C@@; -7C DCF@C8CG 57H-J58CG 7CBJ9B7-CB5@	
9E1 -D58C 7CB 59F957=é B DCF 8=- 1 G=é B	
NIVEL DE TRATAMIENTO	SECUNDARIO
Bi A9FC 891 B-8589G	2
FORMA	RECTANGULAR
GASTO MEDIO POR MODULO	150 lps
: 5GHC A aB-A C DCF A C 81 @C	75 lps
: 5GHC A aL-A C DCF A C 81 @C	296 lps
TEMPERATURA MEDIA	8&S7
89A 5B85 6-CE I -A-75 89 CL aE 9BC 1B6C 11ZL	350 mg/l
89A 5B85 E I aA-75 89 CL aE 9BC 1BE S 1bZL	525 mg/l
Ge @8CG GI GD8B8-8CG HCH5 @G 1EGH 11ZL	300 mg/l
89A 5B85 6-CE I -A-75 89 CL aE 9BC 1B6C YZL	35 mg/l
Ge @8CG GI GD8B8-8CG HCH5 @G 1EGH YZL	30 mg/l
H5G5 89 F97-F7I @57=é B	40%
H-9ADC 89 F9H9B 7=é B 89 79@ @5F	8&S XLg
H-9ADC 89 F9H9B 7=é B < -8FaI @=7C	6.00 hr
H-F5BH9 1 H=@	3.50 m
VOLUMEN DEL REACTOR/MODULO	4.550 m ³
GGJ 9B F97-F7I @57=é B	2,857 mg/l
IFC8I 77=é B 89 @C8CG	ft Z %&V @XL&S: ' 1' #XU
GASTO DE PURGA DE LODOS	% * a 9&XU
F9I E 9F=A-9BHC G 89 CL aE 9BC A C 81 @C	9,728 ft ³ /min

CANTIDADES DE OBRA

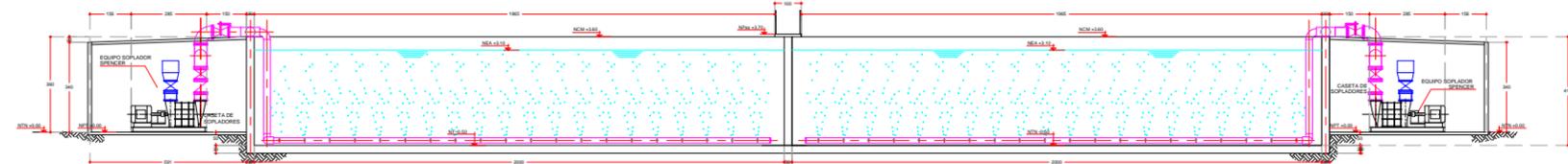
No.	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
OBRA CIVIL			
1	9L 75J 57=é B	m ³	1,450.00
2	PLANTILLA DE CONCRETO F'c=100 kg/cm ² , 5 cm DE ESPESOR	m ³	135.00
3	CIMBRA ACABADO APARENTE	m ²	2,913.00
4	CONCRETO PREMEZCLADO F'c=200 kg/cm ²	m ³	1,152.00
5	AÉREO DE REFUERZO F'y=4,200 kg/cm ²	Ton	138.30
6	H 69Fa5 89 579FC 5@75F66 B 798"(S' 89() + 3&S aa 1B L=	m	2,760.00
7	H 69Fa5 89 DJ 7 < -8" F81& 289 9&S' aa 1L =	m	2,760.00
EQUIPAMIENTO			
8	DI FUSORES DE BURBUJA FINA TIPO FLEXAIR O SIMILAR, PARA UN RANGO DE 6-18 cfm.	Pza	1,042.00
9	SOPLADORES DE AIRE GARDNER DENVER MCA. SUTORBILT MODELO 8 LVP O SIMILAR EQUIPADO CON BASE ESTRUCTURAL, FILTRO SILENCIADOR, MANOMETROS, MOTOR ELECTRI CO 75 HP C/U, DE 1,750 rpm, FS 1.15, 220/440 V, 3 FASES, 60 Hz, 4 POLOS.	Pza	4.00

NOTAS:

- 1.- LAS ELEVACIONES ESTAN REFERIDAS AL BN PROPORCIONADO POR EL ORGANISMO.
- 2.- 9@BCFH9 7CBG=89F58C 9G A 5; BvH=7C"
- 3.- NIVELES Y COORDENADAS EN METROS.
- 4.- @5G 57CH57-CB9G 9GH B 9B 79B H-A 9HFC G29L 79DHC @5G INDI CADAS EN OTRA UNIDAD.
- 5.- MATERIALES Y EQUIPO QUE SE USEN EN ESTA OBRA DEBERAN ESTAR AUTORIZADOS POR EL ORGANISMO.
- 6.- ESTE PLANO SE COMPLEMENTA CON LOS PLANOS FUNCIONALES: CAJA REPARTIDORA, SEDIMENTADOR SECUNDARIO.



PLANTA
ACOT. cm ESC. 1:250



ELEVACIÓN LATERAL
ACOT. cm ESC. 1:250

- G=A 6C@C; a5 MBCA 9B7@5HI F5
- NTN NIVEL DE TERRENO NATURAL
 - NFA NIVEL FONDO APARENTE
 - NF NIVEL FONDO
 - NFL NIVEL FONDO DE LOSA
 - NET B=J9@9-9 89 H 69Fa5
 - NMF NIVEL MEDIO FILTRANTE
 - NEA NIVEL ESPEJO DE AGUA
 - NFas NIVEL DE PASTILLO
 - NFT NIVEL DE PISO TERMINADO
 - INDICA NIVEL
 - INDICA NIVEL DE ESPEJO DE AGUA
 - INDICA FLUJO DE AGUA

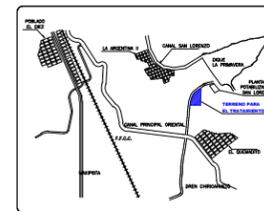
**JUNTA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO DE CULIACÁN**

GERENCIA DE OBRAS

PROYECTO: **PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ZONA SUR**

PLANO: **ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO
Lodos Activos con Sopladores
Centrifugos de Alta Eficiencia**

FECHA: DICIEMBRE 2003	ESCALA: INDICADAS	No. DE PLANO S/N
REVISO	APROBO	Vo.Bo.
SUBGERENTE DE PROYECTOS	GERENTE DE OBRAS	GERENTE GENERAL



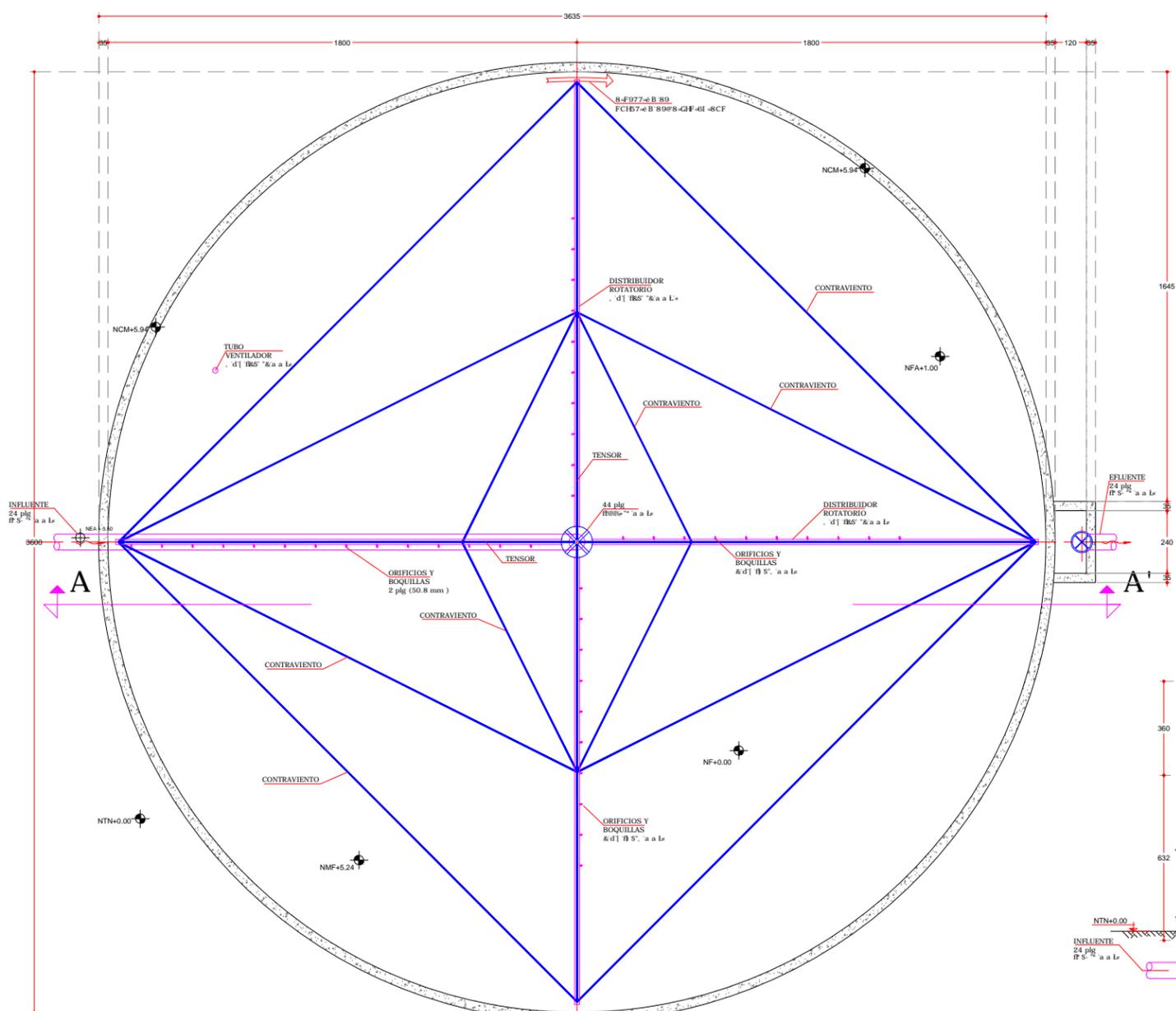
©C75@N57-e B

DATOS DE PROYECTO

F957HCF6-C@: =7C'DCF: =@#FCGDBF7C@58CF9G
 NIVEL DE TRATAMIENTO
 B1 A9FC 891 B=8589G
 FORMA
 7#F7L @5F
 GASTO MEDIO POR MODULO
 : 5GHCAaB=AC TCFAC8I @C
 : 5GHCAaL=AC TCFAC8I @C
 TEMPERATURA MEDIA
 89A5B85 @-CE1 =A=75 89 CL@C 9BC T@6C T@ZL
 89A5B85 E1 aA=75 89 CL@C 9BC T@6C T@ZL
 G@ @8CG GI G@BB 8=8CG H@H5 @G T@GH T@ZL
 89A5B85 @-CE1 =A=75 89 CL@C 9BC T@6C T@ZL
 G@ @8CG GI G@BB 8=8CG H@H5 @G T@GH T@ZL
 VOLUMEN DE CRECIMIENTO BIOLÓGICO/FILTRO
 8-a A9#FC 89@: =@#FC
 PROFUNDIDAD DEL LECHO
 4.27 m
 POTENCIA REQUERIDA POR BOMBEO/FILTRO
 280 HP
 EFICIENCIA MÍNIMA
 90 %
 J9@C7=858 89 FCH57-e B
 0.10 rpm

CANTIDADES DE OBRA

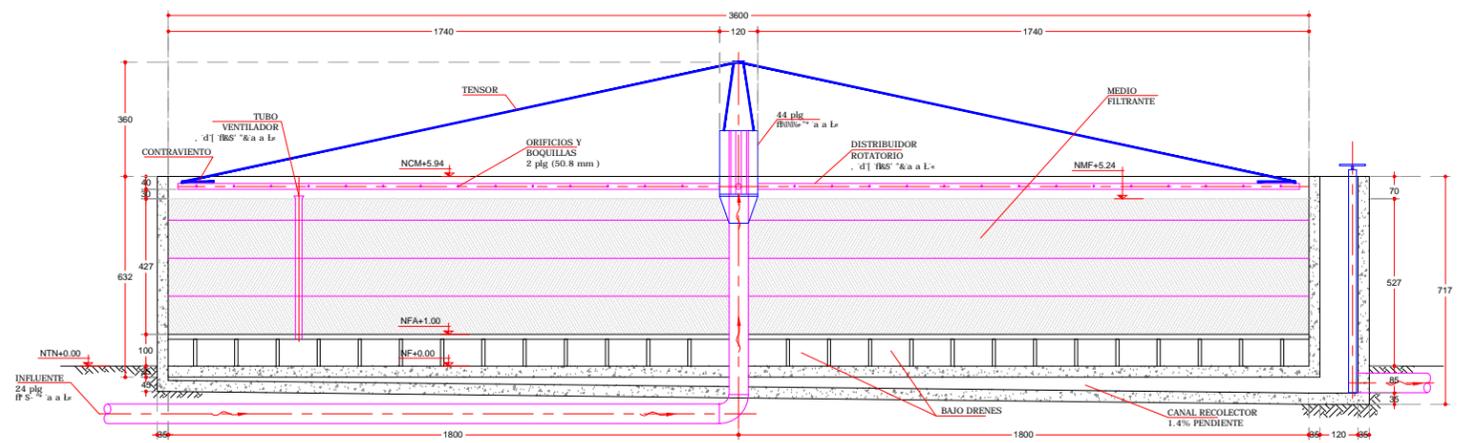
No.	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1	OBRA CIVIL		
1	0L75J57-e B	m ³	1,180.00
2	PLANTILLA DE CONCRETO F'c=100 kg/cm ² , 5 cm DE ESPESOR	m ²	106.00
3	CIMBRA ACABADO APARENTE	m ²	3,130.00
4	CONCRETO Premezclado F'c=200 kg/cm ²	m ³	1,300.00
5	ACERO DE REFUERZO F'y=4,200 kg/cm ²	Ton	153.80
6	EQUIPAMIENTO		
6	MEDIO FILTRANTE PLASTICO DE CLORURO DE POLIUNILO TIPO X-FLO 30 CON UNA SUPERFICIE DE CONTACTO DE 30 ft ² /ft ³ O SIMILAR	ft ³	153,105.00
7	DISTRIBUIDOR HIDRAULICO ROTATORIO PARA 36 m DE DIAMETRO	Pza	2.00



filtro roceador
A @ 8I @ C %

PLANTA

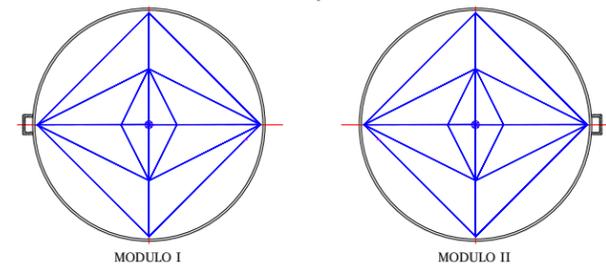
ACOT. cm ESC. 1:250



CORTE A-A'

ACOT. cm ESC. 1:250

ARREGLO TENTATIVO CON LOS DOS MODULOS DE 150 lps C/U



- G=A 6C@C: a5 M B C A 9 B 7 @ 5 H I F 5
- NTN NIVEL DE TERRENO NATURAL
- NFA NIVEL FONDO APARENTE
- NF NIVEL FONDO
- NFL NIVEL FONDO DE LOSA
- NET B=J9@9-9 89 HI 69Fa5
- NMF NIVEL MEDIO FILTRANTE
- NEA NIVEL ESPEJO DE AGUA
- NPas NIVEL DE PASILLO
- NPT NIVEL DE PISO TERMINADO
- INDICA NIVEL
- INDICA NIVEL DE ESPEJO DE AGUA
- INDICA FLUJO DE AGUA

NOTAS:

- 1- LAS ELEVACIONES ESTAN REFERIDAS AL BN PROPORCIONADO POR EL ORGANISMO.
- 2- 9@BCFH@7CBG=89F58C 9G A 5: BvH-7C"
- 3- NIVELES Y COORDENADAS EN METROS.
- 4- @G 5 7C H 5 7-CB@G 9GH B 9B 79BH-A9#FCG29L79DHC @5G INDICADAS EN OTRA UNIDAD.
- 5- MATERIALES Y EQUIPO QUE SE USEN EN ESTA OBRA DEBERAN ESTAR AUTORIZADOS POR EL ORGANISMO.
- 6- ESTE PLANO SE COMPLEMENTA CON LOS PLANOS FUNCIONALES: CAJA REPARTIDORA, SEDI SEDIMENTADOR SECUNDARIO.

JAPAC
JUNTOS POR EL AGUA

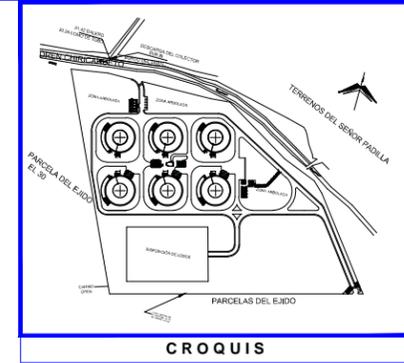
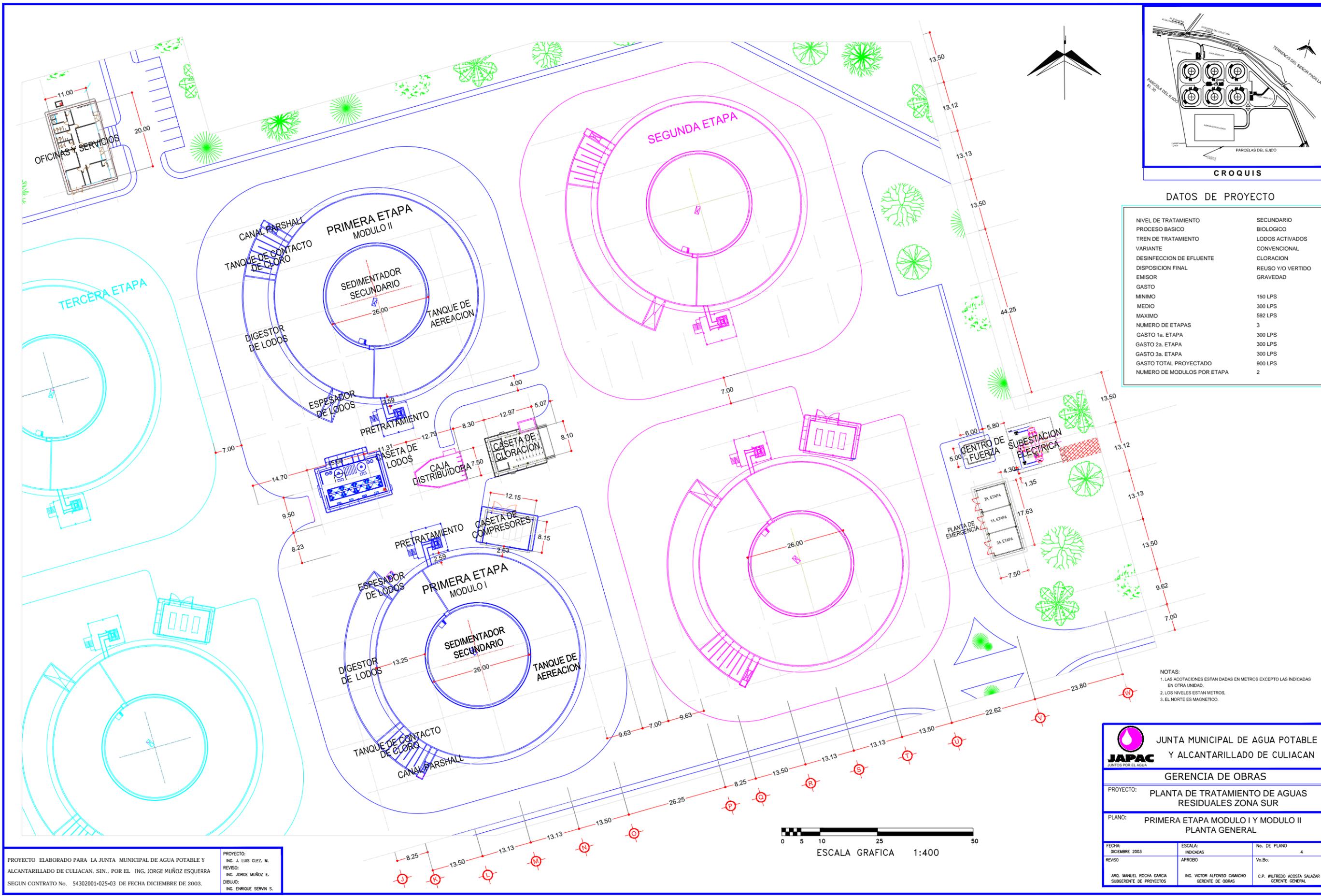
JUNTA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE
Y ALCANTARILLADO DE CULIACAN

GERENCIA DE OBRAS

PROYECTO: **PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ZONA SUR**

PLANO: **ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO FILTROS PERCOLADORES**

FECHA: DICIEMBRE 2003	ESCALA: INDICADAS	No. DE PLANO 5/N
REVISO	APROBO	Vo.Bo.
SUBGERENTE DE PROYECTOS	GERENTE DE OBRAS	GERENTE GENERAL



DATOS DE PROYECTO

NIVEL DE TRATAMIENTO	SECUNDARIO
PROCESO BASICO	BIOLOGICO
TREN DE TRATAMIENTO	LODOS ACTIVADOS
VARIANTE	CONVENCIONAL
DESINFECCION DE EFLUENTE	CLORACION
DISPOSICION FINAL	REUSO Y/O VERTIDO
EMISOR	GRAVEDAD
GASTO	
MINIMO	150 LPS
MEDIO	300 LPS
MAXIMO	592 LPS
NUMERO DE ETAPAS	3
GASTO 1a. ETAPA	300 LPS
GASTO 2a. ETAPA	300 LPS
GASTO 3a. ETAPA	300 LPS
GASTO TOTAL PROYECTADO	900 LPS
NUMERO DE MODULOS POR ETAPA	2

NOTAS:
 1. LAS ACOTACIONES ESTAN DADAS EN METROS EXCEPTO LAS INDICADAS EN OTRA UNIDAD.
 2. LOS NIVELES ESTAN EN METROS.
 3. EL NORTE ES MAGNETICO.

JUNTA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE CULIACAN
JAPAC
 JUNTA POR EL AGUA

GERENCIA DE OBRAS

PROYECTO: **PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ZONA SUR**

PLANO: **PRIMERA ETAPA MODULO I Y MODULO II PLANTA GENERAL**

FECHA: DICIEMBRE 2003	ESCALA: INDICADAS	Nº. DE PLANO: 4
REVISO	APROBO	Vº.Bo.
ARQ. MANUEL ROCHA GARCIA SUBGERENTE DE PROYECTOS	ING. VICTOR ALFONSO CAMACHO GERENTE DE OBRAS	C.P. WILFREDO ACOSTA SALAZAR GERENTE GENERAL

PROYECTO ELABORADO PARA LA JUNTA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE CULIACAN, SIN., POR EL ING. JORGE MUÑOZ ESQUERRA SEGUN CONTRATO No. 54302001-025-03 DE FECHA DICIEMBRE DE 2003.

PROYECTO: ING. J. LUIS GLEZ. M.
 REVISO: ING. JORGE MUÑOZ E.
 DIBUJO: ING. ENRIQUE SERVIN S.

