

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA

**ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO DE UN NUEVO SISTEMA DEL PROCESO DE
LODOS ACTIVADOS PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS
PROYECTO LAGO DE TEXCOCO.**

INFORME TECNICO DE LA OPCION CURRICULAR MODALIDAD DE:

ESTANCIA INDUSTRIAL

QUE PARA OPTENER EL TITULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA:

Rodríguez López Mario

ASESOR INTERNO: Sergio García Salas

ASESOR EXTERNO: Daniel Muciño Ravmundo

México, D. F. Junio 2009

AGRADECIMIENTOS

Por mi formación personal, quiero expresar un profundo agradecimiento a quienes me apoyaron a terminar esta etapa de mi vida.

A Dios: Porque me ha dado la oportunidad de de lograr mis metas, superar los retos de mi vida y guiarme por el camino correcto. Por llenar mi vida de dicha y bendiciones.

A UPIBI: Por la oportunidad que me brindo de formar parte de ella, dándome las herramientas necesarias para obtener una adecuada formación profesional dentro de sus instalaciones. Me llena de orgullo ser egresado de esta institución, espero no defraudarla y poner en alto el nombre de UPIBI.

A CONAGUA: Por brindarme la oportunidad de realizar mi estancia industrial y proyecto terminal en esta institución y a todos los integrantes que forman este valioso equipo de la planta de tratamiento de aguas negras, quiero agradecerles por el cariño y apoyo moral que me brindaron durante mis estudios profesionales, por el esfuerzo y la ayuda que me ofrecieron para desarrollar este proyecto.

A mi asesor externo: Biólogo Daniel Mucino Raymundo por su valiosa contribución en la realización de este proyecto, gracias por ayudarme cada a día a cruzar con firmeza el camino de la superación por el apoyo incondicional brindado durante mi estancia industrial.

DEDICATORIA

A quienes la ilusión de su vida ha sido convertirme en persona de provecho. A quienes nunca podre pagarle sus sacrificios y esfuerzos ni aun con las riquezas más grandes del mundo, solo les podre pagar siendo un hombre de provecho y buen mexicano.

A mis Padres: Porque gracias al cariño, guía y apoyo he llegado a realizar unos de los anhelos más grandes de mi vida, y que la fuerza que me ayudo a conseguirlo fue el amor y la confianza que me depositaron en mí. Deseo expresarles de todo corazón que mis triunfos y logros de toda la vida han sido también suyos y que contribuyen el legado que más grande pudiera recibir y por lo cual les viviré eternamente agradecido, los amo.

A mis hermanos: Carlos y Ricardo. Quienes me brindaron su apoyo, cariño y consejos en los momentos más difíciles, me alentaron a seguir adelante, anhelando que siempre me preparara para enfrentarme a la vida. Hoy se ven cumplido nuestros esfuerzos y mis

deseos iniciándose así una nueva etapa en mi vida en la que siempre estarán en mi corazón.

A mi Novia: Nancy, que me brinda su apoyo y su amor incondicional en los momentos más difíciles en esta etapa de mi vida, te amo mi vida.

ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO DE UN NUEVO SISTEMA DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS PARA LA PLANTA DE AGUAS NEGRAS PROYECTO LAGO DE TEXCOCO

Rodríguez López Mario, Daniel Muciño Raymundo *, Sergio García Salas.
 Comisión Nacional del Agua, Gerencia General de Texcoco, dmucinor@cna.gob.mx

Palabras clave: Lodos activados, Procesos, Diseño, Ingeniería Básica.

Introducción. La creciente contaminación en materia ambiental conlleva un aumento gradual de la presión sobre los límites de abastecimiento del de agua en México y en el mundo. El presente trabajo contempla la revisión de alternativas de tratamiento mediante tecnologías limpias del proceso de lodos activados, que se podrían implementar en la planta de aguas negras Lago de Texcoco de la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). El objetivo es mejorar y aumentar la capacidad de tratamiento de agua residual mediante el diseño de un nuevo sistema de lodos activados, se pretende aumentar la capacidad de esta nueva planta 500l/s más que la que opera actualmente, esto en base a la selección de una alternativa mediante un estudio técnico-económico y que cumplan con la normatividad establecida para el agua de riego.

Metodología. Investigación preliminar: investigación de las diferentes tecnologías del proceso de lodos activados; selección del proceso: selección del proceso mediante la evaluación de una matriz técnica-económica; síntesis del proceso seleccionado y diseño de la alternativa aplicando la ingeniería básica.

Resultados y discusión. Se reviso la información referida a diferentes tecnologías disponibles para el tratamiento de aguas residuales mediante un estudio económico y técnico. De las alternativas existentes se trabajaron cuatro procesos donde se les aplico un estudio técnico-económico de acuerdo a las necesidades de la planta de aguas negras del ex lago de Texcoco. Estos procesos son el proceso de lodos activados de tiro profundo, reactores por lotes secuenciales (SBR), aireación prolongada y aireación por oxigenación de alta pureza. Para la selección de un tren de tratamiento, se realizo una matriz de decisión de de los costos de operación del consumo energético de la planta, para que el proceso seleccionado sea económico en el consumo de energía eléctrica. El sistema secuencial por lotes (SBR) ofrece grandes ventajas para su diseño final en cuanto a los criterios de evaluación: costos de operación y mantenimiento de los aireadores en función del consumo energético, espacio del terreno y evaluación de riesgo de la zona de construcción de sufrir daños la estructura del reactor secundario. Para el diseño del proceso por lodos activados del sistema SBR, se realizo los balances de materia, selección del sitio de construcción, bases de diseño, diagramas de servicios, diagramas de tuberías e instrumentación.

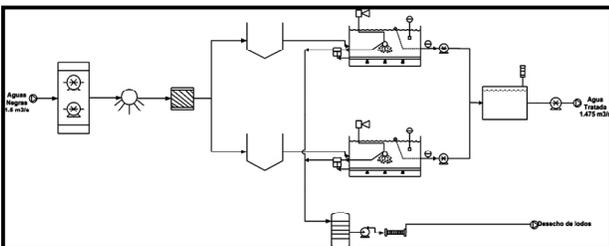


Figura 1. Planta de tratamiento de aguas negras por el proceso de lodos activos SBR.

En la figura 1 se muestra el tren de tratamiento de la alternativa propuesta de lodos activados por el sistema reactores secuenciales por lotes (SBR), con una capacidad instalada de 1.5m3/s.

Cuadro 1. Descripción del tren de tratamiento de lodos activados SBR.

FUNCIONAMIENTO	CARACTERISTICAS
Llenado, reacción, sedimentación, vaciado y fase inactiva	Un SBR consiste en un sistema de tratamiento de lodos activados, cuyo funcionamiento se basa en la secuencia de tratamiento llevada a cabo en ciclos de llenado, tratamiento y vaciado.

Conclusiones y perspectivas. Para la planta de aguas negras proyecto lago de Texcoco, se ha considerado la necesidad de ampliar su capacidad a fin de abastecer de agua al lago Nabor Carrillo y para uso de riego en diferentes actividades de la zona, por este motivo se realizo una investigación de las diferentes tecnologías de plantas de aguas residuales por el sistema de lodos activados para proponer un sistema de lodos activados para el diseño de una nueva planta de aguas residuales por el proceso de lodos activados.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este proyecto, el proceso por lodos activados del sistema SBR ofrece mayores ventajas de los criterios seleccionados para el diseño de un nuevo tren de tratamiento de lodos activados. Esto con la finalidad de disponer de un mayor caudal de agua para las necesidades del la zona de Texcoco. Las conclusión más importante del proyecto es:

Las características de operación y funcionamiento del proceso SBR son de gran interés para el diseño final de la planta de lodos activados, esto en cuanto a la innovación que ofrece en sus procesos de acuerdo al estudio técnico económico realizado para seleccionar las diferentes alternativas.

Agradecimientos. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) por brindarme la oportunidad de realizar mi estancia industrial en sus instalaciones, así como a mi asesor interno al profesor Sergio García Salas y evaluadores que son los profesores Arturo García Sánchez y Agustín Rivera Hernández por el sustento recibido en este proyecto de titulación.

Referencias.

Daniel Muciño. **Sistemas de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina, Estudio General del Lago de Texcoco.** México, junio 2001. Pp 64.

R. S Ramalho. **Tratamiento de aguas residuales.** Ed Reverte. México 2003. Págs. 705

INDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 La contaminación del agua	9
1.2 Tipos de contaminación	10
1.3 Contaminantes.....	10
1.4 Consecuencias.....	10
1.5 Contaminación en México.....	11
1.6 Métodos de tratamiento de agua	11
1.7 Organigrama de la Comisión Nacional del Agua.....	14
1.8 Ubicación de la Zona Federal del Lago de Texcoco.....	15
2. ANTECEDENTES	16
2.1 Antecedentes de la Planta de Tratamiento Aguas Negras Proyecto Lago de Texcoco	16
2.2 Antecedentes de los procesos avanzados de lodos activados.....	19
3. JUSTIFICACIÓN	20
4. OBJETIVOS	21
4.1 Objetivo general.....	21
4.2 Objetivos Específicos.....	21
5. METODOLOGÍA	21
5.1 Identificación de la necesidad	21
5.2 Investigación Preliminar.....	22
5.3 Selección del proceso	22
5.4 Síntesis preliminar del proceso	22
5.5 Diseño aplicando la ingeniería básica.....	23
6. RESULTADOS	23
6.1 Criterios para selección de las diferentes tecnologías disponibles para el tratamiento de aguas residuales.....	23
6.2 Investigación de los diferentes procesos y tecnologías de lodos activados.....	27
6.2.1 Proceso de Tiro Profundo	27

6.2.2 Reactor por Lote Secuencial (SBR)	34
6.2.3 Aireación Prolongada	37
6.2.4 Sistema de Oxígeno de alta pureza	39
6.3 Criterios para la selección de la alternativa de tratamiento de aguas residuales por el proceso de lodos activados.....	40
6.3.1 Selección del Proceso.....	45
6.4 Diseño del tren de tratamiento de lodos activados sistema de reactores discontinuos secuenciales (SBR).....	46
6.4.1 Diagrama de bloques del sistema SBR para la planta de tratamiento de aguas negras lago de Texcoco.....	47
6.4.2 Descripción general del proceso propuesto de tratamiento SBR	47
6.4.3 Bases de Diseño	48
6.4.4 Ubicación de la Planta de Lodos Activados por el proceso SBR.....	49
6.4.5 Dimensionamiento de los equipos	52
6.4.6 Diagrama de flujo y balance de materia de la Planta de lodos activados propuesta por el sistema reactor secuencial discontinuo (SBR).	53
6.4.7 Diagrama De Instrumentación Y Tuberías (DTI) de la Planta de lodos activados propuesta por el sistema Reactor Secuencial Discontinuo (SBR).	53
6.4.7.1 Diseño del Diagrama de Tuberías e Instrumentación (DTI)	54
6.4.8 Equipo de Aireación y Mezclado.....	64
6.4.9 Sistema de Control	66
7. NORMATIVIDAD ESTABLECIDA PARA EL AGUA DE RIEGO PARA LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.....	67
8. CONCLUSIONES.....	68
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXOS.....	72

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Eficiencia de los procesos en función del DBO, P.T. Y N.T.....	25
Tabla 2. Ventajas y desventajas de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales.....	25
Tabla 3. Eficiencia de los procesos en función del DBO, P.T. Y N.T.....	27
Tabla 4. Descripción de diferentes fases de funcionamiento de un reactor por lote secuencial.....	36
Tabla 5. Comparación del proceso de lodos activados convencional y de aireación prolongada.....	38
Tabla 6. Consumo energético en las diferentes operaciones de los sistemas planta de lodos activados usando aireadores mecánicos para la aireación mezcla de los reactores biológicos.....	41
Tabla 7. Costos de energía eléctrica de los diferentes sistemas de aireación y mezcla en una planta de tratamiento aguas residuales.....	43
Tabla 8. Eficiencia de alternativas en función del consumo energético.....	43
Tabla 9. Espacio en el terreno en los diferentes trenes de tratamientos de lodos activados.....	44
Tabla 10. Evaluación de la zona de construcción en cuanto al riesgo de sufrir daños la estructura de los diferentes trenes de tratamientos de lodos activados.....	44
Tabla 11. Factor de Servicio.....	49
Tabla 13. Dimensionamiento del Reactor Biológico SBR.....	52
Tabla 14. Dimensionamiento del clarificador primario.....	53
Tabla 15. Resultados experimentales de la DBO₅ del influente.....	53

Tabla 16. Resultados experimentales y bibliográficos para el cálculo del balance de materia.....	54
Tabla 17. Código del fluido.....	60
Tabla 18. Código del material de la tubería.....	61
Tabla 19. Límites Máximos Permisibles para Contaminantes Básicos de la NOM-001-SEMARNAT-1996.....	68
Tabla 20. Resultados de la calidad del agua del SBR.....	68

INDICE DE GRAFICAS

Grafica 1. Costos capital comparativos de las diferentes tecnologías de tratamiento.....	24
Grafica 2. Costos comparativos de operación y mantenimiento de las diferentes tecnologías disponibles.....	24
Grafica 3. Costos de energía eléctrica de los diferentes sistemas de aireación y mezcla en una planta de tratamiento de lodos activados.....	52

1. INTRODUCCIÓN

1.1 La contaminación del agua

El agua no sólo es parte esencial de nuestra propia naturaleza física y la de los demás seres vivos, sino que también contribuye al bienestar general en todas las actividades humanas. El agua se utiliza mayormente como elemento indispensable en la dieta de todo ser vivo y ésta es uno de los pocos elementos sin los cuales no podría mantenerse la vida. Por todo esto el agua ofrece grandes beneficios al hombre, pero a la vez puede transmitir enfermedades, como el cólera. El agua que procede de fuentes superficiales (ríos, lagos y quebradas), es objeto día a día de una severa contaminación, producto de las actividades del hombre; éste agrega al agua sustancias ajenas a su composición, modificando la calidad de ésta. Se dice que está contaminada pues no puede utilizarse como generalmente se hace. Esta contaminación ha adquirido importancia debido al aumento de la población y al incremento de los agentes contaminantes que el propio hombre ha creado. El problema de la contaminación se plantea en la actualidad de modo más agudo que en épocas anteriores, porque gran parte de los desechos tienen origen inorgánico y no son atacados por las bacterias desintegradoras.

El empeño en encontrar una solución se ve dificultado por el incremento demográfico y por el vertiginoso desarrollo industrial. La contaminación del agua seguirá siendo un problema mientras el crecimiento demográfico continúe incrementando la presión sobre el medio ambiente. La infiltración de residuos tóxicos en los acuíferos subterráneos y la intrusión de agua salada en los acuíferos costeros de agua dulce no se han interrumpido. El agotamiento de los acuíferos en muchas partes del mundo y la creciente demanda de agua producirá conflictos entre el uso agrícola, industrial y doméstico de ésta. La escasez impondrá restricciones en el uso del agua y aumentará el coste de su consumo. El agua podría convertirse en la crisis energética de comienzos del siglo XXI. La contaminación de las aguas dulces y costeras, junto con la sobreexplotación, ha mermado hasta tal punto los recursos de los caladeros piscícolas que sería necesario suspender la pesca durante un periodo de cinco a diez años para que las especies se recuperaran.

1.2 Tipos de contaminación

La contaminación natural consiste en la presencia de determinadas sustancias en el agua sin que intervenga la acción humana.

- a) La contaminación de origen urbano es el resultado del uso del agua en viviendas, actividades comerciales y de servicios, lo que genera aguas residuales, que son devueltas al receptor con un contenido de residuos fecales, desechos de alimentos y en la actualidad con un incremento de productos químicos.
- b) La contaminación de origen agrícola deriva del uso de plaguicidas, pesticidas, fertilizantes y abonos, que son arrastrados por el agua de riego, llevando consigo sales compuestas de nitrógeno, fósforo, azufre y trazas de elementos organoclorados que pueden llegar al suelo por lixiviado y contaminar las aguas subterráneas.
- c) La contaminación de origen industrial es una de las que produce un mayor impacto, por la gran variedad de materiales y fuentes de energía que puede aportar al agua.

1.3 Contaminantes

Los contaminantes del agua son todas aquellas que se encuentran en proporciones superiores a las consideradas normales. El agua contaminada está compuesta por contaminantes físicos, contaminantes químicos como elementos y compuestos de naturaleza química variada, que alteran las propiedades del agua e hipotecan sus usos, que pueden ser orgánicos, inorgánicos y gases. También el agua contaminada está compuesta por contaminantes biológicos, como la materia orgánica que participa en los procesos de descomposición y los microorganismos presentes en el agua, cuyo efecto más importante es la producción o transmisión de enfermedades, como el tífus, cólera, disentería, paludismo; cuando sobrepasan unos valores límites.

1.4 Consecuencias

La contaminación del agua ha afectado la salud humana. El uso de aguas subterráneas contaminadas para beber y cocinar causó problemas de salud tales como diarrea, hepatitis, y brotes esporádicos de fiebre tifoidea y cólera. El abastecimiento insuficiente de agua y el saneamiento deficiente son causa de más de 500.000 muertes infantiles por año

así como también de altísimos niveles de enfermedad e incapacidad en la región. En muchos países, el cólera es una enfermedad extendida, especialmente en aquellos donde las instalaciones de saneamiento son precarias, como en Afganistán, China e India.

1.5 Contaminación en México

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales de México (SEMARNAT) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) en estrecha colaboración con otras autoridades federales y los diez estados fronterizos de México y Estados Unidos, con participación de las tribus fronterizas de los Estados Unidos, presentaron al público el Programa Ambiental México-Estados Unidos "Frontera 2012", cuyo objetivo principal es proteger el medioambiente y la salud pública en la región fronteriza México-Estados Unidos con una visión a diez años. Aunque en los últimos años ha habido avances substanciales en el tratamiento de las aguas residuales, a nivel nacional solamente en el 10 por ciento de los casos, las aguas superficiales presentan buena calidad, en tanto que la calidad es media en el 65 por ciento y mala en el 25 restante, lo que afecta la disponibilidad natural del agua de las corrientes superficiales. El uso consuntivo predominante en el país es el agrícola, que representa el 76 por ciento de la extracción de corrientes y acuíferos, seguido por el uso público con el 17 por ciento y el de la industria, con el cinco. En otros usos, tales como el acuícola y en hidroeléctricas, se ocupa el resto.

1.6 Métodos de tratamiento de agua

En México y en el mundo se han tratado sus aguas contaminadas por diferentes tecnologías, estas tecnologías a lo largo de las décadas han sido mejoradas para remover los contaminantes característicos de unas aguas contaminadas. Actualmente se cuentan con diferentes tecnologías disponibles para el tratamiento de aguas residuales, cada tecnología es seleccionada en cuanto al grado de contaminación de agua y el uso que se le pretenda hacer a este recurso. Los principales tratamientos que se le da al agua residual son un pre tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y un tratamiento terciario. _Se le llama tratamiento primario de aguas negras al proceso que se usa para eliminar los sólidos de las aguas contaminadas; secundario, al que se usa para reducir la cantidad de materia orgánica por la acción de bacterias (disminuir la demanda bioquímica de oxígeno) y terciario, al proceso que se usa para eliminar los productos

químicos como fosfatos, nitratos, plaguicidas, sales, materia orgánica persistente, entre otros. 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. Después de la sedimentación, 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, de ahí al tanque de desinfección por cloro y después se descarga para su reutilización.

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. Entre las operaciones que se utilizan en el tratamiento terciario de aguas contaminadas están: la micro filtración, la coagulación y precipitación, la adsorción por carbón activado, el intercambio iónico, la ósmosis inversa, el electro diálisis, la remoción de nutrientes, la cloración y la ozonización. A cualquier tratamiento de las aguas negras que se realiza después de la etapa secundaria se le llama tratamiento terciario y en este, se busca eliminar los contaminantes orgánicos, los nutrientes como los iones fosfato y nitrato o cualquier exceso de sales minerales. El proceso más utilizado para la desinfección del agua es la cloración porque se puede aplicar a grandes cantidades de agua y es relativamente barato. El cloro proporciona al agua sabor desagradable en concentraciones mayores de 0.2 ppm aunque elimina otros sabores y olores desagradables que le proporcionan diferentes materiales que se encuentran en el agua.

Eliminación de los nutrientes. El método más común de tratamiento de aguas negras para la eliminación de los iones fosfato se basa en la adición de compuestos químicos que forman precipitados sólidos con los fosfatos. Mediante el proceso de floculación se hace que los precipitados de los fosfatos se sedimenten y luego son eliminados por medio del proceso de filtración. También para eliminar los fosfatos del agua se está investigando su eliminación mediante el tratamiento biológico de intercambio selectivo de iones. El nitrógeno orgánico de las aguas negras es transformado en ion amonio por bacterias y a su vez el ion amonio es transformado por otras bacterias en el ion nitrato. Es más difícil eliminar los nutrientes nitrogenados que los fosfatos de las aguas contaminadas. Un método utilizado para eliminar los nutrientes nitrogenados del agua es mediante bacterias

desnitrificantes que convierten el ion nitrato en nitrógeno gaseoso. En este método de biodesnitrificación se hace pasar lentamente al agua a través de una columna que contiene a las bacterias y el nitrógeno producido se libera a la atmósfera.

El proceso de lodos activados es el más utilizado para el tratamiento de aguas residuales, ya que este proceso ofrece mayor eficiencia en cuanto la remoción de contaminante en términos de DBO y DQO, y son más económicos mediante el uso de microorganismos para remover la materia orgánica a grandes cantidades. Los lodos activados es una proceso de tratamiento por el cual el agua residual y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque denominado aireador, los flóculos biológicos formados en este proceso se sedimentan en un tanque de sedimentación, lugar del cual son recirculados nuevamente al tanque de aeración. En el proceso de lodos activados los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica en el agua residual de manera que ésta les sirve de alimento para su producción. Es importante indicar que la mezcla o agitación se efectúa por medios mecánicos (aireadores superficiales, sopladores, etc) los cuales tiene doble función producir mezcla completa y agregar oxígeno al medio para que el proceso se desarrolle. La representación esquemática del proceso se muestra en la figura 1 mostrado a continuación.

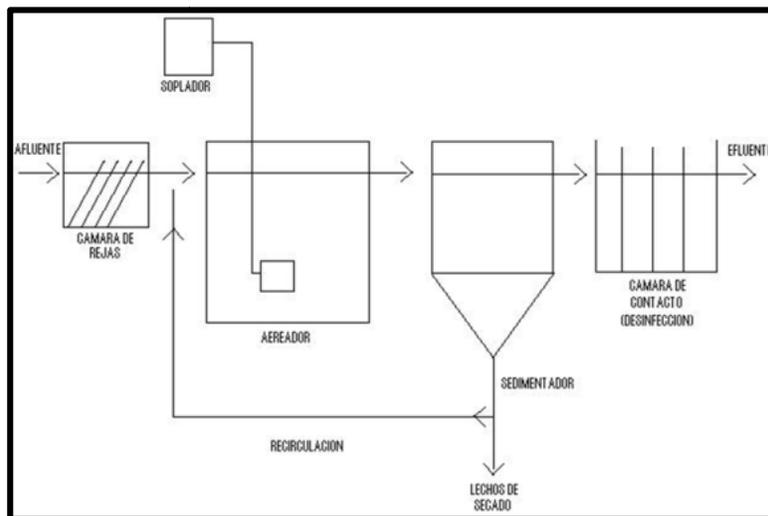


Figura 1. Diagrama de proceso convencional de lodos activados [14]

Los elementos básicos de las instalaciones del proceso de lodos activados son las siguientes: Tanque de aeración: Estructura donde el desagüe y los microorganismos (incluyendo retorno de los lodos activados) son mezclados. Se produce reacción biológica.

Tanque sedimentador: El desagüe mezclado procedente del tanque aireado es sedimentado separando los sólidos suspendidos (lodos activados), obteniéndose un desagüe tratado clarificado.

Equipo de aireación: Inyección de oxígeno para activar las bacterias heterotróficas.

Sistema de retorno de lodos: El propósito de este sistema es la de mantener una alta concentración de microorganismos en el tanque de aireación. Una gran parte de sólidos biológicos sedimentables en el tanque sedimentador son retomados al tanque de aireación. Exceso de lodos y su disposición: El exceso de lodos, debido al crecimiento bacteriano en el tanque de aireación, son eliminados, tratados y dispuestos.

1.7 Organigrama de la Comisión Nacional del Agua

La institución donde se realizó el presente trabajo, es la planta de tratamiento de aguas negras del lago de Texcoco. La planta es operada por la Residencia General del Proyecto Lago de Texcoco quien a su vez es administrado por la Gerencia del Lago de Texcoco que pertenece al Organismo de Cuencas del Valle de México quien es controlado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de México.

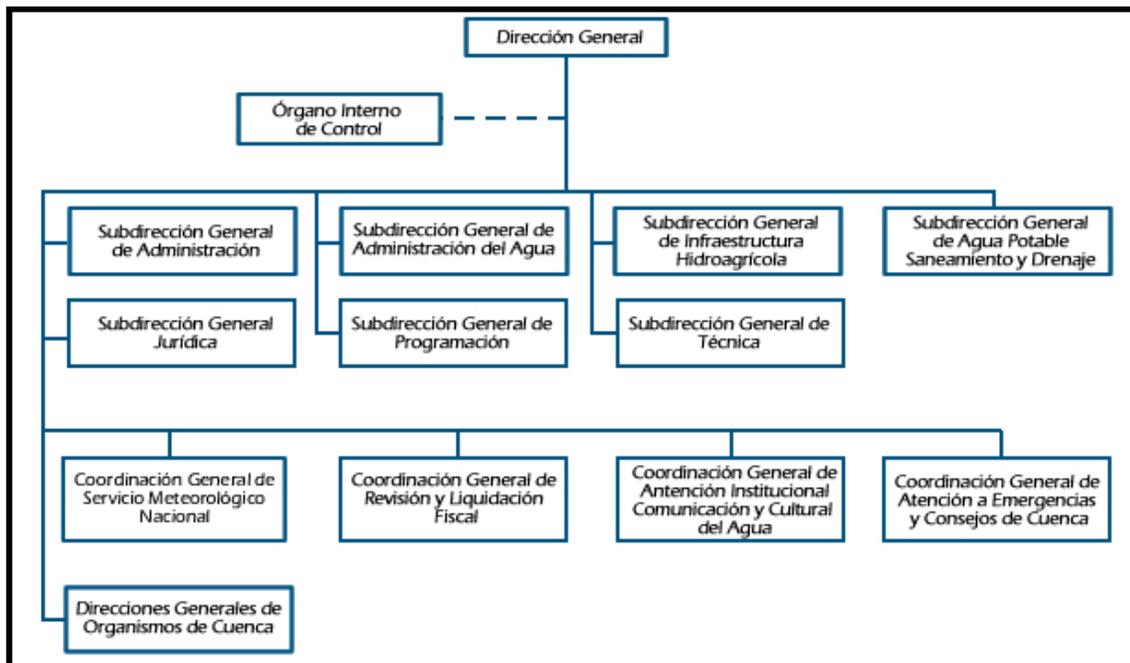


Figura. 2 Organigrama de la Comisión Nacional del Agua [20]

Actualmente (2008), la misión y visión de la Comisión Nacional del Agua consiste en:

Misión

"Administrar y preservar las aguas nacionales y sus bienes inherentes, para lograr su uso sustentable, con la corresponsabilidad de los tres órdenes de gobierno y la sociedad en general".

Visión

"Ser autoridad con calidad técnica y promotor de la participación de la sociedad y de los órdenes de gobierno en la gestión integrada del recurso hídrico y sus bienes públicos inherentes".

Los objetivos que se plantea el Organismo de Cuencas son:

Promover el desarrollo de planes, proyectos y la ejecución de las obras correspondientes al programa de manejo de los recursos de la Cuenca Sur-Oriental tributaria del Valle de México, con base en los planes de ordenamiento ecológico y territorial aprobados, considerando los aspectos hidrológicos y geohidrológicos ambientales, así como los trabajos y servicios que se requieran para suplir las necesidades de suelo y agua de los núcleos poblacionales más importantes que se encuentran en la zona de influencia de las tareas de rescate hidroecológico del Lago de Texcoco.

1.8 Ubicación de la Zona Federal del Lago de Texcoco.

La Zona de influencia del Lago de Texcoco colinda con la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) y con los municipios de Texcoco, Atenco, Chimalhuacán, Ecatepec y Nezahualcóyotl, del Estado de México. La zona Federal del Lago de Texcoco se ubica al oriente de la Ciudad de México, dentro de la Zona Hidrográfica No. VII, de la Cuenca del Valle de México. Se encuentra a 2,237 msnm. Tiene un clima templado semiseco, caracterizado por valores altos de evaporación. En el área no hay núcleos poblacionales por tratarse de una Zona Federal. Sin embargo, por su localización, está sujeta a la presión urbana, ya que está delimitada por la ZMCM y por los municipios de Nezahualcóyotl, Chimalhuacán, Texcoco y Atenco del Estado de México. (Ver figura 3.)

mayor demanda de agua para diversos usos, lo cual entre otros factores provocó la desecación del lago.

El incremento de la población trajo consigo mayores volúmenes de aguas residuales en el río Churubusco, los Remedios y de la Compañía, los cuales descargaban sus aguas sobre la superficie desecada y salitrosa de lo que actualmente corresponde a la Zona Federal del Lago de Texcoco, y la tornaban cada vez más insalubre. En la época de los años 50, eran comunes las tolvaneras, resultado de la frecuencia anual de los vientos del noreste, que levantaban no sólo polvo sino también detritus y gérmenes patógenos, y que provocaban graves problemas de salud pública en toda la zona metropolitana.

Ante esta situación, en 1971 se aprobó el Plan Texcoco con la finalidad de recuperar la zona degradada, con base en el aprovechamiento racional de los recursos naturales, el desarrollo forestal y el saneamiento ambiental, y buscando un mejor nivel de vida para los pobladores de la zona. Para ello, se establece además como prioridad el respeto al ambiente sin detrimento de las actividades productivas tan necesarias para el desarrollo. El Lago de Texcoco aplica procesos de tratamiento con una capacidad instalada de 1,5 m³/s, que opera actualmente a 1,3 m³/s. La planta de Aguas Residuales proyecto lago de Texcoco, cuenta con sistemas convencionales de lodos activados para el tratamiento de aguas negras y con un sistema de bombeo para la succión del influente a tratar, cuenta también con un pre-tratamiento donde se elimina los materiales de grandes dimensiones empleando rejillas finas, una sedimentación primaria para retirar sólidos sedimentables, y cuenta con un sistema donde se involucra el tratamiento secundario por el proceso de lodos activados.

Debido a las condiciones de operación y de la infraestructura de drenaje de la Ciudad de México, el agua debe ser bombeada del río Churubusco de donde se obtiene para enviarla a la planta y darle tratamiento. Al inicio, el proyecto de recuperación consideraba las condiciones hidrológicas prevalecientes pero las aguas negras se descargaban en el lago, los grandes volúmenes de aguas demandaban la recuperación ecológica de la zona del Lago de Texcoco y en vista del gasto medio de aguas residuales disponibles que descargaban en el lago, resultaba evidente considerar el aprovechamiento de estos volúmenes en las tierras de riego localizadas fuera de la zona, mediante el tratamiento y reuso de esta agua para cubrir las crecientes demandas de aquellas actividades que no requieren agua de calidad potable. Una alternativa de tratamiento que respondía a estas expectativas fue la del proceso de lodos activados.



Figura 4. Planta proyecto Lago de Texcoco. [1]

El agua residual tratada en las Lagunas Facultativas con Recirculación se usa actualmente para conservación de un lago artificial de 36 millones de m^3 de capacidad de almacenamiento, así como para conservación de la fauna silvestre y para actividades de sembrado de pasto y forestación emprendidos en la zona. Por otro lado, también se suministra esta agua residual tratada a un área ejidal del Municipio de Texcoco para su uso en riego agrícola. La superficie regada y los volúmenes de agua utilizada con este fin fueron variables. La segunda planta está basado en el sistema de lodos activados. La planta de lodos activados es un sistema de mezcla completa. Su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo en medio aerobio. Este método está provisto de un sistema de recirculación y eliminación de lodos. El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de aeración mecánica, que también sirven para mantener el líquido en estado de mezcla completa. Al cabo de un periodo determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las antiguas se conduce hasta un tanque de sedimentación para ser separados por sedimentación del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas se recirculan para mantener en el reactor la concentración de células deseadas, mientras que la otra parte se purga del sistema. La fracción purgada corresponde al crecimiento del tejido celular.



Figura 5. Planta de lodos activados convencional proyecto Lago de Texcoco. [1]

En la planta de tratamiento de aguas negras por el proceso de lodos activados del proyecto lago de Texcoco cuenta con un sistema de bombeo de agua residual proveniente del río Churubusco que envía 700 litros por segundo (lps) a la planta de lodos activados que son enviados a una caja de distribución y posteriormente pasan a una sedimentación primaria para la eliminación de sólidos sedimentables un tiempo aproximado de 1 hora con 20 minutos para después ser enviada el agua a los tanque de aireación en donde es aireada y homogeneizada un tiempo no mayor a 9 horas con cuatro aireadores en cada tanque, luego de este paso el agua es enviada a un sedimentador secundario en donde se sedimentan los flóculos resultados del proceso anterior por un lapso de 60 minutos y por último el agua saneada es llevada al lago Nabor Carrillo, el proceso cuenta con una recirculación de lodos con capacidad instalada de 180 a 360 lps.

Hasta el momento, las plantas de tratamiento de lodos activados y lagunas facultativas, han producido el agua residual tratada necesaria para su rehusó en los trabajos de recuperación ambiental en el Lago de Texcoco. En el caso particular de las lagunas facultativas, su efluente también se utilizó en riego agrícola en una parte de los ejidos colindantes, pero no fue posible motivar a los agricultores de la zona para que dejen de explotar el acuífero y utilicen mayor cantidad de agua tratada.

2.2 Antecedentes de los procesos avanzados de lodos activados.

Los avances más recientes en los procesos de lodos activados incluyen el aumento de la transferencia de la tasa de oxígeno de la fase gaseosa a la fase líquida al aumentar la

presión parcial de oxígeno en la fase gaseosa. Esto incrementa la concentración de saturación del oxígeno disuelto y por tanto la fuerza impulsora para la transferencia de masa de la interface del gas y el líquido. Se ha implementado métodos para incrementar la presión parcial de oxígeno. Primero, aumentando la presión total del sistema, incluyendo la fase gaseosa, en segundo lugar, aumentando la proporción de oxígeno en la fase gaseosa, por enriquecimiento a sustitución con oxígeno puro, como en el caso de los procesos con oxígeno puro.

El principio de transferencia de oxígeno se puede aumentar aun más utilizando simultáneamente ambos métodos. No obstante, se tienen ciertas evidencias que las tensiones muy altas de oxígeno son muy tóxicas, aun para organismos aeróbicos, obligados o facultativos. Wimpenny (1969) cita un estudio en el que *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* y *B. megatherium* sobrevivieron a una presión de 100 atmósferas en un medio con una concentración de oxígeno disuelto de 7 g/m³, mientras que 35 g/m³ a la misma presión, resultó letal. Pirt (1975) cita resultados que le permitieron llegar a la conclusión de que la tensión inhibitoria del oxígeno disuelto (TOD) para los aerobios puede ser suficientemente baja en lo que concierne a la toxicidad del oxígeno, como para ser significativa en los recipientes profundos de fermentación industrial, especialmente si se combina con una presión positiva adicional al espacio libre superior del recipiente. Por el contrario, los estudios de Dunlop (1978) en relación con el proceso de tiro profundo, demostraron que los lodos activados de laboratorio en un espirómetro de alta presión, no mostraron cambio alguno en la tasa de toma de oxígeno sobre un campo de valores de TOD hasta tres atmósferas.

Ambos métodos para aumentar la presión de oxígeno han demostrado ser por derecho propio no solo valiosos procesos de tratamiento, si no también métodos provechosos para aumentar la capacidad de tratamiento de plantas convencionales existentes. Estas características son particularmente importantes, ya que las plantas de tratamiento de aguas negras representan grandes inversiones que no abandonan con facilidad.

3. JUSTIFICACIÓN

El trabajo propuesto considera la revisión de alternativas en los procesos avanzados de lodos activados para elegir la alternativa más apropiada y su diseño general, para un

nuevo sistema de procesos de lodos activados que permita incrementar la capacidad de tratamiento de la nueva planta de lodos activados con respecto a la que opera actualmente en el proyecto lago de Texcoco. La necesidad de esto es para mantener en óptimas condiciones el lago Nabor Carrillo y disponer de un caudal específico para el rehusó en otras actividades, ya que la planta que está en operación actualmente solamente tiene capacidad para abastecer al lago Nabor Carrillo.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- Proponer una alternativa para el diseño de un nuevo proceso de tratamiento de lodos activados para el proyecto lago de Texcoco.

4.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar el proceso de tratamiento más seguro y económico.
- La alternativa debe cumplir con la normatividad establecida para el agua de riego.
- Aumentar la capacidad de tratamiento de agua residual mediante el diseño de un nuevo sistema de lodos activados.

5. METODOLOGÍA

Para citar la metodología en la realización del presente trabajo, se dispone seguir los pasos para el diseño de un proceso en ingeniería.

5.1 Identificación de la necesidad.

La planta que opera actualmente no cuenta con las condiciones y capacidad para mantener en óptimas condiciones el lago Nabor Carrillo e incrementar la cantidad de agua para otros usos, por estos motivos se requiere del diseño de un proceso de lodos activados que cumpla con estas necesidades.

5.2 Investigación Preliminar

Es necesaria la investigación de diferentes procesos avanzados de lodos activados que actualmente estén en operación en el mundo que se pudieran aplicar en la planta del tratamiento de aguas negras lago de Texcoco, y que además, estos procesos que se propondrán deben de ser aptos para las necesidades de la planta y para las condiciones geográficas del lugar. También se necesita de las investigaciones de diferentes trenes de tratamiento que se puedan aplicar en el diseño.

5.3 Selección del proceso

Se seleccionara la alternativa de propuesta por un estudio técnico económico donde se evalúen parámetros económicos técnicos en cuanto al ahorro energético, disponibilidad del terreno, impacto sobre la infraestructura del tren de tratamiento e innovación tecnológica de tratamiento.

5.4 Síntesis preliminar del proceso

Una vez realizada la investigación de los procesos avanzados de lodos activados que actualmente están en operación en todo el mundo e investigado los trenes de tratamiento que puedan innovar estas tecnologías, ahora se requiere de la evaluación y análisis de todos los procesos seleccionados, esto implica analizar los costos que le generen a la institución y evaluar si las condiciones de tratabilidad y geográficas son aplicables para la planta de tratamiento de proyecto Lago de Texcoco.

En general es posible determinar un diagrama de flujo de los procesos seleccionados. Se puede dar este caso desde el principio por diversas razones: al generar un diagrama de flujo, esto conduce a suposiciones que puede reducir la complejidad del problema. Al efectuar los balances de energía y materia, a menudo se exponen las variables más importantes del proceso. Se identificara donde falta información. Si se efectúa y se termina adecuadamente, el diagrama de flujo contendrá los datos necesarios para el diseño de partes individuales del equipo. En general, aunque se modifique después, es relativamente fácil corregirlo y repetir los cálculos del diseño.

5.5 Diseño aplicando la ingeniería básica

Partiendo de información más precisa se harán con más detalle los diagramas de flujo y balances de materia y energía del proceso final seleccionado, se analizará el lugar de construcción de la planta así como las especificaciones finales del equipo.

Ya seleccionado el sistema, se tiene que hacer un conjunto de dibujos de diseño asistido por computadora en formato CAD por cada equipo a utilizar en el proceso, estos deben tener las dimensiones y especificaciones que se van a utilizar en la planta. Con estos dibujos asistidos por computadora se debe de construir el modelo que se aplicará en la planta de tratamiento de aguas negras proyecto lago de Texcoco.

Nota:

Como se puede notar, el alcance del proyecto es desarrollar la ingeniería básica de una mejor alternativa de proceso que actualmente opera en el lago de Texcoco.

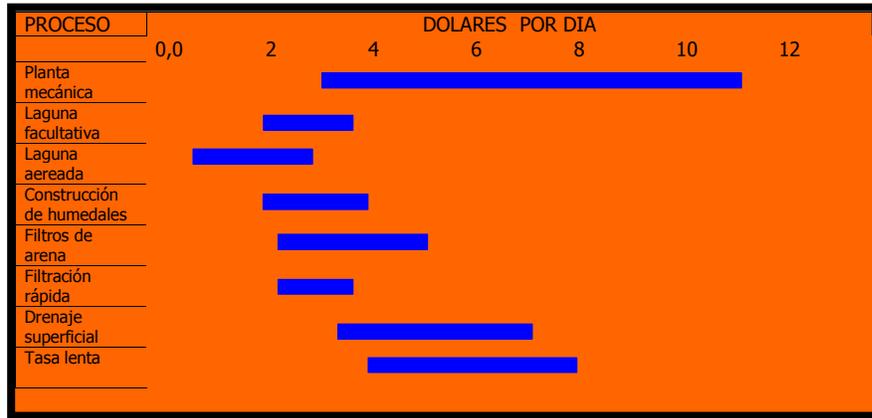
6. RESULTADOS

Se evaluaron a continuación las diferentes tecnologías disponibles de tratamiento de aguas residuales mediante un estudio económico y técnico. Al seleccionar la tecnología adecuada se dispondrá a seleccionar el proceso novedoso y tecnológico en base a una matriz de decisión económica y técnica de los diferentes procesos estudiados bibliográficamente.

6.1 Criterios para selección de las diferentes tecnologías disponibles para el tratamiento de aguas residuales.

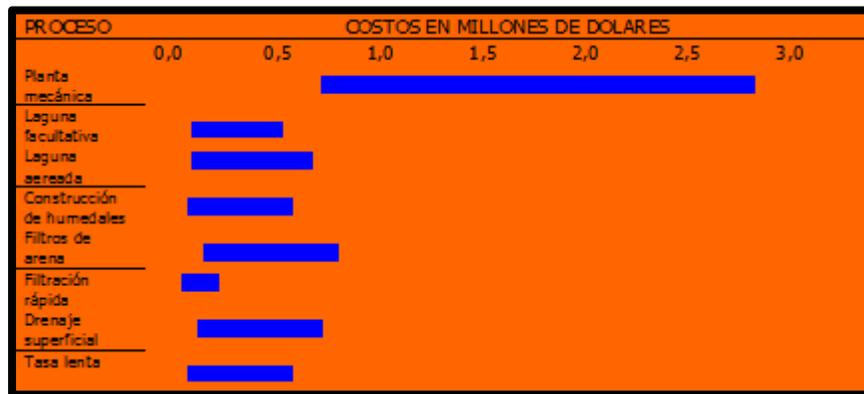
En la grafica 1 Se evaluaron los costos capital comparativo de las diferentes tecnologías de tratamiento por día. Se puede notar que la planta mecánica es más costosa en cuanto al capital comparativo que se le invierte por día, aun así este tipo de plantas son más eficientes en cuanto a la tratabilidad del agua y remoción de contaminantes de acuerdo a la grafica 1.

Grafica 1. Costos capital comparativos de las diferentes tecnologías de tratamiento. [12]



En la grafica 2 se evaluaron las diferentes tecnologías de tratamiento de aguas residuales disponibles que actualmente en operación en el mundo. Se hizo un comparativo de operación y mantenimiento de costos de las diferentes tecnologías disponibles. En la grafica 1 se puede notar que una planta mecánica es más costosa en cuanto en operación y mantenimiento, pero en resultados posteriores este tipo de planta es más eficiente en cuanto a la remoción de contaminantes y tratabilidad del agua.

Grafica 2. Costos comparativos de operación y mantenimiento de las diferentes tecnologías disponibles. [12]



En la tabla 1 se muestra la eficiencia de los diferentes procesos en función de los diferentes parámetros de contaminación. Se puede notar que las plantas mecánicas son más eficientes en cuanto a la remoción de los diferentes parámetros de contaminantes.

Tabla 1. Eficiencia de los procesos en función del DBO, P.T. Y N.T. [12]

Proceso	Tratamiento Secundario	Tratamiento Avanzado	NH ₃	PT	NT
Planta Mecánica	E	E	E	E	E
Laguna Facultativa	E	I	I	I	I
Construcción de Humedales	E	E	I	I	I
Filtros de Arena	E	E	E	I	I
Filtración Rápida	E	E	E	I	I
Drenaje Superficial	E	E	E	I	I
Tasa Lenta	E	E	E	E	E
Limite del Tratamiento Secundario para DBO y S.S Limite del Tratamiento Avanzado Para DBO y S.S NH ₃ , PT,NT			< 30 ppm < 20 ppm < 2ppm		

E= Eficiente
I= Ineficiente

En la tabla 2 se describe las ventajas y desventajas de las tecnologías de tratamiento disponibles en el mundo para el tratamiento de aguas residuales. Se puede notar que aunque una planta mecánica de lodos activados tiene desventajas en cuanto los costos de operación y mantenimiento y altos requerimientos de energía, estos son más eficientes en cuanto a la eficiencia de la remoción de contaminantes y los grandes caudales que se manejan en la planta de tratamiento de aguas negras proyecto lago de Texcoco. Con todos estos resultados se analizo la elección de una planta mecánica para la construcción de un tratamiento de lodos activados para el diseño de un tren de tratamiento de lodos activados con una capacidad de 1.5m³/s.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales. [12]

TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
SISTEMAS ACUATICOS		
Lagunas de Oxidación	Bajo Costo. Costos Bajos de Operación y Mantenimiento. Bajos Requisitos de experiencia técnica.	Requiere de una gran área. Pueden originarse olores indeseables.
Lagunas Aireadas	Requiere relativamente poca área. Fácil de operar y mantener. Produce pocos olores indeseables.	Requiere equipos de aireación. Produce efluentes con alto contenido de sólidos. Suspendidos.
SISTEMAS TERRESTRES		
Tanque sépticos	Fácil de operar y mantener. Puede construirse en aéreas rurales.	Baja eficiencia en el tratamiento. Residuos debe de ser extraído ocasionalmente.
Construcción de Humedales	Remueve hasta el 70% de bacterias y sólidos. Muy bajo costo capital. Bajos costos de operación y mantenimiento.	Aun tiene un estaus experimental. Requiere una remoción periódica de excesos de material vegetal. Es utilizado mejor en aéreas donde son disponibles las plantas nativas.

SISTEMAS MECANICOS		
Sistemas de Filtración	Requisitos mínimos de área de construcción. Puede ser utilizado a escalas de residencias. Costos relativamente bajos en operación y mantenimiento y fácil de operar.	Requiere de equipos mecánicos.
Reactores Biológicos verticales.	Altamente eficientes. Requiere de poca área de construcción. Aplicable como a pequeñas comunidades o a grandes comunidades.	Altos costos. Tecnologías complejas. Requiere de alta experiencia técnica para su operación y mantenimiento. Altos requisitos de energía. Requiere de disponibilidad de piezas de repuestos.
Lodos Activados	Altamente Eficientes. Requiere poca área de construcción. Aplicable tanto como a pequeñas comunidades como a grandes comunidades.	Alto costo. Tecnologías complejas. Requiere de alta experiencia técnica para su operación y mantenimiento. Altos requisitos de energía.

En la tabla 3 se muestra un breve resumen comparativo de los diferentes criterios comparativos para seleccionar una tecnología de aguas residuales. Al analizar los criterios de costos comparativos de operación y mantenimiento, los costos capital comparativos, la remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos, ventajas y desventajas técnicas de cada sistema, se llegó a la conclusión que aunque una planta mecánica es más costosa en operación y mantenimiento, este sistema es más eficiente en cuanto a la remoción de contaminantes y ofrece mayores ventajas técnicas y es mas aplicable para grandes comunidades, esto quiere decir que maneja grandes capacidades, ya que este proyecto contempla el diseño de un sistema de tratamiento con capacidades de $1.5\text{m}^3/\text{s}$.

Por estos motivos se eligió una planta mecánica de lodos activados para el diseño de un tren de tratamiento. Existen muchos trenes de tratamiento de lodos activados. A continuación se describen con detalle los procesos de lodos activados investigados que se pueden aplicar en la planta de aguas negras proyecto lago de Texcoco.

Tabla 3. Eficiencia de los procesos en función del DBO, P.T. Y N.T. [12]

Proceso	Costos de Operación y mantenimiento	Costos capital Comparativos	Remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos	Ventajas y desventajas que ofrece el sistema
Planta Mecánica de lodos activados	Costosos	Costosos	+++++	+++
Laguna Facultativa	Económicos	Económicos	++	+++
Construcción de Humedales	Económicos	Económicos	+	++
Filtros de Arena	Costosos	Costosos	++	+
Filtración Rápida	Costosos	Costosos	++	+
Drenaje Superficial	Económicos	Económicos	++	++
Tasa Lenta	Costosos	Costosos	+++	+

6.2 Investigación de los diferentes procesos y tecnologías de lodos activados

6.2.1 Proceso de Tiro Profundo

Proceso de tiro profundo es un proceso intensivo de lodos activados del tipo flujo pistón, en el que se usa la presión hidrostática debido a una columna líquida de hasta 200m de profundidad, para efectuar una transferencia eficiente de alta tasa de oxígeno y alta utilización del mismo. Lo desarrolló la ICI, como una derivación del proceso de fermentación aeróbica para producir proteínas de bacterias mono moleculares que se propagan en un sustrato de metanol, para alimento de animales. Este proceso requiere concentraciones microbianas extremadamente altas, para obtener separaciones económicas de la biomasa y por lo tanto requerimientos muy altos de la transferencia de oxígeno de alrededor de 10kg de oxígeno/m³-h. Para producir esta transferencia de oxígeno en un sistema a gran escala por medio de agitación mecánica exige un alto y prohibitivo consumo de energía, por lo que se inventó un fermentador del tipo de sifón de aire, en el que el rociador de aire proporciona tanto el suministro de oxígeno como la agitación del líquido. En la fermentación se obtuvo un aprovechamiento de oxígeno del 50% y una eficiencia de oxigenación de 1.5 kg de oxígeno/Kw-h. Como los procesos de tratamientos de aguas residuales implican bajas tasas de crecimiento microbiano, bajas concentraciones microbianas y sustratos de un metabolismo más complicado, es menor la tasa requerida de oxígeno, y se modificó la configuración del sistema para proporcionar un tiempo de contacto más largo entre el gas y el líquido. Esto quiere decir, esencialmente que hay que aumentar la altura de la columna líquida, dicha columna es

más fácil construir como un tiro subterráneo que como una torre elevada. La experiencia biológica obtenida con la operación de los fermentadores, que se orienta a un máximo rendimiento de las células microbianas, se aplicó para hacer mínima la producción de biomasa en la aplicación del tratamiento de aguas.

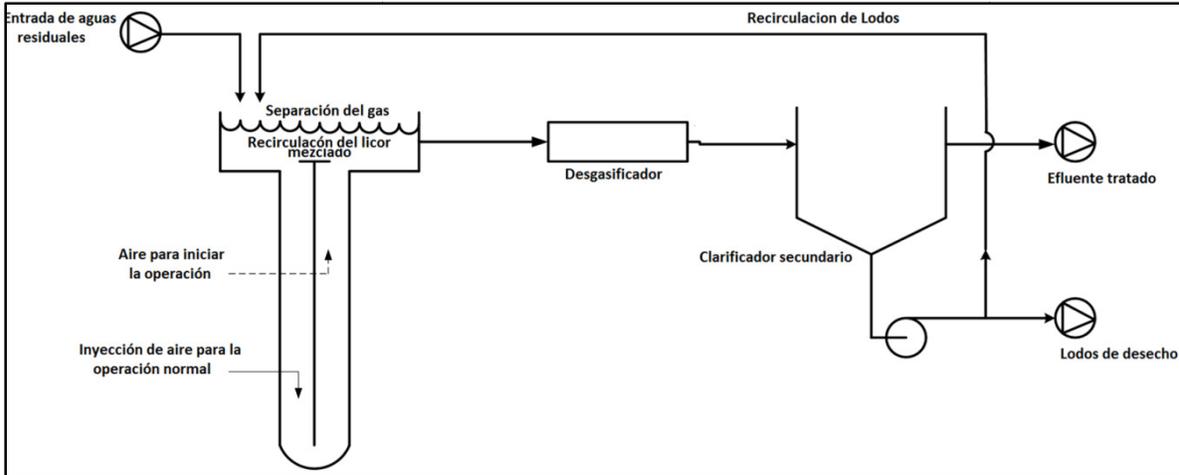


Figura 7. Proceso de Tiro Profundo. [4]

Descripción del proceso y antecedentes

El tiro con una profundidad de 30 a 220m, se divide verticalmente en una sección de flujo descendente y un flujo ascendente (figura 7) y se tiene un diámetro de 0.8 a 6m de diámetro, lo que dependerá de la carga. Las unidades a escala de planta piloto, operan con un diámetro de 0.08 a 0.045m. El tiro forma un tubo en U, a pesar de que algunas instalaciones tienen el tubo del flujo descendente montado concéntricamente con la sección de flujo descendente. También se puede usar tiros de sección cuadrada de sección cuadrada o rectangular.

El suministro de influente, con un inoculo de lodos recirculado, se introduce en la parte superior de la sección de flujo descendente, y el aire que se inyecta al líquido se introduce parcialmente mas debajo de la sección del flujo descendente, de manera que la carga del líquido desgasificado por encima del punto de inyección sea suficiente para mantener una velocidad hacia abajo del líquido mayor que la velocidad de elevación de las burbujas de aire. Entonces son arrastradas las burbujas de aire con el flujo del líquido, disolviéndose según aumenta la presión hidrostática. Con forme el líquido sube en la sección de flujo ascendente del tubo de tiro, cae la presión hidrostática, y los gases disueltos, nitrógeno, oxígeno no utilizado un anhídrido de carbono, salen en la solución en formas de burbujas. Este efecto proporciona la fuerza impulsora de la circulación hacia

arriba y hacia abajo del tiro, ya que las burbujas de gas ocupan una mayor proporción de la sección ascendente que la descendente. Esta diferencia en el vacío de las burbujas de gas produce la diferencia necesaria de la presión hidrostática para mantener la circulación del líquido. La velocidad del líquido, necesaria para llevar hacia abajo las burbujas de aire en la sección de flujo descendente es de 1 a 2 m/s, y la profundidad de la inyección de aire que da esta velocidad es de 20 a 40 m por debajo del nivel de la entrada del influente. La profundidad de inyección que se ha de utilizar está determinada por la resistencia hidráulica al flujo en el tiro, la que depende de su diámetro y para tiros con el mejor diseño hidráulico puede ser tan baja como 18 m. Esto produce una eficiencia de oxigenación de 5.5 kg de oxígeno/Kw-h, suponiendo una completa disolución eventual del gas. Para la inyección del aire a mayores profundidades, como es necesario para tiros más pequeños, la demanda de energía correspondiente es más alta con eficiencia de oxigenación dentro del rango de 4.5 kg oxígeno/Kw-h. La circulación se inicia con la inyección de aire en la sección de flujo ascendente, luego, la inyección de aire se transfiere gradualmente al espesor del flujo descendente según se ponga en marcha la circulación.

El licor mezclado, con su arrastre de burbujas de gas pasa a la sección de flujo ascendente de tiro a un tanque principal de separación donde se permite que las burbujas grandes escapen a la atmósfera. Es esencial en esta etapa una eficiente separación, puesto que una parte considerable del licor mezclado retorna a la parte del flujo descendente, y las grandes burbujas de gas reducirán el impulso hidrostático de presión para la circulación del líquido. Además, el gas de las burbujas está casi totalmente agotado y poco podría contribuir al proceso. Sin embargo, el licor mezclado del tanque de separación contiene una considerable cantidad de gas, como un soluto sobresaturado en el líquido y como micro burbujas adheridas a los floculos de los lodos. Casi todo el lodo flotara si se permite que el licor mixto quede en reposo, de manera que se han desarrollado diversas técnicas para eliminar las micro-burbujas presentes en el licor mezclado. Una técnica es la de efectuar una desgasificación al vacío en un simple tubo barométrico (Figura 8) mantenida a una presión aproximada de 0.2 bar en la parte superior, donde se extrae el gas, y las burbujas del mismo, o bien se disuelven o se liberan en el espacio superior de la baja presión. Dependiendo de pasar por este accesorio. El licor mixto se asienta en un clarificador convencional en donde se recirculan los lodos a la etapa de aireación, o se desechan, como en los procesos convencionales de lodos activados. En los ensayos a evaluación a escala de planta piloto se experimentaron problemas operacionales con el control del vacío, debido a la reducida

escala de la operación, y se ensayaron otros dos sistemas. La desgasificación mecánica haciendo pasar el licor mezclado a través de un tanque agitado con paletas produjo una satisfactoria remoción del gas, pero dio lugar a un efluente turbio, debido quizá al cortante sobre las partículas de los floculos de los lodos. Se obtuvieron resultados totalmente satisfactorios con un sistema separador de burbujas, en el que se hizo pasar el licor mezclado por un tanque agitado por aspersion con gasificación y el sistema demostró ser confiable en su operación y produjo un efluente de buena calidad después de la separación en ele clarificador final.

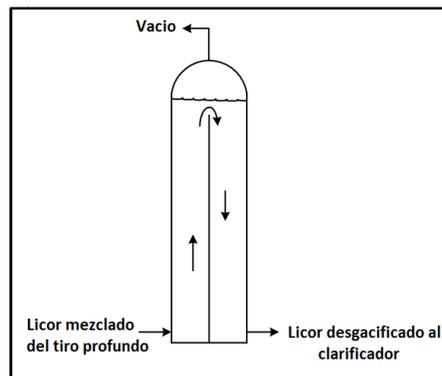


Figura 8. Unidad de desgasificación al vacío. [4]

Carga del Proceso

Se han publicado datos de operación de los ensayos de planta piloto. El factor de carga de lodos (“relación entre los alimentos y microorganismos”) tiene un valor típico de 0.9 kg de DBO/kg y sólidos de los lodos-día, con una edad de lodos de 4 a 5 días para aguas residuales mixtas, industriales y domesticas, a pesar de que se ha citado una edad para los lodos de 1.4 días como promedio para ensayos de incremento en capacidad de plata piloto. En términos de carga, el proceso de tiro profundo se sitúa entre los procesos de lodos activados, a alta tasa y convencionales. Sin embargo, los tiempos de retención son todavía menores que los de tratamientos de alta tasa, y además, el proceso de tiro profundo trata las aguas negras después de solo una eliminación preliminar de la arena, sin sedimentación primaria. Los resultados de las plantas piloto muestran una eliminación del 92% con tiempos de retención de aproximadamente de 1 ½ horas. La primera planta a escala completa, para tratar fuertes concentraciones de desechos de carbohidratos de una fábrica de almidón en Alemania se diseño para una tiempo de retención de 2 horas. La tasa extremadamente alta de transferencia de oxigeno permite la remoción de niveles de DBO asociado con cargas convencionales de tratamiento, para ser obtenidos con

tiempos de retención y cargas volumétricas de 3.7 kg DBO/m³-día hasta 6.6 kg DBO/m³-día por lo general asociados a tratamientos de alta tasa.

La tasa de transferencia de oxígeno alcanzada por el proceso de tiro profundo es aproximadamente diez veces mayor que la de las plantas convencionales de lodos activados. Esto resulta principalmente de alta presión hidrostática de 5 a 10 atmósferas en el fondo de un pozo típico, que proporciona un aumento de 5 a 10 veces de la solubilidad de oxígeno. Además la turbulencia asociada con la alta tasa de circulación del líquido, y por tanto un alto valor del número de Reynolds, aumenta el coeficiente de transferencia de masa en la fase líquida, y el tiempo de contacto entre las burbujas es mucho más alto, aproximadamente de 3 a 5 minutos en el sistema de tiro profundo, comparados con unos 15 segundos en un sistema convencional de difusión de aire. A pesar de que los valores del número de Reynolds en el pozo del proceso de planta piloto eran mayores a 10^5 , lo que indicaba un alto grado de turbulencia, los estudios con trazadores mostraron que solamente tuvo lugar una cantidad moderada de dispersión o mezcla retrograda, de manera que el sistema de tiro profundo opera esencialmente como un proceso de flujo tapón.

Propiedades de los lodos

Se han realizado investigaciones detalladas de las propiedades de los lodos provenientes del proceso de tiro profundo, para ver si las altas tasas de remoción en el proceso se debían, cuando menos en parte, a un acrecentamiento de la actividad de los lodos. Las determinaciones del contenido de TFA, el valor de la constante de saturación (K_s) en términos de la DBO y la tasa especificada la toma de oxígeno, no mostraron ninguna diferencia significativa entre los lodos de tiro profundo y los lodos activados de las plantas convencionales de tratamiento. Los lodos de tiro profundo mantienen una saludable población de protozoarios, y el ciclo de presión hidrostática parece no tener efectos no adversos en la estructura de la pared de las células de bacterias que se encuentran en los lodos. La introducción de organismos filamentosos, *Actinomyces* spp *Sphaerotilus* spp afectó inicialmente al principio de las propiedades de los lodos, pero la morfología de los organismos cambió después de algunos días en el sistema de tiro profundo para formar cadenas de corta ramificación y no ramificadas, con una concomitante mejoría dramática en las características de asentamiento de los lodos. Cuando se introdujeron lodos activados convencionalmente en una planta piloto del tiro profundo, la población microbiana tardó de 2 a 3 semanas para estabilizarse, a pesar de que se obtendrían

buenos valores de remoción de la DBO dentro de 1 a 2 días, de otro modo, el rango de especies microbianas presentes era prácticamente el mismo. El tamaño de operación del floculo era aproximadamente de 0.1 mm.

La producción neta de lodos de un proceso de tiro profundo puede ser mucho menor que el proceso convencional de lodos activados. Se efectuaron comparaciones directas de evaluación a escala de planta piloto, las que mostraron 0.85 kg de sólidos de lodos producidos por kg de la remoción de la DBO en un sistema de tiro profundo a escala de planta piloto, que operaba sobre lodos no asentados, mientras la producción neta por las plantas a escala completa durante el mismo periodo era de cerca de 1.42 kg de sólidos de lodos/kg de DBO eliminada, aproximadamente un 6.7% mayor que en el sistema de tiro profundo. Las propiedades de asentamiento y adaptabilidad de los lodos a futuros procesos de tratamiento, fueron descritas como excelentes.

Construcción de la planta

Una de las principales ventajas del tiro profundo es su gran economía en el uso del terreno; se afirma que se obtiene un ahorro del casi 50% con respecto a una planta convencional de tratamiento. Este se produce al evitar el uso del y tratamiento primario, el menor volumen de la etapa de aireación, la localización subterránea de la etapa de aireación y la más baja producción de lodos. La construcción de la planta también puede ser más rápida, y la primera etapa de a escala de la planta completa, para el tratamiento de aguas residuales de la producción de almidón de papa, con una población equivalente a 40 000, tomo solo 5 meses desde el diseño hasta la puesta en operación. El propio pozo de tiro, con un diámetro de 1.1 m y 100 m de profundidad, tardo 3 semanas en construirse, y toda la planta ocupa un área de 16 m por 9 m. Otras plantas de tiro profundo a escala natural están en operación en reino unido y Japón, para el tratamiento de aguas negras municipales, aguas industriales residuales y mezclas de residuos mixtos, municipales e industriales. Existen varias técnicas bien establecidas para la excavación del pozo de tiro, y la selección requerirá del diámetro requerido y de la estructura geológica del sitio. Para pozos de hasta 2 m de diámetro en suelos aluviales o de roca blanda, se facilita la perforación, y el pilotaje es apropiado en rocas aluviales o blandas para pozos de hasta 2.5 m de diámetro. La explotación del tipo de minas se usa para diámetros mayores, y adapta mejor para estratos auto soportante y arcillas consistentes, siendo el límite practico de cerca de hasta 10 m. El plástico o asbesto cemento y

concreto, ya sea con secciones pre coladas o coladas in situ, resulta apropiado para el pozo de tipo de minas.

El tamaño del pozo se determina primero por el volumen de las aguas residuales tratadas. El volumen del pozo debe ser tal que el tiempo de retención suficientemente largo para alcanzar la remoción requerida de nutrientes, y el diámetro de la sección del flujo descendente del pozo debe de ser suficientemente pequeño para obtener una velocidad del líquido que sea capaz de asegurar que el aire inyectado de lleve hacia abajo. Estos parámetros se pueden ajustar hasta cierto punto por la regulación del flujo del líquido recirculado desde la sección del flujo ascendente hasta la del flujo descendente. El siguiente punto a considerara es que si se usara un tiro profundo de pequeño diámetro o un tiro somero de gran diámetro. Los tiros profundos proporcionan mayores presiones hidrostáticas y un aumento en la transferencia de oxígeno, pero aumentan los costos de excavación y construcción. Los tiros de gran diámetro presentan una menor resistencia hidráulica y tienen en consecuencia menores requerimientos específicos de energía que los tiros de pequeño diámetro. La configuración se determina por la optimización de los costos de construcción, dependiendo de la profundidad, diámetro y geología, y de los costos de operación, principalmente la energía. Las configuraciones para las plantas a escala completa varía desde 6 m de diámetro y 33 m de profundidad hasta 0.8 m de diámetro y 220 m de profundidad, de manera que el tiro típico se puede considerar como de 2 m de diámetro y 100 m de profundidad. Un pozo de este tipo está en proceso de construcción para el tratamiento del efluente de una planta de ácido tereftálico. Otros factores a considerar son la estabilidad geológica de área y la relación del tiro con el acuífero. Puede que sea necesario tomar medidas especiales en ciertas aéreas para impedir la contaminación debido a fugas del pozo de tiro, y el sitio debe estar seguro de un movimiento geológico que pudiera fracturar la estructura del tiro.

Consideraciones Generales

Las conclusiones preliminares obtenidas de los ensayos de evaluación a escala de la planta piloto indican que el proceso de tiro profundo tiene un alto potencial para incrementar la capacidad de la planta existente en el tratamiento biológico, y que su bajo requerimiento de área de terreno lo hace particularmente atractivo donde este limitado el espacio. El bajo tiempo de residencia de los lodos y el corto tiempo de retención indican que solo se efectúan la nitrificación parcial, de modo que es muy útil para la remoción de nutrientes carbonáceos. Cuando se requiera completa nitrificación, se podrá añadir otra

etapa de tratamiento. También se observó que como sucede en los procesos de flujo tapón en general, el proceso es susceptible a las descargas industriales de choque, sin el efecto amortiguador de la primera etapa de sedimentación. Algunos materiales tóxicos, como los metales pesados, serán también eliminados junto con los lodos primarios. También ha sido sugerido que las altas concentraciones de agentes tensoactivos en las aguas residuales puede causar la formación de espumas.

6.2.2 Reactor por Lote Secuencial (SBR)

Un reactor por lote secuencial (SBR), es un sistema de tratamiento de fangos activados cuyo funcionamiento se basa en la secuencia de ciclos de llenado y vaciado. Los procesos unitarios que intervienen son idénticos a los de un proceso convencional de lodos activados. En ambos sistemas intervienen la aireación y la sedimentación-clarificación. No obstante, existe entre ambos una importante diferencia. En las Plantas convencionales, los procesos se llevan a cabo simultáneamente en tanques separados, mientras que en los SBR, los procesos tienen lugar en el mismo tanque. Un SBR consiste en un sistema de tratamiento de lodos activados, cuyo funcionamiento se basa en la secuencia de tratamiento llevada a cabo en ciclos de llenado, tratamiento y vaciado. Los procesos unitarios que intervienen son los mismos de un proceso típico de lodos activados. En ambos ocurren la aireación, mezcla, reacción, sedimentación-clarificación, con la diferencia que en el proceso de lodos activados los procesos se llevan a cabo en tanques separados y en un sistema SBR, el tratamiento ocurre secuencialmente en el mismo tanque.

Antecedentes

Los reactores de operación discontinua (SBR), también llamados ROD, tienen una historia de aproximadamente 100 años, desde que Sir Thomas Wardle (1983), publicó sus experiencias. Arden y Lockett (1914), publicaron resultados sobre trabajos realizados en SBR a nivel piloto, los cuales, en esa época, fueron llamados Reactores de llenado y vaciado. Desde entonces una serie de sistemas discontinuos han sido propuestos y construidos sin éxito hasta que Irvine (Irvine y David, 1971) volvió a inventar el ROD. Desde 1971 el SBR ha sido investigado ampliamente en varios países y muchas plantas han sido construidas en Australia, Estados Unidos de Norteamérica y Japón. Originalmente, los objetivos del SBR sólo eran la eliminación de la materia orgánica, pero

hoy en día su uso se ha extendido y en este sistema se pueden eliminar también nutrientes como el fósforo y el nitrógeno; éste último por medio del proceso de Nitrificación-Desnitrificación. En Venezuela, hasta ahora sólo se ha desarrollado un sistema discontinuo SBR a escala de laboratorio para su investigación, en el Laboratorio de La Facultad de Ingeniería Sanitaria, de la Universidad Central de Venezuela. En este equipo se han venido realizando investigaciones de remoción de Nitrógeno en tres reactores de forma cilíndrica, usando un líquido influente sintético, preparado en el laboratorio con melaza de caña de azúcar.

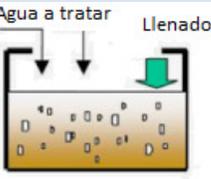
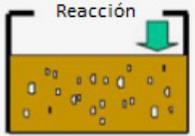
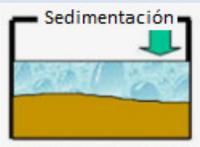
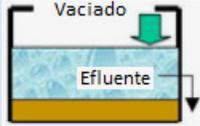
Descripción del proceso

El proceso de los reactores secuenciales por lotes es una variación del sistema de lodos activados. En contraste con el sistema continuo, el agua residual es introducida al reactor en un tiempo definido previamente. La degradación bioquímica de los contaminantes y la separación posterior de la biomasa se llevan a cabo en el mismo tanque. Las fases del proceso son secuenciales y se repiten en forma periódica. Para lograr el almacenamiento de los fosfatos, la degradación del material orgánico en forma de DBO y la nitrificación, el contenido del tanque se oxigena a través de aireación. En caso de que se requiera desnitrificación se lleva a cabo una fase anóxica después de la fase aeróbica. El orden y la duración de las fases, la cantidad de agua residual introducida al reactor (relacionada en porcentaje, con el volumen del reactor), y la cantidad de lodos desechados son factores que deberán ser seleccionados por el Ingeniero de diseño para alcanzar las características deseadas del efluente. El sistema se puede controlar por medio de timers o relojes programables y microprocesadores. El sistema tiene entonces una operación versátil al poderse modificar la programación de la secuencia de los pasos del proceso. Tal como se emplean hoy en día, los sistemas SBR, tienen en común cinco etapas, que suceden en forma secuencial.

1. LLENADO
2. REACCION (AIREACION)
3. SEDIMENTACION (CLARIFICACION)
4. EXTRACCION (VACIADO POR DECANTACION)
5. FASE INACTIVA.

Cada uno de estos pasos se ilustra en la tabla 4 Para alcanzar los objetivos de un tratamiento específico, se han introducido numerosas modificaciones del proceso variando los tiempos asociados a cada uno de los diferentes pasos.

Tabla 4. Descripción de las diferentes fases de funcionamiento de un reactor por lote secuencial. [6]

FUNCIONAMIENTO	CARACTERÍSTICAS	% DE VOLUMEN MÁXIMO	DURACIÓN DEL CICLO %	OBJETIVO DE OPERACIÓN	ESQUEMA
Llenado	El objetivo de esta fase la adición del sustrato (agua residual bruta o efluente primario) al reactor. Esta fase permite que el nivel del líquido en el depósito haciende desde cerca del 25 al 100 % de capacidad (al final de la fase inactiva hasta el 100 por 100 de su capacidad). Este proceso suele llevar 25 por 100 de la duración total del ciclo.	25 a 100	25	Adición de sustrato	
Reacción	El objetivo de esta etapa es que se completen las reacciones iniciadas durante la fase de llenado. El licor mezclado se airea en un tiempo específico hasta alcanzar el efluente de diseño. Suele ocupar el 35 por 100 de la duración total de ciclo	100	35	Reacciones Aerobias	
Sedimentación	Se detiene la aireación y los sólidos se sedimentan en el fondo del tanque. El objetivo de esta fase es la sedimentación de sólidos, para conseguir un sobrenadante clarificado como efluente. En este tipo de reactor este proceso suele ser mucho más eficiente que en un reactor de flujo continuo debido a que el contenido del reactor está totalmente en reposo.	100	20	Clarificación	
Vaciado	El propósito de esta fase es la extracción del agua clarificada del reactor. Actualmente se emplean muchos métodos de decantación siendo los más empleados los vertederos flotantes o ajustables. El tiempo de vaciado del reactor puede durar el 25 y el 50 por 100 de la duración total del ciclo (entre 15 minutos y 2 horas, siendo 45 minutos una duración típica.	100 a 35	15	Vaciado del efluente	

Fase Inactiva	El objetivo de esta fase en un sistema de múltiples tanques es permitir que un reactor termine su fase de llenado antes de concretar a otra unidad. Puesto que no es una fase necesaria, en algunos casos se omite.	35 a 25	5	Purga de fangos	
---------------	---	---------	---	-----------------	---

Carga del Proceso

Los datos a continuación mostrados se obtuvieron de una planta piloto construida para el diseño completo del sistema [4]. En este proceso ya que los niveles de carga de los lodos son muy bajos, entre 0.05 y 0.15 (kg. de DBO/kg. de sólidos de lodo por día), y la carga volumétrica V_s de la planta está alrededor de 0.25 kg de DBO /m – día. El tiempo de residencia de los lodos es muy prolongado, hasta 30 días, de manera que los lodos están muy dentro de las fases de respiración endógena, donde la descomposición de los lodos excede el crecimiento de los mismos. Así que, a pesar de que la proporción de la DBO no es mucho mayor que en los procesos convencionales, la tasa neta de producción de lodos es mucho más baja. El largo tiempo de residencia de los lodos y la baja carga de éstos implican una baja actividad de lodos. Se usan tiempos largos de retención, de uno o dos días, para producir una reducción del 90 % o más del % DBO de las aguas residuales.

6.2.3 Aireación Prolongada

Este proceso al que se le conoce también como oxidación total es una modificación de los procesos de lodos activados. La idea fundamental de la aireación prolongada al compararla con el proceso convencional de lodos activados, es disminuir la cantidad de lodo residual. Esto se consigue aumentando el tiempo de residencia, de esta forma el volumen del reactor es comparativamente mayor que el requerido en el proceso convencional de lodos activos. Como consecuencia de ello, es esencialmente todo el lodo degradable formado se consumen mediante respiración endógena. La ventaja principal del proceso de aireación prolongada es que las instalaciones para las instalaciones para la manipulación de lodos son muy pequeñas al compararlas con las que necesitan en el proceso de lodos activos.

Tabla 5. Comparación del proceso de lodos activados convencional y de aireación prolongada. [4]

Características	Lodos activados convencional	Aireación Prolongada
Sustrato a microorganismos, Kg de DBO/d kg MLVSS	0.3-0.7	0.10-0.25
Concentración de MLVSS del reactor (mg/l)	2000-3000	3500-5000
Características del influente		
DBO ₅ , soluble (mg/l)	10-20	10-20
DBO ₅ , total (en suspensión+coloidal+soluble) (mg/l)	15-25	20-40
Sólidos suspendidos (mg/l)	<20	<70
Producción de lodos (kg/ kg DBO ₅ consumida)	0.03	0.01
Requisitos de O ₂ (como % DBO ₅ consumida)	90-95	120
Tiempo de residencia en el reactor biológico	5-15 días	20-60 días

Aplicación de la aireación prolongada

El proceso de aireación prolongada ha sido aplicado principalmente a tratamiento de aguas residuales cuando el volumen diario es menor a 8m³/d. Estos caudales corresponden al tratamiento de aguas negras de comunidades pequeñas, urbanizaciones, áreas de recreo y algunas áreas industriales. Si se diseñan y manejan adecuadamente no presentan problemas de olores y de esa forma se pueden instalar dentro de zonas pobladas.

Descripción del proceso

En la figura 9 se muestra un diagrama del canal de oxidación. Parte esencial de este sistema es un canal provisto de un rotor de aireación. Este rotor tiene dos funciones: aireación y provisión de velocidad de licor de mezcla en el canal. Los dos modelos de rotor utilizados con frecuencia son el de cepillo y los de tipo jaula. La velocidad del líquido es del orden de 0.3 m/s. La mezcla de agua negra pasa repetidamente por el rotor de aireación en intervalos cortos. Los rotores tienen un diámetro normalmente de 75 cm, giran a 75rpm con una profundidad de inmersión de 15 cm y capacidad de oxigenación del orden de 3 kg O₂/h.

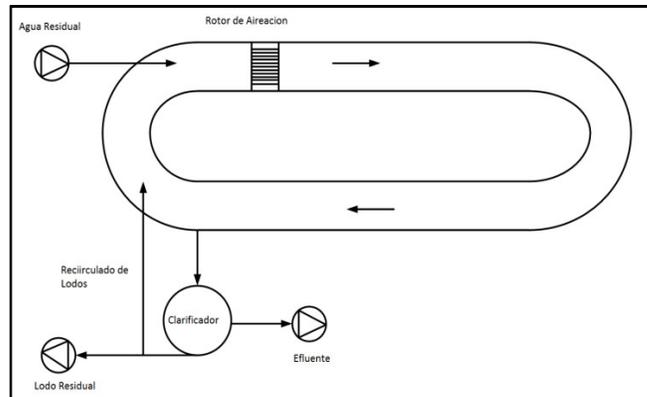


Figura 9. Diagrama del proceso canal de oxidación. [4]

Carga del Proceso

Aunque teóricamente la producción de lodo en el proceso de aireación prolongada es nula, en la práctica esto no sucede así ya que parte del lodo no es biodegradable y en consecuencia se acumula. La producción neta de lodo debe de eliminarse. El intervalo utilizado de A/M de aireación prolongada 0.1 y 0.25 d^{-1} , los microorganismos se ven obligados a la respiración endógena y a metabolizar material del citoplasma de sus colegas. Lo que queda de este festín canibalesco son membranas celulares no degradables relativamente ligeras al compáralas con el material del citoplasma, que decantan con dificultad. En consecuencia los tanques de decantación en el sistema de aireación prologada deben de proporcionar tiempos de retención superiores a los requeridos al preso convencional de lodos. El tiempo de retención de es de 4h aproximadamente frente a las 2h típicas del proceso convencional de lodos activos.

6.2.4 Sistema de Oxígeno de alta pureza

El proceso mejor conocido, que utiliza oxígeno puro ha sido desarrollado por la unión Caribe. En la figura 10 presenta un diagrama del tanque de aireación típico cubierto.

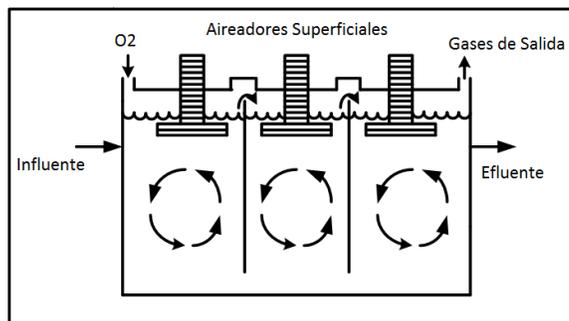


Figura 10 Proceso de oxígeno de alta pureza. [4]

Las características principales del oxígeno puro son:

- a) La producción de biomasa por unidad de DBO en el sustrato es menor que para el caso de aireación convencional. Ya que la producción de lodo es también menor, es posible operar el reactor con una concentración de biomasa en equilibrio mayor que la correspondiente a los procesos convencionales de aireación. Se utilizan niveles de MLVSS (licor mezclado) del orden de 5000 mg/l. Esto significa una reducción en el volumen del tanque de aireación para el mismo grado de tratamiento al compararlo en el caso de aireación convencional. Sin embargo para concentraciones mayores de 5000 mg/l de MLVSS el ahorro del volumen en el reactor se contrarresta por la mayor inversión requerida para el clarificador secundario. Por otra parte ya que se produce menos biomasa por kilogramo de sustrato consumido, puede presentar economías adicionales significativas en el proceso de manipulación y elevación del lodo en exceso. Esto significa un menor requerimiento de nutrientes (nitrógeno fósforo).
- b) El lodo tiene en general mejores características de sedimentación que el que se produce en los reactores aireados convencionales. Sin embargo, puede presentar problemas el desarrollo de microorganismos filamentosos, principalmente durante las puestas en marcha.
- c) Una velocidad de utilización de sustrato más elevada que para los sistemas convencionales de aireación.
- d) Se transfiere mas oxígeno por unidad de potencia que en las unidades aireadas convencionalmente.
- e) Una dificultad de operación que presentan los sistemas de oxígeno puro es la disminución de pH debida a la acumulación de bióxido de carbono en el agua residual. Esto puede provocar que no se lleve a cabo la nitrificación, lo que puede evitarse neutralizando mediante cal o álcali.
- f) El proceso de oxígeno puro ofrece una resistencia más grande a las cargas de choque, comparado con la aireación convencional.

6.3 Criterios para la selección de la alternativa de tratamiento de aguas residuales por el proceso de lodos activados.

Para la elección en base a un proceso de tratamiento de lodos activados, se realizó un estudio económico de los costos de operación del consumo energético de la planta, para

que el proceso seleccionado sea económico en el consumo de energía, se dispone a realizar una evaluación del consumo energético de cada tren de tratamiento seleccionado. En la tabla 6 se muestra el consumo energético (en %) de las diferentes operaciones de la planta de lodos activados. Se puede notar que la operación donde se genera el gasto mayor de consumo energético es en el proceso de lodos activados (reactor biológico). En la investigación bibliográfica se encontró que en el mezclado y aireación del proceso de lodos activados, es en donde se genera mayor consumo energético. Se usan aireadores mecánicos y difusores de aire para los diferentes trenes de tratamiento de lodos activados. De acuerdo con la revisión bibliográfica el consumo de energía eléctrica es menor en los difusores de inyección en comparación con los aireadores mecánicos.

Tabla 6. Consumo energético en las diferentes operaciones de los sistemas planta de lodos activados usando aireadores mecánicos para la aireación mezcla de los reactores biológicos. [11]

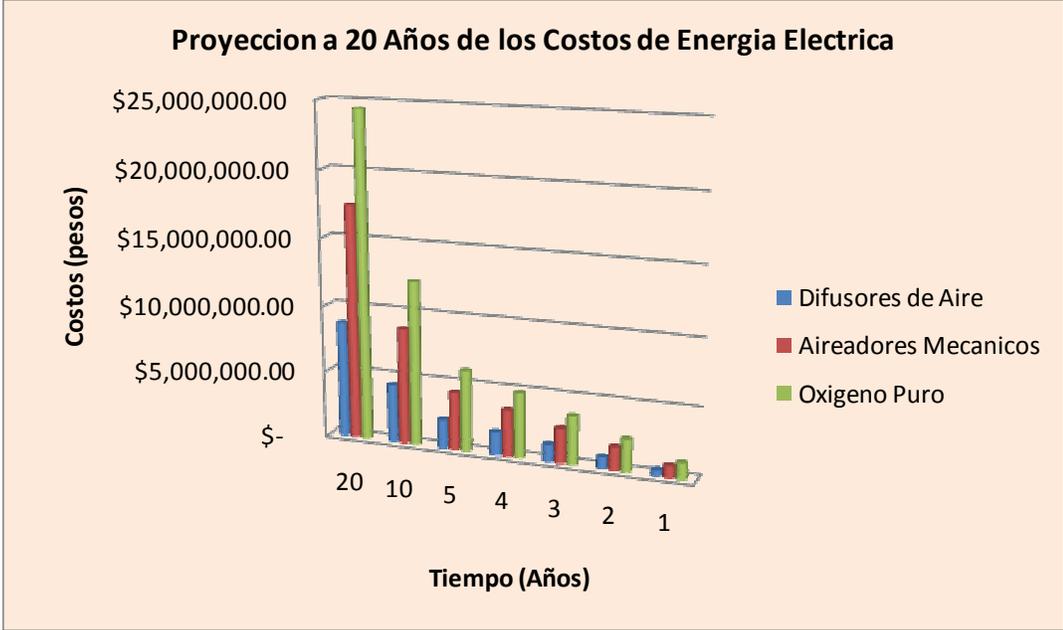
Diferentes Operaciones de la Planta	Consumo energético (%)
Bombeo del influente o influente	10-20%
Sedimentación Primaria	2-5%
Lodos Activados	30-70%
Procesamiento de lodos	10-50%
Iluminación, Monitoreo, Controles	1-3%
Desinfección	1-3%
Control de olores	1-2%

La empresa española BFDIAS es una de las corporaciones más importantes a nivel mundial en cuanto a la elaboración y exportación de mezcladores y aireadores por difusores de inyección de aire. Los sistemas de aireación son muy utilizados en varios procesos y diseños de estaciones de tratamiento de efluentes (procesos biológicos, químicos y físicos) y en aplicaciones en procesos industriales. Aporta oxígeno a la biomasa (procesos de oxidación de carga orgánica de los más variados tipos, nitrificación biológica, retirada biológica de nutrientes), hace posible procesos de mezcla, flotación y digestión en todos los tipos posibles de tanques, lagunas, fosas, canales, cajas de arena aireadas y reactores biológicos.

Estudios realizados en Europa y Estados Unidos consolidaron la utilización de sistemas de aireación por difusores de aire para ese tipo de aplicación debido a su elevada eficiencia y a bajo costo de operación en comparación con los sistemas que utilizan sistemas mecánicos. La economía en el consumo de energía puede llegar a hasta 60% cuando se compara con la utilización de aireadores mecánicos. Hay que acordarse que en el caso de estaciones de tratamiento de efluentes, del 50 al 90% de la energía consumida en una planta de tratamiento de efluentes es demandada por el sistema de

aireación. Por estos motivos la empresa realizo un estudio económico con ayuda de otros países europeos en cuanto al consumo energético de los difusores por inyección de aire, aireadores mecánicos y utilización del oxígeno puro para la aireación y mezcla en los procesos de las diferentes modalidades del tratamiento secundario. Los resultados que arrojaron este estudio económico se muestran en la grafica 3 donde se muestran que la elección de las diferentes modalidades de difusores por inyección de aire ahorra hasta un 50-60% del consumo de energía eléctrica en una planta de tratamiento de aguas residuales en el proceso de lodos activados.

Grafica 3. Costos de energía eléctrica de los diferentes sistemas de aireación y mezcla en una planta de tratamiento de lodos activados. [16]



En la tabla 7 se muestra los costos en el consumo de energía eléctrica del estudio económico que realizo la empresa española en colaboración con otros países europeos, donde se muestra que los trenes de tratamiento de aguas residuales que utilizan difusores de inyección de aire ahorran hasta un 50-60% del consumo energético de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 7. Costos de energía eléctrica de los diferentes sistemas de aireación y mezcla en una planta de tratamiento aguas residuales. [16]

Proyeccion en costos de enrgia electrica en pesos durante 20 años			
Tiempo (años)	Difusores Inyeccion de Aire	Aireadores Mecanicos	Oxigeno Puro
20	\$ 8,725,000.00	\$ 17,450,000.00	\$ 24,430,000.00
10	\$ 4,362,500.00	\$ 8,725,000.00	\$ 12,215,000.00
5	\$ 2,181,250.00	\$ 4,362,500.00	\$ 6,107,500.00
4	\$ 1,745,000.00	\$ 3,490,000.00	\$ 4,886,000.00
3	\$ 1,308,750.00	\$ 2,617,500.00	\$ 3,664,500.00
2	\$ 872,500.00	\$ 1,745,000.00	\$ 2,443,000.00
1	\$ 436,250.00	\$ 872,500.00	\$ 1,221,500.00

De acuerdo con el estudio económico se evaluaron las diferentes alternativas propuestas para el diseño de la nueva planta de lodos activados. En estas alternativas se pueden utilizar tanto aireadores mecánicos como difusores de aire. En la tabla 8 se describe que el proceso de tratamiento de tiro profundo y reactores secuenciales discontinuos (SBR) ofrece una alternativa económicamente rentable para la planta si se propone utilizar difusores de aire en la operación del proceso de lodos activados. Esto es fundamental para el ahorro de costos. El proceso de oxigenación de alta pureza es ineficiente para el ahorro de energía, esto aunque también utilice difusores de aire para la aireación y mezcla en los procesos biológicos. Esto es debido a que el mantenimiento y costos al utilizar oxígeno puro es muy costoso, esto de acuerdo con el estudio económico anterior.

Tabla 8. Eficiencia de alternativas en función del consumo energético. [15]

Alternativas	Sistema de aireación	Eficiencia con el estudio económico
Tiro Profundo	Difusores de aire	Eficiente
Reactor Discontinuo Secuencial (SBR)	Difusores de aire y aireadores mecánicos	Eficiente
Aireación Prolongada	Aireadores mecánicos	Ineficiente
Oxigenación de alta pureza	Difusores de aire y aireadores mecánicos	Ineficiente

En la tabla 9 se muestra que el proceso de tratamiento de tiro profundo, SBR, y oxigenación de alta pureza ofrecen mejores alternativas en la disposición de terreno.

Tabla 9. Espacio en el terreno en los diferentes trenes de tratamientos de lodos activados. [1], [3], [4]

Alternativas	Disponibilidad del terreno.	Justificación
Tiro Profundo	Mínima	Al no utilizar clarificador primario en su tren de tratamiento y tener mínimas dimensiones el reactor biológico comparado con una planta convencional.
Reactor Discontinuo Secuencial (SBR)	Mínima	Al no utilizar clarificador secundario en el tren de tratamiento
Aireación Prolongada	Máxima	Al utilizar canales de oxidación de grandes dimensiones en el tren de tratamiento.
Oxigenación de alta pureza	Mínima	Tiene mínimas dimensiones del reactor biológico comparados con un proceso convencional.

En la tabla 10 se puede observar y analizar que por las condiciones de suelo de Texcoco que es arcilloso limoso y por la zona sísmica que se encuentra, el SBR y oxigenación de alta pureza son más económicos en su mantenimiento ya que estos pueden construirse sobre la superficie. La oxígeno puro es muy costoso su mantenimiento por lo que se descarta esta alternativa para su diseño aun que tenga grandes posibilidades de eficiencia de proceso y evaluación de la zona para su construcción.

Tabla 10. Evaluación de la zona de construcción en cuanto al riesgo de sufrir daños la estructura de los diferentes trenes de tratamientos de lodos activados. [1], [3], [4]

Alternativas	Evaluacion	Justificación
Tiro Profundo	Alto riesgo	El tipo de suelo de Texcoco es arcilloso arenoso, este tipo de suelo perjudica la construcción de una fosa para el reactor secundario, ya que podría provocar hundimientos de reactor, y además la zona de Texcoco es sísmica lo que provocaría daños en la estructura del reactor biológico con el tiempo, lo cual origina riesgos importantes en el mantenimiento de la planta.
Reactor Discontinuo Secuencial (SBR)	Mínimo riesgo	Este sistema tiene riesgos mínimos en el mantenimiento de la planta ya que se pueden construir el reactor biológico sobre la superficie del terreno. No propiciando hundimientos del reactor por el tipo de suelo de Texcoco y la zona sísmica en la que se encuentra

Aireación Prolongada	Alto riesgo	Al utilizar canales de oxidación Se pueden propiciar daños en el reactor con el tiempo por la zona sísmica de la zona.
Oxigenación de alta pureza	Mínimo riesgo	Este sistema tiene riesgos mínimos en el mantenimiento de la planta ya que se pueden construir el reactor biológico sobre la superficie del terreno. No propiciado hundimientos del reactor por el tipo de suelo de Texcoco y la zona sísmica en la que se encuentra

6.3.1 Selección del Proceso.

En base al análisis de los resultados anteriores, el sistema secuencial discontinuo (SBR) ofrece grandes ventajas para su diseño final de acuerdo con lo mostrado y analizado anteriormente, las grandes ventajas que ofrece son las siguientes en cuanto a los criterios evaluados a continuación: costos de operación y mantenimiento de los aireadores en función del consumo energético, espacio del terreno y evaluación de riesgo de la zona de construcción de sufrir daños la estructura del reactor secundario. Estos son criterios muy indispensables para la elaboración del estudio técnico y la rentabilidad del sistema para tener una propuesta de diseño y construcción de un tren de tratamiento. Por estos motivos el SBR ofrece mayores ventajas de los criterios seleccionados para el diseño de un nuevo tren de tratamiento de lodos activados. Este sistema de lodos activados también se selecciono en base a la disponibilidad y funcionamiento en el mundo de este tratamiento. El SBR se ha aplicado en la industria química, petroquímica, alimenticia, láctea, farmacéutica, pulpa y papel, textil y tratamiento de aguas residuales municipales.



Figura 11. Proceso SBR. [4]

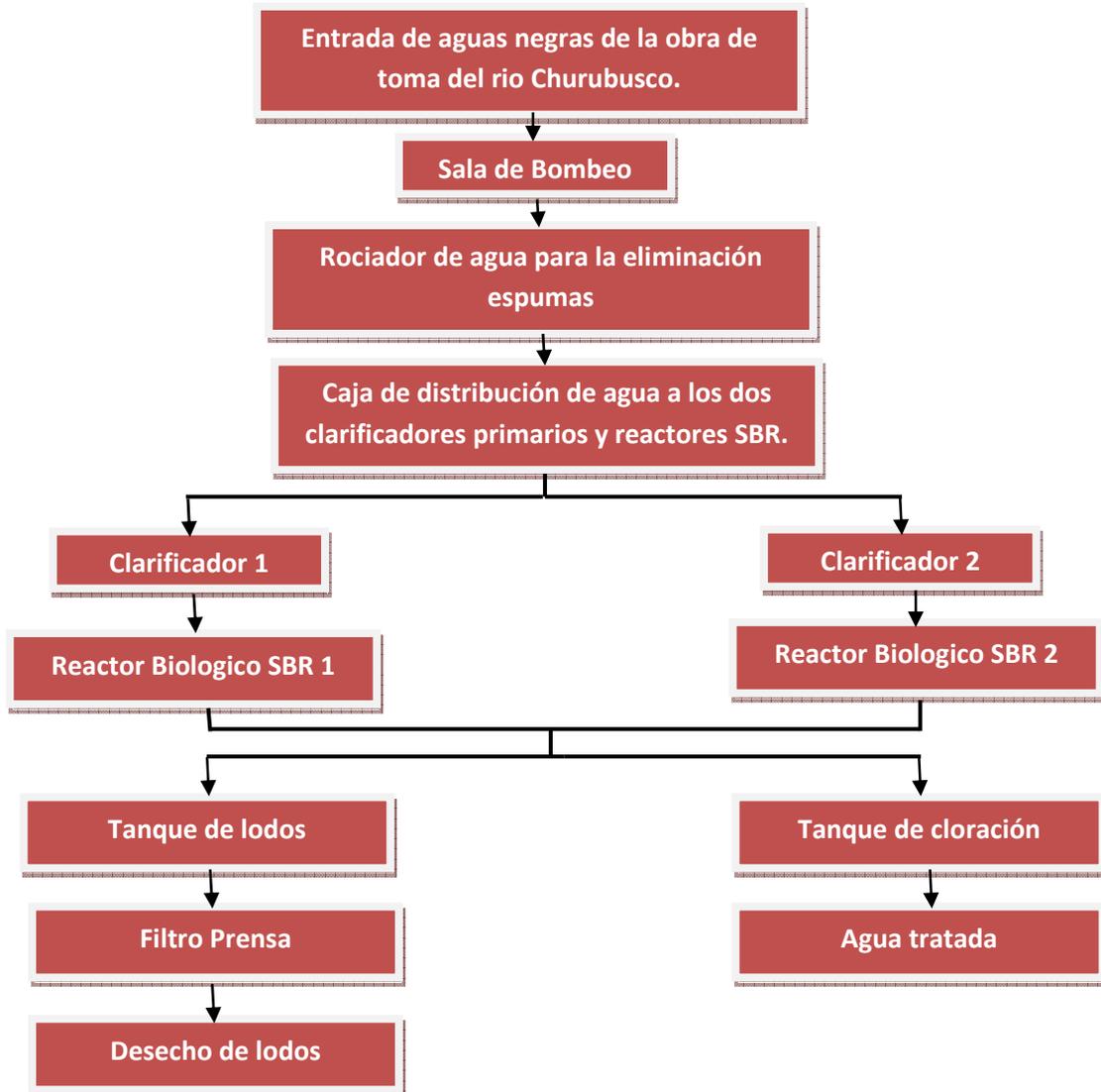
La empresa Canadiense Napier-Reid desarrolla equipos para el tratamiento de aguas residuales y ha exportado el sistema SBR a países Brasil, Alemania y algunos países asiáticos. En el XXVI Congreso Interamericano de AIDIS, Lima Perú Noviembre 1988, se presento un proyecto de investigación y desarrollo donde se expuso el diseño y construcción de un reactor discontinuo secuencial para la remoción de DBO. El presente trabajo persigue la obtención de datos que amplíen el espectro de información que se tiene en el campo de estudio de los reactores discontinuos secuenciales ya que esta técnica presenta diversas ventajas sobre el proceso de lodos activados. El desarrollo de la Investigación se llevo a cabo en las instalaciones de la empresa Diseños Ambientales, C.A., usando para ello un reactor de 50 lts., controlado con un PLC. Las mediciones que se realizaron son Sólidos Suspendidos en el reactor, DBO en la Alimentación y descarga, Oxígeno disuelto. El sistema de tratamiento tipo SBR a escala de laboratorio diseñado y construido para la realización de esta investigación, funciona adecuadamente en la realización de procesos biológicos en los que se requiere eliminación de DBO. En países como Japón y Alemania se han realizado relevamientos de las instalaciones existentes y en base a ellos se han elaborado guías técnicas para el diseño y la operación de reactores SBR para el tratamiento de aguas domésticas e industriales (Alemania, ATVM210) y sólo domésticas en Japón. Es importante destacar la el amplio espectro de parámetros operacionales seleccionados para la operación de estos reactores, con un tiempo total de ciclo que varía entre 4 y 12h (Imura et al., 1993; Umble and Ketchum, 1997).

6.4 Diseño del tren de tratamiento de lodos activados sistema de reactores discontinuos secuenciales (SBR).

Un reactor discontinuo secuencial (SBR), es un sistema de tratamiento de fangos activados cuyo funcionamiento se basa en la secuencia de ciclos de llenado y vaciado. Los procesos unitarios que intervienen son idénticos a los de un proceso convencional de lodos activados. En ambos sistemas intervienen la aireación y la sedimentación-clarificación. No obstante, existe entre ambos una importante diferencia. En las Plantas convencionales, los procesos se llevan a cabo simultáneamente en tanques separados, mientras que en los SBR, los procesos tienen lugar en el mismo tanque. Este sistema ya se detalló su descripción y funcionamiento anteriormente. Se muestra a continuación el

diagrama de bloques propuesto para el diseño en la planta de aguas negras proyecto lago de Texcoco.

6.4.1 Diagrama de bloques del sistema SBR para la planta de tratamiento de aguas negras lago de Texcoco.



6.4.2 Descripción general del proceso propuesto de tratamiento SBR.

Las operaciones unitarias del SBR son trenes de tratamiento convencionales de lodos activados, donde está compuesto por una etapa primaria, secundaria. En la primera parte del tren de tratamiento es la entrada del influente de la obra de toma que proviene del río Churubusco con un caudal de $1.5\text{m}^3/\text{s}$. Este caudal se distribuye a las diferentes zonas del tren de tratamiento en una sala de bombeo.

Uno de los problemas que tiene la planta en el pre-tratamiento es la acumulación de espumas tanto en el canal Parshall y en la planta convencional de lodos activados que está en operación actualmente. Se propuso un sistema de riego de agua con un rociador para eliminar el exceso de espumas. El siguiente paso del tren de tratamiento es distribuir el agua a las diferentes etapas del proceso, esto se hace en una caja de distribución, donde distribuye equitativamente el caudal a los clarificadores y a los reactores. Las distribuciones de caudales se dirigen a dos clarificadores primarios para la eliminación de sólidos sedimentables un tiempo aproximado de 1 hora con 20 minutos para después ser enviada el agua a dos tanque SBR en un sistema de lodos activados llamada sistema secuencial discontinuo en donde es aireada y homogeneizada un tiempo no mayor a 6 a 9 horas aproximadamente (esto es el tiempo que se toma en el llenado, mezclado, sedimentación, clarificación y purga de lodos en cada ciclo) con difusores de aire en cada tanque, luego se desecha el lodo residual en un tanque de almacenamiento de lodos y es compactado en una torta semisólida por un filtro prensa para su posterior tratamiento y por último el agua tratada es llevada al lago Nabor Carrillo, el proceso no cuenta con una recirculación de lodos con ya que este sistema esta automatizado y solo se descarga una porción del lodo de desecho.

6.4.3 Bases de Diseño

Factor de servicio

El factor de servicio es un parámetro al cual se le asigna un valor, el cual varía desde 0 hasta 1 este parámetro lo único a lo que nos hace referencia es al tiempo en el que la planta estará en operación durante un ciclo, esto quiere decir que podemos saber si la planta durara en operación un ciclo de tres meses y otro ciclo de igual tiempo se detendrá la operación, dando paso a la salida del servicio producido o de lo contrario el proceso se tendrá a la par de la salida de servicio de agua tratada esto quiere decir que conforme se está operando la planta también está saliendo el servicio de agua tratada. El factor de servicio nos da una visión de la cantidad de días trabajados durante un año y bueno esto nos puede hablar también de la cantidad que se producirá durante ese año laboral.

En la tabla 11 se puede observar el cálculo realizado del factor de servicio para la planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados por el proceso SBR. En este caso las plantas de aguas residuales deben de ser diseñadas para operar las 24 horas del día los 365 días de año, pero se debe de tomar en cuenta los periodos de mantenimiento de la planta y otros factores. Por tal motivo las plantas de aguas residuales en promedio trabajan aproximadamente 350 días al año tomando en cuenta los periodos de mantenimiento u otros factores que se puedan suscitar.

Tabla 11. Factor de Servicio

FACTOR DE SERVICIO PARA LA PLANTA	
Días Laborados	Factor de Servicio
350	0.96

6.4.4 Ubicación de la Planta de Lodos Activados por el proceso SBR.

El sitio para la construcción de la planta propuesta será ubicada cerca de la toma de agua y cuarto de bombeo, como se puede mostrar en la figura 12 esta planta se ubicara al lado de la planta de lodos activados convencional. Los factores relevantes para su ubicación se muestran a continuación:

Proximidad de la toma de agua y cuarto de bombeo. Por razones económicas, se analizo la cercanía de construcción cerca del cuarto de bombeo y toma de agua ya que se ahorraría en la red de tuberías al cuarto de bobeco si se construyera lejos del cuarto de bombeo.

Proximidad cuarto de bombeo para descargar el agua al lago Nabor Carrillo. Se encuentra a unos cuantos metros del cuarto de bobeco para la descarga al lago Nabor Carrillo

Disponibilidad de terreno. Existe el espacio suficiente para la construcción de la infraestructura para el inicio o arranque de la planta.

Servicios. Se cuenta con todos los servicios (luz, agua, drenaje, vías de acceso, etc.)

Usos de suelo. La zona donde se pretende ubicar la planta de lodos activados por el sistema SBR pertenece a un tipo de uso de suelo clasificado como pastizal inducido y cultivado.

Disponibilidad de mano de obra. Por estar ubicada cerca de una zona habitacional la planta ofrecería puestos de trabajo que beneficiarían a la gente de la localidad por la cercanía de esta.

Impacto ambiental. El impacto ambiental se considera será mínimo ya que en la zona no existe gran cantidad de vegetación o fauna.



Figura 12. Área del sitio de construcción de la planta [20]

6.4.5 Dimensionamiento de los equipos

Para dimensionar los equipos se tomaron las siguientes consideraciones para el diseño de los equipos.

- a) Capacidad instalada de la planta $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$
- b) La planta trabaja aproximadamente las 24 horas del día los 365 días el año.
- c) Tiempo estimado de llenado y vaciado del clarificador primario 1 hora 20 minutos para la remoción de sólidos.
- d) Tiempo estimado de llenado y vaciado para el reactor biológico SBR 6-9 horas para la aireación, homogenización, descarga del lodo residual y vaciado del agua clarificada.
- e) Tiempo estimado de llenado vaciado del tanque de cloración 2 horas.

f) Criterio de diseño para el dimensionamiento de cada tanque $L/D= 1.5$.

Dimensionamiento del tanque del reactor biológico SBR.

Tomando en cuenta el tiempo de llenado y vaciado, la capacidad instalada de la planta y la operación de la planta tenemos que el volumen calculado del reactor biológico es aproximadamente:

$$1.5\text{m}^3/\text{s}= 5400\text{m}^3/\text{h}$$

Como en el cuarto de distribución de la planta trata $0.75\text{ m}^3/\text{s}$ a cada tanque tenemos:

$$0.75\text{m}^3/\text{s}= 2700\text{ m}^3/\text{h}$$

$$\frac{2700\text{ m}^3}{\text{h}} = \frac{3\text{ h}}{\text{x}}$$

Como el tiempo de llenado y vaciado del reactor biológico es aproximadamente 6 horas pero solo el tanque se llena en un tiempo de 3 horas y la planta trabaja las 24 horas del día los 365 días del año aproximadamente tenemos un volumen del reactor biológico de 8000 m^3 aproximadamente.

El criterio de diseño $L/D= 1.5$ nos sirve para el cálculo del diámetro y longitud del tanque. Para esto el volumen del tanque es de:

$$V = \frac{3}{4}\pi D^2 L$$

Al dejar en función del diámetro el criterio de diseño y despejándolo en el modelo matemático del volumen tenemos:

$$V = \frac{3}{4}\pi D^2 (1.5D)$$

Como el volumen del tanque es de 8000 m^3 , despejando el diámetro del tanque, tenemos el cálculo del diámetro del reactor biológico que es de 10 m aproximadamente.

Despejando el diámetro en el criterio de diseño tenemos que la longitud del tanque es de 15 metros.

Tabla 13. Dimensionamiento del Reactor Biológico SBR

Dimensionamiento del Reactor Biológico SBR.	
Volumen del Reactor Biológico	8000 m ³
Longitud Reactor	15 m
Diámetro del Tanque	10 m

Dimensionamiento del Clarificador primario.

Tomando en cuenta el tiempo de llenado y vaciado, la capacidad instalada de la planta y la operación de la planta tenemos que el volumen calculado del reactor biológico es aproximadamente:

$$1.5\text{m}^3/\text{s} = 5400\text{m}^3/\text{h}$$

Como en el cuarto de distribución de la planta distribuye 0.75 m³/s a cada tanque tenemos:

$$0.75\text{m}^3/\text{s} = 2700 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\frac{2700 \text{ m}^3}{h} = \frac{2 \text{ h}}{x}$$

Como el tiempo de llenado y vaciado del clarificador primario es aproximadamente 2 horas y la planta trabaja las 24 horas del día los 365 días del año aproximadamente tenemos un volumen del reactor biológico de 6000 m³ aproximadamente.

El criterio de diseño L/D= 1.5 nos sirve para el cálculo del diámetro y longitud del tanque. Para esto el volumen matemático del tanque es de:

$$V = \frac{3}{4}\pi D^2 L$$

Al dejar en función del diámetro el criterio de diseño y despejándolo en el modelo matemático del volumen tenemos:

$$V = \frac{3}{4}\pi D^2 (1.5D)$$

Como el volumen del tanque es de 6000 m³, despejando el diámetro del tanque, tenemos el cálculo del diámetro del reactor biológico que es de 9 m aproximadamente.

Despejando el diámetro en el criterio de diseño tenemos que la longitud del tanque es de 13 metros.

Tabla 14. Dimensionamiento del clarificador primario.

Dimensionamiento del clarificador primario.	
Volumen del Reactor Biológico	6000 m ³
Longitud Reactor	13 m
Diámetro del Tanque	9 m

6.4.6 Diagrama de flujo y balance de materia de la Planta de lodos activados propuesta por el sistema reactor secuencial discontinuo (SBR).

Dentro de las industrias de procesos, los balances de materia son importantes auxiliares en el diseño, control, optimización y evaluación económica de los procesos propuestos y existentes, así como de decisiones sobre las operaciones que se presentan a diario, por lo que tienen repercusión directa en la producción y en la situación financiera de las compañías; en consecuencia que el profesional técnico desarrolle los conocimientos, habilidades y actitudes que le permitan realizar el cálculo de balances de materia y energía con la exactitud requerida.

La planta de lodos activados por el proceso SBR, cuenta con los parámetros convencionales de un diagrama de balance de materia del tratamiento de aguas residuales. Para ellos los parámetros y variables que se toman en cuenta son la salida y entrada del flujo, grado de contaminación DBO, sólidos suspendidos totales y cantidad de lodos.

- a) Datos experimentales y de investigación para la elaboración de los cálculos del balance de materia.

En la tabla 15 se muestran los datos de DBO que se realizaron experimentalmente de la entrada del influente de la planta de aguas negras proyecto lago de Texcoco. Este dato de DBO es un parámetro de contaminación muy importante para el balance de materia.

Tabla 15. Resultados experimentales de la DBO₅ del influente 14/02/09.

Descripción	No. Botella	Dilucion	Inicial	Final	Inicial - Final	DBO mg/l	DBO prom.
Influente	6	0.01	3.2	2.4	0.8	160.00	140.00
	7	0.03	3.2	1.4	1.8	120.00	

En la tabla 16 se muestra los resultados experimentales y datos bibliográficos para la elaboración del balance de materia. En el anexo 1 se muestra diagrama de flujo del tratamiento propuesto de lodos activados por el proceso SBR, en el se muestra los equipos, líneas de proceso, entradas de flujo con una capacidad instalada de 1.5 m³/s y las diferentes claves de los equipos que debe de contener un diagrama de flujo.

Tabla 16. Resultados experimentales y bibliográficos para el cálculo del balance de materia [6]

Flujo de entrada m ³ /s	Evaporización agua en reactores y clarificadores (%)	Eficiencia de remoción de DBO del SBR	Eficiencia de remoción SST en clarificadores primaria y secundaria.	Resultados experimentales de SST (mg/L)
1.5	5%	90%	40%	200

En el balance de materia del diagrama de balance de materia se puede apreciar la tabla de balance de materia, en ella se muestra los diferentes parámetros y variables de entrada. El primera variable de entrada es el flujo de 1.5m³/s. Datos bibliográficos demuestran que en una planta convencional de lodos activados hay pérdidas de por lo menos del 5% de agua, por lo tanto la salida del agua es de 1.425 m³/s. El segundo parámetro de entrada es el grado de contaminación más común, la DBO, esta experimentalmente se obtuvo en el influente de 140 mg/L, datos bibliográficos revelan que el reactor discontinuo secuencial tiene una eficiencia del 90% para la remoción de la DBO. Por lo tanto la DBO aproximadamente de salida es de 7mg/L de DBO, lo cual este parámetro de contaminación entra en norma. El último parámetro a considerar son los sólidos suspendidos totales. Este dato no se pudo realizar experimentalmente por carencias en el material, se obtuvo este dato ya que estas mediciones se hacen fuera de la planta en laboratorios externos. Los SST de entrada es de 350 mg/L, datos bibliográficos revelan que la remoción de SST en los clarificadores es de un 40%, por este motivo se tiene un valor de 210 mg/L fuera del reactor.

6.4.7 Diagrama De Instrumentación Y Tuberías (DTI) de la Planta de lodos activados propuesta por el sistema Reactor Secuencial Discontinuo (SBR).

UN DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN (DTI) es la representación grafica de la secuencia de equipos, tuberías y accesorios que conforman una sección de una planta (batería de separación, de compresión, rebombeo, centro operativo, centro de proceso, etc.

DISEÑO DE TUBERÍAS. El diseño de tuberías es muy importante en una planta de proceso, se puede considerar que se gasta de 40 a 60% del presupuesto total de ingeniería en el diseño y elaboración de los dibujos de tubería (dibujos de diseño). Por lo general, el dibujo de tuberías se hace con líneas simples, con excepción de los tubos grandes éstos se trazan con líneas dobles para mostrar el diámetro del tubo. En los dibujos se dan detalles y notas referentes a las especificaciones del tubo, se indican los lugares donde se tienen flexiones, así como también conexiones con accesorios. En los dibujos se usan símbolos y raras veces se muestran detalles de los accesorios. El diámetro de las bridas se dibuja a escala, de tal manera que podrán determinarse rápidamente los espacios de que se dispone. Se usan símbolos convencionales para describir válvulas. Dependiendo de la práctica a seguir, podrán o no mostrarse las dimensiones entre cara y cara de las válvulas.

6.4.7.1 Diseño del Diagrama de Tuberías e Instrumentación (DTI)

a) Diseño y Selección de las tuberías y accesorio

Selección de tuberías

Las principales variables en la selección de tuberías son: la temperatura, la presión, la corrosión y el costo. La corrosión es un problema complejo, ya que varía con la temperatura y el grado de turbulencia. La capacidad de una tubería para resistir condiciones de presión y temperatura varía con el material y es marcada a altas temperaturas y está directamente relacionada con la fatiga admisible (coeficiente de trabajo). Una verdadera medida de la economía relativa de un material es su fatiga admisible a cada temperatura dividida por el costo relativo. Este índice indica la cantidad de fatiga admisible que se puede adquirir por unidad monetaria. Otros factores, como la resistencia a la corrosión y la disponibilidad determinan la adquisición de un material. La tubería se selecciona entre las que tengan el mayor coeficiente de fatiga admisible por unidad monetaria. Estas tabulaciones deben ser actualizadas periódicamente de acuerdo a las últimas variaciones de precios.



Figura 13. Tubería Acero al Carbón

El tipo de tuberías que la planta requiere depende mucho del tipo de fluido que requiere cada proceso. En cada etapa de tratamiento de aguas residuales se maneja aguas negras en las diferentes partes del proceso, su grado de contaminación es reducida conforme pasa por los diferentes tratamientos hasta tener agua tratada al final, se requiere de una tubería donde no haya problema de corrosión y su grado de turbulencia sea el adecuado. Por estos factores y haciendo un riguroso estudio se escogió tubería con acero al carbón, esta tubería es muy usada en sistemas hidráulicos y plantas de tratamiento de aguas ya que su bajo costo y su resistencia al grado de turbulencia y a temperaturas bajas a intermedias, hacen que este tipo de tubería sea una buena elección para el traslado del flujo del agua de proceso. La cedula de la tubería es muy importante ya que esta depende mucho de la durabilidad de la tubería y costos. La cedula de la tubería es el grosor de esta de su diámetro externo e interno, hay diferentes tipos de cedulas, las hay de cedula 40 (40S) para tuberías con fluidos y gases no muy corrosivos y ácidos, y cedula de 160 o más para fluidos muy corrosivos y ácidos. Para el tratamiento y traslado de aguas negras por las tuberías se escogió cedula 80, ya que en esta parte del proceso no se manejan fluidos corrosivos y son muy utilizadas en el tratamiento de aguas residuales.

Diseño de las Tuberías

El principal variable para el diseño de una tubería es cálculo del diámetro nominal de esta. Es muy importante el cálculo de diámetro nominal de la tubería es muy importante ya que está en función del flujo, la velocidad, las características del fluido (viscosidad y densidad) y el numero de Reynolds de nuestro sistema. Hay muchas formas para el cálculo del diámetro de la tubería, muchos cálculos involucran el Reynolds y las características de fluido, otros solo con el caudal del sistema pueden y su velocidad puede calcular el diámetro por tablas ya establecidas y normalizadas. La forma para el cálculo del diámetro de la tubería se involucro la velocidad y el caudal del sistema con la siguiente formula.

$$Gv = At * D^2$$

Donde Gv= Es el flujo volumétrico del sistema en m³/s.

At= Es el área transversal de la tubería.

D= Diámetro nominal de la tubería.

Ya que el área transversal de la tubería es:

$$At = 4\pi D^2$$

Podemos despejar la ecuación del área transversal a la del flujo volumétrico y nos queda de esta manera despejando el diámetro nominal:

$$\frac{\text{---}}{\text{---}}$$

Con esta ecuación podemos calcular el diámetro nominal de cada sección de la tubería, tomemos un ejemplo para demostrarlo con los siguientes datos:

$$G_v = 1.5 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$V = 3 \text{ m/s para un Reynolds de } 10000 \text{ (flujo turbulento).}$$

Por lo tanto despejando en la ecuación anterior nos queda:

$$\frac{\text{---}}{\text{---}}$$

El diámetro nominal es de 0.7978m que es igual a 30 pulgadas aproximadamente. Esto quiere decir que se necesita tubería de 30" acero al carbón cedula 80 para cada línea de la tubería.

Selección de los accesorios de la tubería.

Para la selección de los accesorios se necesitan los cálculos y datos ya mostrados anteriormente en cuanto a la selección de la tubería, el tipo de fluido que se trate en el proceso y las necesidades del mismo proceso, que quiere decir esto, la planta de calificación de residuos sólidos necesita válvulas y accesorios dependiendo del tipo de fluido y la necesidad del sistema. El tipo de válvulas se seleccionaran mas adelante con los servicios y tipo de fluido. Los accesorios que necesita cada tubería son rotámetros para el control de medida del fluido, manómetro de presión necesarios para el control de presión de las bombas de agua y otros mecanismos del proceso, bombas centrifugas para las succión y descarga del fluido, reductores para la reducción de las tuberías de las bombas, sensores verticales para mandar las mediciones de los diferentes parámetros a controlar fuera del proceso a un panel de control y las conexiones de cada tubería como son



Figura 14. Conexión Bridada

-

temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad. Hay muchísimas conexiones de tuberías, la planta solo requería de conexiones bridadas y soldadas. La conexión bridada está compuesta por tornillos para su desmonte, es fundamental para el desarme de las tuberías y accesorios por mantenimiento de las tuberías y accesorios o problemas en el sistema de tuberías o proceso. Por estos motivos se utilizaron conexiones bridadas para la conexión de las válvulas y algunas tuberías. La Conexión Soldada es fundamental para tuberías que no necesitan de mantenimiento y donde no haya problemas en el sistema de tuberías del proceso, esta conexión es muy necesaria en la planta ya que algunas partes del sistema solo se necesitan unir las tuberías por soldadura ya que no se necesita de mantenimiento en la tubería.



Figura 15. Conexión Soldada [21]

b) Diseño y Selección de válvulas

Válvulas: dispositivo mecánico para controlar, retener, regular, o dar paso a cualquier fluido en una tubería. Existen numerosos tipos de válvulas diseñadas para cierto tipo de uso, la mala elección de estas puede llevar al mal funcionamiento y así acortar la vida útil, lo que conlleva a un aumento excesivo de costos. En la selección de la válvula se requiere de los siguientes datos: Tipo de fluido, material, presión, tipo de unión, temperatura, diámetro, etc. Hay diferentes tipos de válvulas y cada una se selecciona por el tipo de fluido que se maneje, la temperatura del fluido y la presión del sistema. Las diferentes válvulas que se escogieron para el proceso se muestran y explican a continuación.



AGUJA. Otro caso de válvulas que se crearon a partir de una modificación en la válvula de globo o que mejor dicho que es de la misma familia tenemos a la válvula tipo aguja. Las válvulas de aguja son básicamente válvulas de globo que tienen machos cónicos similares a agujas que ajustan con presión en sus asientos.

Figura 16. Válvula de aguja [21]

Se puede lograr estrangulación exacta de volúmenes pequeños debido al orificio variable que se forma entre el macho cónico y su asiento también cónico. Por lo general se utilizan como válvulas para instrumentos en sistemas hidráulicos, aunque no es recomendable para altas temperaturas. Suelen ser de bronce, acero inoxidable, latón y otras aleaciones. Este tipo de válvulas es utilizado en el control hidráulico de las tuberías de entrada de agua.

CHECK. La válvula de retención está destinada a impedir una inversión de la circulación. La circulación del líquido en el sentido deseado abre la válvula; al invertirse la circulación, se cierra. Esta válvula tiene un disco embisagrado o de charnela que se abre por completo con la presión en la tubería y se cierra cuando se interrumpe la presión y empieza la circulación inversa. Hay dos diseños: uno en "Y" que tiene una abertura de acceso en el cuerpo para el esmerilado fácil del disco sin desmontar la válvula de la tubería y un tipo de circulación en línea recta que tiene anillos de asiento reemplazables. Este tipo de válvulas son necesarias en la planta en secciones de tuberías donde se tienen que colocar bombas, ya que este tipo de válvulas son fundamentales para controlar caídas de presión e impide que la circulación del líquido abra la válvula en el sentido deseado en la descarga de la bomba, e impide una inversión de la circulación. Estas válvulas son de protección, y se ha diseñado y fabricado para proporcionar el costo y protección eficaz para la baja energía en las bombas-centrífugas.



Figura 17. Válvula de Check

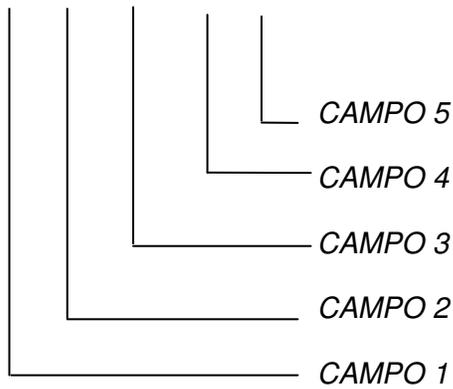
c) Codificación De Líneas De Tubería Y Válvulas.

La codificación de líneas en una tubería es muy importante para identificar las características de diseño de las tuberías y válvulas. Los códigos de tuberías y válvulas la misma planta puede proponer su propio instructivo para la codificación, pero en la mayoría de los casos estos instructivos están normados para la codificación de las válvulas y tuberías.

Codificación de Líneas de la Tubería.

Un código de tubería está compuesto por los siguientes campos:

30"-80S-WPA-CS2-001



CAMPO 1. Diámetro de la línea

Este campo numérico corresponde al Diámetro en pulgadas de la línea. Para el cálculo del diámetro se explico anterior mente, también se puede calcular el diámetro de la tubería en software de ingeniería.

CAMPO 2. Código de la cedula de la tubería

La cedula en las tuberías, es el grosor de las paredes de la misma su símbolo es "S", esta puede ser 20, 40, 80, o 120, y el tipo de cedula lo determinas según el liquido y presión que vas a manejar, por ejemplo, para los sistemas hidráulicos industriales, se utiliza tubería cedula 80 sin costuras, porque es un liquido a presión, y para un sistema de refrigeración de amoniaco, utilizas la cedula 40, tubería negra sin costuras, en este caso del amoniaco, nunca se utiliza tubería galvanizada.

CAMPO 3. Código del Fluido

Este es un código alfabético con una extensión máxima de 4 letras, que representa el fluido que se maneja en la línea. A continuación se relacionan los fluidos mas comunes. Se tienen dos posibles códigos para cada uno, según el idioma que maneje la planta.

Tabla 17. Código del fluido. [13]

FLUIDO	CODIGO 1	CODIGO 2
Acido Hidroclórico	HCL	AH
Acido Nítrico (HNO_3)	HN	AN
Acido gastado	SA	AG
Acido Sulfúrico Concentrado (H_2SO_4)	HSC	ASC
Acido Sulfúrico Diluido	HSD	ASD
Acido Sulfuroso (H_2SO_3)	HSO	HSO
Aire Industrial	A	A

<i>Aire de Instrumentos</i>	<i>IA</i>	<i>AI</i>
<i>Amoniaco</i>	<i>AM</i>	<i>AM</i>
<i>Agua hasta 125 psi</i>	<i>LPW</i>	<i>WBP</i>
<i>Agua Media Presión (101 – 450 psi)</i>	<i>MPW</i>	<i>WPM</i>
<i>Agua Alta presión (451 – 1200 psi)</i>	<i>HPW</i>	<i>WPA</i>
<i>Agua Potable</i>	<i>PW</i>	<i>WP</i>
<i>Agua Desmineralizada</i>	<i>DW</i>	<i>WD</i>
<i>Agua Caliente</i>	<i>HW</i>	<i>CW</i>
<i>Agua de sello</i>	<i>SW</i>	<i>WS</i>
<i>Agua contra incendio</i>	<i>CIW</i>	<i>WCI</i>
<i>Alimentación a caldera</i>	<i>BW</i>	<i>BW</i>
<i>Aceite Hidráulico (Hasta 1000 psi)</i>	<i>LHO</i>	<i>AHB</i>
<i>Aceite Hidráulico (De 1001 a 3000 psi)</i>	<i>HHO</i>	<i>AHA</i>

Campo 4. Código del material de Tubería

Este código identifica el material de la tubería. Este material se selecciona de acuerdo con el fluido que va a manejar y sus condiciones. A continuación se presentan los materiales de tubería más comunes y la relación con la especificación de Tubería.

Tabla 18. Código del material de la tubería. [13]

MATERIAL TUBERIA	CODIGO	ESPECIFICACION TECNICA	CARACTERISTICA
<i>Acero Carbón</i>	<i>CS1</i>	<i>9098-11-SG-101</i>	<i>150 #</i>
	<i>CS2</i> <i>CS1</i>	<i>9098-11-SG-102</i> <i>9098-11-SG-103</i>	<i>SS-304</i> <i>SS-316</i>
<i>Acero Inoxidable</i>	<i>SS1</i> <i>SS2</i>	<i>9098-11-SG-104</i> <i>9098-11-SG-105</i>	<i>SS-304</i> <i>SS-316</i>
<i>Acero Galvanizado</i>	<i>GS</i>	<i>9098-11-SG-106</i>	<i>150#</i>
<i>Titanio</i>	<i>TT</i>	<i>9098-11-SG-107</i>	<i>ASTM B337</i>
<i>PVC</i>	<i>PVC</i>	<i>9098-11-SG-108</i>	<i>Sch 80, 150#</i>
<i>Polipropileno</i>	<i>PP</i>	<i>9098-11-SG-109</i>	<i>Sch 80, 150#</i>
<i>FRP</i>	<i>FRP</i>	<i>9098-11-SG-110</i>	<i>ASTM D2310</i> <i>150#</i>

CPVC	CPV	9098-11-SG-111	ASTM D1784 150#
------	-----	----------------	--------------------

Campo 5. Consecutivo de la línea.

Representa el número consecutivo de la línea. Si la planta está codificada por áreas y tiene un número grande de líneas, se asignan rangos de consecutivos por áreas. Por ejemplo:

Para el Área 1, corresponden los consecutivos de 0 al 100.

Para el área 2, corresponden los consecutivos del 100 al 200. Etc.

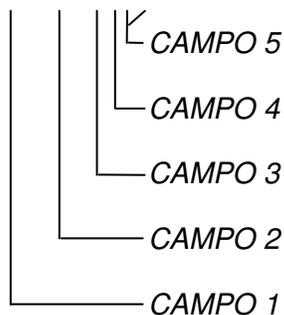
También pueden asignarse los rangos de consecutivos por diferentes clasificaciones, como fluidos, sistemas, etc.

Es recomendable iniciar la numeración por las líneas principales de proceso y continuar con las secundarias.

d) Codificación de Válvulas y Accesorios.

Un código de válvula o accesorio está compuesto por los siguientes campos:

2" - V- 3201



Campo 1. Diámetro de la válvula o accesorio

Este campo numérico corresponde al Diámetro en pulgadas de la línea. El diámetro de la válvula es el mismo es el mismo que el de la tubería ya calculada previamente.

Campo 2. Descripción

Identifica el código para el accesorio correspondiente, de acuerdo con las siguientes siglas:

V: Válvula

T: Trampa

B: Junta de expansión

RD: Disco de ruptura

RO: Platina de orificio

S: Filtro

SG: Mirilla de vidrio

Campo 3. Tipo de válvula.

Este es un código numérico de una cifra, que representa el tipo de válvula. A continuación se relacionan los tipos de válvulas mas comunes.

1: Bola

2: Mariposa

3: Diafragma

4: Cheque

5: Tapón

6: Aguja

7: Compuerta

8: Globo

9: Otro

Campo 4. Tipo de conexión

Código numérico de una cifra, que representa el tipo de conexión del accesorio a la línea. A continuación se relacionan los tipos de conexión mas comunes:

1: Roscado

2: Bridado

3: *Socked weld*

4: *A tope*

5: *Junta mecánica*

6: *Soldado*

7: *Entre bridas (Waffer)*

8: *Otro*

Campo 5. Consecutivo.

Campo numérico de dos cifras que representa el número consecutivo de la válvula o accesorio. Este consecutivo sirve para identificar alguna característica particular de un grupo de válvulas, así el código compuesto por los cuatro números (por ej: V-3201) identificará en cualquier ubicación una válvula tipo diafragma bridada recubierta internamente con FRP. En el anexo 2 se muestra diagrama de tuberías e instrumentación (DTI) propuesto de lodos activados por el proceso SBR, en el se muestra los equipos, líneas de proceso, entradas de flujo con una capacidad instalada de 1.5 m³/s y las diferentes claves de los equipos, diámetros de la tuberías calculados, así como su cedula, tipo de fluido y tipo de válvulas y accesorios. También se muestran los loops de control para indicar los controladores indicadores automáticos de temperatura, presión, flujo, pH, conductividad y oxígeno disuelto.

6.4.8 Equipo de Aireación y Mezclado

Para optimizar la eficiencia de la transferencia de oxígeno y el mezclado se utiliza un sistema de aireación con membrana de burbuja fina. El sistema de aireación por difusor tipo fijo se utiliza en todos los tipos de difusores de aire, ya sean del tipo burbuja fina. Esta configuración de sistema es adecuada para aplicación en todos los tipos de lagunas o tanques de concreto, tanques metálicos o fibra de vidrio (PRFV), o termoplásticos.

Este tipo de sistema presenta la gran ventaja de hacer posible la implantación de una mayor densidad de difusores por metro cuadrado. Este concepto permite siempre utilizar flujos unitarios por difusor menores que en el caso de la configuración flotante /removible.

De esta manera, es posible obtener menores coeficientes de flujo de aire, lo que resulta obligatoriamente en mayores índices de transferencia de oxígeno. Los sistemas fijos se ejecutan con conjuntos de tuberías de fondo de acero inoxidable o acero al carbón. Cuentan con diferenciales operativos de distribución secundarios para distribución de aire más homogénea y sistema de purga automática para una mayor flexibilidad y confiabilidad operativa.



Figura 17. Aireación por difusor Fijo [19]

Puntos Especiales de interés

- Bajo consumo de energía
- Alta eficiencia
- Excelente mezcla
- Oxígeno disuelto homogéneo
- Baja inversión financiera

Características especiales

- Manifold secundario
- Sistema de purga automática
- Difusores de membrana de alto desempeño

Aplicaciones más comunes

- Tanques de aireación
- Digestores aerobios
- Tanques de aireación por tanda
- Cajas de arena aireadas

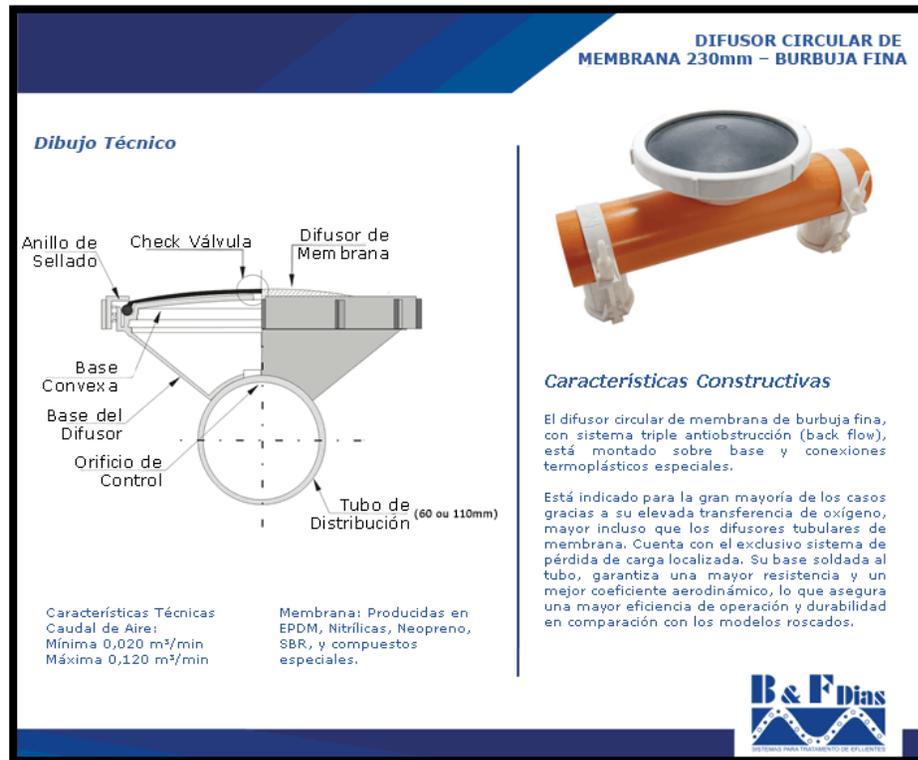


Figura 18. Difusor circular de membrana burbuja fina [19]

6.4.9 Sistema de Control

Un control lógico programable es utilizado para controlar todas las funciones del proceso SBR. Para lograr que todos los sistemas de tratamiento ocurran de forma automática se utiliza comúnmente en este tipo de procesos un sistema electrónico programable (PLC). Ventajas de este sistema automático:

- Funciona con corriente alterna de 110 V.
- Tiene entradas de 110 V en lugar de 24 V, utilizadas comúnmente.
- Puede ser programado y ajustado en el lugar donde se encuentre sin necesidad de ser conectado a un computador.
- Maneja corrientes de 8 Amp para elementos resistivos y de 2 Amp para elementos inductivos.

Para lograr mantener los niveles de vaciado y llenado se utiliza comúnmente un controlador de nivel por electrodos, marca VENETROL. Este dispositivo consta de tres electrodos de acero inoxidable colocados dentro del tanque. Una de las barras es un

electrodo común y su extremo inferior está sumergido por debajo del nivel de vaciado. Las otras dos barras indican el nivel mínimo (de vaciado), y máximo (de llenado), sus extremos inferiores están sumergidos hasta los niveles correspondientes. Estos electrodos son conectados mediante cables a un interruptor electrónico, que manda una señal de 110 V al PLC cuando el agua llega a un nivel mínimo, y cuando el nivel del agua es máximo la señal es de cero voltios.

Los arranques del agitador, el aireador y la válvula solenoide son controlados directamente por los contactores del PLC. El arranque de la bomba de agua se realiza por medio de un contactor de mayor capacidad que a su vez está controlado por el PLC.

Todos los elementos están protegidos mediante fusibles con la capacidad correspondiente para cada uno de ellos. Todo el sistema de automatización está conectado a un regulador de voltaje a excepción del agitador y la bomba de agua que, por ser elementos inductivos, no es conveniente que la alimentación de corriente pase por el regulador.



Figura 19. Sistema de control. [14]

7. NORMATIVIDAD ESTABLECIDA PARA EL AGUA DE RIEGO PARA LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.

La normatividad oficial mexicana aplicable para los límites máximos permisibles de contaminantes en las descarga de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (NOM-001-SEMARNAT-1996), la cual sirve de guía para tener valores de referencia y establecer en que condiciones se da el proceso de tratamiento de aguas negras por lodos activados y los grados de contaminantes básicos descargados al lago Nabor Carrillo, el cual es un bien nacional que sirve para el rescate de las especies pertenecientes al ex-lago de Texcoco y que por lo tanto es de gran importancia conocer las cantidades que se descargan, además que esta agua tratada podría servir para algo mas que la recarga del lago Nabor Carrillo como puede ser de uso agrícola para el territorio circundante en la zona.

Tabla 19. Límites Máximos Permisibles para Contaminantes Básicos de la NOM-001-SEMARNAT-1996 [15]

Límites Máximos Permisibles para Contaminantes Básicos	
Parámetros	Uso en Riego Agrícola (Promedio por día)
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	200
Demanda Química del Oxígeno (mg/l)	200

En el XXVI Congreso Interamericano de AIDIS, Lima Perú Noviembre 1988, se presentó un proyecto de investigación y desarrollo donde se expuso el diseño y construcción de un reactor discontinuo secuencial para la remoción de DBO. El presente trabajo persigue la obtención de datos que amplíen el espectro de información que se tiene en el campo de estudio de los reactores discontinuos secuenciales ya que esta técnica presenta diversas ventajas sobre el proceso de lodos activados. Las mediciones que se realizaron son Sólidos Suspendidos en el reactor, DBO en la Alimentación y descarga, Oxígeno disuelto.

En la tabla se muestran los principales parámetros de contaminación realizados en el proyecto presentado en el congreso, revisando estos parámetros y al compararla con la norma anterior, se concluye que el SBR con un 97% de eficiencia que revela el proyecto si cumple con la normatividad para agua de riego para la planta de aguas negras proyecto lago de Texcoco.

Tabla 20. Resultados de la calidad del agua del SBR. [16]

PARAMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE SBR		
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l) Descarga	DQO (mg/l) Descarga	Oxígeno Disuelto (mg/l) Descarga
132	16	2

8. CONCLUSIONES

- Se hizo la revisión de diferentes alternativas de tratamiento de aguas residuales por lodos activados (proceso de tiro profundo, sistema de reactores por lotes discontinuos, aireación prolongada y oxigenación de alta pureza) donde se selecciono la alternativa por un estudio técnico y económico.

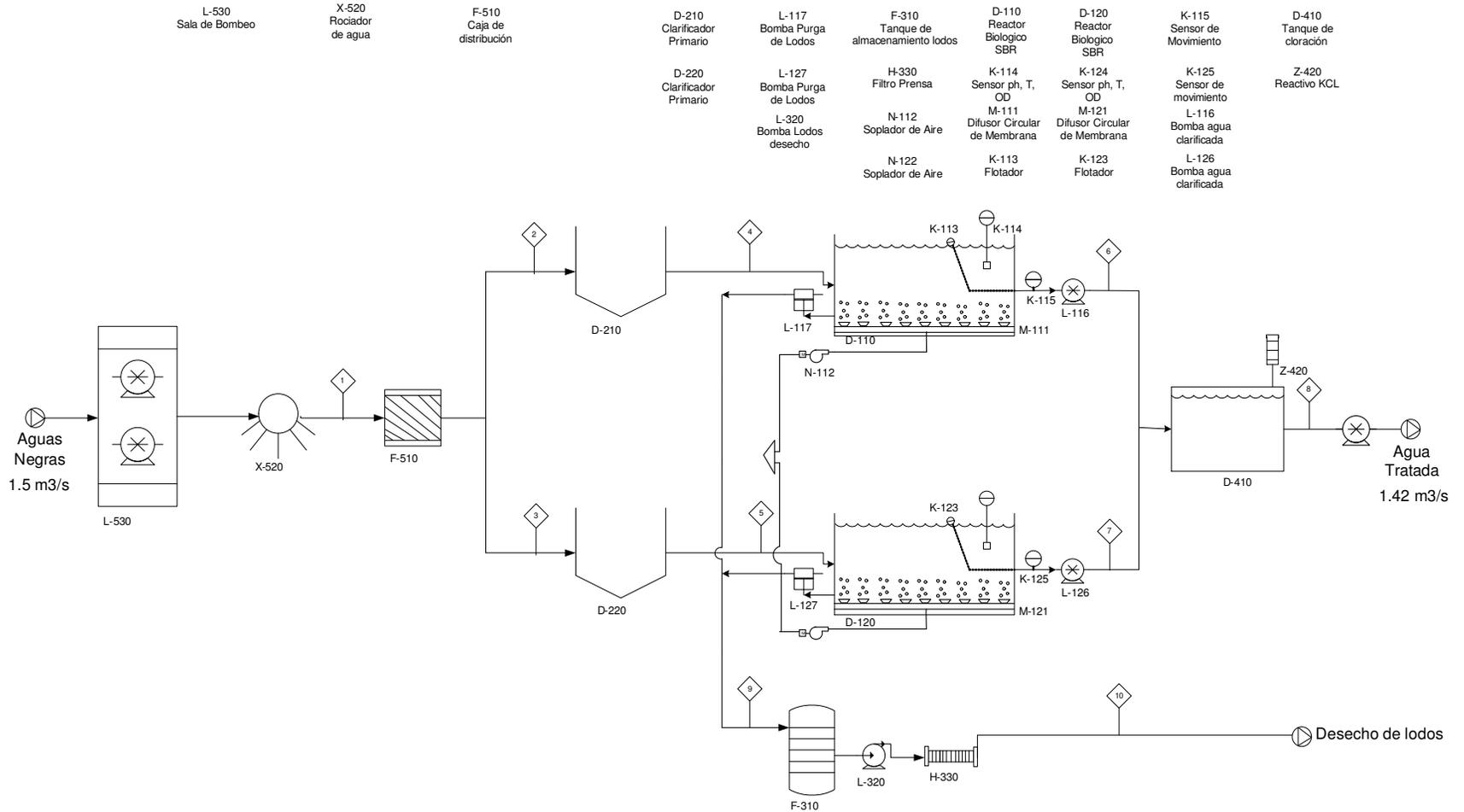
- De acuerdo con este análisis de las diferentes alternativas por el estudio técnico y económico se selecciono y trabajo en el diseño del proceso de SBR.
- El proceso SBR ofrece las características suficientes para cumplir con las metas establecidas en cuanto al aumento de la capacidad de la planta con respecto a la que opera actualmente, el ahorro energético en cuento al estudio económico y su bajo requerimiento de área en cuento a sus operaciones unitarias en cuento al estudio técnico.
- Para el diseño del sistema SBR se realizo balances de materia utilizando datos de caudales propuestos, DBO y SST realizados experimentalmente en el laboratorio de la planta, en cuanto al dimensionamiento de los equipos solo se diseñaron tanques del clarificador secundario y reactor SBR ya que como esta alternativa solo es una propuesta mediante la revisión bibliográfica no se tiene datos experimentales para la cinética del reactor para el dimensionamiento de los demás equipos.
- La propuesta seleccionada (SBR) cumple con la normatividad para agua de riego de acuerdo con el proyecto expuesto en el XXVI Congreso Interamericano de AIDIS, Lima Perú Noviembre 1988.
- La selección de esta alternativa es fundamental para contar con una propuesta para contar con más caudal disponible para agua de riego y abastecer de agua de riego al lago Nabor Carrillo.
- Si se me brinda la oportunidad de continuar con este proyecto se puede realizar de modo experimental la realización de este sistema a nivel de planta piloto ya que solo este proyecto abarca la revisión bibliográfica de tratamientos y el diseño a nivel de ingeniería básica de la alternativa seleccionada.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Daniel Muciño. **Sistemas de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina, Estudio General del Lago de Texcoco.** México, junio 2001. Pp 64.
2. Michael Winkler. **Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho.** Departamento de Ingeniería de la universidad de Survey. Editorial LIMUSA. México 1995. Pp 338.
3. Gael D Ulrich. **Diseño y Economía de los Procesos de Ingeniería Química.** Editorial Mc Graw-Hill. Primera Edición. México 1992. Pp 513.
4. R. S Ramalho. **Tratamiento de aguas residuales.** Ed Reverte. México 2003. Págs. 705
5. Metcalf y eddy. **Ingeniería de las Aguas Residuales.** McGraw-Hill. España, 1995. Vol.1 y 2
6. U.S. enviromental protection agency: **Secuencing Batch Reactors,** EPA/625/8-86/011, Cincinnati, OH.
7. Rivas mijares, g. **Tratamiento de Aguas Residuales.** Ediciones Vega. 2da edición. España, 1978. Pp 303 – 405.
8. Ronzano, Eduardo y José L. Dapena. **Tratamiento Biológico de Aguas de Residuales.** PIDESA. España, 1995. Pp 89
9. FAIR G, y otros. **Ingeniería Sanitaria de Aguas Residuales.** Editorial LIMUSA; volumen 1 y 2, primera edición.
10. Febbut. Thy. **Fundamentos del Control de Calidad del Agua.** Primera edición. Editorial LIMUSA. México, 1990.

11. Hernán. **Manual de Tratamiento de Aguas Negras**. Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. Editorial LIMUSA – Wiley S.A. primera edición. U.S.A. 1973.
12. Belgis Chial Z. **Tecnologías en el Tratamiento de aguas Residuales**. Integrated Technical Service. Panama. 2003.
13. Ing. Oscar Morales Galindo. **Criterios de Diseño para la Elaborar Diagramas: Tuberías e Instrumentación. Servicios Especializados en Asesorías y Capacitación SEAC**. Mexico 2008.
14. Napier Reid Wastewater Treatment. **Reactor de Secuencia Tipo (SBR)**. Ontario Canadá 2007. Páginas 8. www.napier-reid.com.
15. Rafael Dautan, M.L.Pérez, A. Contreras, A. Marzana, B. Rincones. **Diseño y construccion de un reactor Discontinuo secuencial para remoción de DBO**. XXVI Congreso Interamericano de AIDIS, LIMA, PERU Noviembre 1988. El Trigal Centro, Calle Pocaterra No 82-89. Valencia, Estado Carabobo, Venezuela. Páginas 18.
16. **NOM-001-SEMARNAT-1996**
17. **www.imta.gob.mx**
18. **www.cepis.org.pe/SDE/ops-sde/bvsde.shtml**
19. **<http://www.bfdias.com.br/esp/>**
20. **www.cna.gob.mx/**
21. **[www. google.com](http://www.google.com) (imágenes).**

ANEXO 1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS DE LODOS ACTIVADOS POR EL SISTEMA REACTORES SECUENCIALES DISCONTINOS



Composicion	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10						
	%	m ³ /s	mg/L	mg/L	%	m ³ /s	mg/L	mg/L	%	m ³ /s	mg/L	mg/L	%	m ³ /s	mg/L	mg/L	%	m ³ /s	mg/L	kg/m ³	%	m ³ /s	mg/L	kg	
Flujos	100	1.5			50	0.75			50	0.75			50	0.71			50	1.42							
DBO	100		140		100		140		100		140		1	1.4			1	1.4							
SST	100			350			350	350	100			350	60			350	60			210	5			10.5	5
Lodos desecho																					15			1200	--

Tabla Anexo 2a. Lista de Válvulas

LISTA DE VALVULAS		
CLAVES	CLASE DE VALVULA	DESCRIPCION
V-1	Aguja	Conexión Bridada
V-2	Bola	Conexión Bridada
V-3	Bola	Conexión Bridada
V-4	Bola	Conexión Bridada
V-5	Bola	Conexión Bridada
V-6	Aguja	Conexión Bridada
V-7	Aguja	Conexión Bridada
V-8	Globo	Conexión Bridada
V-9	Globo	Conexión Bridada
V-10	Globo	Conexión Bridada
V-11	Aguja	Conexión Bridada
V-12	Aguja	Conexión Bridada
V-13	Aguja	Conexión Bridada
V-14	Globo	Conexión Bridada
V-15	Aguja	Conexión Bridada
V-16	Globo	Conexión Bridada
V-17	Aguja	Conexión Bridada
V-18	Aguja	Conexión Bridada

Tabla Anexo 2b. Lista de Instrumentos

LISTA DE INSTRUMENTOS		
CLAVE	TIPO DE INSTRUMENTO	SERVICIO
S-1	Sensor vortical	Registro de parámetros
F-1	Rotámetro	Registro Flujo
R-1	Reductor	Reductor de Tuberías
R-2	Reductor	Reductor de Tuberías
R-3	Reductor	Reductor de Tuberías
R-4	Reductor	Reductor de Tuberías
R-5	Reductor	Reductor de Tuberías
R-6	Reductor	Reductor de Tuberías
R-7	Reductor	Desplazamiento Agua
R-8	Bomba	Desplazamiento Agua
R-9	Reductor	Desplazamiento Agua
R-10	Bomba	Desplazamiento Agua
E-1	Bomba	Desplazamiento Agua
E-2	Bomba	Desplazamiento Agua
E-3	Bomba	Desplazamiento Agua
E-4	Bomba	Desplazamiento Agua