



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

INGENIERÍA CONCEPTUAL PARA UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE EFLUENTES EN UNA TERMINAL
DE ALMACENAMIENTO DE GASOLINAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO.

P R E S E N T A :

ISAAC MATEO BARRIOS CASTILLO

DIRECTOR DE TESIS:

M. EN I. JOSÉ ANTONIO ORTÍZ RAMÍREZ



MÉXICO, D.F.

2009.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A todos y cada uno de los Ingenieros que han dedicado su esfuerzo y tiempo en nuestra formación, reciban mi más honesto agradecimiento.

Al M. en I. José Antonio Ortiz Ramírez, por su cooperación enfocada a la realización de este proyecto, que entrega un nuevo Ingeniero. Su esfuerzo constante ha hecho una gran diferencia en los que hemos tenido la oportunidad de conocerle, gracias.

A todos mis compañeros y personal de la FES Zaragoza, que en su momento aportaron valiosos elementos técnicos y humanos para mi formación.

A los distinguidos Ingenieros y Maestros del Jurado, cuyas observaciones y experiencia permitieron pulir este trabajo.

A la gloriosa Universidad Nacional Autónoma de México, indeleble en mi pasado, presente y futuro, mi eterno cariño, respeto y admiración.

DEDICATORIAS

A mi Madre: porque ni todas las palabras existentes en todos los idiomas del mundo y conjugadas de infinitas formas pueden expresar el amor y agradecimiento que siento hacia ti.

A mi Abue: porque es la rama inquebrantable de este árbol al que pertenezco, y que aún a sus años, me impulsa, soporta y aconseja con la jovialidad que muchos quisieran a mis años.

A toda la familia Castillo: porque con la mayoría de sus aciertos y su teoría de auto superación continua perfecta, me han hecho llegar a este punto de mi vida.

A mi hermano: sigue el buen ejemplo...

A mis prim@s: porque además de mis prim@s son mis amig@s en las buenas y herman@s en las malas, especialmente Berna, Carlitos y César, se que tengo una deuda de vida con ustedes. Compadre Angie. Monse y Mi...

A mis amigos: no los puedo nombrar a todos, pero esto se lo dedico a su amistad, especialmente al ghetto que me acompaña... y a los amig@s que han llegado recientemente a mi vida.

A Ingrid: para que cuando tengas esto en tus manos, sepas que ni un segundo de cada minuto que acompaña las horas que hacen mis días, he dejado de pensar en ti...

A Florecita Zoé: porque tu cariñito de bebe le trae felicidad a mi espacio – tiempo.

A ti Hermosi: ¿hasta donde vamos a llegar?...

ÍNDICE

Agradecimientos	i
Dedicatorias	ii
Índice	iii
Índice de figuras y tablas	ix
Nomenclatura	x
Resumen	xii
Introducción	1
1.- Capítulo Primero: Antecedentes	6
1.1 Objetivo	7
1.2 Enfoque	7
1.3 Situación actual del agua	7
1.4 Historia	9
1.5 Reutilización de agua en PEMEX	10
2.- Capítulo Segundo: Características de una Terminal de Almacenamiento de Gasolinas (TAD)	15
2.1 Petróleo	16
2.2 PEMEX	19
2.3 Características de una TAD	20
2.3.1 Terminal de Almacenamiento y Distribución Satélite Sur	21
2.3.1.1 Política de Calidad, Seguridad, Salud y Medio Ambiente	22
2.3.1.2 Política de PEMEX SSPA	23
2.3.1.3 Ubicación	23

2.3.1.4 Instalaciones de la Terminal de Almacenamiento y Distribución Barranca del Muerto “Satélite Sur”	24
2.3.2 Terminal de Almacenamiento y Distribución 18 de Marzo	26
2.3.2.1 Ubicación	27
2.3.2.2 Área de recibo y medición	28
2.3.2.3 Almacenamiento	29
2.3.2.4 Sistemas de seguridad en tanques	29
2.3.2.5 Área de distribución	31
2.3.2.6 Área de descargaderas	32
2.3.2.7 Edificios, servicios y sistemas	32
2.3.3 Terminal de Almacenamiento y Distribución Tula Hidalgo	35
2.3.3.1 Ubicación	35
2.3.3.2 Instalaciones	36
2.3.3.3 Área de influencia	38
2.3.3.4 Sistema integral de medición y control de operaciones en terminales	39
2.3.3.5 Sistema integral de administración de la seguridad industrial y protección ambiental	39
2.3.3.6 Organización Internacional de Normalización (ISO – 9000)	40
2.3.3.7 Seguridad	40
2.3.3.8 Protección ambiental	40
2.3.3.9 Mantenimiento	41
2.3.4 Terminal de Almacenamiento y Distribución en Xalapa Veracruz	41
2.3.4.1 Ubicación	41
2.3.4.2 Área de influencia	42

2.3.4.3	Abastecimiento de productos	42
2.3.4.4	Capacidad operativa de almacenamiento	43
2.3.4.5	Posiciones de llenado	43
2.3.4.6	Auto tanque de reparto local	43
2.3.4.7	Capacidad instalada de seguridad	43
2.3.5	Terminal de Almacenamiento y Distribución en Lerma Campeche	45
2.3.5.1	Ubicación	45
2.3.5.2	Área de influencia	45
2.3.5.3	Capacidad	46
2.3.5.3.1	Franquicia PEMEX	46
2.3.5.3.2	Ventas promedio diarias	46
2.3.5.3.3	Volumen mensual comercializado de producto	46
2.3.5.3.4	Abastecimiento de producto	47
2.3.5.3.5	Capacidad operativa de almacenamiento	47
2.3.5.4	Posiciones de llenado	47
2.3.5.4.1	Auto tanques de llenado total	47
2.3.5.5	Capacidad instalada de seguridad	48
2.3.5.5.1	Operación en instalaciones	48
2.3.6	Terminal de Almacenamiento y Distribución "El Sardinero", Veracruz	48
2.3.6.1	Área de influencia	48
2.3.6.2	Capacidad	48
2.3.6.3	Importancia	49
2.4	Características de los productos manejados en una TAD	50
3.-	Capítulo tercero: Normatividad vigente	51
3.1	Necesidad de legislación en materia de agua	52

3.2 Legislación de aguas residuales	52
3.2.1 Norma Oficial Mexicana NOM – 001 – ECOL – 1996	53
3.2.2 Norma Oficial Mexicana NOM – 002 – SEMARNAT – 1996	53
3.2.3 Norma Oficial Mexicana NOM – 003 – SEMARNAT – 1997	54
3.2.4 Norma Oficial Mexicana NOM – 052 – SEMARNAT – 2005	54
3.2.5 Norma Mexicana NMX – AA – 003 – 1980	54
3.2.6 Norma Oficial Mexicana NOM – 004 – SEMARNAT – 2002	55
3.2.7 Norma de Referencia NRF – 009 – PEMEX – 2004	55
4.- Capítulo cuarto: Caso de estudio	57
4.1 Información base del caso de estudio	58
4.2 Tratamiento primario: balance de materia para un clarificador primario	58
4.3 Tratamiento secundario: proceso de lodos activados	59
4.4 Descripción del diagrama de flujo de la figura cuatro	62
4.5 Formulación de un reactor biológico continuo	65
4.6 Balance de materia para determinar el consumo de oxígeno	67
4.7 Balance de materia para la determinación de producción de biomasa	68
4.8 Relación para calcular condiciones óptimas de decantación de lodo	69
4.9 Balance de materia para Q_0	70
4.10 Balance de materia para S_0	70
4.11 Balance de materia para X_{v0} y X_{Nv0}	71
4.12 Ecuación de diseño para la producción neta de biomasa	71
4.13 Ecuación de diseño para la utilización de oxígeno	71
4.14 Ecuación de la relación A/M	72
4.15 Balance de materia para la producción total de lodos	73
4.16 Ecuación de diseño para la relación de reciclado r	73

4.17 Ecuaciones de diseño para Q_w y Q_e	73
4.18 Cálculo del tiempo de residencia en el reactor	73
4.19 Balance de materia para sólidos no volátiles en suspensión	74
4.20 Programa en hoja de cálculo de Microsoft Office Excel 2007™	74
4.21 Distintos escenarios para el desarrollo de alternativas en la planta de tratamiento existente	75
5.- Capítulo quinto: Ingeniería conceptual de la planta de tratamiento de efluentes	76
5.1 Diagrama de flujo de proceso que describe el escenario uno	77
5.2 Diagrama de flujo de proceso que describe el escenario dos	79
5.3 Diagrama de flujo de proceso que describe el escenario tres	81
6.- Capítulo sexto: Análisis de resultados	83
6.1 Resultados sobre el caso de estudio	84
6.1.1 Resultados obtenidos en función del aumento en la magnitud del caudal de alimentación Q_0	99
6.1.2 Gráficas de los resultados obtenidos concernientes al clarificador primario	99
6.2 Resultados obtenidos para el sistema de lodos activados	105
6.2.1 Gráficas de los resultados obtenidos concernientes al sistema de lodos activados	106
6.3 Resultados obtenidos para el caso planteado como escenario uno	116
6.4 Resultados obtenidos para el caso planteado como escenario dos	132
6.5 Resultados obtenidos para el caso planteado como escenario tres	147
6.6 Reseña del sistema Aqwise™ como alternativa de complemento al tratamiento de aguas residuales	166

7.-Capítulo séptimo: Conclusiones	168
7.1 Conclusiones	169
8.- Bibliografía	171

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

TABLAS

1.- Densidad distintos tipos de petróleo	18
2.- Volúmenes de venta y traspaso TAD Tula	37
3.- Estadísticas de transporte de productos TAD Tula	38
4.- Equipo de laboratorio en TAD Tula	38
5.- Clasificación de los clientes en la TAD Tula	39

IMAGENES

1.- Ubicación TAD Satélite Sur	24
2.- Ubicación TAD 18 de Marzo	27
3.- Ubicación TAD Sardinero, Veracruz	49
4.- Aqwise Biomass Carrier	166
5.- Comportamiento de los transportadores de biomasa en el reactor	167

FIGURAS

1.- Organigrama TAD Satélite Sur	21
2.- Tanque de almacenamiento de hidrocarburos	30
3.- Balance de materia para un clarificador primario	58
4.- Proceso convencional de lodos activados y definición de símbolos	60
5.- Diagrama de flujo de proceso 1	77
6.- Diagrama de flujo de proceso 2	79
7.- Diagrama de flujo de proceso 3	81

NOMENCLATURA

AFFF: Tipo de espuma contra incendio

A/M: Relación de Alimento a Microorganismos

API: American Petroleum Institute

ASA: Aeropuertos y Servicios Auxiliares

BLS: Barriles

CFE: Comisión Federal de Electricidad

COPE: Combustible Pesado

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DON: Demanda de Oxígeno para Nitrógeno

EMA: Entidad Mexicana de Acreditación

FFCC: Ferrocarriles

ISO: del griego "igual" aunque se interpreta como Organización Internacional de Estandarización.

IVL: Índice volumétrico de lodos

LP: Licuado de petróleo

NMX: Norma mexicana

NFPA: National Fire Protection Association

NOM: Norma Oficial Mexicana

NRF: Norma de referencia

PEMEX: Petróleos Mexicanos

pH: potencial de Hidrógeno

PTAR: Plantas de tratamiento de aguas residuales

RMH: Reactor mezcla homogénea

RFCTA: Reactor flujo continuo tanque agitado

SSPA: Seguridad, salud y protección ambiental

SIMCOT: Sistema interno de medición de control de operación en terminales

SIASPA: Sistema integral de administración de seguridad y protección al ambiente

SEMARNAT: Secretaría de medio ambiente y recursos naturales

TAD: Terminal de almacenamiento y distribución

UBA: Ultra baja en azufre

VSZ: Velocidad de sedimentación por zonas

RESUMEN

El propósito de este trabajo es dar a conocer la relevancia del establecimiento de la ingeniería conceptual, aunada al tratamiento de aguas residuales por el sistema de lodos activados.

Los enfoques de la ingeniería conceptual son diversos, variando de una firma de ingeniería a otra, de despacho ingenieril a otro e incluso de universidad a universidad alrededor del mundo, esto se debe a que no existe un libro de texto, artículo arbitrado o metodología que unifique criterios sobre el alcance de una ingeniería conceptual. De manera general se abarcan los siguientes aspectos: objetivos del proyecto, tipo de tecnología a aplicar, normatividad técnico – jurídica aplicable, evaluación técnica y estudio económico – financiero.

Una vez definido lo anterior, el alcance de este trabajo se delimita a los objetivos de proyecto, tipo de tecnología a aplicar, normatividad nacional vigente y evaluación técnica.

Para cumplir con el alcance de este trabajo, doy a conocer los antecedentes en materia de reutilización de aguas residuales, características de las Terminales de Almacenamiento y Distribución de Gasolinas (TAD) y productos que manejan, normatividad vigente, ya que esta marca la pauta referida a que si la evaluación técnica es viable o no, y por último se desarrolló un programa en hoja de cálculo de Microsoft Office Excel 2007 resultado de un algoritmo descifrado a partir de la literatura existente en esta materia.

En concreto, el objetivo que persigue este trabajo es el establecimiento de una ingeniería conceptual para una planta de tratamiento de efluentes en una Terminal de Almacenamiento y Distribución de Gasolinas (TAD), que sea el cimiento o base de las etapas posteriores de la ingeniería, a fin de proveer en un futuro cercano, un tratamiento integral de los efluentes en dicha terminal, y que como objetivo primordial, pueda concretar con la reutilización del agua como fuente interna de riego.

Como resultado principal se ha llegado al planteamiento de tres escenarios, los cuales son precursores de un caso más, el caso de estudio, que con sus respectivos estudios de etapas posteriores de ingeniería, estudios económicos y financieros, adoptarán el escenario más apegado a la realidad de sus necesidades y concretará en la ampliación, remodelación, reconstrucción o creación de una planta de tratamiento de efluentes en una terminal de almacenamiento de gasolinas (TAD).

Si bien en cada escenario planteado, adecuándolo a las exigencias primordiales que son las establecidas por las Normas Oficiales Mexicanas para reutilización de aguas residuales tratadas, se concretó en un valor que satisface estos requerimientos, se hace una introducción a modo de recomendación de la alternativa de tratamiento del proceso ofrecido por Aqwise™ el cuál ofrece el incremento en la capacidad de tratamiento de agua residual por encima del 50%, una optimización de los reactores existentes y reactores en proyecto, que va del 30 – 60% superior a la establecida, todo ello dependiendo de cada caso en particular.

INTRODUCCION

Esta Tesis Profesional para la obtención del grado de Ingeniero Químico, tiene como pilares ocho capítulos, el primero de ellos, nos da una panorámica de lo que la industria petrolera significa para México y de los esfuerzos que PEMEX realiza en materia de conservación y cuidado del medio ambiente, aborda el tema de la situación actual del agua a nivel nacional, con breves apuntes en lo que se refiere al ámbito internacional, la historia del tratamiento de aguas residuales también es abordada dentro de este capítulo así como la reutilización del agua dentro de las instalaciones de PEMEX.

El capítulo segundo nos detalla en la medida de lo posible, las características principales de una Terminal de Almacenamiento y Distribución de Hidrocarburos, como se distribuyen a lo largo del territorio nacional, diferencias y capacidades de almacenamiento y distribución de algunas, una breve pero concreta definición del petróleo y los derivados que estas terminales manejan, políticas internas de trabajo y ubicaciones exactas de algunas terminales de almacenamiento.

Como tercer capítulo se abordan las leyes vigentes en materia de aguas residuales en el territorio nacional, se detallan los aspectos más importantes de cada una de estas normas y se enlistan a detalle en el apéndice electrónico de esta Tesis Profesional.

El contenido del capítulo cuarto, denominado caso de estudio, plantea y analiza la información básica necesaria para el diseño y entendimiento de un sistema de clarificación primaria y lodos activados, se cuestiona el funcionamiento de este sistema en tres escenarios.

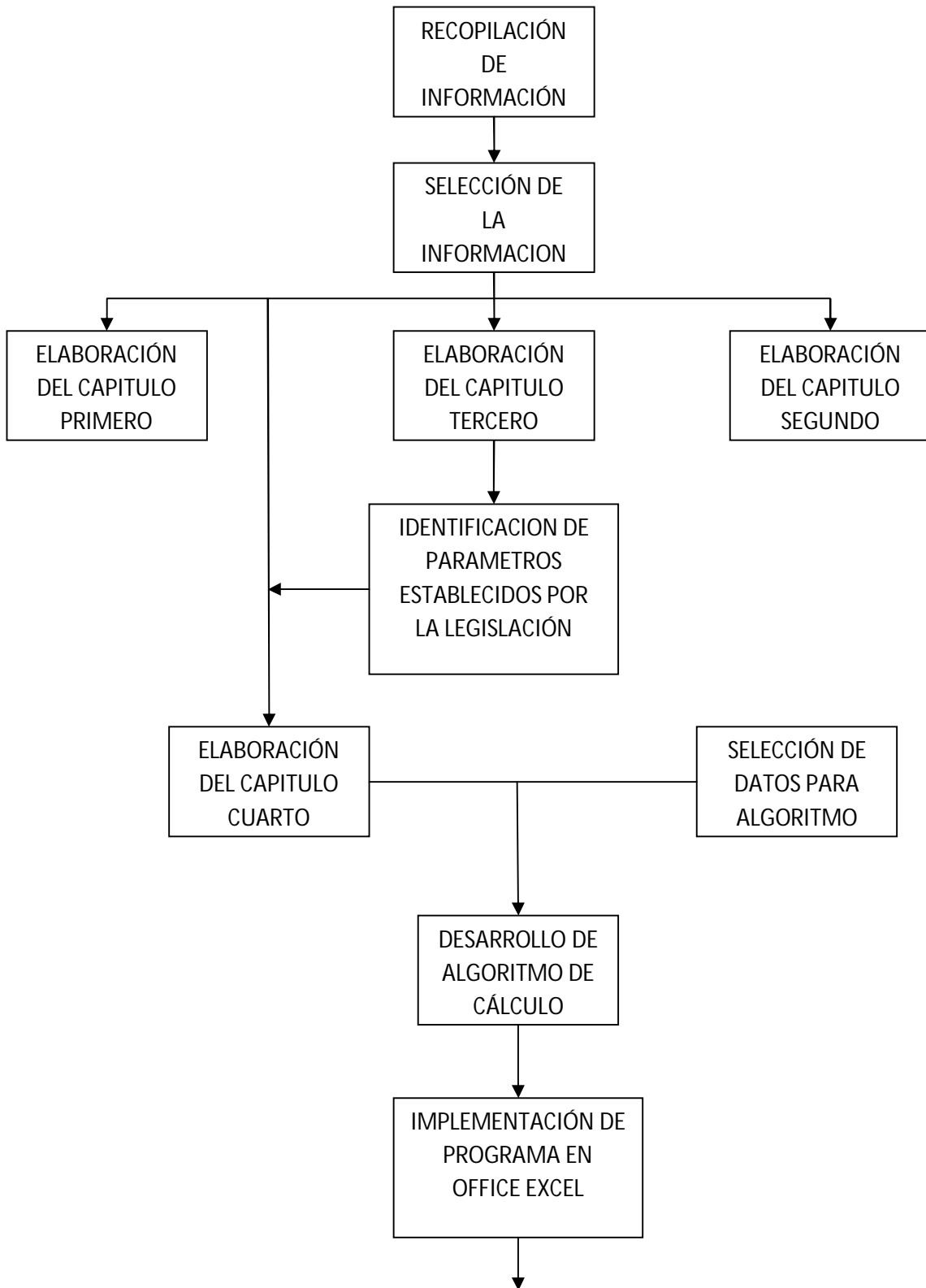
La ingeniería conceptual que titula el quinto capítulo de esta Tesis, es la representación gráfica de diagramas de flujo de proceso elaborados respectivamente para los casos de escenarios planteados en el capítulo anterior.

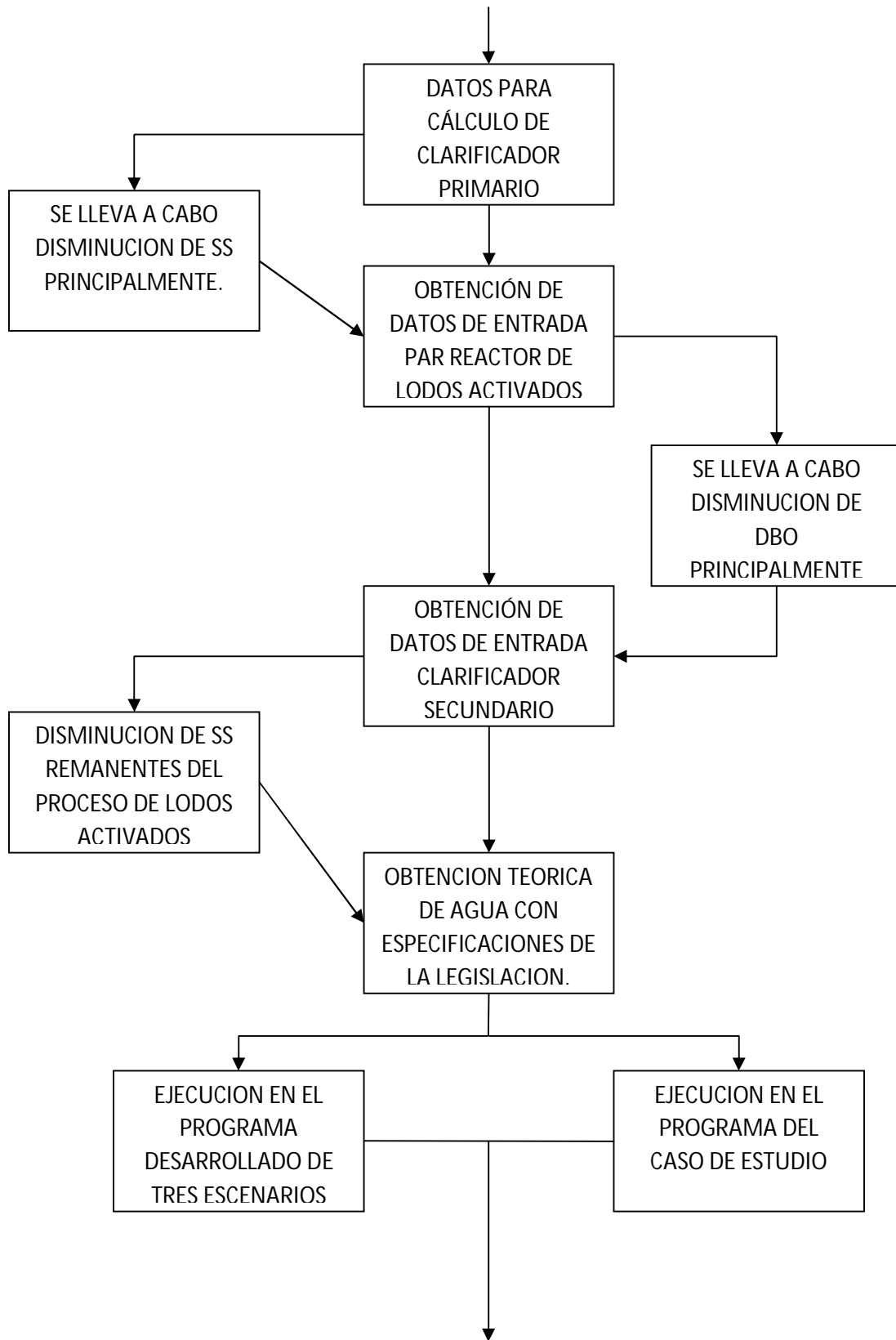
El capítulo sexto, está dedicado a plasmar los resultados obtenidos de manera gráfica y escrita, a fin de lograr un entendimiento mucho más amplio de lo realizado en este trabajo.

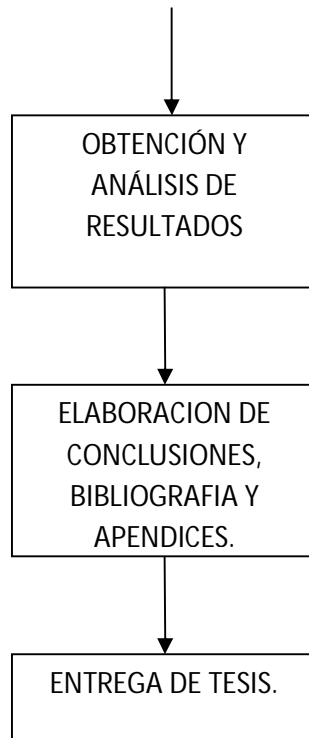
Las conclusiones que arrojó esta labor de cerca de un año de trabajo están plasmadas en el capítulo séptimo.

Por último, la bibliografía anotada no es más que una parte de toda la información disponible en relación al tratamiento de aguas residuales.

Estrategia general de trabajo







El objetivo del planteamiento de tres escenarios es el de realizar un análisis de sensibilidad de variables.

Los datos de los tres escenarios son supuestos, y los datos del caso de estudio son similares a los datos reales de la planta de tratamiento de efluentes en la TAD "Sardinero", Veracruz.

CAPITULO PRIMERO: ANTECEDENTES

1.1 OBJETIVO

El desarrollo de esta Tesis Profesional busca colaborar, con el establecimiento de una ingeniería conceptual para una planta de tratamiento de efluentes en una Terminal de Almacenamiento y Distribución de Gasolinas (TAD), que sea el cimiento o base de las etapas posteriores de la ingeniería, a fin de proveer en un futuro cercano, un tratamiento integral de los efluentes en dicha terminal, y que como objetivo primordial, pueda concretar con la reutilización del agua como fuente interna de riego.

1.2 ENFOQUE

La industria petrolera en México es muy importante para nuestro país, PEMEX es la empresa encargada de la exploración, extracción, transformación, distribución, y venta de petróleo y sus derivados. En dichos procedimientos de manejo del petróleo existe un problema muy serio de contaminación ambiental. Es por eso que actualmente ha aumentado la preocupación por minimizar tal impacto ambiental producido por la explotación y transformación del petróleo. Principalmente los esfuerzos se han enfocado en la limpieza de suelos y agua contaminados con hidrocarburos^[1].

A pesar de los avances científicos en áreas como la biotecnología, la ingeniería o la ciencia de los materiales, la reutilización de las aguas regeneradas no es todavía una práctica común. Hasta el momento las soluciones a los problemas de suministro de agua dentro del sector hidráulico han recaído básicamente en áreas del conocimiento como la ingeniería civil o la ingeniería agrícola, donde las soluciones están enfocadas hacia la explotación de fuentes convencionales. La participación de otras corrientes del conocimiento permitirá, mediante un trabajo multidisciplinario e interdisciplinario, un cambio en los paradigmas para incorporar la práctica de regenerar y reutilizar las aguas residuales dentro de la gestión integral del agua^[2].

1.3 SITUACIÓN ACTUAL DEL AGUA

Pasado el primer lustro del siglo XXI, México opera con indolencia, falta de previsión e irresponsabilidad en materia de recursos hídricos, y programa, así, una crisis futura, pero no muy lejana, en la que la escasez del líquido será detonador de conflictos sociales y políticos de dimensiones por ahora imprevisibles, pero sin duda graves y riesgosos para la estabilidad, la gobernabilidad y la capacidad misma de subsistencia de la nación. México tiene una disponibilidad

de 4 mil 547 metros cúbicos de agua por habitante al año, lo que representa una situación de disponibilidad "intermedia". Sin embargo, en vastas extensiones del territorio nacional se sobreexplotan los acuíferos, se acaba con ríos y lagos, se depositan desechos orgánicos e inorgánicos que terminan filtrándose al subsuelo -y contaminando las aguas subterráneas - , se desperdicia, se dilapida, se destruye este recurso que no solo pertenece a la generación actual, sino también a las venideras.

Las cifras son alarmantes, entre 40 y 50 por ciento del agua en México se desperdicia en fugas por la deficiente red hidráulica y prácticamente todos los cuerpos de aguas superficiales están contaminados.

Treinta y ocho ciudades del país tienen problemas de abasto, entre ellas centros turísticos y las grandes zonas metropolitanas. Actualmente 11 millones de mexicanos no tienen acceso al agua potable y 24 millones carecen de sistema de alcantarillado. De 653 acuíferos, 102 están sobreexplotados. La mayoría de las ciudades del país con más de 50 mil habitantes se ubican sobre ellos. El tratamiento de aguas residuales es apenas 31 por ciento del total del volumen recolectado^[3].

Hace ya más de una década que diversos sectores sociales, académicos y de los medios vienen alertando, en muchos países, sobre los peligros de la escasez del líquido y sus consecuencias para la supervivencia y la convivencia humanas. Las guerras por el agua no pertenecen al dominio de la literatura de anticipación: por mencionar solo dos ejemplos, el pillaje Israelí de tierras Cisjordanas tiene como una de sus razones centrales mantener el control sobre fuentes acuíferas, y en Bolivia hace ya años que se desarrolla, en la región de Cochabamba, un conflicto por la privatización de los servicios de agua potable y su entrega a intereses transnacionales (recientemente el agua se ha decretado como un derecho humano en la nueva constitución de Bolivia). Si en México no se pone un alto a la subestimación del recurso y no se logra establecer una política del agua, mas temprano que tarde las confrontaciones -entre comunidades, entre éstas y la autoridad, entre los habitantes y las empresas de potabilización, tratamiento y distribución- estarán a la orden del día.

La mayor parte de la responsabilidad por el deterioro de los acuíferos corresponde, como se ha dicho, a los tres niveles de gobierno -federal, estatal y municipal-, en los cuales a la

indolencia se suman las practicas corruptas. Pero no basta con concebir y desarrollar una política para el agua: se requiere, en primer lugar, propiciar el surgimiento de la conciencia sobre el recurso, y esa es tarea de toda la sociedad ^[3].

1.4 HISTORIA

La práctica de reutilizar las aguas residuales tiene un origen ancestral, que data desde la época Minoica. Se identifican tres periodos claves en el terreno de la regeneración y reutilización de aguas residuales. En la primera época surgen los sistemas de suministro de agua e infraestructuras para el saneamiento, comprendiendo este periodo desde el año 3 000 a. C. hasta 1850. En un principio las aguas residuales eran reutilizadas sin ningún tratamiento, vertiéndose directamente sobre campos agrícolas en las antiguas granjas de Alemania e Inglaterra, lo que originó graves problemas de salud pública. ^[2]

El segundo periodo comprendido entre 1850 a 1950 se presenta el gran avance sanitario. El control de la epidemia del cólera en Londres; el desarrollo de la teoría sobre la prevención de la fiebre tifoidea; así como los avances de la microbiología, el uso del cloro como desinfectante y el conocimiento de la cinética de la desinfección, marca un punto de inflexión en la ingeniería sanitaria. En esta época se desarrollan en Inglaterra los primeros procesos biológicos para la depuración de las aguas residuales, mientras que en California surgen las primeras regulaciones para el uso de las aguas residuales en la agricultura.

La tercera etapa que corresponde desde 1960 hasta nuestros días es considerada como la época de regeneración, reciclaje y reutilización de las aguas residuales. La reutilización planificada de las aguas regeneradas empezó a principios de los años 20 en los Estados Unidos de Norteamérica. Actualmente la experiencia internacional sobre la regeneración y reutilización de aguas residuales es muy amplia; existe una veintena de países que realizan de alguna manera esta práctica. Existen evidencias en la literatura que documentan el uso del agua regenerada en todos los usos para los cuales se destina el recurso hídrico, incluido el suministro de agua potable. ^[2]

Es importante resaltar que esta evolución se ha dado particularmente en los países desarrollados, pues en la actualidad muchos países en vías de desarrollo, como por ejemplo la India, China, así como muchos de los países latinoamericanos y africanos, siguen reutilizando las aguas residuales sin ningún tratamiento.

En este momento, la regeneración y reutilización de las aguas residuales cobran un papel de gran importancia, pues además de solucionar el problema de contaminación, permiten aumentar la disponibilidad del recurso sin necesidad de seguir explotando las fuentes convencionales para el suministro de agua. En concreto, la reutilización de agua regenerada es una de las prácticas que mejor concuerda con los preceptos de un desarrollo sustentable. ^[2]

Actualmente existen tecnologías que permiten alcanzar el nivel de calidad de agua adecuado para cualquier uso al que se piense destinar el agua regenerada. La literatura demuestra que a medida que los requisitos de calidad del agua son más exigentes, el proceso de tratamiento se hace más complejo y costoso. Así mismo, es importante considerar que cualquier proceso de regeneración requiere tener en cuenta también la línea de tratamiento y estabilización de los subproductos obtenidos ^[2].

1.5 REUTILIZACIÓN DE AGUA EN PEMEX

La función del área de Refinación de Petróleos Mexicanos, es la producción y almacenamiento de carburantes para automotores, como gasolina, turbosina, diesel, combustibles, gas avión, además se producen asfaltos, parafinas, azufre, solventes, aceites y productos básicos para la Petroquímica; todos estos productos son extraídos del petróleo crudo.

En todas las instalaciones industriales, se usa agua en mayor o menor cantidad para sus diferentes servicios, en PEMEX-REFINACION se utiliza en los siguientes servicios:

- a) Enfriamiento y condensación de los productos,
- b) Generación de vapor para proceso,
- c) Generación de vapor para la producción de energía eléctrica,
- d) Contraincendios,
- e) Proceso,
- f) Servicios sanitarios y otros usos. ^[4]

En PEMEX-REFINACION se requiere siempre de grandes volúmenes de agua, teniendo una demanda de 1.7 barriles de agua por cada barril de crudo procesado. Actualmente el volumen que se procesa es de 1.3 millones de barriles por día, un barril es igual a 159 litros. El agua que se utiliza en Refinerías, en su mayor parte es superficial y procede de ríos, lagunas y presas, también

se utiliza agua subterránea que se extrae por medio de pozos profundos. En la actualidad se están utilizando aguas negras tratadas y aguas industriales de desechos de las mismas Refinerías, estas últimas son tratadas y regresadas al mar o a los ríos.

El orden de importancia y la cantidad de agua que es utilizada en las instalaciones de PEMEX-REFINACION, es la siguiente:

- 1.- Agua para enfriamiento 65 %
- 2.- Generación de vapor 15 %
- 3.- Agua para proceso 10 %
- 4.- Contra incendios e hidrosanitarios 10 %.^[4]

Las corrientes de agua de desecho que se producen, cuando no son reutilizables, se tratan antes de enviarlas a los cuerpos receptores para cumplir con las Normas Ecológicas que especifican las condiciones particulares de descarga fijadas para cada centro de trabajo. Esto ha sido una tarea difícil y costosa para PEMEX-REFINACION, ya que anteriormente toda el agua de desecho que se producía en las instalaciones, como purgas tanto de torres de enfriamiento como de calderas, agua de proceso, lavado de equipos y aguas aceitosas, se recibían en los Separadores A.P.I. (American Petroleum Institute), cuya función es la de separar y recuperar aceite e hidrocarburos presentes en las corrientes para su reproceso. Los separadores A.P.I., son fosas especialmente construidas y acondicionadas para que el agua de desecho pase a una velocidad muy baja, que permite la separación del aceite por gravedad, además de contar con otros auxiliares que hacen más eficientes la separación, hasta obtener valores menores de 100 partes por millón de aceite. Actualmente a los separadores A.P.I. se les han acondicionado lagunas de oxidación y de estabilización, seguidas de las plantas de tratamiento secundario y terciario, en donde se eliminan sulfuros, fenoles e hidrocarburos.^[4]

El hecho de manejar todas las corrientes en forma conjunta, ocasiona que los efluentes que no tienen por que pasar a los separadores A.P.I., ni ser tratadas en las fosas de oxidación y de estabilización, al llegar a estos puntos compliquen y dificulten el tratamiento del agua, ya sea para ser reusadas o enviadas a los cuerpos receptores.

La explicación de que se presente la mezcla de las diferentes corrientes de desecho en los separadores A.P.I., es que en los años en que fueron diseñadas y construidas las Refinerías y

Terminales de Almacenamiento, por parte de PEMEX y en ningún otro lugar del mundo, existía la preocupación por los aspectos ecológicos, además de que inclusive las últimas Refinerías se planearon antes de que las Normas Ecológicas fueran expedidas en el año de 1973.

En 1980 se registraron las descargas de desechos, fijándose para esta fecha solamente cinco parámetros que deberían cumplirse, éstos fueron:

- 1.- pH
- 2.- Temperatura
- 3.- Grasas y Aceites
- 4.- Sólidos sedimentables
- 5.- Materia flotante.^[4]

Para 1984 se fijaron condiciones particulares de descarga, en las cuales además de los cinco parámetros ya fijados, se incluyeron los siguientes:

- 6.- DBO-5
- 7.- Nitrógeno amoniacal
- 8.- Plomo
- 9.- Mercurio
- 10.- Fenoles
- 11.- Conductividad
- 12.- Color
- 13.- Bacterias coliformes.^[4]

Por la forma que se manejaban los efluentes de desecho, no era posible cumplir con los valores fijados a los parámetros establecidos, presentándose la necesidad de aplicar tratamientos específicos de acuerdo a las características de cada corriente de desecho, y de aquí surge la necesidad de separar las corrientes de acuerdo a sus características fisicoquímicas. De esta manera, se puede implementar a cada corriente el tratamiento requerido, siendo más fácil y menos costoso, que el tratamiento de la totalidad de las corrientes para su reutilización o para que se viertan en los cuerpos receptores, ya que es más sencillo eliminar sulfuros o fenoles en una pequeña descarga, que en el conjunto de los efluentes; también las instalaciones para separar aceite de las aguas aceitosas serán más pequeñas, eficientes y menos costosas, si se agrupan

solamente a las corrientes que contienen aceite, debido a que cuando todos los efluentes se reciben en los separadores A.P.I., se puede sobrepasar la capacidad de diseño, y con ello, se dificulta la separación y recuperación del aceite, ocasionando que se pase aceite hacia las fosas de oxidación y estabilización.

Al separar y tratar a cada corriente de desecho, se ha conseguido hacer menos costosos los tratamientos y dar una mayor reutilización a las aguas tratadas. Las corrientes principales que se han podido separar son las siguientes:

- 1.- Purga de Torre de Enfriamiento
- 2.- Purga de Calderas
- 3.- Enjuagues y retrolavados de Plantas Desmineralizadoras
- 4.- Regenerantes desgastados
- 5.- Retrolavados y enjuagues de filtros
- 6.- Aguas contaminadas de proceso
- 7.- Agua de lluvia
- 8.- Agua de servicios sanitarios. ^[4]

Es conveniente que toda instalación industrial, deba contar con los siguientes drenajes para poder desde un principio segregar sus efluentes (NOM – 002 – SEMARNAT – 1996):

- 1.- Drenaje pluvial
- 2.- Aguas negras
- 3.- Desechos industriales y aceitosos
- 4.- Desechos peligrosos o corrosivos. ^[4]

En la actualidad se trabaja en la implementación de la tecnología para tratar cualquier corriente de las que se han mencionado, para que ésta sea reusada como agua de suministro o de la calidad deseada, dentro de la tecnología de vanguardia podemos mencionar a continuación las más importantes o usuales.

- a) Osmosis inversa
- b) Electrodiálisis

- c) Centrifugación para eliminación de sólidos del agua
- d) Centrifugación para eliminación de sólidos y aceite del agua
- e) Intercambio iónico
- f) Evaporación ^[4].

CAPÍTULO SEGUNDO:

CARACTERÍSTICAS DE UNA TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE GASOLINAS (TAD)

2.1 PETROLEO

El propósito de esta tesis profesional es el de implementar la ingeniería conceptual de una planta de tratamiento de efluentes en una Terminal de Almacenamiento y Distribución de Hidrocarburos (TAD), por lo que en este capítulo es necesario describir como están organizadas dichas terminales, su funcionamiento, propósito, instalaciones en general, capacidades de almacenamiento y demás actividades y procesos que se llevan a cabo para que dichas terminales funcionen.

Una Terminal de Almacenamiento y Distribución, es un centro de trabajo de Pemex Refinación ^[5]. La función del área de Refinación de Petróleos Mexicanos, es la producción y almacenamiento de carburantes para automotores, como gasolina, turbosina, diesel, combustibles, gas avión, además se producen asfaltos, parafinas, azufre, solventes, aceites y productos básicos para la Petroquímica; todos estos productos son extraídos del petróleo crudo⁴. El petróleo es una mezcla en la que coexisten en fases sólida, líquida y gas, compuestos denominados hidrocarburos, constituidos por átomos de carbono e hidrogeno y pequeñas proporciones de heterocompuestos con presencia de nitrógeno, azufre, oxígeno y algunos metales, ocurriendo en forma natural en depósitos de roca sedimentaria. Su color varía entre ámbar y negro. *La palabra petróleo significa aceite de piedra.*

El procesamiento del petróleo crudo y del gas asociado se ha incrementado a nivel mundial en los últimos años como un resultado del crecimiento de la población que demanda mayor cantidad de combustibles y lubricantes, y del desarrollo de tecnologías que permiten el procesamiento de los hidrocarburos para la generación de productos de alto valor agregado de origen petroquímico. La vida sin el petróleo no podría ser como la conocemos. Del crudo obtenemos gasolina y diesel para nuestros autos y autobuses, combustible para barcos y aviones. Lo usamos para generar electricidad, obtener energía calorífica para fábricas, hospitales, oficinas y diversos lubricantes para maquinaria y vehículos.

Se sabe que la formación del petróleo esta asociada al desarrollo de rocas sedimentarias, depositadas en ambientes marinos o próximos al mar, y que es el resultado de procesos de descomposición de organismos de origen vegetal y animal que en tiempos remotos quedaron incorporados en esos depósitos.

Las exploraciones petroleras iniciaron hace más de cien años, cuando las perforaciones se efectuaban cerca de filtraciones de petróleo, las cuales indicaban que el petróleo se encontraba bajo la superficie. Hoy día, se utilizan técnicas sofisticadas, como mediciones sísmicas, de microorganismos, e imágenes de satélite. Potentes computadoras asisten a los geólogos para interpretar sus descubrimientos. Pero, finalmente, sólo la perforadora puede determinar si existe o no petróleo bajo la superficie. ^[6]

En su estado natural se le atribuye un valor mineral, siendo susceptible de generar, a través de procesos de transformación industrial, productos de alto valor, como son los combustibles, lubricantes, ceras, solventes y derivados petroquímicos.

El petróleo no se encuentra distribuido de manera uniforme en el subsuelo. Deben de existir cuando menos cuatro condiciones básicas para que este se acumule:

- Debe existir una roca de tal permeabilidad que bajo presión el petróleo pueda moverse a través de los poros y fracturas de la roca.
- La presencia de una roca impermeable, que evite la fuga del aceite y gas hacia la superficie.
- El yacimiento debe comportarse como una trampa, ya que las rocas impermeables deben encontrarse dispuestas de tal forma que no existan movimientos laterales de fuga de hidrocarburos.
- Debe existir el material orgánico suficiente y necesario para convertirse en petróleo por el efecto de la presión y la temperatura.

Dependiendo del número de átomos de carbono y de la estructura de los hidrocarburos que integran el petróleo, se tienen diferentes propiedades que los caracterizan y determinan su comportamiento como combustibles, lubricantes, ceras o solventes.

Las cadenas lineales de carbono asociadas a hidrógeno, constituyen las parafinas; cuando las cadenas son ramificadas se tienen las isoparafinas; al presentarse dobles uniones entre los átomos de carbono se forman las olefinas; las moléculas en las que se forman ciclos de carbono son los naftenos y cuando estos ciclos presentan dobles uniones alternas (anillo bencénico) se tiene la familia de los aromáticos.

La industria mundial de hidrocarburos líquidos clasifica el petróleo de acuerdo a su densidad API (parámetro internacional del Instituto Americano del Petróleo, que diferencia las calidades del crudo).

TABLA 1: Densidades de distintos tipos de petróleo. ^[6]

ACEITE CRUDO	DENSIDAD (g/cm ³)	DENSIDAD GRADOS API
EXTRA PESADO	>1.0	10.0
PESADO	1.0 – 0.92	10.0 – 22.3
MEDIANO	0.92 – 0.87	22.3 - 31.1
LIGERO	0.87 – 0.83	31.1 – 39
EXTRA LIGERO	<0.83	>39

En México se preparan tres variedades de petróleo crudo:

- **Istmo:** Ligero con densidad de 33.6 grados API.
- **Maya:** Pesado con densidad de 22 grados API.
- **Olmecca:** Súper ligero con densidad de 39.3 grados API.

México se ubica actualmente en quinto lugar como productor de crudo, es el décimo en materia de reservas probadas, se encuentra dentro de los primeros nueve exportadores y es el decimotercero en capacidad de refinación.

2.2 PEMEX

Petróleos Mexicanos es la empresa más grande de México y una de las diez más grandes del mundo, tanto en términos de activos como de ingresos. Con base en el nivel de reserva y su capacidad de extracción y refinación, se encuentra entre las cinco compañías petroleras más importantes del mundo. Las actividades de PEMEX abarcan desde la exploración y explotación de hidrocarburos, así como la producción, almacenamiento, distribución y comercialización de productos petrolíferos y petroquímicos y de acuerdo con la legislación mexicana, PEMEX es la única empresa responsable del desarrollo de los recursos de hidrocarburos del país.

PEMEX es una empresa paraestatal integrada, cuya finalidad es maximizar la renta petrolera, contribuir al desarrollo nacional y satisfacer con calidad las necesidades de sus clientes, *en armonía con la comunidad y el medio ambiente*. Para lograr esta misión, PEMEX opera por conducto de un ente corporativo y cuatro organismos subsidiarios:

- **PEMEX Exploración y Producción:** que tiene a su cargo la exploración y explotación del petróleo y el gas natural.
- **PEMEX Gas y Petroquímica Básica:** que procesa el gas natural y los líquidos del gas natural; distribuye y comercializa gas natural y gas LP, produce y comercializa productos petroquímicos básicos.
- **PEMEX Refinación:** que produce, almacena, distribuye y comercializa combustibles y demás productos petrolíferos.
- **PEMEX Petroquímica:** que elabora, distribuye y comercializa una amplia gama de productos petroquímicos secundarios a través de sus siete empresas filiales^[6].

En México existen seis Refinerías, operadas por PEMEX Refinación y están ubicadas en:

- Tula, Hidalgo.
- Salamanca, Guanajuato
- Cadereyta, Nuevo León.
- Ciudad Madero, Tamaulipas.
- Salina Cruz, Oaxaca.
- Minatitlán, Veracruz

Existen varios tipos de combustibles en México, clasificados en la forma siguiente:

- Derivados del Petróleo y Gas
- Gasolina Pemex Premium UBA
- Gasolina Pemex Magna
- Pemex Diesel
- Pemex Diesel UBA
- Pemex Diesel Marino
- Turbosina
- Gas Avión
- Combustóleo Pesado
- Coque
- Gas Natural
- Gas licuado del Petróleo
- Intermedio 15 (Marino)

2.3 CARACTERÍSTICAS DE UNA TAD

Una Terminal de Almacenamiento y Distribución, como ya se había mencionado, es un centro de trabajo de PEMEX Refinación, en donde se reciben y almacenan productos terminados, para su despacho y reparto a diversos clientes (estaciones de servicio, clientes industriales, clientes gobierno, distribuidores y otros clientes). PEMEX Refinación cuenta con 77 Terminales de Almacenamiento y Distribución, adscritas a cuatro Gerencias de Almacenamiento y Distribución: Norte, Centro, Golfo y Pacífico, con lo cual se satisface la demanda del mercado nacional de este tipo de productos^[5].

Es de suma importancia dar una panorámica general de las actividades, métodos, procedimientos y actividades que se llevan a cabo en las Terminales de Almacenamiento y Distribución de Combustibles, para ello, se ha recabado información inherente a distintas TAD, de acceso al público en general, haciendo la observación de que la información que podría profundizar y particularizar en cada una de ellas, es de uso confidencial de PEMEX y por ende el

acceso a ella es restringido; por lo tanto se hace mención de distintos aspectos, en medida de lo posible, de algunas TAD a manera de ejemplos.

2.3.1 TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN SATÉLITE SUR

La Gerencia de Distribución y Almacenamiento Zona Centro administra centros de trabajo (Terminales de Almacenamiento y Distribución), que tienen como fin el recibo, almacenamiento y distribución de los productos:

- Gasolina PEMEX Premium.
- Gasolina PEMEX Magna.
- Turbosina
- PEMEX Diesel
- Combustóleo
- Asfalto
- Aceites (básicos)

La terminal que nos ocupa solo recibe, almacena y distribuye Gasolina PEMEX Premium, Gasolina PEMEX Magna y PEMEX Diesel, esta es la Terminal de Recibo, Almacenamiento y Distribución de productos Refinados del Petróleo, ubicada en Av. Centenario No. 301, Col. Merced Gómez Barranca del Muerto y conocida en el ambiente petrolero como la Terminal Satélite Sur.

La organización del centro de trabajo es la siguiente:

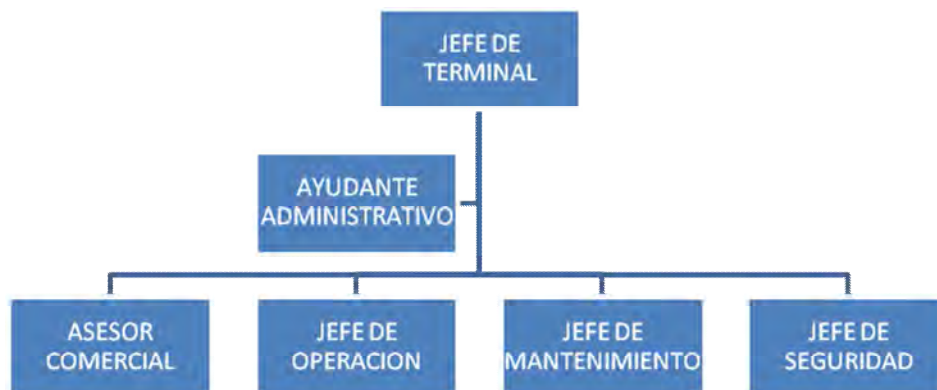


FIGURA 1: ORGANIGRAMA TAD SATÉLITE SUR.

La descripción del organigrama es: A la cabeza del organigrama encontramos al jefe de terminal, del cual depende un ayudante administrativo en segundo rango, que a su vez tiene como subordinadas tres jefaturas y una asesoría. Las jefaturas están constituidas por la jefatura de operación, jefatura de mantenimiento y jefatura de seguridad; la asesoría se compone de asesoría comercial.

La misión como Gerencia de Almacenamiento y Distribución es precisamente comercializar y abastecer los productos elaborados por PEMEX Refinación, satisfaciendo oportunamente las necesidades del cliente dentro de un marco de eficiencia, calidad, seguridad y protección ecológica, salvaguardando el patrimonio y los intereses de la empresa, así como el entorno. Su política de calidad es:

2.3.1.1 POLITICA DE CALIDAD, SEGURIDAD, SALUD Y MEDIO AMBIENTE

En la Gerencia de Almacenamiento y Distribución Centro estamos comprometidos a proporcionar y garantizar a nuestros Clientes y Proveedores que el proceso de Transporte, Almacenamiento y Distribución de productos Petrolíferos cumpla con los requerimientos, especificaciones, la legislación y regulaciones aplicables en materia de Calidad, Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente, así como la prevención de la contaminación y mejorar continuamente la eficacia del Sistema Integral de Gestión.

Para mantener un adecuado ambiente laboral del empleado, hacia la seguridad, salud y protección del ambiente, PEMEX Refinación cumple con la Ley Federal del Trabajo, Contrato Colectivo de Trabajo, Reglamento para el Personal de Confianza y Reglamento de Seguridad e Higiene, así como leyes y reglamentos federales, estatales, municipales y normas oficiales mexicanas.

En forma adicional el centro de trabajo cuenta con un Sistema de Calidad ISO-9002, Certificación de laboratorios NMX-CC-13 y un Sistema de Administración de la Seguridad, Salud y Protección Ambiental (SSPA).

2.3.1.2 POLITICA DE PEMEX SSPA

Petróleos Mexicanos es una empresa eficiente y competitiva, que se distingue por el esfuerzo y compromiso de sus trabajadores con la Seguridad, la Salud y la Protección Ambiental.

Principios:

- La Seguridad, Salud y la Protección Ambiental son valores con igual prioridad que la producción, el transporte, las ventas, la calidad y los costos.
- Todos los incidentes y lesiones se pueden prevenir.
- La Seguridad, Salud y la Protección Ambiental son responsabilidad de todos y condición de empleo.
- En Petróleos Mexicanos nos comprometemos a continuar con la protección y el mejoramiento del medio ambiente en beneficio de la comunidad.
- Los trabajadores de Petróleos Mexicanos, estamos convencidos de que la seguridad, la salud, y la protección ambiental son en beneficio propio y nos motivan a participar en este esfuerzo.

2.3.1.3 UBICACIÓN

La Terminal de Almacenamiento y Distribución Sur, "Barranca del Muerto", recibe producto de la Terminal Azcapotzalco. La Terminal de Almacenamiento y Distribución Satélite Sur cuenta con tres tanques para almacenamiento de productos, con capacidad nominal de almacenamiento de 65,000 barriles; se abastece por dos poliductos:

- El poliducto **Azcapotzalco – Barranca del Muerto** de 8" de diámetro y 20.483 kilómetros de longitud.
- El poliducto **Azcapotzalco – Barranca del Muerto** de 12" de diámetro y 20.530 kilómetros de longitud.

Geográficamente la Terminal se ubica al Sur del Distrito Federal y al Norte de la delegación Álvaro Obregón en Av. Centenario No. 301, Col. Merced Gómez como lo muestra la siguiente imagen:



IMAGEN 1: UBICACIÓN DE LA TAD SATÉLITE SUR. (GOOGLE EARTH)

2.3.1.4 INSTALACIONES DE LA TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN BARRANCA DEL MUERTO “SATÉLITE SUR”

La Terminal de Almacenamiento y Distribución, Barranca del Muerto, fue diseñada en 1966, dentro del esquema de modernización establecido por el Gobierno Federal en el sector energético, a fin de garantizar la distribución de combustibles en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México en la parte Sur.

Las instalaciones cuentan con una capacidad operativa de almacenamiento de 49,381 barriles, mismos para venta diaria, ya que no se cuenta con almacenamiento de reserva, cubriendo la demanda diaria de su área de influencia. Un barril contiene en promedio 159 litros de producto.

El predio que ocupa actualmente la Terminal de Almacenamiento, Distribución y Recibo tiene una superficie total de 111, 231 m² con 83, 886 m² construidos, los mismos que están distribuidos en:

- Área de almacenamiento
- Recibo y medición
- Posiciones de llenado de auto tanques
- Casas de bombas
- Subestación principal
- Descargaderas de auto tanques
- Sistema de adición de aditivo
- Unidad de recuperación de vapores
- Talleres de mantenimiento
- Almacén
- Laboratorio y cuarto de control de ductos
- Sistema de drenaje pluvial e industrial
- Tanques verticales para almacenamiento de agua
- Bomba de despacho local
- Estacionamiento auto tanques PEMEX
- Estacionamiento visitantes
- Áreas oficinas
- Torre de control
- Dos casetas de vigilancia
- Calles y banquetas
- Área de tratamiento de efluentes
- Cobertizo y bombas contra incendio

El predio se encuentra ubicado en las coordenadas:

LATITUD NORTE 19° 21' 39''

LONGITUD OESTE 99° 12' 16''

Altura media sobre el nivel del mar de 2 340 m

Esta terminal abastece a los clientes ubicados en las delegaciones políticas de: Álvaro Obregón, Miguel Hidalgo, Benito Juárez, Cuauhtémoc, Coyoacán, Cuajimalpa de Morelos, Magdalena Contreras, Tlalpan, Milpa Alta, Xochimilco y Tláhuac.

En general una TAD consta de cuatro áreas operativas y diferentes áreas administrativas, las áreas operativas son las siguientes:

- Área de recibo y medición
- Área de almacenamiento
- Casa de bombas
- Área de llenaderas

Una de las principales características de los productos que se manejan en una TAD que propiamente son hidrocarburos derivados del Petróleo, como son las gasolinas y diesel, es que las primeras tienen propiedades de inflamabilidad, y el segundo es considerado combustible conforme a la definición que hace la National Fire Protection Association de siglas en ingles NFPA^[7].

Como se había mencionado, existen 77 Terminales de Almacenamiento y Distribución a lo largo de la República Mexicana, pero algunas solo son terminales de almacenamiento, mientras que otras distribuyen el producto:

- a) Terminal de Almacenamiento y Distribución es el conjunto de unidades que se requieran para almacenar hidrocarburos o productos derivados del petróleo que se reciban por cualquier sistema de transporte para su distribución a los vendedores de segunda mano o a los usuarios de grandes volúmenes.
- b) Terminal de Almacenamiento es aquella unidad que se instale con la finalidad de almacenar hidrocarburos o productos derivados del petróleo que procedan directamente de una tubería de transporte para ser conducidos por otro medio a centros de proceso o distribución.

2.3.2 TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN 18 DE MARZO

La TAD 18 de marzo hace entrega de producto por medio de poliductos y por tanques (contenedores destinados al transporte de petróleo o sus derivados, que están fijos permanentemente sobre un vehículo, y se les nombrará carro – tanque, auto – tanque, remolque – tanque, buque – tanque y otros).

El transporte, almacenamiento y distribución de los productos que tiene la TAD 18 de marzo deberán sujetarse a las normas, requisitos técnicos, condiciones de seguridad y vigilancia que establezcan los reglamentos especiales vigentes y los que expida el Ejecutivo Federal con intervención de las Secretarías de Estado competentes.

2.3.2.1 UBICACIÓN

La Terminal de Almacenamiento y Distribución 18 de marzo, Azcapotzalco, D. F., fue inaugurada el 29 de noviembre de 1994 como parte del Proyecto Integral Azcapotzalco, a fin de garantizar la distribución de combustibles en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y Área Metropolitana. Se localiza al poniente de la Cd. De México en la Av. Prolongación Ingenieros Militares No. 75 Col. Nueva Argentina, Delegación Miguel Hidalgo, en un área de 71 hectáreas.

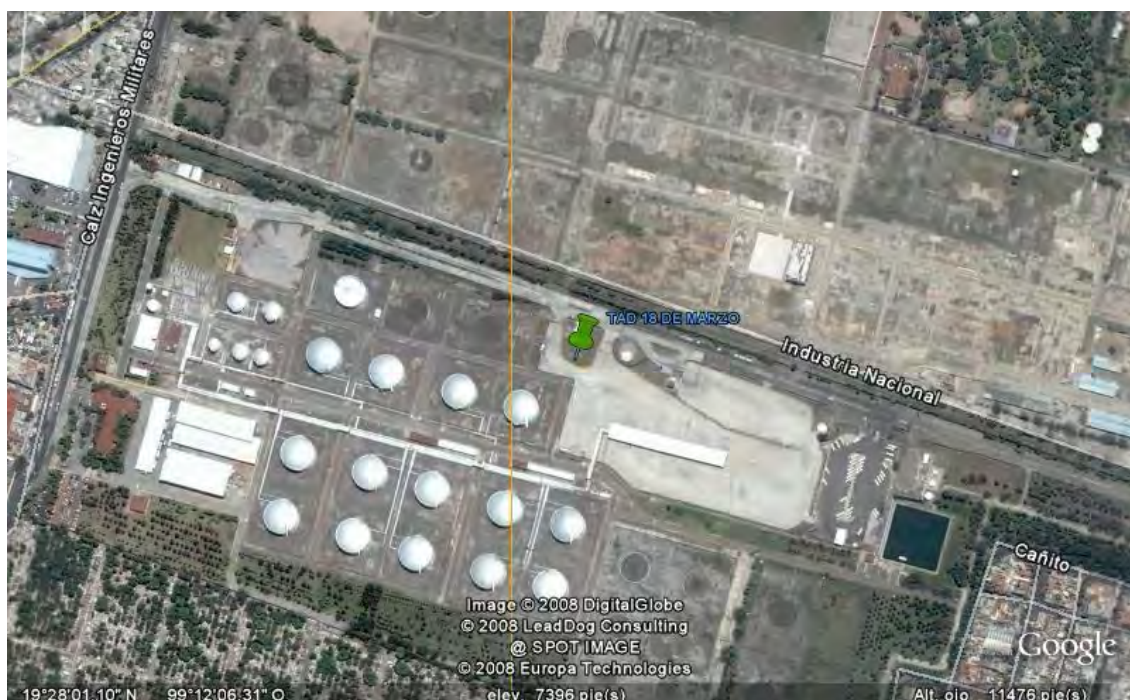


IMAGEN 2: UBICACIÓN TAD 18 DE MARZO (GOOGLE EARTH)

Las instalaciones entraron en operación el 16 de septiembre de 1996 con una capacidad nominal de almacenamiento de 1.5 millones de barriles y una capacidad operativa de 1.3 millones de barriles, misma que cubre la demanda de su área de influencia por espacio de 6 días.

Los productos que se manejan en esta terminal son: gasolina PEMEX Magna, gasolina PEMEX Premium, PEMEX Diesel, Diesel Industrial Bajo Azufre y Turbosina.

La planta se encuentra totalmente automatizada con controles y registros computarizados en sus áreas de operación, no cuenta con procesos de transformación industrial, ya que únicamente contempla el recibo, almacenamiento y distribución de productos terminados.

Abastece en forma directa, por medio de una flotilla de 67 autos tanque y 25 posiciones de llenado, a clientes de 3 delegaciones del Distrito Federal y 15 municipios del Estado de México. Por medio de poliductos suministra producto a las Terminales de Almacenamiento y Distribución Satélite Norte (San Juan Ixhuatepec), Satélite Sur (Barranca del Muerto), Satélite Oriente (Añil) y turbosina al Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

En resumen, el área que cubre esta Terminal, en forma directa e indirecta, comprende todo el Valle de México, Cuernavaca y Cuautla, en donde se asienta una población aproximada de 22.2 millones de habitantes y 4 millones de vehículos.

Las áreas que constituyen la Terminal de Almacenamiento y Distribución 18 de marzo Azcapotzalco, D. F., son las siguientes:

- Área de recibo y medición de la terminal
- Área de almacenamiento
- Área de distribución
- Área de Descargaderas

2.3.2.2 ÁREA DE RECIBO Y MEDICIÓN

Esta área, como su nombre lo indica, tiene la función de recibir los diferentes productos que han de llegar de acuerdo a su diseño de instalación, de tal manera que, se maneje un solo producto a la vez. La TAD Azcapotzalco recibe producto de las refinerías de Tula a través de dos

poliductos de 16 y 12 pulgadas de diámetro; de la Refinería de Minatitlán a través de un poliducto de 16 pulgadas, y de la Terminal de Tuxpan, Veracruz, por conducto de un poliducto de 14 pulgadas.

Envía producto a las TAD Norte (San Juan Ixhuatepec), Sur (Barranca del Muerto), Oriente (Añil) y A.S.A. (Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México) por medio de poliductos de 8 y 12 pulgadas. La máxima recepción diaria total de los cuatro poliductos es de 295 mil barriles/día.

La capacidad máxima de envío de los cuatro poliductos es de 231.7 mil barriles. Los combustibles se recibirán y serán regulados a las condiciones adecuadas para su envío a los tanques de almacenamiento de planta.

La instalación recibe producto por lotes, todos los destilados se manejan en el poliducto, uno a la vez con la máxima seguridad. Del área de recibo y medición se enviará el producto a almacenamiento por línea independiente, con válvula motorizada e interruptor de flujo en cada línea.

2.3.2.3 ALMACENAMIENTO

En la Terminal de Almacenamiento y Distribución 18 de marzo, Azcapotzalco, D. F., se tiene un área de almacenamiento con capacidad nominal de almacenamiento de 1.5 millones de barriles y una capacidad operativa de 1.3 millones de barriles distribuidos en tanques de techos auto soportados con membrana impermeable de polietileno de alta densidad que contarán con sistema de tele medición, detección de fugas en el fondo, así como los sistemas de seguridad requeridos.^[8]

2.3.2.4 SISTEMAS DE SEGURIDAD EN TANQUES

Los sistemas de seguridad consisten en cámaras de espuma de inyección superficial, además se cuenta con una red contra incendio, que consiste en anillos de enfriamiento y sistemas hidrantes contra incendio, detectores de mezclas explosivas y su localización, tamaño de los diques de acuerdo a la normatividad referente.

Una instalación indispensable en todo almacenamiento es el quemador de desfuegos, cuyo objetivo es quemar todos los flujos provenientes por sobrepresión de los sistemas de almacenamiento. Los tanques están diseñados para operar de forma que mientras uno está en operación, el otro reciba producto.

Los sistemas de seguridad de los tanques de almacenamiento se conforman por:

- Detectores de humo
- Detectores de fuego
- Detectores de mezclas explosivas
- Sistema automatizado contraincendios
- Paquete de presión balanceada
- Extintores
- Agua contraincendios
- Servo comando contraincendios
- Disposición de cargas electrostáticas
- Vigilancia electrónica

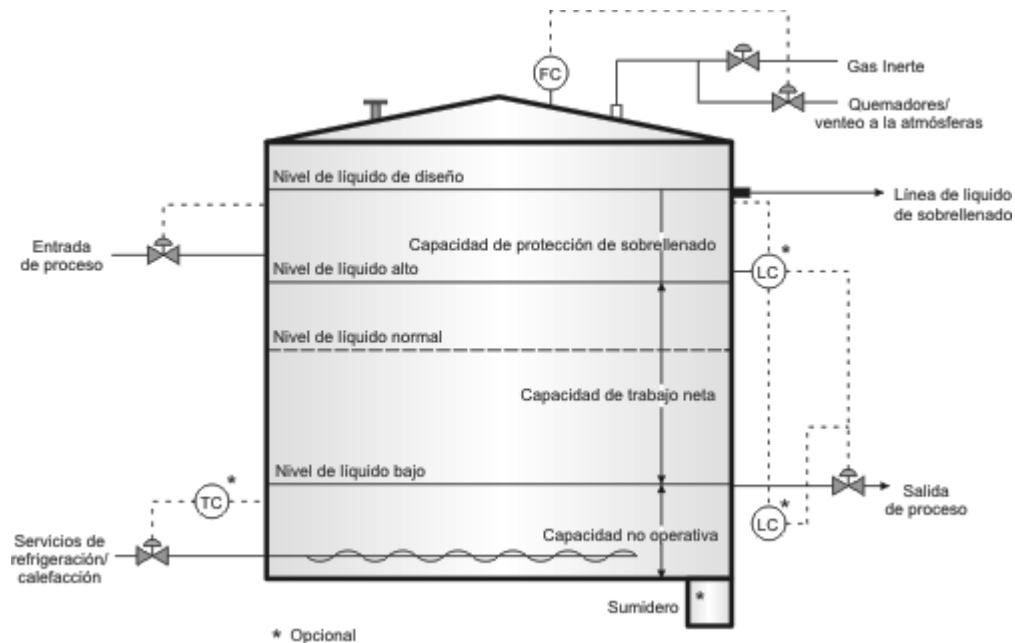


FIGURA 2: TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS. [8]

La figura número 2 esquematiza la configuración típica de un tanque de almacenamiento de hidrocarburos, esta configuración está constituida por una entrada de proceso al tanque, el cual en su interior consta de cuatro niveles de almacenamiento: el primero se denomina nivel de líquido de diseño, el segundo es el nivel de líquido alto, en este se halla la capacidad de protección de sobrellenado, el siguiente nivel es el nivel de líquido normal en el cual se halla la capacidad de trabajo neta, para culminar con el nivel de líquido bajo en el cual por debajo de este esta la capacidad no operativa. Se identifica una salida de proceso y una línea de líquido de sobrellenado, los cuales están controlados por medidores de nivel. Un par de líneas mas, estas de salida de gas inerte y quemador o venteo a la atmosfera instrumentadas con controladores de flujo. Estos tanques están equipados típicamente con servicios de refrigeración y/o calefacción, instrumentados con su respectivo controlador de temperatura. Opcionalmente estos tanques de almacenamiento de hidrocarburos cuentan con un sumidero.

2.3.2.5 ÁREA DE DISTRIBUCIÓN (LLENADERAS DE AUTO TANQUES Y ENVÍO POR POLIDUCTO)

En esta área se tiene la finalidad de trasladar los diferentes combustibles provenientes de los diferentes tanques de almacenamiento hasta el área de llenaderas de auto tanques, por medio de un sistema de bombeo.

El equipo de bombeo se localiza a pie de dique, en el área de almacenamiento, agrupados por producto. Se utilizan bombas centrífugas horizontales de acuerdo a la normatividad correspondiente, con un manejo de gasto de 500 gpm.

Se cuenta con un tiempo de operación de ocho horas por turno laborando seis días a la semana para el sistema de llenado; se tiene una bomba por llenadera – producto con cabezales colectores de succión y descarga, para todo el flujo a manejar y ramales independientes hacia garzas.

Las islas de llenado cuentan con un sistema automático de medición de flujo, considerando que por arreglo sólo se permite atender un solo auto tanque a la vez. El flujo diseñado para llenado de auto tanques por garza es de 500 gpm.

2.3.2.6 AREA DE DESCARGADERAS

En la Terminal de Almacenamiento y Distribución 18 de marzo, Azcapotzalco, D. F., se cuenta con un área de Descargaderas, la cual tiene la función de recibir productos o combustibles por medio de auto tanque, esto es, solo para casos de emergencia, pues generalmente se recibe producto por medio de poliducto. Por lo antes expuesto, los combustibles recibidos por medio de auto tanques son los mismos que los recibidos por medio de poliductos. Los autos tanque realizan la descarga por medio de mangueras de 4" de diámetro con recubrimiento de malla trenzada de acero inoxidable con conectores hembra de 4" de diámetro tipo API.

Inmediatamente después de pasar cada uno de los productos por el área de recibo y medición, estos son enviados a almacenamiento, por medio del llamado peine de distribución, se cuenta con un peine de distribución para cada tipo de recibo (poliductos y auto tanques).

2.3.2.7 EDIFICIOS, SERVICIOS Y SISTEMAS

Además de las áreas de mayor importancia en la terminal, cabe mencionar otro tipo de áreas y servicios dentro de la propia instalación.

EDIFICIOS

Los principales edificios con los que se cuenta en la Terminal de Almacenamiento y Distribución 18 de marzo, son:

- Oficina de ventas: edificio cuya función es la de llevar el control de las ventas de los productos.
- Oficina de torre de control: en esta oficina se lleva a cabo el control del almacenamiento, así como del llenado y descarga de los autos tanque, basados en un sistema automatizado.
- Edificio de recibo y medición: edificio destinado a realizar la medición y el control de la llegada de los productos por medio del poliducto, contará además con un laboratorio con todos los servicios necesarios.
- Subestación eléctrica: construcción realizada para ubicar equipamiento eléctrico.
- Llenaderas y Descargaderas de auto tanques: estructura de concreto diseñada para cubrir la totalidad del recipiente, divididas en secciones por medio de islas, en las que se

localizan las garzas de llenado y descubiertas en sus cuatro costados, para permitir la libre circulación de los auto tanques; cuenta además con regaderas, lavaojos y toma para mangueras.

- Bodega: edificio a nivel de piso destinado para guardar y controlar equipo, herramientas, refacciones, materiales e insumos para la operación y mantenimiento de la planta.
- Taller de mantenimiento: diseñado para mantenimiento industrial y reparaciones automotrices.
- Cobertizo contra incendio: edificio diseñado para ubicar el equipo de bombeo y paquete de espuma, con oficina, bodega para implementos de seguridad, cuarto de cómputo y área de vestidores, todo ello con la finalidad de combatir cualquier posible siniestro.
- Casa de bombas: cobertizo destinado para alojar las bombas que enviarán los combustibles del área de almacenamiento al área de llenaderas.
- Además se pueden citar construcciones contempladas para otro tipo de necesidades, tales como: baños y vestidores, caseta de vigilancia, plaza cívica, guarnición militar, estacionamientos, bodega de archivo muerto, oficina sindical, entre otros.

SERVICIOS AUXILIARES

Los principales servicios auxiliares con que cuenta la instalación son los que a continuación se mencionan:

- Agua de servicios
- Agua para riego
- Agua contra incendio
- Aire de planta y de instrumentos
- Electricidad

El agua destinada a los servicios de la instalación, es obtenida de pozos, almacenada en contenedores para después distribuirla a los edificios y al riego. Para el consumo humano se dispone de garrafones.

Para el agua contra incendio, se dispone de una red, sistema de espuma, bombas contra incendio, camión contra incendio y tanque de agua contra incendio.

SISTEMAS DE SEGURIDAD

Para lograr un sistema de seguridad adecuado, se toman en cuenta tres aspectos importantes:

- Protección contra incendio
- Protección física
- Protección ambiental

Los elementos con los que cuenta la terminal para satisfacer la necesidad de protección contra incendios son las siguientes:

- Tanque de almacenamiento de agua con la capacidad suficiente para operar 4 horas continuas
- Red de agua contra incendio, incluyendo el sistema de bombeo
- Tanque de almacenamiento de agua ligera
- Red de espuma contra incendio
- Detectores de mezclas explosivas en llenaderas y descargaderas de auto tanques, bombas, área de recibo y medición y área de almacenamiento
- Sistemas de alarmas
- Detectores de flama en llenaderas y descargaderas, así como en el área de recibo y medición
- Sistemas de aspersión de agua – espuma en llenaderas y descargaderas
- Sistemas de aspersión de agua en área de recibo y medición
- Sistema de circuito cerrado de televisión

El sistema contra incendio se compone de un tanque de almacenamiento de agua con capacidad suficiente para 4 horas de operación continua; red de agua contra incendio, sistema de bombeo principal con accionador eléctrico y relevo de combustión interna; bomba jockey para mantener la presión en la línea; tanque de almacenamiento de agua blanda con capacidad suficiente para 2 horas de operación continua a gasto máximo, con mirilla de cristal; sistema de presión balanceada para espuma contra incendio; red de espuma contra incendio; detectores de mezclas explosivas localizados estratégicamente en:

- Llenado y descarga de auto tanques
- Bombas (únicamente las que manejen gasolina)
- Cobertizo de recibo y medición
- Área de almacenamiento

Para lograr este tipo de protección se cuenta con:

- Detectores de humo en oficinas, bodega, cuarto de control y en la subestación eléctrica
- Camión contra incendio
- Señales de precaución
- Señalamientos de dirección de los vientos (para evacuar correctamente en caso de incendio)

La Terminal de Almacenamiento y Distribución 18 de marzo, Azcapotzalco, D. F., cuenta con sistemas de:

- Tratamiento de efluentes
- Recuperación de vapores
- Supresión de ruidos (en equipos rotatorios y válvulas)
- Reducción de vapores de hidrocarburos enviados a la atmósfera^[8].

2.3.3 TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN TULA, HIDALGO

2.3.3.1 UBICACIÓN

La Terminal de Almacenamiento y Distribución Tula, inicia sus operaciones en conjunto y a un lado de la Refinería Miguel Hidalgo (R.M.H.), el 18 de marzo de 1976. Está ubicada a 5 km de la cabecera municipal de Tula de Allende, perteneciente al estado de Hidalgo, está a 84.5 km al noreste del área metropolitana del D. F., sobre el km 28.5 de la carretera Jorobas – Tula.

La Terminal de Almacenamiento y Distribución cuenta con una superficie de 146,658 m², urbanizada industrialmente en su totalidad con una franja de seguridad de 150,000 m² y alejada de cualquier centro urbano, con una población de 117 trabajadores en dos turnos, 90

sindicalizados y 17 de confianza, que de acuerdo a los últimos cambios estructurales y administrativos se dividen en una superintendencia y cinco áreas de atención: administración, comercial, operación, mantenimiento y seguridad-ecología.

La Terminal fue construida para apoyar y comercializar los productos que elabora la Refinería Miguel Hidalgo, aprovechando la localización geográfica y estratégica se proveen productos refinados del petróleo, siendo estos clasificados en: pesados, ligeros y gases.

2.3.3.2 INSTALACIONES

Es de gran importancia la colaboración e integración operativa en seguridad y suministro de productos entre la T.A.D. Tula y la Refinería Miguel Hidalgo, ya que este centro de trabajo no cuenta con tanques de almacenamiento ni casa de bombas.

El suministro de producto para auto tanques y carro tanques, se da en cinco naves de llenado, mismas que cumplen con toda la normatividad de seguridad y tecnología de punta en la medición del producto: ^[9]

NAVE DE GAS

- Dos naves de descarga Butano-Butileno
- Dos naves de descarga de Isobutano
- Dos naves llenaderas de carburación
- Dos naves llenaderas de Propileno
- Seis naves llenaderas de Gas L.P.

NAVE DE REFINADOS

- Cinco naves llenaderas de Pemex Magna
- Una nave llenadera de Querosina
- Cinco naves llenaderas de Diesel
- Dos naves llenaderas de Turbosina
- Tres naves llenaderas de Pemex Premium
- Una nave llenadera de Gas nafta

- Una nave llenadera de Gasolvente
- Una nave llenadera de Gasolina Inicial

NAVE DE COMBUSTIBLE PESADO (COPE)

- Siete nave llenaderas de COPE
- Ocho naves llenaderas de COPE y COPE bajo azufre
- Una nave llenadora COPE y Base Negro de Humo
- Dos naves llenaderas de Base Negro de Humo

NAVE DE ASFALTO AC – 20

- Cuatro naves llenaderas de Asfaltos.

Con la cantidad de posiciones de llenado y descarga, la Terminal de Almacenamiento y Distribución maneja los siguientes volúmenes promedio mensuales en venta y traspasos a otras TAD de la República Mexicana y clientes diversos:

TABLA 3: VOLUMENES DE VENTA Y TRASPASO TAD TULA. ^[9]

PRODUCTO	VENTAS	TRASPASOS	CLIENTES DIVERSOS
PEMEX MAGNA	17 866.345 m ³	1 658.300 m ³	7 500 m ³
PEMEX PREMIUM	1 025.319 m ³	34 505.121 m ³	
TURBOSINA	4 950.318 m ³		
GASOLINA LLENADO INICIAL	478.000 m ³		
PEMEX DIESEL	19 777.000 m ³	12 758.675 m ³	10 400 m ³
COMBUSTOLEO PESADO (BOMBEO)	128 490.921 m ³		216 135.696 m ³
GAS LICUADO			31 989.660 ton
PROPILENO			6 586.140 ton
PROPANO		154.650 ton	
GASOLVENTE			411 100 ton
GAS NAFTA			308 330 ton
MATERIA PRIMA PARA NEGRO DE HUMO			4 067.140 ton

AZUFRE LIQUIDO			5 749.400 ton
AZUFRE SOLIDO			75 000 ton

2.3.3.3 AREA DE INFLUENCIA

- **Pemex Magna:** Estado de México, Puebla e Hidalgo
- **Pemex Premium:** Estado de México, Hidalgo, Aguascalientes, San Luis Potosí, Zacatecas, Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Querétaro y Puebla
- **Pemex Diesel:** Estado de México, Hidalgo y Puebla
- **Turbosina:** Toluca, Puebla, Cuernavaca, e Hidalgo
- **Combustóleo:** Estado de México, Hidalgo, Veracruz, Morelos, Guanajuato, San Luis Potosí, Querétaro y Tlaxcala.

TABLA 4: ESTADÍSTICA DE TRANSPORTE DE PRODUCTOS TAD TULA. ^[9]

No. DE OPERADORES turno diario	PROMEDIO Viajes operadores	PROMEDIO Viajes un turno	DISTANCIA DIARIA (km.) Recorrida
5	20	4	160 km/día

Además cuenta con los siguientes equipos de laboratorio:

TABLA 5: EQUIPO DE LABORATORIO EN LA TAD TULA ^[9]

EQUIPO	PRUEBA
Espectrofotómetro de absorción atómica	Determinación de plomo
Espectrofotómetro de Rayos X Asoma	Determinación de azufre
Determinación de Temperatura de Inflamación	Temperatura de inflamación
Destilación Automático	Destilación refinados

Y clasifica a sus clientes de la siguiente manera:

TABLA 6: CLASIFICACIÓN DE LOS CLIENTES DE LA TAD TULA ^[9]

TIPO DE CLIENTES	CANTIDAD
Estación de Servicio local	13
Estación de Servicio foránea	30
Distribuidores genéricos	80
Clientes directos	30
Clientes gobierno	5
Inteorganismos	8

2.3.3.4 SISTEMA INTEGRAL DE MEDICION Y CONTROL DE OPERACION EN TERMINALES (SIMCOT)

En complemento al control de monitoreo TV, se instaló el sistema SIMCOT, teniendo en un cuarto el control estratégico, de la TAD además de:

- Un control automático del acceso, llenado, facturación y salida de los auto tanques.
- Incrementar la eficiencia en la atención, reduciendo el error por factor humano.
- Tener un control automático en la entrega y cuantificación del producto.

2.3.3.5 SISTEMA INTEGRAL DE ADMINISTRACION DE LA SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PROTECCION AMBIENTAL (S.I.A.S.P.A.)

El sistema SIASPA, es una herramienta que integra las necesidades operativas, seguridad y personal, además de considerar la medicina ocupacional, exigiendo una administración que busque la mejora continua en los procesos.

La Terminal de Almacenamiento y Distribución Tula, esta en el proceso estructural del desarrollo, implantación y control del sistema SIASPA.

2.3.3.6 ORGANIZACION INTERNACIONAL DE NORMALIZACION (ISO 9000)

En octubre de 1998 la Terminal de Almacenamiento y Distribución se certificó internacionalmente, bajo la Norma ISO 9002, obteniendo los registros AENOR ER-1081-2-98 y IQNET-EX-S-1081-1998, comprometiéndose a mantener un estándar de calidad y servicio para sus clientes. ^[9]

2.3.3.7 SEGURIDAD

La Terminal de Almacenamiento y Distribución Tula, cuenta con el apoyo en casos de emergencia con la Refinería Miguel Hidalgo y dentro de las instalaciones para atender en forma inmediata con el siguiente personal y equipo:

- Personal contraincendios: 10 integrantes (5 por turno).
- Red de agua contraincendios que cubre toda la Terminal de Almacenamiento.
- Sistema de aspersores en todas las naves de llenado con sistema de inyección de espuma.
- 66 extintores diferentes capacidades, localizados estratégicamente con base en la normatividad vigente.
- Detectores de mezclas, explosivos y flama en la nave de llenado de gas L.P.

2.3.3.8 PROTECCION AMBIENTAL

En cumplimiento a las leyes ecológicas y de protección del medio ambiente, la Terminal tiene instalado:

- Sistema de llenado por el fondo en refinados.
- Sistema recuperador de vapores.
- Envío de aguas a tratamiento a la Refinería Miguel Hidalgo.

2.3.3.9 MANTENIMIENTO

En la Terminal de Almacenamiento y Distribución Tula, se viene cumpliendo los programas establecidos de mantenimiento, así como la modernización de las instalaciones de acuerdo a la tecnología de punta ^[9].

2.3.4 TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN EN XALAPA, VERACRUZ

2.3.4.1 UBICACIÓN

La Terminal de Almacenamiento y Distribución de Xalapa, se encuentra ubicada en el Km. 326 de la Carretera Federal México – Veracruz, en una superficie total de 94,179 m². Cuenta con la Certificación ISO 9002, Industria Limpia y ganó el Premio Estatal a la Calidad 2000. El 18 de marzo de 1968, en el aniversario número 30 de la Expropiación Petrolera, esta planta fue inaugurada por el entonces presidente de la República el Lic. Gustavo Díaz Ordaz.

A partir de entonces, esta Terminal de Almacenamiento y Distribución ha dado servicio a su zona renovándose constantemente con tecnología de punta, mejorando sus instalaciones y siendo hoy en día una planta ágil, moderna, segura y eficiente. Como ejemplo de lo anterior tenemos que en 1998 se realizó un nuevo acceso a la Terminal, más amplio y funcional. Durante el año 2000 se instalaron detectores de mezclas explosivas en áreas operativas y un sistema de alarma sonora de altos decibeles. Esta Planta cuenta también con un moderno laboratorio de análisis de productos petrolíferos que en 1998 fue acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

Modelo de conciencia ecológica y protección ambiental, la Terminal de Almacenamiento y Distribución en Xalapa se distingue por la cantidad de árboles que han crecido en las diversas áreas dentro de la misma y que, cuidados y protegidos con esmero a través de casi treinta años, conforman un verdadero bosque que crece en armonía con su entorno.

2.3.4.2 AREA DE INFLUENCIA

La distribución de productos abarca el área: Xalapa, Coatepec, Banderilla, Cosautlán y Teziutlán. La capacidad comercial en la ventana de productos es de 6,500 barriles diarios, distribuidos en los siguientes tipos de barriles:

- 26 estaciones de servicio
- 3 autoconsumo
- 29 en total Franquicia PEMEX

Actualmente el reparto local de producto a Estaciones de Servicio se efectúa en un turno, contando con 8 rutas dentro de un horario de 7:00 a 15:00 hrs.

Volumen promedio diario comercializado (BLS)

- PEMEX Magna 4 000
- PEMEX Premium 500
- PEMEX Diesel 2000

Volumen mensual comercializado de producto (BLS)

- PEMEX Magna 80 000
- PEMEX Premium 10 000
- PEMEX Diesel 40 000

2.3.4.3 ABASTECIMIENTO DE PRODUCTOS

Por medio de auto tanques se reciben los productos PEMEX Magna, PEMEX Premium y PEMEX Diesel desde la Terminal de Almacenamiento y Distribución en Veracruz y la Terminal de Almacenamiento y Distribución en Pajaritos, Veracruz.

2.3.4.4 CAPACIDAD OPERATIVA DE ALMACENAMIENTO

Consiste en 6 tanques de almacenamiento para una capacidad operativa total de 45,000 barriles distribuidos de la siguiente manera:

- 3 tanques de PEMEX Magna 25 000
- 1 tanque de PEMEX Premium 5 000
- 2 tanques de PEMEX Diesel 15 000

2.3.4.5 POSICIONES DE LLENADO

La infraestructura existente permite realizar el llenado de Auto tanques a un flujo promedio de 1 000 l/min. Las posiciones existentes se distribuyen de la siguiente manera:

- 4 posiciones de llenado de PEMEX Magna
- 1 posición de llenado de PEMEX Premium
- 3 posiciones de llenado de PEMEX Diesel

2.3.4.6 AUTO TANQUE DE REPARTO LOCAL

8 equipos de 20 000 litros cada uno mas 2 equipos de relevo.

2.3.4.7 CAPACIDAD INSTALADA DE SEGURIDAD

Agua contra incendio

- 1 tanque de agua contra incendio con capacidad de 5 000 bls
- 1 cisterna con 820 bls
- 1 tanque elevado con 630 bls
- 1 tanque aereador con 510 bls

Bombas contra incendio

- 1 motobomba de combustión interna con un gasto de 2 000 gpm
- 1 motobomba eléctrica con un gasto de 1 000 gpm

Hidrantes

- 17 hidrantes/monitores cada uno con 2 hidrantes para manguera de 2 ½ " diámetro
- 1 boquilla Hydrochen de 2 000 gpm tipo Patriot II montada en plataforma
- 1 camión bombero con hidrante monitor con boquilla Hydrofoam y 400 lts de concentrado espumante.

Además proporcionadores de espuma a pie de muro de cada tanque y monitor Hydrofoam con tambos de concentrado espumante en sitios estratégicos. La existencia total de concentrado espumado líquido AFFF es de 2 800 gal.

Se cuenta con los siguientes sistemas que apoyan la operación segura en las instalaciones:

- Sistema de inyección subsuperficial a tanques
- Sistema de cámaras de espuma para aplicación superficial
- Sistema de aspersores en casa de bombas
- Paquete de presión balanceada
- Alarma sonora de altos decibeles
- Sistema de detectores de mezclas explosivas
- Sistema de alarmas por alto nivel de producto en tanques
- Sistema de encendido y paro remoto de bombas
- Contra incendio
- Sistema de circuito cerrado de televisión
- Control de acceso mediante tarjetas electrónicas
- Portones automáticos y barras automáticas vehiculares^[10].

2.3.5 TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN EN LERMA, CAMPECHE

2.3.5.1 UBICACIÓN

La Terminal de Almacenamiento y Distribución Campeche, ubicada en el kilómetro 8.5 s/n de la Carretera Campeche-Lerma, es una de las 17 Terminales de Almacenamiento y Distribución de la Gerencia Comercial Zona Sur. El año de 1946 es la fecha que marca el inicio de operaciones de esta Planta, cuyo objeto es el recibo, almacenamiento, distribución y comercialización de productos petrolíferos (Gasolina Pemex Premium, Gasolina Pemex Magna, Pemex Diesel, Diesel Marino Especial y Combustóleo) en calidad, cantidad y oportunidad dentro de un marco de seguridad industrial y protección ambiental. Su área de acción cubre la totalidad del Estado de Campeche y el Sur de Quintana Roo con relación al mercado de Petrolíferos y para el caso de Combustóleo cubre la demanda energética para la generación de energía eléctrica para toda la Península de Yucatán. La Terminal de Almacenamiento y Distribución Campeche recibe los diferentes productos por buque tanque, los cuales a su vez son enviados desde la terminal marítima de Pajaritos, y que son elaborados en la Refinería de Minatitlán, ambas en el estado de Veracruz.

2.3.5.2 AREA DE INFLUENCIA

En algunas ocasiones, productos elaborados en la Refinería Francisco I. Madero, en Tamaulipas, son embarcados hacia Campeche en la Terminal de Almacenamiento y Distribución Marítima de Madero, Tamaulipas. Una de las características que hacen única esta Terminal es que sus tanques están colocados en lo alto de una colina, cosa también única en la Península de Yucatán, por lo demás plana, y de esta manera, el sistema de bombeo es sustituido por la fuerza de gravedad.

Este centro de trabajo, cuenta con la Certificación ISO 9002, Industria Limpia, certificado EMA del laboratorio de calidad y recientemente, fue reconocido con el Premio Estatal de Calidad 2000. La distribución de productos abarca el área: Campeche, Tenabo, Calkiní, Hecelchakán, Hopelchén, Champotón, Seybaplaya, Escárcega, Isla Aguada, Candelaria, Xpujil, Sacxán, y la ciudad de Chetumal, Q. R. Además, alcanza a Mérida y Valladolid con productos COPE (combustible pesado) por carros tanque de ferrocarriles.

2.3.5.3 CAPACIDAD

La capacidad comercial en la venta de productos es de 24,000 barriles diarios, distribuidos en los siguientes tipos de clientes:

- 29 estaciones de servicio
- 1 autoconsumo
- 1 cliente Sector Gobierno (CFE)
- 7 clientes directos no contractuales
- 5 clientes contractuales
- Otros.

2.3.5.3.1 FRANQUICIA PEMEX

- 27 estaciones de servicio 3 estrellas
- 2 estaciones de servicio 2 estrellas

Actualmente el reparto local de producto a Estaciones de servicio se efectúa en un turno contando con 5 rutas dentro de un horario de operación de 7:00 a 15:00 hrs.

2.3.5.3.2 VOLUMEN PROMEDIO DIARIO COMERCIALIZADO (BLS)

- PEMEX Magna 4 500
- PEMEX Premium 400
- PEMEX Diesel 2 150
- Combustóleo 17 000

2.3.5.3.3 VOLUMEN MENSUAL COMERCIALIZADO DE PRODUCTO (BLS)

- PEMEX Magna 89 772
- PEMEX Premium 9 946
- PEMEX Diesel 42 928
- Combustóleo 413 110

2.3.5.3.4 ABASTECIMIENTO DE PRODUCTO

Mediante embarcaciones se reciben los productos refinados: Pemex Magna, Pemex Premium y Pemex Diesel desde la Terminal Maritima de Pajaritos y esporádicamente por auto tanques desde el Centro Embarcador Pajaritos.

2.3.5.3 5 CAPACIDAD OPERATIVA DE ALMACENAMIENTO

Consiste en 8 tanques de almacenamiento para una capacidad operativa total de 253,103 barriles distribuidos de la siguiente manera:

- 2 tanques de PEMEX Magna 46 680
- 2 tanques de PEMEX Premium 12 236
- 2 tanques de PEMEX Diesel 50 587
- 2 tanques Combustóleo 141 600

2.3.5.4 POSICIONES DE LLENADO

La infraestructura existente permite realizar el llenado de auto tanques a un flujo nominal de 1 600 l/min. Son 12 posiciones para llenado de carro tanque y 11 para llenado de auto tanque que se distribuye de la siguiente manera:

- Cuatro posiciones de llenado de PEMEX Magna
- Dos posiciones de llenado de PEMEX Premium
- Tres posiciones de llenado de PEMEX Diesel
- Dos posiciones de llenado de Combustóleo auto tanque
- Doce posiciones de llenado de combustóleo carro tanque

2.3.5.4.1 AUTO TANQUES DE LLENADO TOTAL

- 5 equipos de 20 000 litros cada uno
- 2 equipos de 30 000 litros cada uno

2.3.5.5 CAPACIDAD INSTALADA DE SEGURIDAD

- 1 tanque de agua contra incendio con capacidad de 20 000 barriles
- 2 bombas contra incendio con capacidad de 1 500 gpm
- 24 hidrantes/monitores
- 4 034 galones de espuma AFFF
- 1 camión bombero

2.3.5.5.1 OPERACIÓN EN INSTALACIONES

Se cuenta con los siguientes sistemas que apoyan la operación segura en las instalaciones:

- Sistema inalámbrico de transmisión de alarma y voceo de altos decibeles.
- Cámara de espuma en tanques de almacenamiento.
- Sistema de alarmas de tele medición y mecánica en tanques
- Paquete de presión balanceada
- Membranas internas flotantes en tanques
- Boquilla Hydrochem de 1 500 – 2 000 gpm ^[11].

2.3.6 TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN “EL SARDINERO” VERACRUZ, VERACRUZ.

2.3.6.1 AREA DE INFLUENCIA

La Terminal de Almacenamiento y Distribución Veracruz de PEMEX Refinación, constituye en conjunto, un centro embarcador – distribuidor de productos petrolíferos de carácter regional. Efectúa trasposos directos a las Terminales de Perote, Xalapa, Tierra Blanca y Escamela, al mismo tiempo que atiende la distribución local de la región comprendida por las ciudades de: Emilio Carranza, Santiago Tuxtla, Actopan, Tlalixcoyan, Piedras Negras y la zona conurbada de Veracruz – Boca del Río – Medellín – Alvarado.

2.3.6.2 CAPACIDAD

En la TAD se almacenan 750 000 barriles de gasolina Magna Sin, Premium, Diesel, Combustóleo y Diáfano. Es importante hacer notar que la función de esta planta es de

almacenamiento, regulación del abasto y comercialización de combustibles, sin efectuarse dentro de ella procesos de transformación. Aunado a lo anterior, las instalaciones cuentan con avanzados sistemas de control y medidas de seguridad sumamente rigurosos que cumplen con la normatividad tanto ambiental, como en materia de riesgos generada por el Instituto Nacional de Ecología y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Esta terminal cumple la función estratégica de garantizar el abasto oportuno y proveer de combustible a la ciudad de Veracruz y su zona conurbada. Su ubicación es estratégica para el suministro pronto y eficiente de combustible.

2.3.6.3 IMPORTANCIA

Destaca la importancia de la Terminal de Almacenamiento y Distribución de El Sardinero – Bajos de la Gallega para la localidad y la región, por ser un centro de embarque y distribución de productos petrolíferos de carácter regional que constituye un apoyo a las actividades productivas y el transporte, situación que la convierte en un sitio estratégico con prioridad nacional ^[12].



IMAGEN 3: UBICACIÓN DE LA TAD SARDINERO, VERACRUZ (GOOGLE EARTH)

2.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS MANEJADOS EN UNA TAD

Una de las principales características de los productos que se manejan en una Terminal de Recibo, Almacenamiento y Distribución, que propiamente son hidrocarburos derivados del petróleo, como son las gasolinas y diesel, es que las primeras tienen propiedades inflamables, y el segundo es considerado combustible conforme a la definición que hace la National Fire Protection Association de siglas en inglés NFPA.

Los líquidos inflamables son cualquier líquido con punto de inflamación menor a 37.8°C, con una presión de vapor no mayor que 2.8 kg/cm² abs. (2068 mm de Hg) a esa temperatura (Clase I NFPA). Los líquidos combustibles son cualquier líquido con punto de inflamación de 60°C o mayor (clases II y III NFPA).

Líquidos inflamables se subdividen como sigue:

- Clase IA.- incluye líquidos con punto de inflamación inferior a 22.8°, cuyo punto de ebullición sea menor a 37.8°C.
- Clase IB.- incluye líquidos con punto de inflamación inferior a 22.8°C, pero cuyo punto de ebullición sea mayor o igual a 37.8°C (gasolinas y naftas)
- Clase IC.- incluye líquidos con punto de inflamación mayor de 22.8°C, pero menor de 37.8°C

Líquidos combustibles se subdividen de la siguiente manera:

- Clase II.- son líquidos con punto de inflamación mayor de 37.8°C pero menor a 60°C (destilados)
- Clase IIIA.- son líquidos cuyo punto de inflamación se encuentra entre los 60 y 93°C (combustóleos, gasóleos)
- Clase IIIB.- son líquidos con punto de inflamación de 93°C y mayores (asfaltos y residuos)

La presión de vapor es la ejercida por un líquido volátil contenido en un recipiente cerrado, en el cual al evaporarse parte del líquido, se establece un equilibrio entre las fases líquido – vapor, esta presión puede medirse en lb/plg², kg/cm² o en mm de Hg absolutos, referida a una cierta temperatura^[7].

CAPÍTULO TERCERO:

NORMATIVIDAD VIGENTE

3.1 NECESIDAD DE LEGISLACIÓN EN MATERIA DE AGUA

El impacto de las aguas negras o residuales en los recursos naturales tales como flora y fauna silvestre, fuentes de agua, aire, suelos y en la salud humana es un asunto de interés mundial que toma una preocupación creciente debido a la necesidad de reusar el agua en diferentes actividades del quehacer humano. El uso de aguas residuales se ha incrementado conforme el crecimiento poblacional y el desarrollo urbano, industrial y de servicios, así como por la escasez de otras fuentes de agua como la de lluvia, presas, lagos y subterránea.

En México se cuenta con 1,132 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) municipales hasta 2001, con una capacidad instalada total de 80,622 L/s y un caudal tratado de 50,809 L/s, mientras que la capacidad instalada de PTAR industriales es de 41,909 L/s y un caudal tratado de 25,352 L/s. Dado que algunas de las PTAR industriales reusan el agua tratada y otras industrias la descargan en la red de drenaje municipal, por lo tanto es posible realizar una estimación de que alrededor de 2,400 millones de m³ anuales es el caudal tratado total a nivel nacional. Este volumen sería suficiente para irrigar 240 mil hectáreas con una lámina de 1m por año, o bien al sumar el caudal de agua negra urbana e industrial a nivel nacional serían 423 m³/s, es decir 1.3 millones de hectáreas, lo cuál muestra que esta fuente de agua es cada vez más valiosa y estratégica para el sector agropecuario y forestal. El escenario descrito anteriormente para agua residual muestra claramente la necesidad de conocer la *calidad* del agua, así como la *legislación* mexicana en este tema y así *predecir* sus impactos ambientales principalmente en suelos y fuentes de agua. Esto es indispensable para un aprovechamiento racional y eficiente del agua residual y residuos sólidos, cuidando la calidad de los suelos y agua freática.

3.2 LEGISLACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

La legislación mexicana se fundamenta en la Ley de Aguas Nacionales, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley sobre Metrología y Normalización, Reglamentos de la Ley en materia de agua, específicamente en la Normas Oficiales Mexicanas: NOM – 001 – ECOL – 1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales, NOM – 032 – ECOL – 1993 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola y en la NOM – 033 – ECOL – 1993,

que establece las condiciones bacteriológicas para el uso de las aguas residuales de origen urbano o municipal en el riego de hortalizas.

3.2.1 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM – 001 – ECOL – 1996

La Norma NOM – 001 – ECOL – 1996 describe los contaminantes básicos, por ejemplo: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH. Además, la Norma señala contaminantes patógenos y parasitarios donde solo considera los coliformes fecales y los huevos de helminto, así como metales pesados: arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), zinc (Zn) y cianuros.

La Norma indica que el límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos por litro para riego restringido ^[13].

3.2.2 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM – 002 – SEMARNAT – 1996

De igual manera la Norma Oficial Mexicana NOM – 002 – SEMARNAT – 1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado ^[14].

3.2.3 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM – 003 – SEMARNAT - 1997

Norma Oficial Mexicana NOM – 003 – SEMARNAT – 1997 establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso. En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, estos serán responsables del cumplimiento de la citada Norma, desde la producción del agua tratada hasta su reuso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reusos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines ^[15].

3.2.4 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM – 052 – SEMARNAT – 2005

Norma Oficial Mexicana NOM – 052 – SEMARNAT – 2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y listado de los residuos peligrosos. Los residuos peligrosos, en cualquier estado físico, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, inflamables, tóxicas y biológico – infecciosas, y por su forma de manejo pueden representar un riesgo para el equilibrio ecológico, el ambiente y la salud de la población en general, por lo que es necesario determinar los criterios, procedimientos, características y listados que los identifiquen. Los avances científicos y tecnológicos y la experiencia internacional sobre la caracterización de los residuos peligrosos han permitido definir como constituyentes tóxicos ambientales, agudos o crónicos a aquellas sustancias químicas que son capaces de producir efectos adversos a la salud o al ambiente. Esta Norma Oficial Mexicana establece el procedimiento para identificar si un residuo es peligroso, el cual incluye los listados de los residuos peligrosos y las características que hacen que se consideren como tales. Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en lo conducente para los responsables de identificar la peligrosidad de un residuo ^[16].

3.2.5 NORMA MEXICANA NMX – AA – 003 – 1980

Norma Mexicana NMX – AA – 003 – 1980, muestreo de aguas residuales. Esta norma establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas

residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas, debiéndose observar las modalidades indicadas en las normas de métodos de prueba correspondientes ^[17].

3.2.6 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM – 004 – SEMARNAT – 2002

Norma Oficial Mexicana NOM – 004 – SEMARNAT – 2002, lodos y biosólidos, especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana. En las actividades de desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, así como en las correspondientes a la operación de las plantas potabilizadoras y de plantas de tratamiento de aguas residuales se generan volúmenes de lodos, que en caso de no darles una disposición final adecuada, contribuyen de manera importante a la contaminación de la atmósfera, de las aguas nacionales y de los suelos, afectando los ecosistemas del área donde se depositen. Se ha considerado que los lodos por sus características propias o por las adquiridas después de un proceso de estabilización pueden ser susceptibles de aprovechamiento siempre y cuando cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana o, en su caso, se dispongan en forma definitiva como residuos no peligrosos, para atenuar sus efectos contaminantes para el medio ambiente y proteger a la población en general ^[18].

3.2.7 NORMA DE REFERENCIA NRF – 009 PEMEX – 2004

Por ultimo, la Norma de Referencia NRF – 009 – PEMEX – 2004 Identificación de productos transportados por tuberías o contenidos en tanques de almacenamiento, nos habla de los tanques de almacenamiento y los sistemas de transporte por tuberías, que son de vital importancia debido a la flexibilidad de operación que proporcionan para el movimiento, distribución y comercialización de productos. La mayoría de estas instalaciones almacenan o conducen fluidos, los cuales, ya sea por su naturaleza intrínseca o por sus condiciones de operación, se consideran sustancias peligrosas, por lo que es necesario identificarlas en función de los grados y tipos de peligros asociados a ellas de acuerdo con lo que se establezca en esta Norma de Referencia. El

objetivo de esta Norma, es el de regular la identificación de los productos transportados por tuberías o contenidos en tanques de almacenamiento, mediante códigos de colores y textos específicos; establecer un criterio uniforme para definir el color de acabado con que se debe pintar el exterior de los tanques de almacenamiento y las tuberías; establecer los criterios para la utilización del Emblema Institucional como elemento de identificación en los tanque de almacenamiento. Establece los colores de los recubrimientos que se deben aplicar al exterior de los tanques de almacenamiento superficiales y tuberías no enterradas; establece los requerimientos para identificar las tuberías y los tanques de almacenamiento, en función de los fluidos contenidos en ellos y de acuerdo a los peligros asociados con su transporte y almacenamiento; define las características de un código de colores que debe ser empleado para una rápida identificación del grupo al que pertenece el producto contenido en un tanque o transportado por tubería. Esta identificación constituye un elemento de seguridad que permite asociar los grupos de productos, con técnicas y acciones específicas comúnmente empleadas en el control de emergencias que involucren a dichos productos. Esta norma es de aplicación obligatoria para las compañías prestadoras de los servicios objeto de la misma, y es de uso obligatorio en PEMEX y Organismos Subsidiarios, en donde existan tanques de almacenamiento y sistemas de tuberías superficiales que se encuentren en las fases de proyecto y construcción, así como para la ampliación, mantenimiento, modificación o reconstrucción de instalaciones similares ya existentes, por lo que deberá ser incluida en los procedimientos de contratación, licitación pública, invitación cuando menos a tres personas, o adjudicación directa, como parte de los requisitos que debe cumplir el proveedor, contratista o licitante ^[19].

OBSERVACIÓN

Las Normas Oficiales Mexicanas, las Normas de Referencia de PEMEX y demás lineamientos tratados en este capítulo, pueden consultarse de manera íntegra en el apéndice contenido en la versión electrónica de esta Tesis Profesional.

CAPÍTULO CUARTO:

CASO DESTUDIO

4.1 INFORMACIÓN BASE DEL CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio presentado como objeto de análisis de esta Tesis, consta de una planta de tratamiento de aguas residuales existente con un clarificador primario de capacidad igual a 560 m³ (8m x 28m x 2.5m), y un reactor biológico de lodos activados con capacidad igual a 840 m³ (12m x 28m x 2.5m).

A partir de esta información base, se plantearán tres escenarios con la finalidad de obtener la configuración óptima que eficiente las instalaciones mencionadas, sugiera la ampliación de la planta o en su defecto obtenga como resultado la creación de una planta totalmente nueva. La premisa es el aprovechamiento de las instalaciones existentes.

Para el desarrollo del presente caso de estudio, se implemento un programa en hoja de cálculo de Microsoft Office Excel 2007™, fundamentado en la siguiente información:

4.2 TRATAMIENTO PRIMARIO: BALANCE DE MATERIA PARA UN CLARIFICADOR PRIMARIO

Los clarificadores primarios se diseñan para una separación determinada (normalmente entre 40 – 60%) de los sólidos en suspensión en el vertido de entrada. De la siguiente figura deben considerarse:

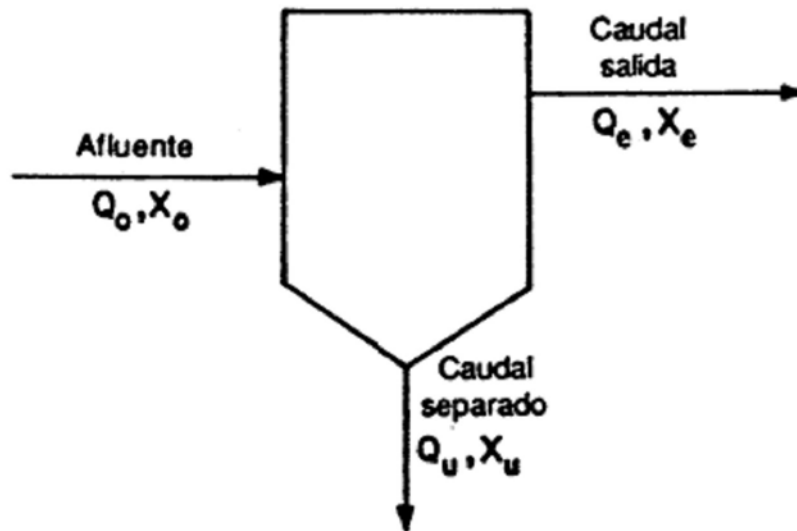


FIGURA 3 BALANCE DE MATERIA PARA UN CLARIFICADOR PRIMARIO ^[20]

- $Q_o = \text{m}^3/\text{d}$ del afluente
- $X_o = \text{mg/l}$ de sólidos en suspensión en el afluente
- $Q_e = \text{m}^3/\text{d}$ del efluente
- $X_e = \text{mg/l}$ de sólidos en suspensión que permanecen en el líquido clarificado
- $Q_u = \text{m}^3/\text{d}$ del caudal que sale del clarificador
- $X_u = \text{mg/l}$ de sólidos en suspensión del caudal separado

Un balance total de los líquidos en circulación nos daría:

$$Q_o = Q_e + Q_u$$

Un balance de material para sólidos en suspensión nos daría:

$$Q_o X_o = Q_e X_e + Q_u X_u$$

Combinando las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$Q_e = \frac{Q_o(X_u - X_o)}{X_u - X_e}$$

Y

$$Q_u = Q_o - Q_e$$

4.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO: PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

La expresión tratamiento secundario se refiere a todos los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales tanto aerobios como anaerobios. El proceso de lodos activados ha sido utilizado para el tratamiento de las aguas residuales tanto industriales como urbanas desde hace aproximadamente un siglo. El diseño de las plantas de lodos activados se llevó a cabo fundamentalmente de forma empírica. Solo al comienzo de los años sesenta se desarrolla una solución más racional para el diseño del sistema de lodos activados. Este proceso nació de la observación realizada hace mucho tiempo de que si cualquier agua residual urbana o industrial, se somete a aereación durante un periodo de tiempo se reduce su contenido de materia orgánica, formándose a la vez un lodo floculento.

El examen microscópico de este lodo revela que está formado por una población heterogénea de microorganismos, que cambian continuamente en función de las variaciones de la composición de las aguas residuales y de las condiciones ambientales. Los microorganismos presentes son bacterias

unicelulares, hongos, algas, protozoos y rotíferos. De estos las bacterias son probablemente las más importantes, encontrándose en todos los tipos de procesos de tratamiento biológico.^[20]

El proceso de lodos activados se ha desarrollado como una operación continua mediante el reciclado de lodo biológico, todas las variables importantes del proceso están indicadas en la siguiente figura:

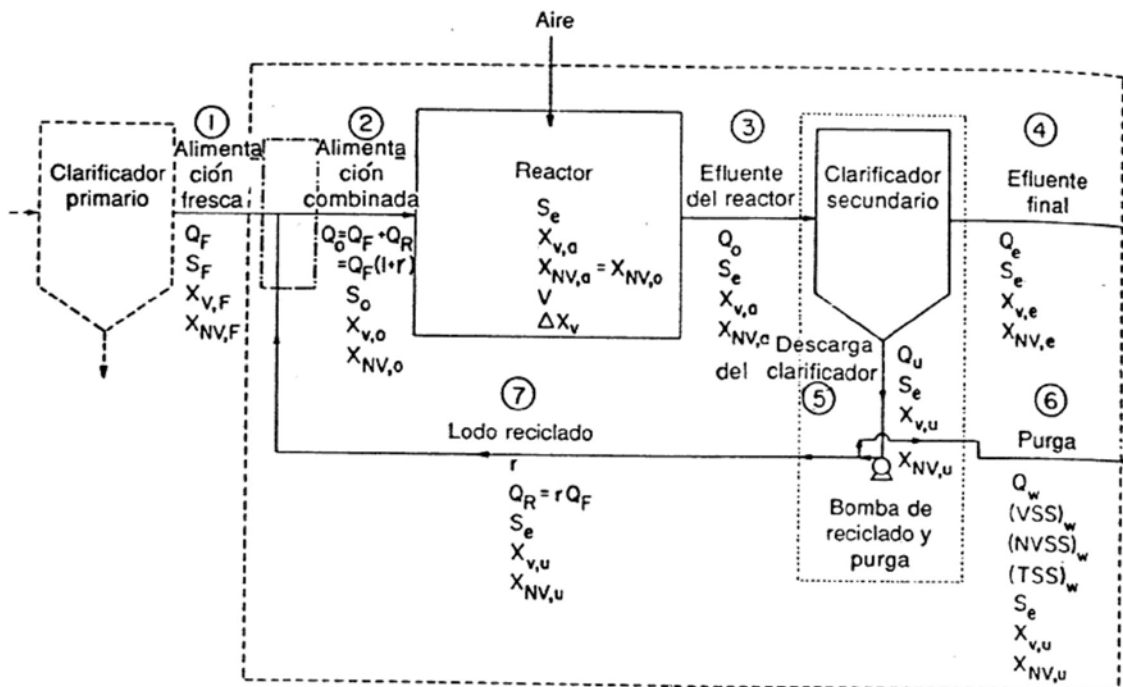


FIGURA 4: PROCESO CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS Y DEFINICIÓN DE SIMBOLOS^[20]

Clave

Para los sólidos en suspensión se emplean dos subíndices, por ejemplo, $X_{V,i}$, $X_{NV,i}$.

El primer subíndice (V o NV) designa el carácter volátil o no volátil de los sólidos en suspensión, respectivamente.

El segundo subíndice (*i*) se refiere a la corriente específica de que se trate:

- F, alimentación inicial [corriente 1]
- o, alimentación combinada [corriente 2]
- a, efluente del reactor [corriente 3]
- e, efluente final [corriente 4]
- μ, descarga del clarificador secundario [corriente 5]

Simbolos

1. Caudales

- * Q_F , alimentación inicial: m³/s (metros cúbicos por segundo) [corriente 1]
- o Q_R , reciclado; m³/s [corriente 7]
- r , relación de reciclado; sin dimensiones ($r = Q_R/Q_F$)
- Q_o , alimentación combinada; m³/s; $Q_o = Q_F + Q_R = Q_F(1 + r)$ [corriente 2] (m³/s de la alimentación combinada = m³/s del efluente del reactor, esto es, Q_o [corriente 2] = Q_o [corriente 3])
- Q_e , efluente final; m³/s [corriente 4]
- Q_w , purga; m³/s [corriente 6] (Nótese que $Q_F = Q_e + Q_w$)
- Q_u , descarga del clarificador; m³/s; $Q_u = Q_w + Q_R = Q_w + rQ_F$ [corriente 5]

2. Concentraciones (mg/l) de la DBO soluble

- S_F , DBO soluble de la alimentación inicial
- S_o , DBO soluble de la alimentación combinada
- S_e , DBO soluble del efluente

3. Concentraciones (mg/l) de los sólidos volátiles en suspensión (VSS)

- $X_{V,F}$, VSS en la alimentación inicial
- $X_{V,o}$, VSS en la alimentación combinada
- $X_{V,a}$, VSS en el reactor. Esta concentración es asimismo igual a la de VSS en el efluente del reactor (reactor de mezcla completa en equilibrio)
- $X_{V,u}$, VSS en la descarga del clarificador secundario
- $X_{V,e}$, VSS en el efluente final

4. Concentraciones (mg/l) de los sólidos en suspensión no volátiles (NVSS)

- $N_{NV,i}$, NVSS en la alimentación inicial
- $N_{NV,o}$, NVSS en la alimentación combinada
- $X_{NV,a}$, NVSS en el reactor ($X_{NV,a} = X_{NV,o}$). Esta concentración es asimismo igual a la de NVSS en el efluente del reactor (reactor de mezcla completa en equilibrio)
- $X_{NV,u}$, NVSS en la descarga del clarificador secundario
- $X_{NV,e}$, NVSS en el efluente final

5. Purga

- $(VSS)_w$, kg/d de VSS en la purga
- $(NVSS)_w$, kg/d de NVSS en la purga
- $(SST)_w$, kg/d de SST en la purga

6. Volumen del reactor

- V , volumen del reactor, m³

7. Producción de lodos

- ΔX_v , kg/d

Las composiciones de las diferentes corrientes (numeradas del 1 al 7) están caracterizadas por tres tipos de concentraciones:

- 1) Concentración de la DBO soluble: Se simboliza mediante S_i , en la que el subíndice i indica la corriente específica de que se trate. La DBO soluble está formada principalmente por compuestos carbonosos en disolución. Debe hacerse hincapié en que el diseño de las plantas de lodos activados se basa en el consumo de la DBO soluble. Este consumo es el resultado del proceso de oxidación biológica que se presenta en el reactor. Por otra parte, la DBO insoluble se separa mediante sedimentación en los clarificadores primario y secundario.
- 2) Concentraciones de los sólidos volátiles en suspensión (VSS). Se denotan mediante el símbolo X_{Vi} , en el que el subíndice V se refiere a la característica de volatilidad y el subíndice i a la corriente específica de que se trate. Los sólidos volátiles en suspensión corresponden a los lodos biológicos, constituidos por una población heterogénea de microorganismos. La determinación experimental de los VSS se lleva a cabo midiendo la pérdida de peso de los sólidos totales en suspensión después de incineración en una estufa de laboratorio a 600°C . Esta pérdida de peso corresponde principalmente a la volatilización del lodo biológico. Los sólidos remanentes después de la incineración a 600°C corresponden a los sólidos en suspensión no volátiles. Su naturaleza es distinta de la de los lodos biológicos, estando constituidos por materia inerte tanto orgánica como inorgánica.
- 3) Concentraciones de sólidos no volátiles en suspensión (NVSS). Se indican mediante el símbolo X_{NVi} , en el que Nv hace referencia a la no volatilidad de los sólidos, e i indica la corriente específica de que se trate. Por consiguiente:

$$\text{SST} = \text{VSS} + \text{NVSS}$$

Sólidos en suspensión totales = sólidos volátiles en suspensión + sólidos no volátiles en suspensión

4.4 DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FIGURA CUATRO

1.- DBO soluble. La alimentación inicial, esto es, el agua residual a tratar (corriente 1) penetra en el proceso con un valor de la DBO soluble que se indica por S_F . El objetivo del tratamiento es reducir este valor a S_e (DBO del efluente en la corriente 4) mediante oxidación por degradación biológica aerobia de la materia orgánica del agua residual.

En el proceso convencional de lodos activados se logra normalmente una reducción de la DBO de 5 a 15% de su valor en la alimentación inicial, esto es, $S_e = 5 - 15\% S_F$. Esto significa un rendimiento en el consumo de DBO soluble de 85 al 95%.

La alimentación inicial se combina con el lodo reciclado (corriente 7) y entra en el reactor (alimentación combinada, corriente 2). En el RFCTA (reactor de flujo continuo en tanque agitado). Las

dos suposiciones fundamentales de los RFCTA son (1) régimen estacionario y (2) condiciones de mezcla completa. El lodo biológico, ΔX_v , se forma continuamente en el reactor. La concentración de DBO soluble en el líquido del reactor se simboliza por S_e . Bajo condiciones de estado estacionario y mezcla completa la concentración de la DBO soluble en el efluente del reactor (corriente 3) es así mismo igual a S_e .

El efluente del reactor pasa al clarificador secundario. La concentración de DBO soluble es la misma en la descarga del clarificador (corriente 5) y en el efluente final (corriente 4), esto es, S_e . La descarga del clarificador se divide en dos corrientes: purga (corriente 6) y lodo reciclado (corriente 7). Para estas dos corrientes, la concentración de DBO soluble tiene el mismo valor, S_e . La corriente de lodo reciclado se combina con la alimentación inicial para formar la alimentación combinada. La concentración de DBO soluble en la corriente combinada se denota por S_o y se calcula mediante un balance de materia en el punto de conjunción de las corrientes 1,2 y 7. ^[20]

2.- Sólidos volátiles en suspensión (VSS). En régimen estacionario, la concentración de lodo biológico en el reactor se mantiene constante en todo momento. En el proceso convencional de lodos activados esta concentración, simbolizada por X_{va} , en la que el segundo subíndice a se refiere al reactor aereador, está comprendida normalmente entre 2000 y 3000 mg/l. Ya que se trabaja bajo condiciones de mezcla completa en el reactor, los sólidos en suspensión en él corresponden a MLVSS (sólidos volátiles en suspensión en el licor mezclado). Análogamente, los sólidos en suspensión no volátiles en el reactor, estando también completamente mezclados, se indican por MLNVSS (sólidos no volátiles en suspensión en el licor mezclado). Los sólidos totales en suspensión en el reactor se indican mediante MLSS (sólidos en suspensión en el licor mezclado). Por lo tanto:

$$MLSS = MLVSS + MLNVSS$$

Sólidos en suspensión del licor mezclado = sólidos en suspensión volátiles del licor mezclado + sólidos en suspensión no volátiles del licor mezclado.

La concentración de VSS en la alimentación inicial (X_{vf}) es despreciable en muchos casos, ya que en esta etapa no se ha efectuado una cantidad apreciable de aereación. Los VSS se producen continuamente en el reactor debido a la síntesis de materia biológica y se purgan continuamente en el efluente.

Con objeto de mantener una concentración constante de MLVSS en el reactor, la mayor parte de la descarga del clarificador se recicla a cabeza. La relación de reciclado r se calcula mediante un balance de materia que tiene en cuenta la necesidad del mantenimiento de la concentración seleccionada X_{va} de MLVSS dentro del reactor en todo momento. Debido a la síntesis de materia biológica, hay una producción neta de MLVSS en el reactor (ΔX_v , kg/d).

Por lo tanto, para mantener constante la concentración de MLVSS en el reactor en todo momento, es necesario purgar del sistema una masa de MLVSS (kg/d) igual a esta producción neta ΔX_v . Esto se lleva a cabo principalmente mediante la purga intencionada de algo de lodo (corriente 6).

Algo de VSS se pierde también en el efluente final ($Q_e X_{ve}$). Aunque se indica una purga continua, en la práctica esto se hace de una forma intermitente. Es más sencillo plantear los balances de materia para la operación en equilibrio: de esta forma se supone una purga continua. La purga intermitente supone operación en régimen no estacionario. Ya que la corriente de purga es normalmente pequeña al compararla con el reciclado, la suposición de purga continua no introduce un error apreciable en el balance de materia global.

La concentración de VSS en el efluente del reactor (corriente 3) es X_{va} , ya que se suponen condiciones de equilibrio y de mezcla completa.

El efluente del reactor fluye al clarificador secundario. La descarga de este último (corriente 5) es un lodo que contiene una concentración de VSS representada por X_{vu} ($X_{vu} > X_{va}$). El valor de X_{vu} se selecciona durante el proyecto, diseñando el clarificador para cumplir con el valor especificado. Normalmente X_{vu} tiene valores comprendidos entre 10 000 y 15 000 mg/l de VSS. Las concentraciones de VSS en la purga y en el lodo reciclado son asimismo iguales a X_{vu} . En el efluente final del clarificador secundario la concentración de VSS (X_{ve}) es normalmente despreciable, ya que el clarificador se proyecta normalmente para una retención de sólidos aproximadamente del 100%. La concentración de VSS en la alimentación combinada X_{vo} , se calcula mediante un balance de materia en el punto de intersección de las corrientes 1,2 y 7.

3.- Sólidos no volátiles en suspensión (NVSS). La concentración de MLNVSS en el reactor se indica por X_{Nva} , y es igual a la existente en la alimentación combinada y en el efluente del reactor. Esto es así debido a que se supone mezcla completa y a que no hay producción de NVSS en el reactor (a diferencia de la producción neta de VSS) por ello:

$$X_{Nva} = X_{Nvo}$$

La concentración de NVSS en la alimentación inicial se designa mediante X_{Nvf} y la del lodo reciclado por X_{Nvu} (la misma que en la descarga del clarificador secundario). En la alimentación combinada esta concentración viene demostrada por X_{Nvo} y se calcula mediante un balance de materia en la intersección de las corrientes 1, 2 y 7.

Los NVSS del efluente del reactor se separan asimismo mediante sedimentación en el clarificador secundario. La concentración de NVSS en la descarga del clarificador se indica mediante X_{Nvu} y la del efluente final, normalmente despreciable, se representa por X_{Nve} .

En el lodo purgado, los kilogramos por día de VSS se indican mediante $(VSS)_w$. Este término incluye la producción neta de VSS en el reactor (ΔX_v) mas los VSS introducidos con la alimentación inicial ($Q_f X_{vf}$) menos los VSS perdidos en el efluente final ($Q_e X_{ve}$). En la corriente de purga hay también NVSS, designados por $(NVSS)_w$.

Las concentraciones respectivas de DBO soluble, VSS y MVSS son las mismas para la descarga del clarificador, la corriente de purga y el lodo reciclado, representada respectivamente por S_u , X_{vu} y X_{Nvu} .

De un balance global de agua residual:

$$Q_f = Q_e + Q_w$$

Los caudales de aguas residuales se expresan normalmente en m³/s (metros cúbicos por segundo).

La relación de reciclado r viene definida por:

$$r = Q_r / Q_f = \text{agua residual reciclada, m}^3/\text{s} / \text{agua residual inicial, m}^3/\text{s}$$

$$\text{por lo tanto } Q_r = rQ_f$$

Ya que la alimentación combinada Q_o es igual a la alimentación inicial más el reciclado:

$$Q_o = Q_f + Q_r = Q_f(1 + r)$$

Por ello, la densidad de todas las corrientes líquidas se supone igual a la del agua a la temperatura ambiente. Esto resulta una aproximación suficiente ya que se trabaja con soluciones acuosas relativamente diluidas.

4.5 FORMULACIÓN DE UN REACTOR BIOLÓGICO CONTINUO

Considérese un reactor biológico continuo que opera bajo régimen estacionario y mezcla completa (RFCTA). El balance de materia del sustrato que entra y abandona el reactor puede escribirse como sigue:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Velocidad neta} \\ \text{de cambio en} \\ \text{el reactor} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad a la que} \\ \text{el sustrato entra en} \\ \text{el reactor (en el afluente)} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad a la que} \\ \text{el sustrato abandona} \\ \text{el reactor (en el efluente)} \end{array} \right] -$$

$$- \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad a la que} \\ \text{el sustrato se} \\ \text{oxida en el} \\ \text{reactor} \end{array} \right]$$

Bajo régimen estacionario, la concentración de sustrato en el reactor permanece constante y por tanto el primer miembro de la ecuación anterior desaparece, esto es: ^[20]

$$0 = \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad a la que} \\ \text{el sustrato entra en} \\ \text{el reactor (en el afluente)} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad a la que} \\ \text{el sustrato abandona} \\ \text{el reactor (en el efluente)} \end{array} \right] -$$

$$- \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad a la que} \\ \text{el sustrato se} \\ \text{oxida en el} \\ \text{reactor} \end{array} \right]$$

Los dos términos del segundo miembro de la ecuación anterior se refieren al consumo neto de sustrato debido a la acción hidráulica solamente y se definen como:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Velocidad a la que} \\ \text{el sustrato entra} \\ \text{en el reactor} \\ \text{(en el afluente)} \end{array} \right] = Q_0 S_0$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{Velocidad a la que} \\ \text{el sustrato abandona} \\ \text{el reactor (en el} \\ \text{efluente)} \end{array} \right] = Q_0 S_e$$

La velocidad de consumo de sustrato debida a la utilización por los microorganismos (degradación aerobia) está dada por la derivada dS/dt . Como la derivada dS/dt es intrínsecamente negativa, se utilizará su valor absoluto.

Ya que el sustrato S se expresa en unidades de volumen (mg DBO/l), el valor (dS/dt) debe multiplicarse por el volumen del reactor antes de su sustitución en la primera ecuación. Por lo tanto:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{se oxida en} \\ \text{el reactor} \end{array} \right] = (dS/dt)_a V$$

La sustitución de las tres ecuaciones anteriores en la primera ecuación conduce a:

$$0 = Q_0 S_0 - Q_0 S_e - (dS/dt)_a V$$

De la que:

$$(ds/dt)_a = Q_0 (S_0 - S_e)/V$$

Normalmente, la velocidad de consumo de sustrato se expresa por la unidad de masa de MLVSS presente en el reactor. Esta cantidad, representada por q , se denomina velocidad específica de consumo de sustrato, y se define mediante:

$$q = - \frac{1}{X_{v,a}} \left(\frac{dS}{dt} \right)_a = \frac{1}{X_{v,a}} \left(\frac{dS}{dt} \right)_a$$

Combinando las ecuaciones anteriores:

$$q = \frac{1}{X_{v,a}} \left(\frac{dS}{dt} \right)_a = \frac{Q_0 (S_0 - S_e)}{V X_{v,a}}$$

Sin embargo:

$$t_h = V/Q_0 = \frac{m^3}{m^3/d} = d = \text{tiempo de residencia hidráulico en el reactor } (t_h)$$

En consecuencia:

$$q = \frac{1}{X_{v,a}} \left(\frac{dS}{dt} \right)_a = \frac{S_o - S_e}{X_{v,a} t_h}$$

La velocidad específica de consumo de sustrato $(S_o - S_e)/X_{v,a} t_h$ corresponde a la velocidad de consumo de sustrato en el reactor continuo por unidad de masa de MLVSS presente en el reactor. Las unidades son:

$$\begin{aligned} (S_o - S_e)/X_{v,a} t_h &= \frac{\text{mg/l de DBO consumida}}{(\text{mg/l}) \text{ de MLVSS } (d)} \\ &= \text{mg DBO consumida}/(d)(\text{mg MLVSS}) \\ &= \text{kg DBO consumida}/(d)(\text{kg MLVSS}) \end{aligned}$$

4.6 BALANCE DE MATERIA PARA DETERMINAR EL CONSUMO DE OXÍGENO

El conocimiento de las necesidades de oxígeno para efectuar un consumo específico de DBO resulta imprescindible a la hora de diseñar el equipo de aereación. Se requiere oxígeno con dos fines: (1) oxidar el sustrato con objeto de proporcionar energía a las células y (2) en el proceso de respiración endógena.

1. Oxígeno requerido para oxidar el sustrato. Los kilogramos de oxígeno requeridos por día se calculan:

$$\text{kg O}_2/d \quad (\text{para oxidación del sustrato}) = a(S_o - S_e)Q_o = aS_i Q_o$$

En la que $S_r = S_o - S_e =$ sustrato total consumido

En la ecuación anterior se utilizan valores apropiados de a compatibles con los parámetros en los que se expresa el consumo total de sustrato $(S_o - S_e)$, si en esta ecuación:

$a =$ kg O₂/kg DBO consumida

$S_r = S_o - S_e =$ mg/l de DBO consumida

$Q_o =$ m³/s

Se requiere un factor de 86.4, esto es:

$$\text{kg O}_2/\text{d} = 86.4aS_rQ_o$$

(para energía)

- Oxígeno requerido en la respiración endógena. Para este cálculo se utiliza la ecuación siguiente, como en el caso de la ecuación anterior se necesita un factor, ahora de 10^{-3} para expresar el resultado en kg O₂/d cuando $b = \text{kg O}_2/\text{d}$, $X_{v,a} = \text{mg/l}$ de MLVSS en el reactor y V es el volumen del reactor en m³:

$$\text{kg O}_2/\text{d} = bX_{v,a}V \times 10^{-3}$$

(respiración endógena)

El consumo total de oxígeno viene dado como:

$$\text{kg O}_2/\text{d} = \text{kg O}_2/\text{d} + \text{kg O}_2/\text{d}$$

(para la oxidación de sustrato) (respiración endógena)

o

$$\text{kg O}_2/\text{d} = a(S_o - S_e)Q_o + bX_{v,a}V = aS_rQ_o + bX_{v,a}V$$

Debe tenerse en cuenta que la ecuación anterior no incluye el oxígeno empleado en la nitrificación, ya que dicha ecuación ha sido desarrollada únicamente sobre la base de la demanda de oxígeno de la materia carbonosa. Si se produce nitrificación en una cantidad apreciable debe incluirse un tercer término en el segundo miembro de la ecuación para tener en cuenta la demanda de oxígeno para la nitrificación (DON).

4.7 BALANCE DE MATERIA PARA LA DETERMINACION DE LA PRODUCCION NETA DE BIOMASA (MLVSS)

Una fracción de sustrato consumido se utiliza en la producción de MLVSS, calculándose los kilogramos de MLVSS producidos, y parte de lo producidos se pierde en respiración endógena, calculándose la biomasa perdida.

- Biomasa producida por consumo de sustrato. Los MLVSS producidos en kg/d se calculan como:

$$\text{kg/d de MLVSS producido} = Y(S_o - S_e)Q_o = YS_rQ_o$$

En esta ecuación se utilizan los valores de Y compatibles con los parámetros en los que se expresa el sustrato total consumido ($S_o - S_e$).

Se necesita igualmente un factor de 86.4 para el cálculo de los kg/d de MLVSS, si $Y = \text{kg de MLVSS producidos/kg de DBO total consumida}$

$$S_r = \text{mg/l de DBO consumida y } Q_0 = \text{m}^3/\text{s}$$

Por ello:

$$\text{kg/d de MLVSS producido} = 86.4 Y S_r Q_0$$

2. Biomasa perdida en la respiración endógena. El lodo perdido por respiración endógena se obtiene de la siguiente forma. Se requiere el factor 10^{-3} para el cálculo de los kilogramos de biomasa oxidados por día si $k_d = \text{kg MLVSS oxidado/(d)(kg MLVSS en el reactor)}$

$$X_{v,a} = \text{mg/l de MLVSS en el reactor y } V \text{ es el volumen del reactor en } \text{m}^3$$

De esta forma:

$$\text{kg MLVSS oxidado/d} = k_d X_{v,a} V \times 10^{-3}$$

(respiración endógena)

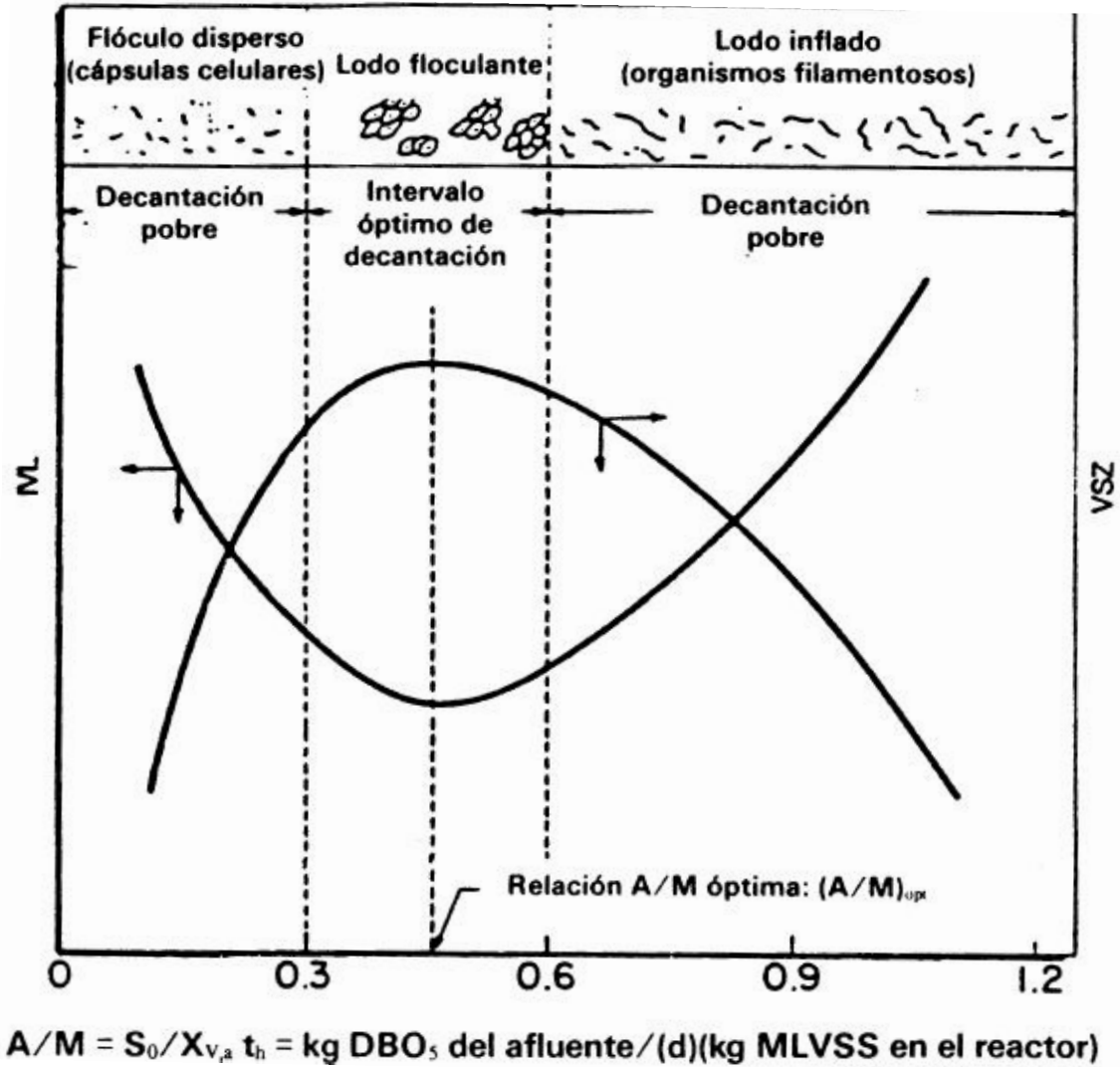
4.8 RELACIÓN PARA CALCULAR LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE DECANTACIÓN DE LODO

Para que el proceso de lodos activados funcione adecuadamente, los MLVSS del efluente del reactor deben separarse rápidamente en el clarificador secundario. La condición que se presenta a veces por la que el lodo es ligero y disperso (lodo inflado) y por ello difícil de sedimentar se denomina "bulking". El lodo de estas características pasa por encima de los vertederos de separación y se escapa con el efluente del clarificador secundario. Ya que la concentración de sustrato en el efluente es pequeña, no hay bastante alimento para mantener el crecimiento de los microorganismos que constituyen el lodo. Por lo tanto los microorganismos se ven obligados a funcionar en régimen de respiración endógena. Debido al consumo de oxígeno de la respiración endógena, ese efluente tendría una DBO relativamente elevada, lo que no resulta deseable. Las características de decantación de los lodos se evalúan mediante ensayos de sedimentación realizados en el laboratorio. Para esta evaluación se utilizan normalmente dos parámetros: velocidad de sedimentación por zonas (VSZ) e índice volumétrico de lodo (IVL).

Varios autores han correlacionado las características de decantación del lodo (expresadas por la VSZ y por el IVL) con un parámetro denominado relación alimento a microorganismos (A/M) que se define por la ecuación: ^[20]

$$A/M = \text{kg de sustrato en el afluente/(d)(kg MLVSS en el reactor)}$$

CORRELACIÓN TÍPICA DE IVL Y VSZ CON A/M [20]



4.9 ECUACIÓN DEL BALANCE DE MATERIA PARA Q_0

De la relación entre los caudales Q_0 y Q_f se obtiene:

$$Q_0 = Q_f (1+r)$$

4.10 BALANCE DE MATERIA PARA S_0

La DBO de la alimentación combinada S_0 se calcula mediante un balance de DBO alrededor de la unión de la alimentación inicial y el lodo reciclado para formar la alimentación combinada en la figura 4, este balance de materia es como sigue:

DBO Entrada: $Q_f S_f + Q_r S_e$ (de la ecuación: $Q_f S_f + r Q_f S_e$)

DBO Salida: $Q_o S_o$ (de la ecuación: $Q_f(1+r)S_o$)

Por ello, en condiciones de equilibrio:

$$Q_f S_f + r Q_f S_e = Q_f(1+r)S_o$$

Por lo tanto:

$$S_o = (S_f + r S_e)/(1+r)$$

De la ecuación (5.110) el consumo de DBO soluble en el reactor es:

$$S_o - S_e = [(S_f + r S_e)/(1+r)] - S_e$$

o:

$$S_o - S_e = (S_f - S_e)/(1+r)$$

4.11 BALANCE DE MATERIA PARA X_{vo} y X_{Nvo}

La concentración de sólidos volátiles en la alimentación combinada (X_{vo}) se establece mediante un balance de materia:

$$\text{VSS Entrada} = Q_f X_{v,f} + Q_r X_{v,u}$$

$$\text{VSS Salida} = Q_o X_{v,o}$$

En condiciones de equilibrio:

$$Q_f X_{vf} + Q_r X_{vu} = Q_o X_{vo}$$

$$X_{vo} = (X_{vf} + r X_{vu})/(1+r)$$

Se plantea un balance de materia similar para la concentración de sólidos en suspensión no volátiles en la alimentación combinada (X_{Nvo}) cuyo resultado es:

$$X_{Nvo} = (X_{Nvf} + r X_{Nvu})/(1+r)$$

4.12 ECUACIÓN DE DISEÑO PARA LA PRODUCCIÓN NETA DE BIOMASA

$$\Delta X_v = Y(S_f - S_e)Q_f - k_d X_{v,a} V$$

4.13 ECUACIÓN DE DISEÑO DE LA UTILIZACIÓN DE OXÍGENO

$$\text{kg O}_2/\text{d} = a(S_f - S_e)Q_f + b X_{v,a} V$$

4.14 ECUACIÓN DE DISEÑO DE LA RELACIÓN A/M

$$A/M = Q_F S_F / X_{V,a} V = S_F / X_{V,a} t$$

A continuación se presenta una relación con el balance global de materia de los VSS

VSS que entran (kg/d)	VSS que salen (kg/d)
1. Síntesis de VSS en el reactor: $Y(S_F - S_e)Q_F$	1. VSS en la corriente de purga (VSS) _w : $(VSS)_w = Q_w X_{V,u}$
2. VSS en la alimentación inicial: $Q_F X_{V,F}$	2. VSS perdidos en el reactor por respiración endógena: $k_d X_{V,a} V$
	3. VSS perdidos en el rebosadero del clarificador: $Q_e X_{V,e}$

De la información contenida en el cuadro anterior y en condiciones de equilibrio:

$$Y(S_F - S_e)Q_F + Q_F X_{V,F} = (VSS)_w + k_d X_{V,a} V + Q_e X_{V,e}$$

$$\therefore (VSS)_w = Q_w X_{V,u} = \underbrace{Y(S_F - S_e)Q_F - k_d X_{V,a} V + Q_F X_{V,F} - Q_e X_{V,e}}_{\Delta X_V}$$

$$\therefore (VSS)_w = Q_w X_{V,u} = \Delta X_V + Q_F X_{V,F} - Q_e X_{V,e}$$

A continuación se presenta una relación que representa el balance global de materia de los NVSS

NVSS que entran (kg/d)	NVSS que salen (kg/d)
1. NVSS en la alimentación inicial: $Q_F X_{NV,F}$	1. NVSS en la corriente de purga (NVSS) _w : $(NVSS)_w = Q_w X_{NV,u}$
	2. NVSS en el rebosadero del clarificador: $Q_e X_{NV,e}$

Con la información anterior y en condiciones de equilibrio:

$$Q_F X_{NV,F} = (NVSS)_w + Q_e X_{NV,e}$$

o

$$(NVSS)_w = Q_w X_{NV,u} = Q_F X_{NV,F} - Q_e X_{NV,e}$$

4.15 BALANCE DE MATERIA PARA LA PRODUCCIÓN TOTAL DE LODOS:

$$\begin{aligned} (TSS)_w &= (VSS)_w + (NVSS)_w \\ &= Y(S_F - S_e)Q_F - k_d X_{V,a} V + Q_F X_{V,F} - Q_e X_{V,e} \\ &\quad + Q_F (X_{NV,F} - X_{NV,e}) + Q_w X_{NV,e} \end{aligned}$$

4.16 ECUACIÓN DE DISEÑO PARA LA RELACIÓN DE RECICLADO R:

$$r = \frac{Q_F X_{V,a} - \Delta X_V - Q_F X_{V,F}}{Q_F (X_{V,u} - X_{V,a})}$$

4.17 ECUACIONES DE DISEÑO QUE DEFINEN EL CAUDAL DE PURGA Q_w y EL REBOSAMIENTO DEL CLARIFICADOR Q_e :

$$Q_w = \frac{\Delta X_V + Q_F X_{V,F} - Q_F X_{V,e}}{X_{V,u} - X_{V,e}}$$

$$Q_e = Q_F - \frac{\Delta X_V + Q_F X_{V,F} - Q_F X_{V,e}}{X_{V,u} - X_{V,e}}$$

4.18 CALCULO DEL TIEMPO DE RESIDENCIA EN EL REACTOR

El tiempo de residencia en el reactor se calcula mediante dos criterios con objeto de determinar cuál controla el diseño, estos son:

1. Calidad del efluente, que debe cumplir con las especificaciones impuestas por las autoridades. La calidad del efluente depende del consumo de DBO soluble dado por:

$$t = (S_F - S_e) / k X_{V,a} S_e$$

2. Carga orgánica, valorada a partir de la relación A/M de floculación y decantación óptima de lodo.

$$t = S_F / [X_{v,a}(A/M)_{opt}]$$

4.19 BALANCE DE MATERIA DE LOS SÓLIDOS NO VOLÁTILES EN SUSPENSIÓN

Ecuaciones de diseño ^[20]

$$X_{NV,a} = (1 - F_v)X_{v,a}/F_v = X_{NV,o}$$

$$X_{NV,u} = [Q_F(r + 1)X_{NV,a} - Q_cX_{NV,c}]/Q_u$$

$$X_{NV,F} = (r + 1)X_{NV,a} - rX_{NV,u}$$

4.20 PROGRAMA EN HOJA DE CÁLCULO DE MICROSOFT OFFICE EXCEL 2007™

Con el análisis a fondo de la información anterior, que es solo una parte representativa de la totalidad de la información necesaria para el diseño de plantas de lodos activados, pero que no ha sido incluida en este capítulo, pues este no es el objetivo de la presente Tesis, se han desarrollado diversas hojas de cálculo (3) para el caso de estudio a partir de la programación de un algoritmo de cálculo presentado en la versión electrónica de esta tesis profesional.

Estas hojas de cálculo, contienen datos supuestos, remarco, supuestos, ya que su finalidad ha sido la de suponer escenarios de variaciones de flujo, concentraciones de SS y DBO.

Ahora bien, con el desarrollo del algoritmo de cálculo y las hojas de cálculo de Microsoft Excel, se cimentaron las bases para desarrollar una hoja de cálculo más, esta correspondiente a datos muy próximos, más no reales, a los datos de flujo de entrada, concentración de DBO y SS, en temporadas de estiaje y lluvia, además de las dimensiones del clarificador y del reactor de lodos activados, de la planta de tratamiento de efluentes ubicada en la TAD "Sardinero", en Veracruz. La imposibilidad de utilizar datos reales, se debe a la no asignación del proyecto que en un principio fue contemplado y que por ende, trae hermeticidad en la utilización de datos de una empresa como PEMEX. Estos datos son:

CLARIFICADOR				
	Estiaje		Lluvia	
FLUJO m ³ /d	8000	12000	15000	50000
SS Xi mg/l	650	500	430	300
LODOS ACTIVADOS				
	Estiaje		Lluvia	
FLUJO m ³ /d	8000	12000	15000	50000
DBO mg/l	5000	3000	1000	500

4.21 DISTINTOS ESCENARIOS PARA EL DESARROLLO DE ALTERNATIVAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

A continuación se presentan distintos escenarios para el desarrollo de alternativas en la planta de tratamiento. Estos escenarios son:

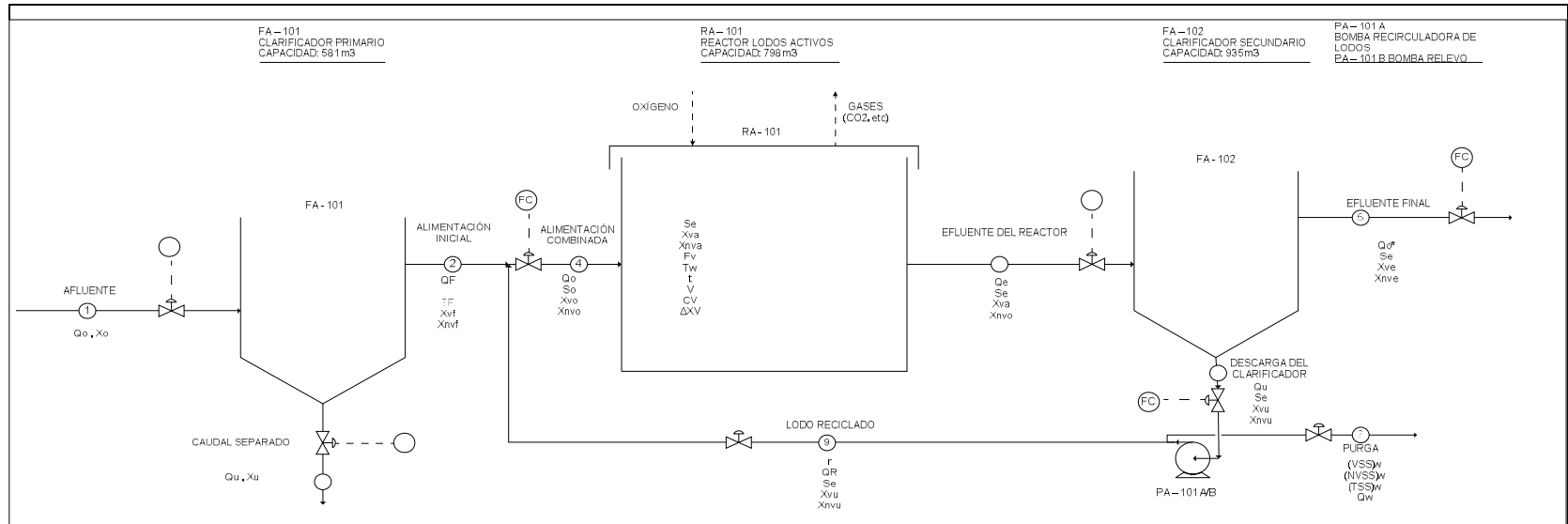
1. 15 000 m³/d de caudal de agua residual original (Qo), 500 mg/l de sólidos en suspensión promedio en el afluente (Xo), 500 mg/l de DBO soluble en el afluente (So). Utilizando las instalaciones existentes y un clarificador secundario.
2. 25 000 m³/d de caudal de agua residual original (Qo), 500 mg/l de sólidos en suspensión promedio en el afluente (Xo), 500 mg/l de DBO soluble en el afluente (So). Utilizando un clarificador primario totalmente nuevo, el reactor de lodos activados existente y un clarificador secundario.
3. 25 000 m³/d de caudal de agua residual original (Qo), 1000 mg/l de sólidos en suspensión promedio en el afluente (Xo), 1000 mg/l de DBO soluble en el afluente (So). Utilizando un clarificador primario totalmente nuevo, además de las instalaciones existentes y un clarificador secundario.

A EFECTOS DE FUNCIONALIDAD EN LA PRESENTACIÓN DE ESTOS RESULTADOS, ES HAN OMITIDO GRÁFICAS Y ANOTACIONES IMPORTANTES EN LA TOMA DE DECISIONES EN CUANTO A PARÁMETROS DE ENTRADA EN EL PROGRAMA, PERO COMO SE HA MENCIONADO ANTERIORMENTE, ESTE PROGRAMA ES PRESENTADO EN SU TOTALIDAD EN EL APENDICE DE LA VERSIÓN ELECTRÓNICA DE ESTA TESIS PROFESIONAL.

CAPÍTULO QUINTO:

INGENIERÍA CONCEPTUAL DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE
EFLUENTES

5.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO QUE DESCRIBE EL ESCENARIO 1

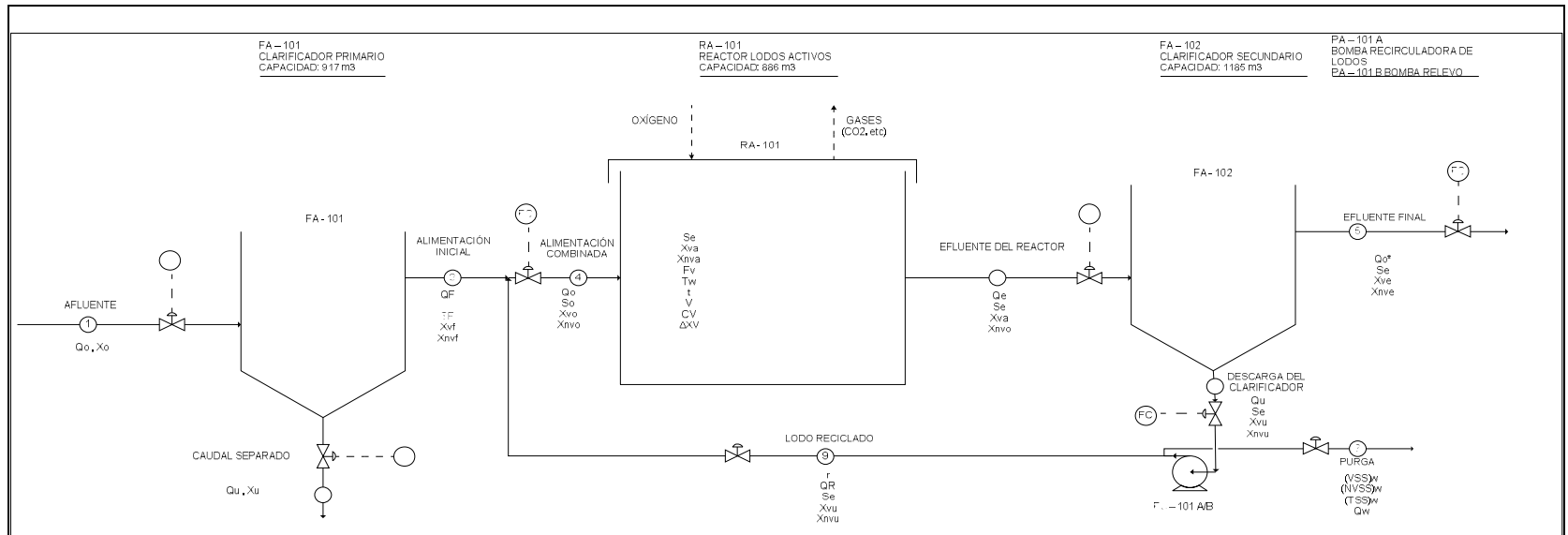


BALANCE DE MATERIA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CAUDAL Qi (m3/s)	0.1736	0.1705	0.0031	0.20	0.20	0.1698	0.034	0.0007	0.03
SS Xi (mg/l)	500	275	13000						
DBO SOLUBLE Si (mg DBO5/l)	500	175	verano 150 invierno	150	20.0	20.0	20.0		20.0
SV Xvi (mg/l)		0		1944	2000	20	12000		12000
SNV Xnvi (mg/l)		12.4621		500	500	0*	3022		3022
VSSi (kg/d)							verano 686.98 invierno	1066	
NVSSi (kg/d)							184		
TSSi (kg/d)							verano 871 invierno	1250	
REL. RECICL r (%)								verano 19.3 invierno	19.3

REVISION	DESCRIPCIÓN	JEFE DE PROYECTO	FECHA	CLIENTE	FECHA	INGENIERIA
1	Para aprobación	Ing. Isaac Castillo	17/01/2009		17/01/2009	UNAM TORRE DE INGENIERIA QUIMICA
						INGENIERIA
						PLANTA DE LODOS ACTIVADOS
						M. en I. J. ANTONIO ORTIZ RAMIREZ
						DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PLANTA DE LODOS ACTIVADOS
						LIDER DE PROYECTO
						CIUDAD UNIVERSITARIA D. MEXICO
						ESC. ACOT. EN
						PLANO NO.
						REV.

En el diagrama de flujo de proceso que describe el escenario uno, tenemos un afluente de agua residual cruda (Q_o) que ingresa con una concentración de sólidos suspendidos (X_o) por la corriente 1, al clarificador primario FA – 101 donde después de cierto tiempo de sedimentación, se obtienen dos corrientes, la corriente 2 que es la corriente de alimentación inicial al reactor de lodos activados RA – 101 con un caudal (Q_f), concentración de DBO soluble inicial (S_f), sólidos suspendidos volátiles (X_{vf}) y sólidos suspendidos no volátiles (X_{nvf}); y la corriente 3, que maneja básicamente un caudal separado (Q_u) con una concentración de sólidos suspendidos (X_u). La corriente 2 descrita anteriormente, en unión con la corriente 9 (descrita posteriormente) dan origen a una corriente de alimentación combinada al reactor de lodos activados RA – 101, denominada con el número 4 la cual contiene un caudal de alimentación combinada (Q_o) una concentración de DBO soluble (S_o), sólidos volátiles suspendidos (X_{vo}) y sólidos suspendidos no volátiles (X_{nvo}), una vez que esta corriente ingresa al reactor de lodos activados RA – 101, teniendo lugar en el la respectiva disminución de carga orgánica (DBO), la cual es la función principal de este reactor, se genera de el la corriente 5, conteniendo un caudal efluente del reactor (Q_e), una concentración de DBO (S_e), concentración de sólidos volátiles (X_{va}) y concentración de sólidos no volátiles (X_{nvo}); la corriente 5 ingresa al clarificador secundario FA – 102 donde se lleva a cabo una sedimentación para eliminar sólidos suspendidos remanentes y algunas otras impurezas provenientes del efluente del reactor, esto con la finalidad de obtener un efluente final (Q_o^*) identificado con la corriente 6, una concentración de DBO (S_e), sólidos volátiles finales (X_{ve}) y sólidos no volátiles finales (X_{nve}); en la descarga del clarificador se identifica la corriente 7, conteniendo en ella el caudal separado de este clarificador (Q_u), una concentración de DBO (S_e) y concentraciones de solidos suspendidos volátiles y no volátiles respectivamente (X_{vu}) y (X_{nvu}), esta corriente es bombeada por el equipo PA – 101A, el cual genera dos corrientes: la corriente 8 que es una corriente de purga y contiene solidos suspendidos volátiles de desperdicio ($VSS)_w$, sólidos suspendidos no volátiles de desperdicio ($NVSS)_w$ en un caudal Q_w . La corriente 9 contiene lodo reciclado, en un caudal Q_r , una concentración de DBO (S_e), al igual que concentraciones de sólidos suspendidos volátiles y no volátiles respectivamente (X_{vu}) y (X_{nvu}), esta corriente se une con la corriente 2 para dar origen a la corriente 4.

5.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO QUE DESCRIBE EL ESCENARIO 2



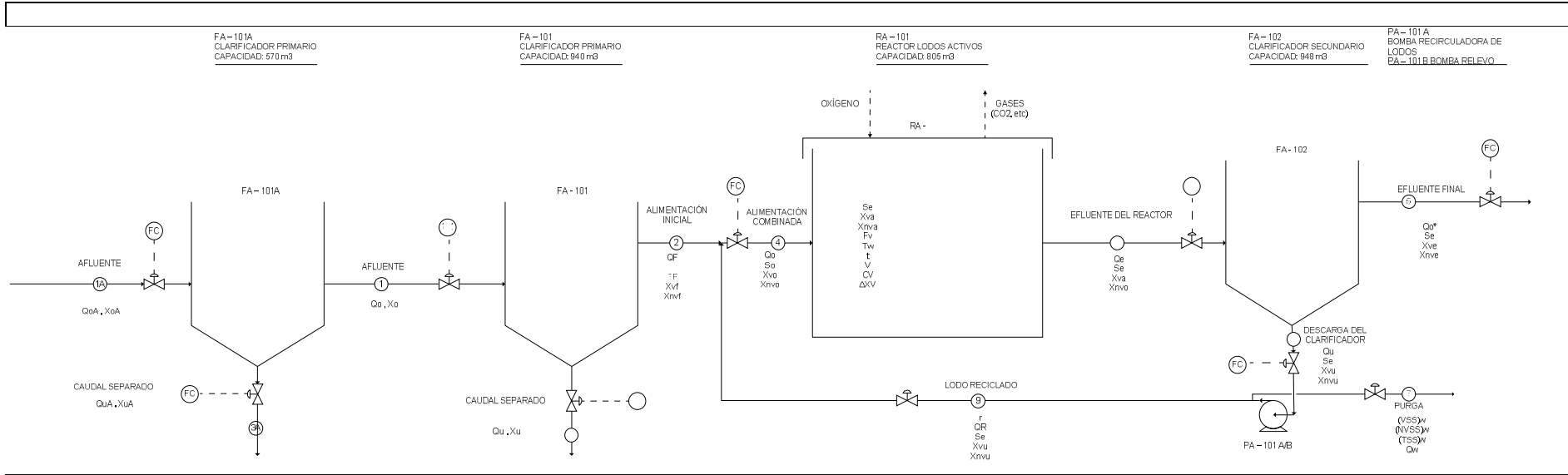
BALANCE DE MATERIA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CAUDAL Qi (m3/s)	0.2894	0.2842	0.0051	0.38	0.38	0.2831	0.094	0.0012	0.09
SS Xi (mg/l)	500	275	13000						
DBO SOLUBLE Si (mg DBO5/l)	500	175		verano 137 invierno	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
SV Xvi (mg/l)		0		2950	3000	20	12000		12000
SNV Xnvi (mg/l)		12.4264		750	750	0*	3013		3013
VSSI (kg/d)							verano 1144.96 invierno		
NVSSI (kg/d)							1777		
TSSI (kg/d)							verano 305 invierno		
REL. RECICL r (%)							verano 2082 invierno		
							verano 32.6 invierno		

REVISION	DESCRIPCIÓN	JEFE DE PROYECTO	FECHA	CLIENTE	FECHA	ISAAC CASTILLO	UNAM TORRE DE INGENIERIA QUIMICA	INGENIERIA
1	Para aprobación	Ing. Isaac Castillo	17/01/2009		17/01/2009	PLANTA DE LODOS ACTIVADOS M. en I. J. ANTONIO ORTIZ RAMIREZ	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PLANTA DE LODOS ACTIVADOS	
						LIDER DE PROYECTO CIUDAD UNIVERSITARIA D. MEXICO	ESC. ACOT. EN	PLANO NO. REV.

En el diagrama de flujo de proceso que describe el escenario dos, tenemos un afluente de agua residual cruda (Q_o) que ingresa con una concentración de sólidos suspendidos (X_o) por la corriente 1, al clarificador primario FA – 101 donde después de cierto tiempo de sedimentación, se obtienen dos corrientes, la corriente 2 que es la corriente de alimentación inicial al reactor de lodos activados RA – 101 con un caudal (Q_f), concentración de DBO soluble inicial (S_f), sólidos suspendidos volátiles (X_{vf}) y sólidos suspendidos no volátiles (X_{nvf}); y la corriente 3, que maneja básicamente un caudal separado (Q_u) con una concentración de sólidos suspendidos (X_u). La corriente 2 descrita anteriormente, en unión con la corriente 9 (descrita posteriormente) dan origen a una corriente de alimentación combinada al reactor de lodos activados RA – 101, denominada con el número 4 la cual contiene un caudal de alimentación combinada (Q_o) una concentración de DBO soluble (S_o), sólidos volátiles suspendidos (X_{vo}) y sólidos suspendidos no volátiles (X_{nvo}), una vez que esta corriente ingresa al reactor de lodos activados RA – 101, teniendo lugar en el la respectiva disminución de carga orgánica (DBO), la cual es la función principal de este reactor, se genera de el la corriente 5, conteniendo un caudal efluente del reactor (Q_e), una concentración de DBO (S_e), concentración de sólidos volátiles (X_{va}) y concentración de sólidos no volátiles (X_{nvo}); la corriente 5 ingresa al clarificador secundario FA – 102 donde se lleva a cabo una sedimentación para eliminar sólidos suspendidos remanentes y algunas otras impurezas provenientes del efluente del reactor, esto con la finalidad de obtener un efluente final (Q_o^*) identificado con la corriente 6, una concentración de DBO (S_e), sólidos volátiles finales (X_{ve}) y sólidos no volátiles finales (X_{nve}); en la descarga del clarificador se identifica la corriente 7, conteniendo en ella el caudal separado de este clarificador (Q_u), una concentración de DBO (S_e) y concentraciones de sólidos suspendidos volátiles y no volátiles respectivamente (X_{vu}) y (X_{nvu}), esta corriente es bombeada por el equipo PA – 101A, el cual genera dos corrientes: la corriente 8 que es una corriente de purga y contiene sólidos suspendidos volátiles de desperdicio ($VSS)_w$, sólidos suspendidos no volátiles de desperdicio ($NVSS)_w$ en un caudal (Q_w). La corriente 9 contiene lodo reciclado, en un caudal (Q_r), una concentración de DBO (S_e), al igual que concentraciones de sólidos suspendidos volátiles y no volátiles respectivamente (X_{vu}) y (X_{nvu}), esta corriente se une con la corriente 2 para dar origen a la corriente 4.

5.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO QUE DESCRIBE EL ESCENARIO 3



BALANCE DE MATERIA											
	1A	3A	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CAUDAL Qi (m³/s)	0.2894	0.0228	0.2665	0.2628	0.0038	0.31	0.31	0.2622	0.052	0.0006	0.05
SS Xi (mg/l)	1000	8000	400	220	13000						
DBO SOLUBLE Si (mg DBO5/l)	1000		350	122.5							
SV Xvi (mg/l)				0							
SNV Xnvi (mg/l)				6.5541							
VSSI (kg/d)											
NVSSI (kg/d)											
TSSI (kg/d)											
REL. RECICL r (%)											

REVISION	DESCRIPCIÓN	JEFE DE PROYECTO	FECHA	CLIENTE	FECHA	INGENIERIA
1	Para aprobación	Ing. Isaac Castillo	17/01/2009			INGENIERIA QUIMICA
						UNAM TORRE DE INGENIERIA QUIMICA
						PLANTA DE LODOS ACTIVADOS M. en I. J. ANTONIO ORTIZ RAMIREZ
						DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PLANTA DE LODOS ACTIVADOS
						ESC. ACOT EN
						PLANO NO.
						REV.

En el diagrama de flujo de proceso que describe el escenario tres, tenemos un afluente de agua residual cruda (Q_{oA}), que ingresa con una concentración de sólidos suspendidos (X_{oA}) por la corriente 1A al clarificador primario FA – 101A, el cual después de cierto tiempo de sedimentación, genera un par de corrientes, la corriente 1 y la corriente 3A. La corriente 3A, contiene un caudal separado (Q_{uA}) con la respectiva concentración de sólidos suspendidos (X_{uA}). En la corriente 1 tenemos un afluente de agua residual (Q_o) que ingresa con una concentración de sólidos suspendidos (X_o), al clarificador primario FA – 101 donde después de cierto tiempo de sedimentación, se obtienen dos corrientes, la corriente 2 que es la corriente de alimentación inicial al reactor de lodos activados RA – 101 con un caudal (Q_f), concentración de DBO soluble inicial (S_f), sólidos suspendidos volátiles (X_{vf}) y sólidos suspendidos no volátiles (X_{nvf}); y la corriente 3, que maneja básicamente un caudal separado (Q_u) con una concentración de sólidos suspendidos (X_u). La corriente 2 descrita anteriormente, en unión con la corriente 9 (descrita posteriormente) dan origen a una corriente de alimentación combinada al reactor de lodos activados RA – 101, denominada con el número 4 la cual contiene un caudal de alimentación combinada (Q_o) una concentración de DBO soluble (S_o), sólidos volátiles suspendidos (X_{vo}) y sólidos suspendidos no volátiles (X_{nvo}), una vez que esta corriente ingresa al reactor de lodos activados RA – 101, teniendo lugar en el la respectiva disminución de carga orgánica (DBO), la cual es la función principal de este reactor, se genera de el la corriente 5, conteniendo un caudal efluente del reactor (Q_e), una concentración de DBO (S_e), concentración de sólidos volátiles (X_{va}) y concentración de sólidos no volátiles (X_{nvo}); la corriente 5 ingresa al clarificador secundario FA – 102 donde se lleva a cabo una sedimentación para eliminar sólidos suspendidos remanentes y algunas otras impurezas provenientes del efluente del reactor, esto con la finalidad de obtener un efluente final (Q_{o^*}) identificado con la corriente 6, una concentración de DBO (S_e), sólidos volátiles finales (X_{ve}) y sólidos no volátiles finales (X_{nve}); en la descarga del clarificador se identifica la corriente 7, conteniendo en ella el caudal separado de este clarificador (Q_u), una concentración de DBO (S_e) y concentraciones de sólidos suspendidos volátiles y no volátiles respectivamente (X_{vu}) y (X_{nvu}), esta corriente es bombeada por el equipo PA – 101A, el cual genera dos corrientes: la corriente 8 que es una corriente de purga y contiene sólidos suspendidos volátiles de desperdicio (VSS)_w, sólidos suspendidos no volátiles de desperdicio ($NVSS$)_w en un caudal (Q_w). La corriente 9 contiene lodo reciclado, en un caudal (Q_r), una concentración de DBO (S_e), al igual que concentraciones de sólidos suspendidos volátiles y no volátiles respectivamente (X_{vu}) y (X_{nvu}), esta corriente se une con la corriente 2 para dar origen a la corriente 4.

CAPÍTULO SEXTO:

ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 RESULTADOS SOBRE EL CASO DE ESTUDIO

CLARIFICADOR				
	Estiaje		Lluvia	
FLUJO m3/d	8000	12000	15000	50000
SS Xi mg/l	650	500	430	300
LODOS ACTIVADOS				
	Estiaje		Lluvia	
FLUJO m3/d	8000	12000	15000	50000
DBO mg/l	5000	3000	1000	500

CLARIFICADOR PRIMARIO

					UNIDADES
CAUDAL AGUA RESIDUAL ORIGINAL Q_0 (m ³ /d)	8000	12000	15000	50000	m ³ /s
	0.0926	0.1389	0.1736	0.5787	
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN PROMEDIO X_0 (mg/l)	650	500	430	300	
DBO SOLUBLE S_0 (mg/l)	14286	8572	2858	1429	
REMOCIÓN ESTIMADA DE BOD (25 - 35%)	35	35	35	35	% FRACCIÓN
	0.35	0.35	0.35	0.35	
SEPARACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN EQUIVALENTE A (%)	50	50	50	50	% FRACCIÓN
	0.5	0.5	0.5	0.5	
FACTOR DE MEJORA EQUIVALENTE A (SELECCIONAR DE ACUERDO A RANGO)	1.25	1.25	1.25	1.25	
SECCIÓN DEL CLARIFICADOR					
TIEMPO DE RESIDENCIA t (min)	31.5	31.5	31.5	31.5	incluyendo fa
	39.4	39.4	39.4	39.4	
FACTOR DE CARGA (m ³ /m ² d)	81.4	81.4	81.4	81.4	incluyendo fa
	65.12	65.12	65.12	65.12	
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN DEL CAUDAL SEPARADO X_u (mg/l)	1.07	1.07	1.07	1.07	% mg/l
	10700	10700	10700	10700	

SOLIDOS EN SUSPENSIÓN EN EL AGUA CLARIFICADA Xf (mg/l)

325	250	215	150
-----	-----	-----	-----

DBO SOLUBLE EN EL AGUA CLARIFICADA Sf (mg/l)

5000	3000	1000	500
------	------	------	-----

EFLUENTE Qf (REBOSADERO DEL CLARIFICADOR) (m3/d)

7749	11713	14692	49289
0.0897	0.1356	0.1701	0.5705

m3/s

CAUDAL SEPARADO (QUE SALE) DEL CLARIFICADOR Qu (m3/d)

251	287	308	711
0.0029	0.0033	0.0036	0.0082

m3/s

AREA A (m2)

119.0	179.9	225.6	756.9
-------	-------	-------	-------

PARA CLARIFICADORES DE SECCIÓN CIRCULAR:

DIÁMETRO D (m)

12.31	15.13	16.95	31.04
6.15	7.57	8.47	15.52

radio

ALTURA H (m)

1.84	1.82	1.82	1.81
------	------	------	------

VOLUMEN V (m3)

219	328	410	1367
-----	-----	-----	------

PARA CLARIFICADORES DE SECCIÓN RECTANGULAR:

RELACION l/w =	l	3.5	3.5	3.5	3.5
	w	1	1	1	1
amplitud w = (m)	(w)(Xw)=	119.0	179.9	225.6	756.9
	w ² =	34.0	51.4	64.5	216.3
	w=	5.8	7.2	8.0	14.7
SELECCIÓN DE ESTÁNDAR ECONOMICO COMUN DE PUENTE (m)		5.49	8.5	8.5	11.6
PROFUNDIDAD MÍNIMA (m)		2.5	2.5	2.5	2.5
LONGITUD L (m)		21.7	21.2	26.5	65.2
VOLUMEN V (m3)		316.0	379.2	532.8	2398.8
FLUJO TOTAL Qu APROXIMADO (kg/d)		250602	287081	307582	710900
CONTENIDO DE SOLIDOS (kg de materia seca)		2681	3072	3291	7607
BOMBEO (m3/h)		10.4	12.0	12.8	29.6
TIEMPO DE RESIDENCIA A CAUDAL MAXIMO (DOBLE) (min)		15.8	15.8	15.8	15.8
% DE SOLIDOS SUSPENDIDOS SEPARADOS A CAUDAL MÁXIMO (DOBLE)		36	36	36	36

I. DATOS SOBRE LA ALIMENTACIÓN INICIAL.

					UNIDADES
CAUDAL Q_f (m ³ /s)	0.0897	0.1356	0.1701	0.5705	
DBO SOLUBLE EN LA ALIMENTACIÓN INICIAL S_f (mg DBO ₅ /l)	5000	3000	1000	500	
SOLIDOS VOLÁTILES EN LA ALIMENTACIÓN INICIAL X_{vf}	0	0	0	0	
ALCALINIDAD COMO CaCO ₃ (mg/l)	50	50	50	50	% FRACCIÓN
	0.5	0.5	0.5	0.5	
NITROGENO TOTAL KJELDAHL NTK (N) (mg/l)	60	60	60	60	
FÓSFORO TOTAL (P) (mg/l)	1.0	1.0	1.0	1.0	
TEMPERATURA (°C)	24	24	24	24	verano
	16	16	16	16	invierno

II. DATOS SOBRE LA CALIDAD DEL EFLUENTE.

DBO SOLUBLE EN EL EFLUENTE MÁXIMA PERMISIBLE S_e (mg DBO ₅ /l)	20	20	20	20
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN X_{ve} (mg/l)	10	10	10	10

III. INFORMACIÓN PARA EL DISEÑO DEL REACTOR

VSS EN EL REACTOR X_{va} (mg/l)	3000	3000	3000	3000	Criterio: valor
-----------------------------------	------	------	------	------	-----------------

VSS EN LA DESCARGA DEL CLARIFICADOR SECUNDARIO X_{vu} (mg/l)	12000	12000	12000	12000	Criterio: valor
--	-------	-------	-------	-------	-----------------

% DE SÓLIDOS VOLÁTILES EN LOS MLSS F_v	80	80	80	80	%
	0.8	0.8	0.8	0.8	FRACCIÓN

TEMPERATURA AMBIENTE T_a (°C)	29	29	29	29	verano
	20	20	20	20	invierno

PARÁMETROS BIOCINÉTICOS T=20°C

VELOCIDAD DE CONSUMO DE SUSTRATO k ($d^{-1} \times l/mg$)	0.02952	0.02952	0.02952	0.02952
---	---------	---------	---------	---------

(COEFICIENTE DE ARRHENIUS PARA k) θ	1.03	1.03	1.03	1.03
---	------	------	------	------

PARÁMETRO DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y kg MLVSS PRODUCIDOS / kg DBO _r	0.5	0.5	0.5	0.5
--	-----	-----	-----	-----

COEFICIENTE DE DESCOMPOSICIÓN MICROBIANA k_d (d^{-1})	0.06	0.06	0.06	0.06
---	------	------	------	------

(COEFICIENTE DE LA ECUACIÓN DE ARRHENIUS PARA k_d y b) θ	1.05	1.05	1.05	1.05	Criterio: valor
--	------	------	------	------	-----------------

PARÁMETRO DE UTILIZACIÓN DE OXÍGENO a (kg O2/kg DBO _r)	0.718	0.718	0.718	0.718
PARÁMETRO DE UTILIZACIÓN DE OXÍGENO b (d ⁻¹)	0.0852	0.0852	0.0852	0.0852
CARACTERÍSTICAS DE SEDIMENTACIÓN DE LOS VSS				
CORRELACION DE CONTRIBUCIÓN DE LOS VSS A LA DBO ₅ EN EL REBOSADERO DEL CLARIFICADOR SECUNDARIO				
IV. INFORMACIÓN PARA LA SELECCIÓN Y DISPOSICIÓN DE LOS AEREADORES				
CARACTERÍSTICAS DE LOS AEREADORES				
Déficit de Oxígeno C _L (mg/l)	2.0	2.0	2.0	2.0
Coef. De Transferencia de O ₂ Relación α _{20°C} (Kla de agua residual/Kla de agua corriente)	0.87	0.87	0.87	0.87
Relación de concentración de oxígeno disuelto en condiciones de saturación, agua residual C _{sr} /agua corriente C _{sβ}	0.97	0.97	0.97	0.97
PRESIÓN P _{atm} (mm Hg)	755	755	755	755
DISEÑO				
CANTIDAD DE SUSTRATO CONSUMIDO (kg/d)	38593	34907	14403	23666
ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE LA POTENCIA (HP)	1838	1662	686	1127

Criterio: Norm

Criterio: valor

TEMPERATURA DE OPERACIÓN DEL REACTOR $T_w =$ (°C)

28	28	27	26	verano
19	19	18	18	invierno

PARÁMETROS BIOCINÉTICOS A LAS T_w DE VERANO E INVIERNO

k_{25} ($d^{-1} \times l/mg$)

0.001426	0.001426	0.001426	0.001426	h^{-1}
0.0342	0.0342	0.0342	0.0342	d^{-1}

COEFICIENTE DE DESCOMPOSICIÓN MICROBIANA k_{d25} (d^{-1})

0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	h^{-1}
0.0766	0.0766	0.0766	0.0766	d^{-1}

b_{25} (d^{-1})

0.005	0.005	0.005	0.005	h^{-1}
0.109	0.109	0.109	0.109	d^{-1}

k_{13} ($d^{-1} \times l/mg$)

0.001	0.001	0.001	0.001	h^{-1}
0.024	0.024	0.024	0.024	d^{-1}

COEFICIENTE DE DESCOMPOSICIÓN MICROBIANA k_{d13} (d^{-1})

0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	h^{-1}
0.0426	0.0426	0.0426	0.0426	d^{-1}

b_{13} (d^{-1})

0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	h^{-1}
0.0606	0.0606	0.0606	0.0606	d^{-1}

Y (kg MLVSS/kg DBO_r)

0.5	0.5	0.5	0.5
-----	-----	-----	-----

a (kg O₂/kg DBO_r)

0.718	0.718	0.718	0.718
-------	-------	-------	-------

TIEMPO DE RESIDENCIA t (h)

83	50	16	8	Criterio: inter
3.458	2.069	0.681	0.333	d

TIEMPO DE RESIDENCIA t (h)	2.778	1.667	0.556	0.278	d
	66.67	40.00	13.34	6.67	h

RELACIÓN DE ALIMENTO A MICROORGANISMOS A/M	0.48	0.48	0.49	0.50	Criterio: valor
--	------	------	------	------	-----------------

DBO SOLUBLE REAL EN EL EFLUENTE Se (mg/l)	14.0	14.1	14.1	14.2	
---	------	------	------	------	--

VOLUMEN DEL REACTOR (m3)	26798	24238	10001	16433	
--------------------------	-------	-------	-------	-------	--

DEMANDA DE OXÍGENO PARA LAS CONDICIONES DE VERANO (kgO2/h)	36485	33020	13666	22558	kg/d
	1520	1376	569	940	kg/h

DEMANDA DE OXÍGENO PARA LAS CONDICIONES DE INVIERNO (kgO2/h)	32577	29466	12158	19977	kg/d
	1357	1228	507	832	kg/h

RESOLUCIÓN DE ECUACIÓN 4.59 CONDICIONES DE VERANO

1.024^{T-20}	1.126	1.126	1.126	1.126	
----------------	-------	-------	-------	-------	--

Concentración de O2 a saturación para agua corriente 760 mmHg (C _{ss}) ₇₆₀ (mg/l)	8.4	8.4	8.4	8.4	
--	-----	-----	-----	-----	--

P ^v (mm Hg)	23.756	23.756	23.756	23.756	
------------------------	--------	--------	--------	--------	--

P (mm Hg)	755	755	755	755	
-----------	-----	-----	-----	-----	--

Concentración de O2 a saturación para agua corriente C _{ss} (mg/l)	8.34	8.34	8.34	8.34	
---	------	------	------	------	--

Concentración de O2 disuelto de sat. En agua residual C sr (mg/l)

8.09	8.09	8.09	8.09
------	------	------	------

K_{verano}

0.6487	0.6487	0.6487	0.6487
--------	--------	--------	--------

valor del term

RESOLUCIÓN DE ECUACIÓN 4.59 CONDICIONES DE INVIERNO

1.024^{T-20}

0.847	0.847	0.847	0.847
-------	-------	-------	-------

Concentración de O2 a saturación para agua corriente 760 mmHg ($C_{ss} 760$) (mg/l)

10.6	10.6	10.6	10.6
------	------	------	------

P^v (mm Hg)

11.231	11.231	11.231	11.231
--------	--------	--------	--------

P (mm Hg)

755	755	755	755
-----	-----	-----	-----

Concentración de O2 a saturación para agua corriente C_{ss} (mg/l)

10.53	10.53	10.53	10.53
-------	-------	-------	-------

Concentración de O2 disuelto de sat. En agua residual C sr (mg/l)

10.21	10.21	10.21	10.21
-------	-------	-------	-------

K_{invierno}

0.658	0.658	0.658	0.658
-------	-------	-------	-------

valor término

SUPONER UNA POTENCIA ESPECÍFICA P_v (CV/m3)

0.0685	0.0685	0.0685	0.0685
--------	--------	--------	--------

Criterio: valor

Rendimiento de Transferencia (RT)ref (kgO2/CV h)	1.31	1.31	1.31	1.31
Rendimiento de Transferencia (RT)real (kgO2/CV h)	0.8498	0.8498	0.8498	0.8498
POTENCIA REQUERIDA (CV)	1789	1619	670	1106
RECALCULAR Pv (CV/m3)	0.0668	0.0668	0.0670	0.0673
SELECCIÓN DE AERADORES DE (CV)	50	50	50	50
NÚMERO DE AERADORES	35.78 36	32.38 32	13.40 13	22.12 22
DISPOSICIÓN DE LOS AERADORES EN EL TANQUE DE AERACIÓN. DIÁMETRO DE INFLUENCIA (m)	20	20	20	20
PROPORCIONAR UNA SOLAPADURA TOMANDO UN COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE (%)	20	20	20	20
d (m)	16.7	16.7	16.7	16.7
SUPERFICIE (m2)	1666.7	1666.7	1666.7	1666.7
PROFUNDIDAD (m)	16.08	14.54	6.00	9.86

PRODUCCIÓN NETA DE BIOMASA Δx_v (kg/d) verano	13163.2	11919.9	4947.2	8200.9	
PRODUCCIÓN NETA DE BIOMASA Δx_v (kg/d) invierno	15868	14353	5922	9731	
RELACIÓN DE RECICLADO r (%) verano	0.145	0.220	0.296	0.315	fracción
	14.5	22.0	29.6	31.5	%
RELACIÓN DE RECICLADO r (%) invierno	0.106	0.197	0.289	0.311	fracción
	10.6	19.7	28.9	31.1	%
CÁLCULO DE CAUDALES					
Q_r (m ³ /s)	0.01	0.03	0.05	0.18	
Q_o (m ³ /s)	0.10	0.17	0.22	0.75	
Q_w (m ³ /s) verano	1091.4	984.4	400.4	642.9	m ³ /d
	0.0126	0.0114	0.0046	0.0074	
Q_w (m ³ /s) invierno	1317.0	1187.3	481.7	770.5	m ³ /d
	0.0152	0.0137	0.0056	0.0089	
PARA COMPLEMENTO DE LOS RESTANTES CAUDALES Q_w (m ³ /s) \approx	0.0139	0.0126	0.0051	0.0082	
CAUDAL Q_o^* (m ³ /s)	0.076	0.123	0.165	0.562	
Caudal Q_u (m ³ /s)	0.027	0.042	0.055	0.188	

TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRÁULICO t_h (h)	72.51	40.70	12.61	6.09
BALANCE DE MATERIA DE LOS SÓLIDOS NO VOLÁTILES				
X_{NVa} (mg/l)	750	750	750	750
X_{NVu} (mg/l)	2862	2924	2982	2996
X_{NVf} (mg/l)	444.7	271.1	89.5	43.0
PRODUCCIÓN TOTAL DE LODOS				
(VSS) w (kg/d) verano	13097.7	11813.7	4804.7	7715.1
(VSS) w (kg/d) invierno	15880	14364	5927	9738
(NVSS) w (kg/d)	3446	3175	1315	2117
(TSS) w (kg/d) verano	16544	14989	6120	9832
(TSS) w (kg/d) invierno	19326	17539	7242	11855
CONCENTRACIONES DE LA ALIMENTACIÓN COMBINADA S_o (mg/l) verano	4370	2461	775	384

CONCENTRACIONES DE LA ALIMENTACIÓN COMBINADA So (mg/l) invierno	4371	2462	776	385
SOLIDOS VOLATILES X _{v0} (mg/l)	1516	2166	2740	2873
ALCALINIDAD CONSUMIDA (kg/d)	19296	17453	7201	11833
ALCALINIDAD EN LA ALIMENTACIÓN INICIAL (kg/d)	387	586	735	2464
NITRÓGENO PERDIDO EN EL SISTEMA POR LA PURGA DE LODOS (kg/d) verano	1580	1430	594	984
NITRÓGENO PERDIDO EN EL SISTEMA POR LA PURGA DE LODOS (kg/d) invierno	1904	1722	711	1168
NITRÓGENO PERDIDO EN EL EFLUENTE (kg/d)	8	12	15	49
NITRÓGENO TOTAL PERDIDO (kd/d) verano	1587	1442	608	1033
NITRÓGENO TOTAL PERDIDO (kd/d) invierno	1912	1734	725	1217
NITRÓGENO DISPONIBLE (kg/d)	465	703	882	2957
FÓSFORO PERDIDO EN EL SISTEMA A TRAVÉS DE LA PURGA DE LODOS (kg/d) verano	263	238	99	164

FÓSFORO PERDIDO EN EL SISTEMA A TRAVÉS DE
LA PURGA DE LODOS (kg/d) invierno

317	287	118	195
-----	-----	-----	-----

FÓSFORO PERDIDO EN EL EFLUENTE
(kg/d)

4	6	7	25
---	---	---	----

FÓSFORO TOTAL PERDIDO (kg/d) verano

267	244	106	189
-----	-----	-----	-----

FÓSFORO TOTAL PERDIDO (kg/d) invierno

321	293	126	219
-----	-----	-----	-----

FÓSFORO DISPONIBLE (kg/d)

8	12	15	49
---	----	----	----

DEBE AÑADIRSE FOSFORO (kg/d) verano

259	233	92	139
-----	-----	----	-----

DEBE AÑADIRSE FOSFORO (kg/d) invierno

313	281	111	170
-----	-----	-----	-----

EDAD DE LOS LODOS θ_c (d) verano

6.11	6.10	6.06	6.01
------	------	------	------

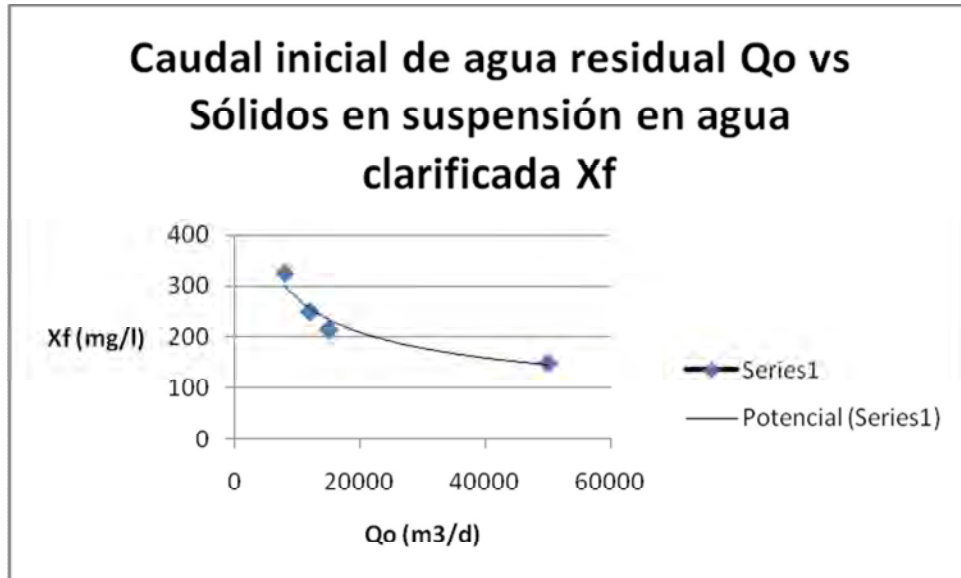
EDAD DE LOS LODOS θ_c (d) invierno

5.07	5.07	5.07	5.07
------	------	------	------

6.1.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN FUNCIÓN DEL AUMENTO EN LA MAGNITUD DEL CAUDAL DE ALIMENTACIÓN Q_0 .

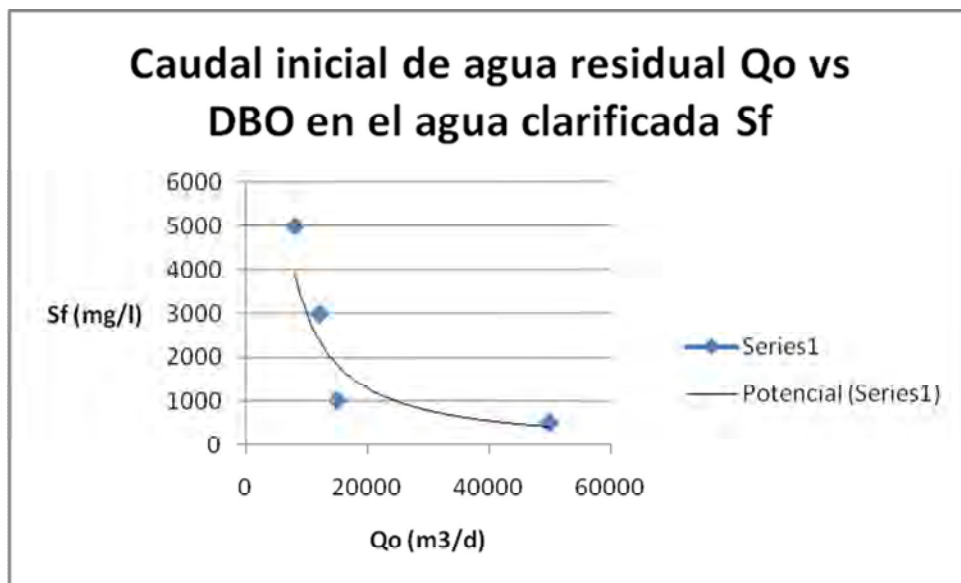
1. Disminución de los sólidos en suspensión en el agua clarificada X_f (mg/l), esto es debido a que a mayor volumen de agua, es mayor la disolución de los sólidos suspendidos.
2. Disminución de DBO soluble en el agua clarificada S_f (mg/l), esto es debido a que a mayor volumen de agua, es mayor la disolución de la carga orgánica.
3. Aumento en el efluente del clarificador Q_f (m³/d), este comportamiento se debe a que a mayor afluencia de agua residual, es mayor la cantidad del efluente.
4. Aumento en el caudal separado del clarificador Q_u (m³/d), comportamiento debido a que a mayor afluencia de agua residual, mayor es el caudal que se separa en el clarificador primario.
5. Aumento en el área necesaria para el clarificador primario.
6. Aumento en el diámetro para el caso de un clarificador circular
7. Disminución no significativa de la altura para el caso de un clarificador circular.
8. Aumento en el volumen de un clarificador circular
9. Aumento en la amplitud en el caso de un clarificador rectangular.
10. Aumento en la longitud en el caso de un clarificador rectangular.
11. Aumento en el volumen en el caso de un clarificador rectangular. Señalo en este punto, que a un caudal Q_0 de 15 000 m³/d, una cantidad de sólidos en suspensión X_0 promedio de 430 mg/l y una DBO S_0 igual a 2858 mg/l, es obtenido un valor muy próximo al volumen del clarificador que ya se tiene en existencia, 560 m³, y el valor obtenido con los parámetros anteriores es de 532.8 m³.

6.1.2 GRÁFICAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDIENTES AL CLARIFICADOR PRIMARIO.



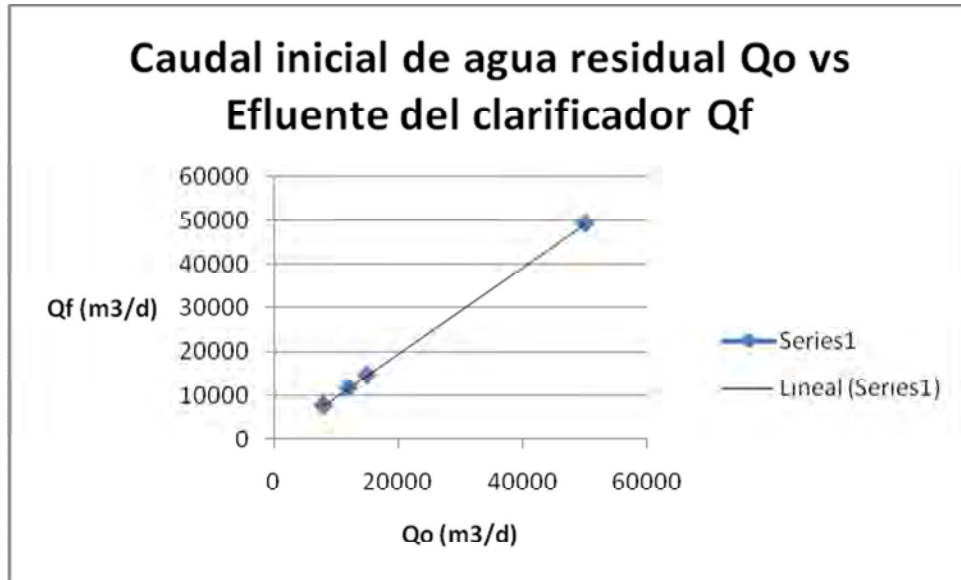
GRAFICA 1: CAUDAL INICIAL DE AGUA RESIDUAL Q_o vs SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN EN EL AGUA CLARIFICADA X_f .

En la gráfica anterior, podemos apreciar que conforme va en aumento el caudal de alimentación inicial Q_o , la concentración de sólidos suspendidos X_f en el agua disminuye.



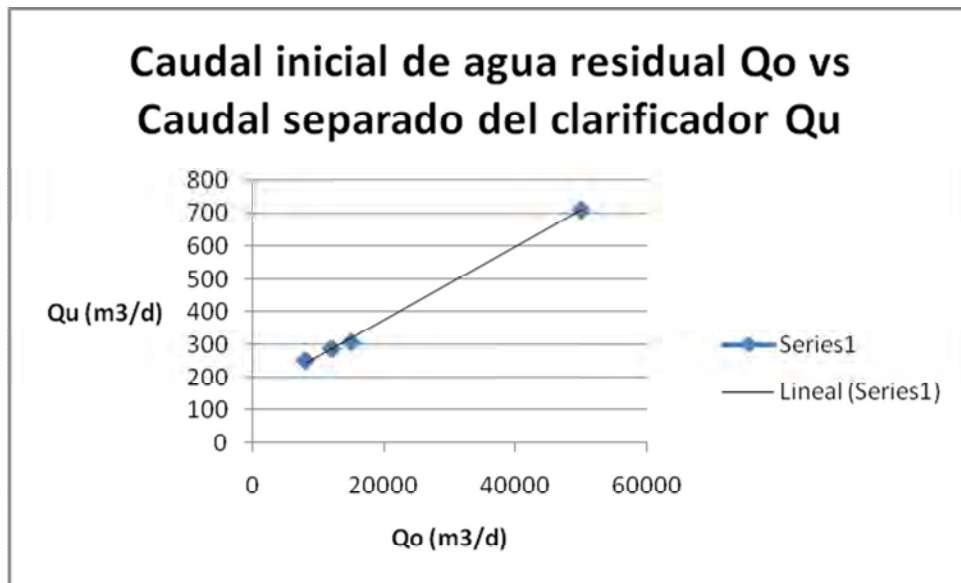
GRAFICA 2: CAUDAL INICIAL DE AGUA RESIDUAL Q_o vs DBO EN EL AGUA CLARIFICADA S_f .

En la gráfica anterior, podemos apreciar que conforme va en aumento el caudal de alimentación inicial Q_o , la concentración de DBO S_f en el agua disminuye.



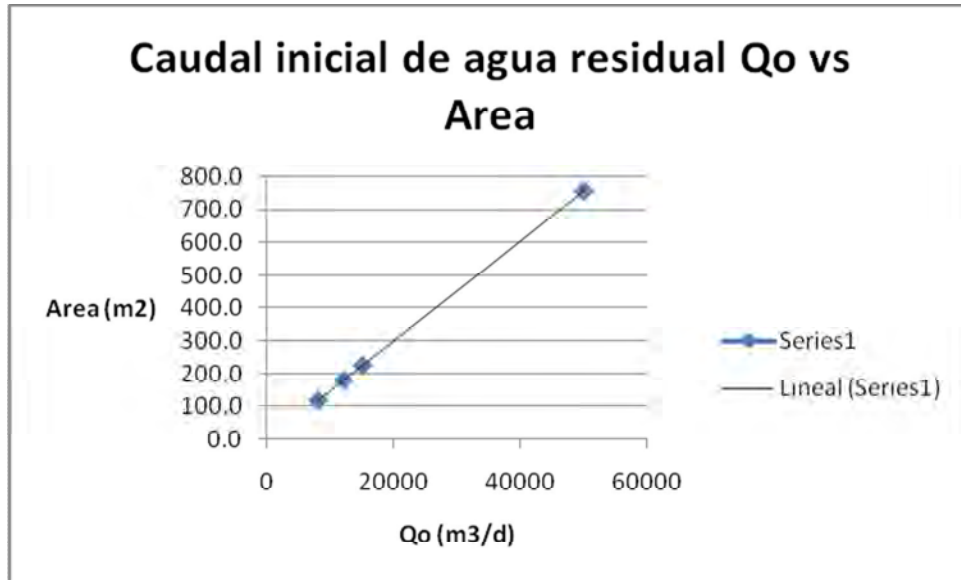
GRAFICA 3: CAUDAL INICIAL DE AGUA RESIDUAL Q_o vs CAUDAL EFLUENTE DEL CLARIFICADOR Q_f

En la gráfica anterior podemos apreciar que conforme el caudal de agua residual inicial Q_o va en aumento, el caudal de salida del clarificador Q_f aumenta de manera proporcional.



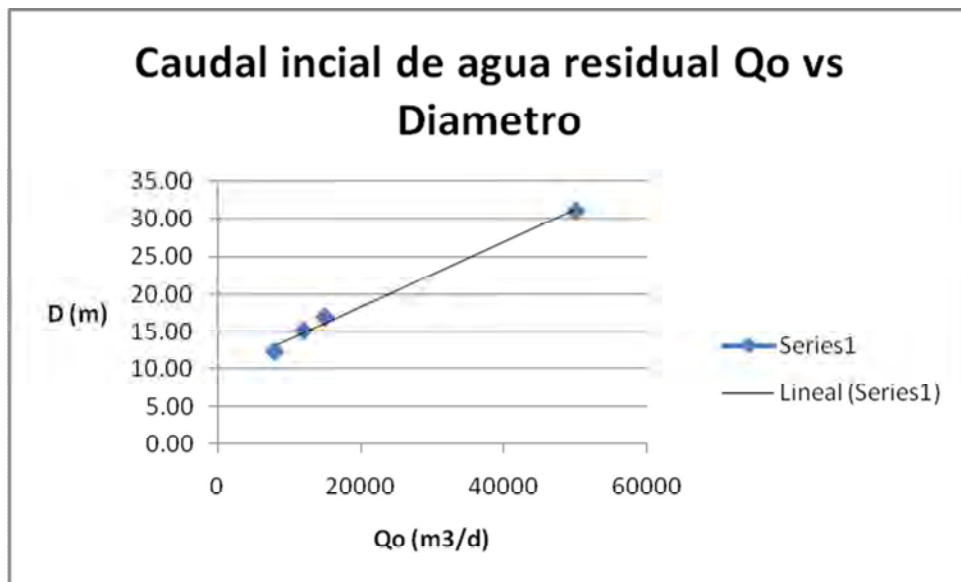
GRAFICA 4: CAUDAL INICIAL DE AGUA RESIDUAL Q_o vs CAUDAL SEPARADO DEL CLARIFICADOR Q_u

En la gráfica anterior podemos apreciar que conforme el caudal de agua residual inicial Q_o va en aumento, el caudal separado del clarificador Q_u aumenta de manera proporcional.



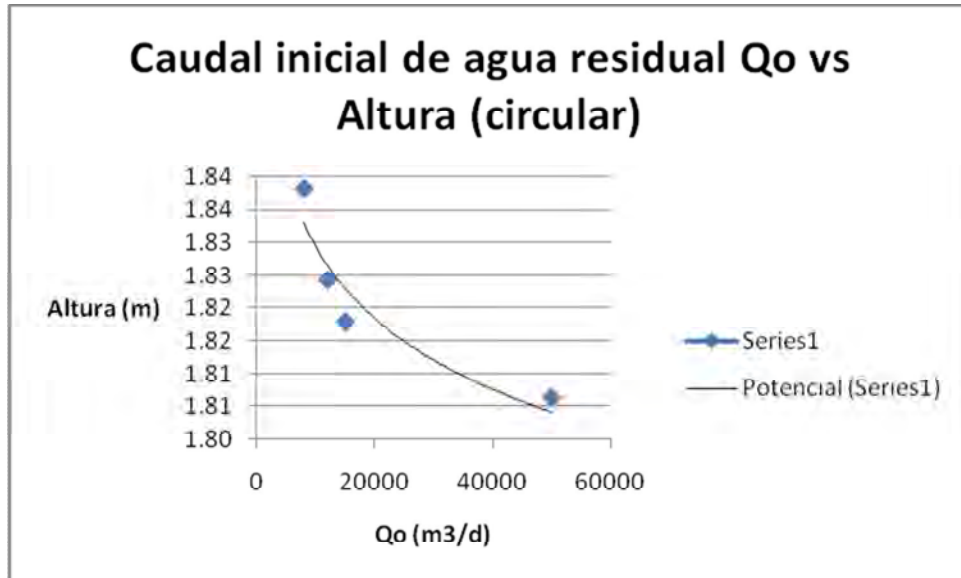
GRAFICA 5: CAUDAL INICIAL DE AGUA RESIDUAL Qo vs AREA

En la grafica anterior podemos apreciar que conforme va en aumento el caudal inicial de agua residual inicial Qo, el área del clarificador aumentará de manera considerable.



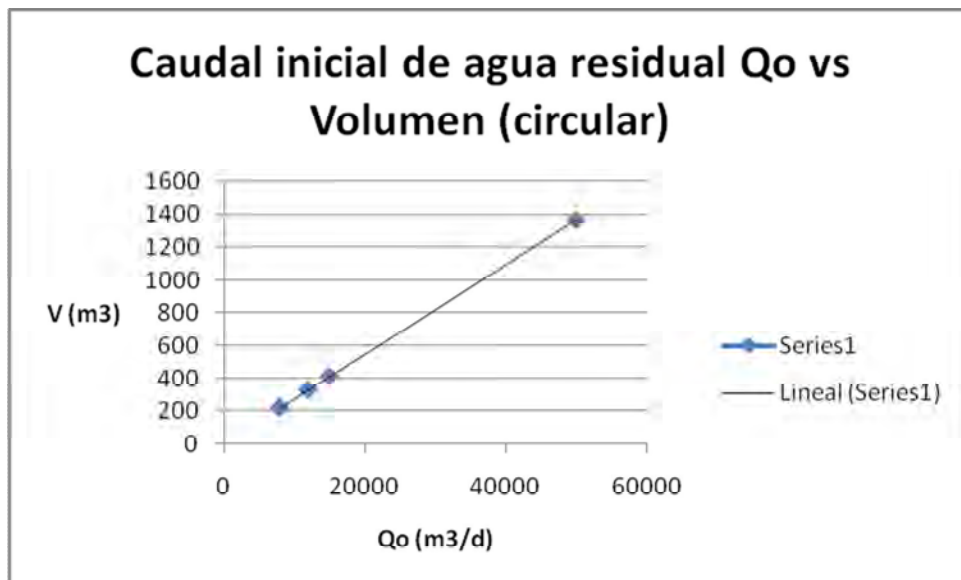
GRAFICA 6: CAUDAL INICIAL DE AGUA RESIDUAL Qo vs DIAMETRO

En la grafica anterior podemos apreciar que conforme va en aumento el caudal inicial de agua residual inicial Qo, el diametro del clarificador aumenta.



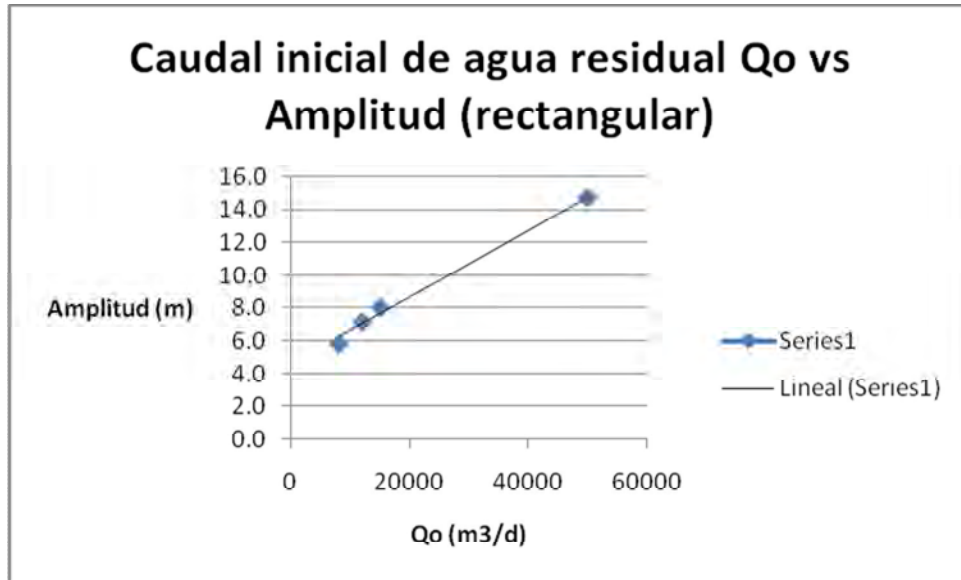
GRAFICA 7: CAUDAL INICIAL DE AGUA RESIDUAL Q_0 vs ALTURA

En la grafica anterior podemos apreciar que conforme el caudal inicial de agua residual Q_0 aumenta, la altura del clarificador disminuye, mas no de manera considerable.



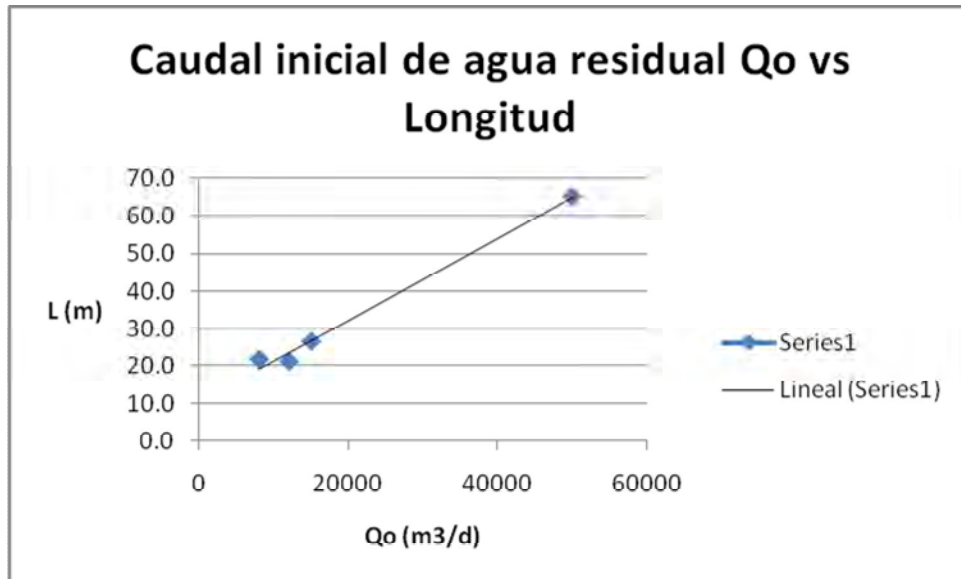
GRAFICA 8: CAUDAL DE INICIAL DE AGUA RESIDUAL Q_0 vs VOLUMEN

En la gráfica anterior podemos apreciar que conforme el caudal inicial de agua residual Q_0 va en aumento, el volumen del clarificador aumenta.



GRAFICA 9: CAUDAL INICIAL DE AGUA RESIDUAL Q_0 vs AMPLITUD

En la grafica anterior podemos apreciar que conforme el caudal de agua residual inicial Q_0 va en aumento, la amplitud del clarificador tiende a aumentar.



GRAFICA 10: CAUDAL INICIAL DE AGUA RESIDUAL Q_0 vs LONGITUD

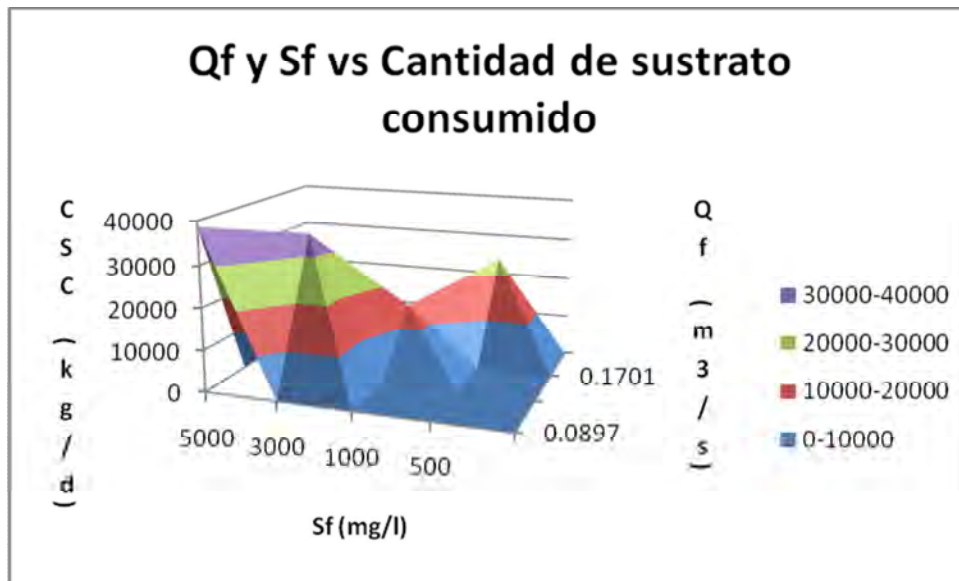
En la grafica anterior podemos apreciar que conforme el caudal de agua residual inicial Q_0 va en aumento, la longitud del clarificador aumenta.

6.2 RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS.

1. Conforme el caudal de alimentación Q_f va en aumento y la concentración de DBO S_f va en decremento, se presenta un descenso en la cantidad de sustrato consumido (kg/d) para llegar a un mínimo y después alcanzar un repunte importante en el consumo de sustrato.
2. Una situación análoga al punto anterior se presenta para la estimación preliminar de la potencia que se requerirá, ya que conforme el caudal de alimentación Q_f va en aumento y la concentración de DBO S_f disminuye, se presenta un descenso en la potencia estimada preliminarmente para llegar a un mínimo y alcanzar un repunte importante a caudales altos y concentración es de DBO bajas.
3. La temperatura de operación del reactor también se ve afectada por esta situación, mas no de una forma muy importante.
4. El tiempo de residencia en el reactor se ve afectado de forma similar por la situación descrita anteriormente: aumento en el caudal Q_f y descenso en la concentración de DBO S_f . Presenta un descenso importante para llegar a un mínimo y tener un repunte al final.
5. La relación de alimento a microorganismos (A/M) también adquiere variaciones no significativas al incidir sobre estas variables en la forma descrita: aumento de Q_f y disminución de S_f .
6. La DBO soluble en el efluente S_e de igual manera obtendrá variaciones, mas no significativas en su magnitud al variar los parámetros anteriores Q_f y S_f .
7. El volumen del reactor es una variable importantísima a tomar en cuenta, y en esté análisis nos podemos dar cuenta que varía enormemente al aumentar el caudal Q_f y disminuir la DBO de manera proporcional, ya que nos dará por principio una disminución para llegar a un mínimo y alcanzar un repunte importante.
8. El mismo comportamiento en relación a los puntos anteriores es observado para la demanda de oxígeno en condiciones tanto veraniegas como invernales.
9. La potencia requerida se comporta de igual forma que las variables anteriores.
10. El número de aeradores necesarios para llevar a cabo el proceso de aereación es otra dependiente de estos dos parámetros: aumento de Q_f y disminución de S_f .
11. La profundidad en el tanque aerador varía de igual manera.
12. La producción de biomasa ΔX_v para condiciones veraniegas e invernales también presenta este tipo de variación con respecto a los parámetros Q_f y S_f .
13. La relación de reciclado r (%) sale del comportamiento de las variables anteriores y presenta un aumento lineal en cuanto a la variación de Q_f y S_f de la forma descrita anteriormente.

14. La producción total de sólidos suspendidos en purga para condiciones veraniegas e invernales se adecúa al comportamiento típico: con un aumento de Q_f y una disminución de S_f obtenemos por principio un decremento, para llegar a un mínimo y alcanzar un repunte importante después.
15. Las concentraciones de la alimentación combinada S_0 decrecen de manera lineal tanto para condiciones de verano e invierno con el comportamiento descrito anteriormente de Q_f y S_f .
16. La alcalinidad consumida se adecúa al comportamiento típico en la enumeración de estos resultados.
17. El nitrógeno total que se pierde en condiciones de verano e invierno también adopta el comportamiento típico descrito en los resúmenes de estos resultados.
18. De igual manera el fósforo que se pierde en condiciones de verano e invierno también adopta el comportamiento típico descrito en los resúmenes de estos resultados.
19. La edad de los lodos adopta un decrecimiento lineal con lo que respecta a la temporada de verano, mientras que para la época de invierno, se comporta de manera totalmente lineal en este estudio.

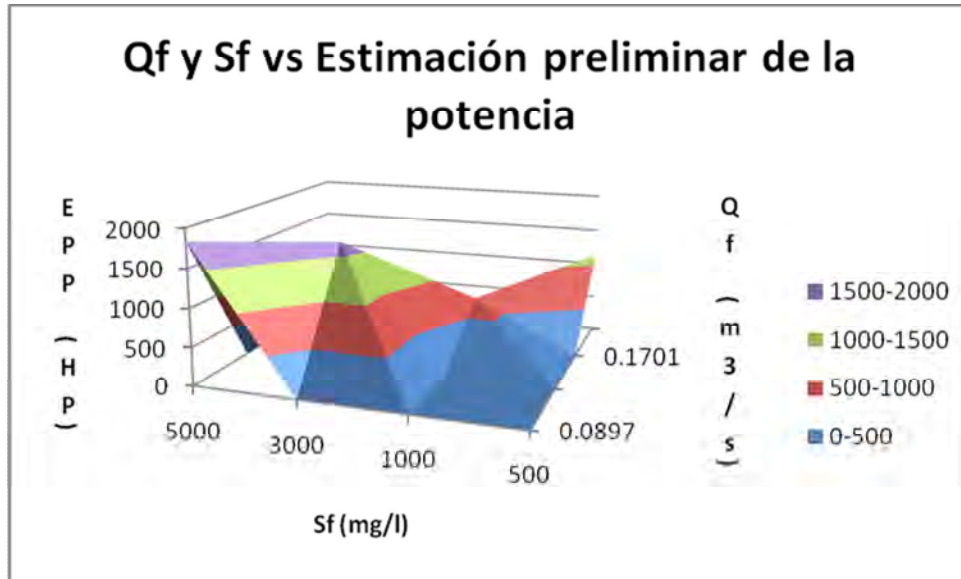
6.2.1 GRÁFICAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CONCERNIENTES AL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS.



GRAFICA 11: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs CANTIDAD DE SUSTRATO CONSUMIDO.

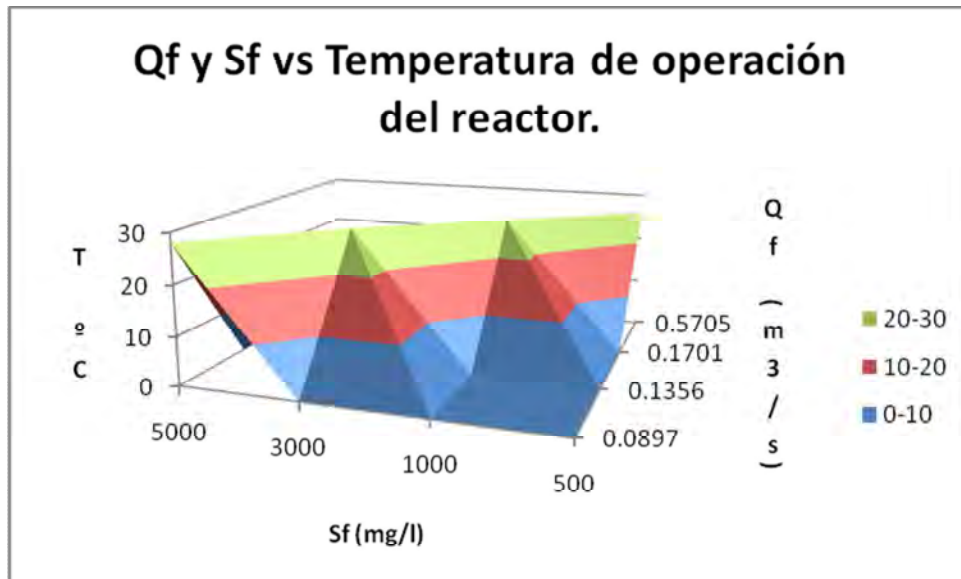
En la gráfica anterior podemos apreciar que conforme el caudal de alimentación al reactor de lodos activados Q_f aumenta a la par de la concentración de DBO inicial S_f , la cantidad de sustrato

consumido tiene un comportamiento que va de un pico a una disminución para después tener un repunte no muy significativo.



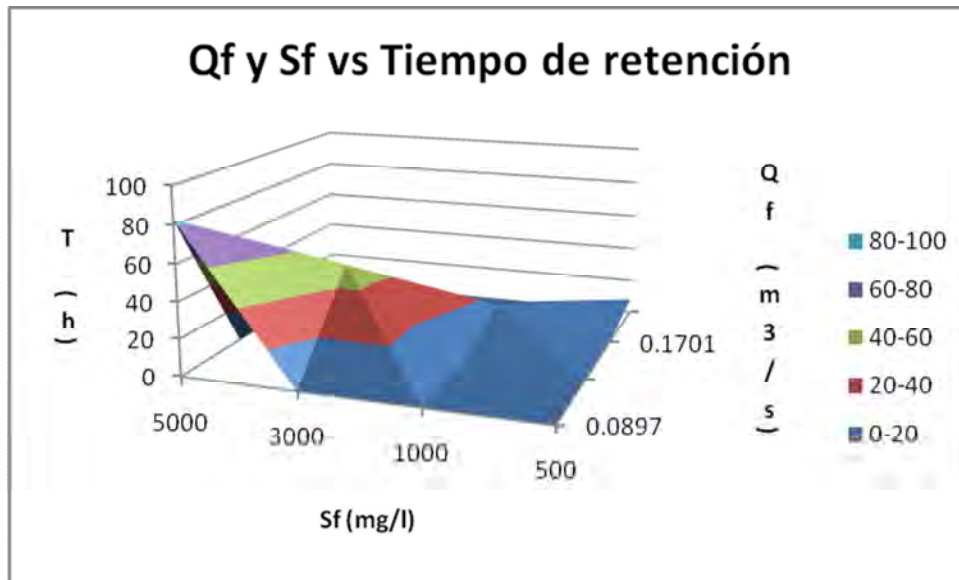
GRAFICA 12: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE LA POTENCIA.

En la gráfica anterior podemos apreciar que conforme el caudal de alimentación inicial Q_f y la concentración de DBO S_f van en aumento, la estimación preliminar de potencia requerida tiene un comportamiento que va de un pico a una disminución para después tener un repunte no muy significativo.



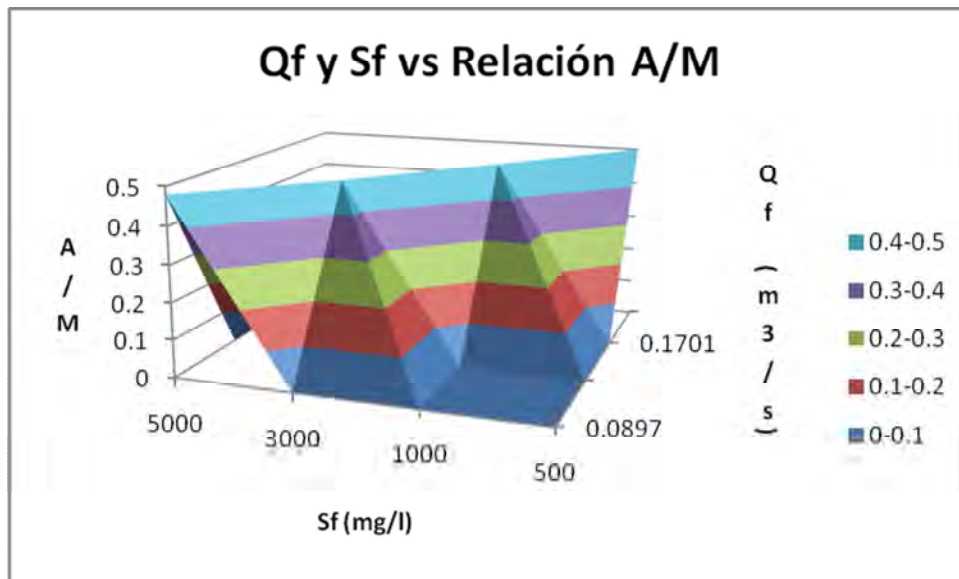
GRAFICA 13: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs TEMPERATURA DE OPERACIÓN DEL REACTOR.

En la gráfica anterior podemos apreciar que aunque haya un aumento de caudal Q_f y DBO S_f , las variaciones de temperatura no son significativas.



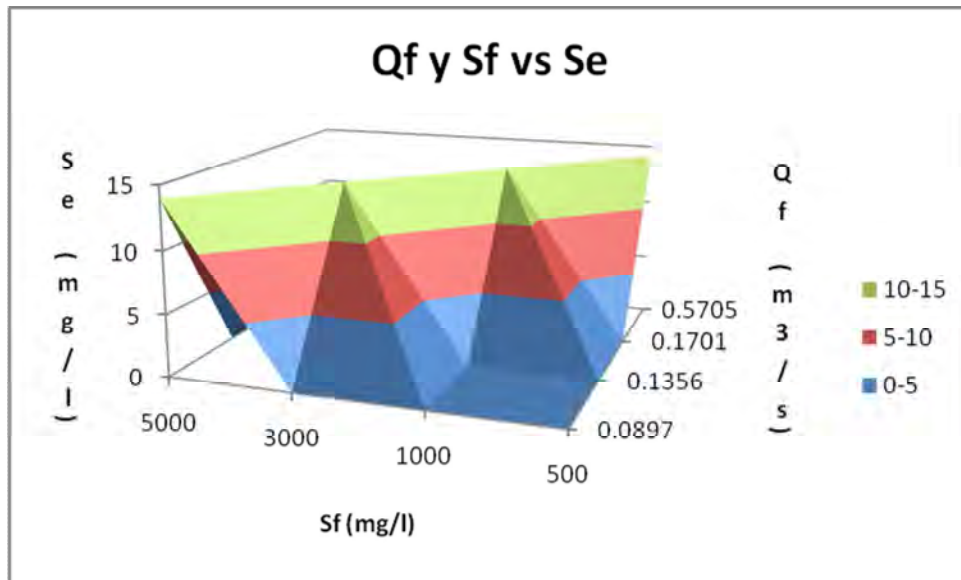
GRAFICA 14: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs TIEMPO DE RESIDENCIA EN EL REACTOR.

En la grafica anterior podemos apreciar como el tiempo de residencia se ve significativamente aumentado por el aumento en el caudal Q_f y el aumento en la DBO S_f .



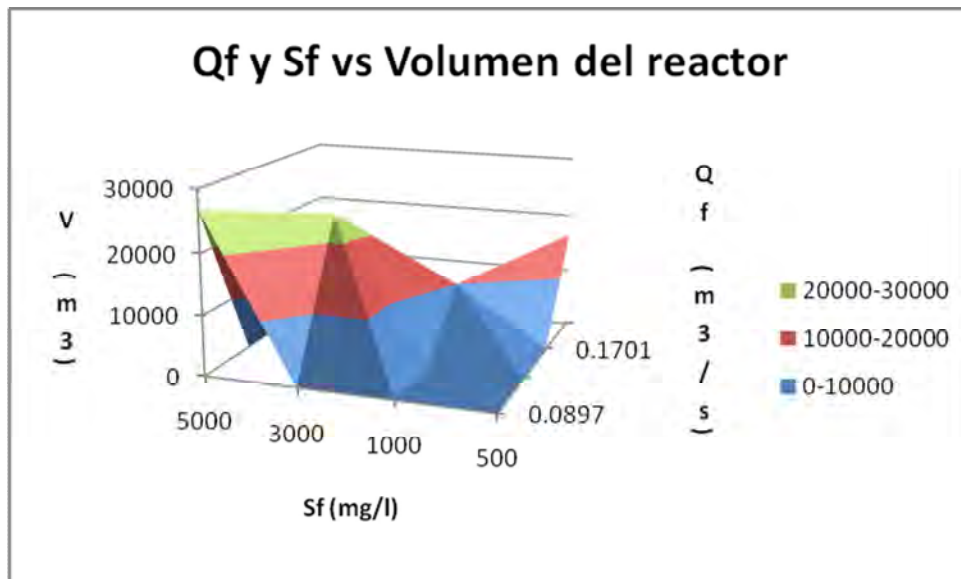
GRAFICA 15: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs RELACIÓN DE ALIMENTO A MICROORGANISMOS A/M.

En la gráfica anterior podemos apreciar que la relación de alimento a los microorganismos (A/M), no encuentra variaciones importantes al aumentar el caudal Q_f y la concentración de DBO S_f .



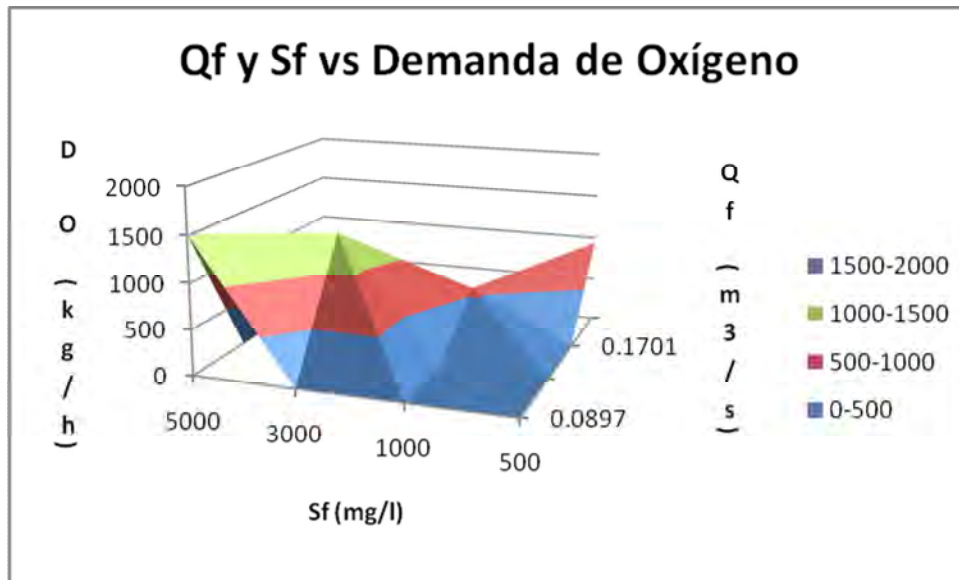
GRAFICA 16: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs DBO EN EL EFLUENTE S_e .

En la gráfica anterior podemos apreciar que no hay una variación importante en la DBO S_e cuando hay aumento conjunto entre el caudal Q_f y DBO S_f .



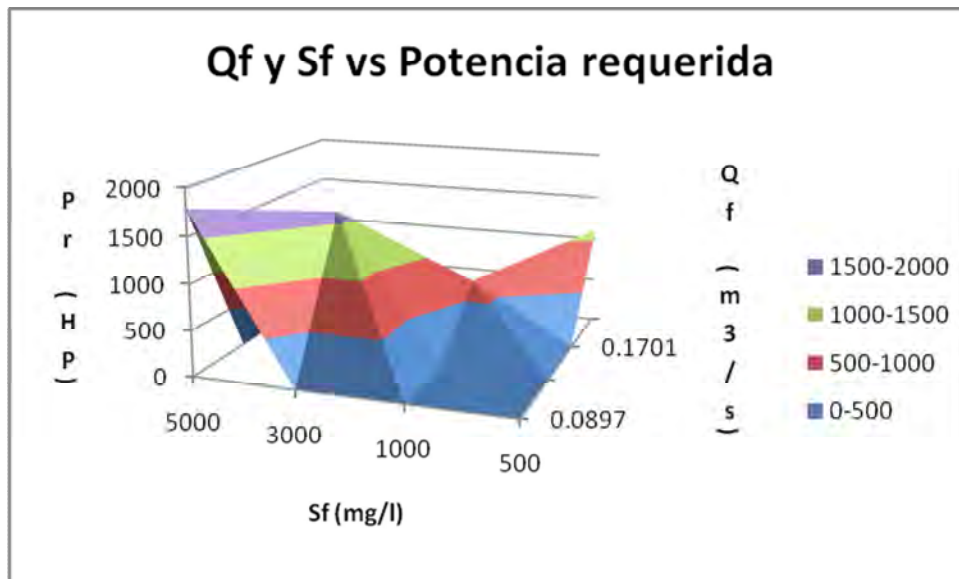
GRAFICA 17: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs VOLUMEN DEL REACTOR.

En la gráfica anterior podemos apreciar que el volumen del reactor tiene variaciones significativas al aumentar el caudal Q_f conjuntamente a la concentración de DBO S_f .



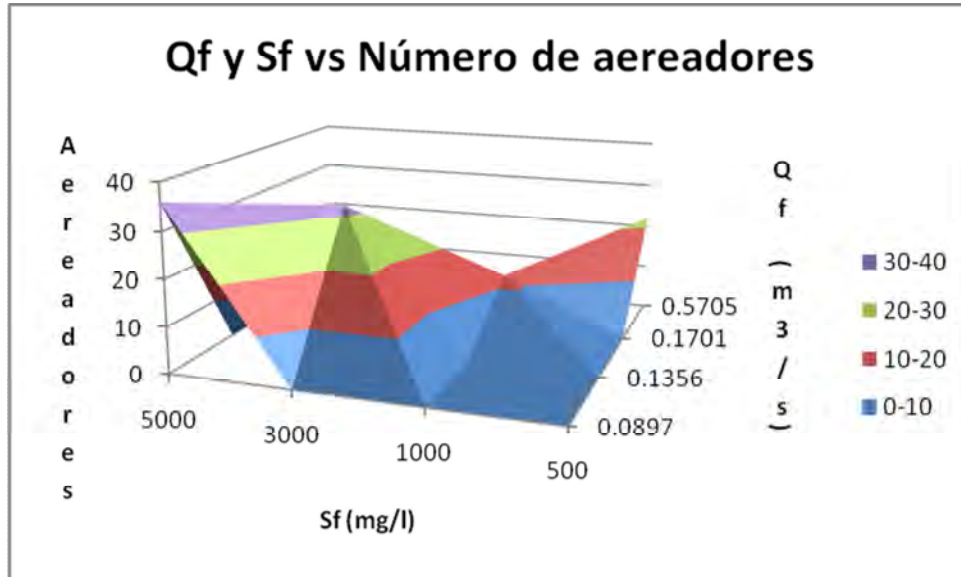
GRAFICA 18: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs DEMANDA DE OXÍGENO.

En la grafica anterior los requerimientos de oxígeno también se ven afectados al aumentar el caudal Q_f y la concentración de DBO S_f .



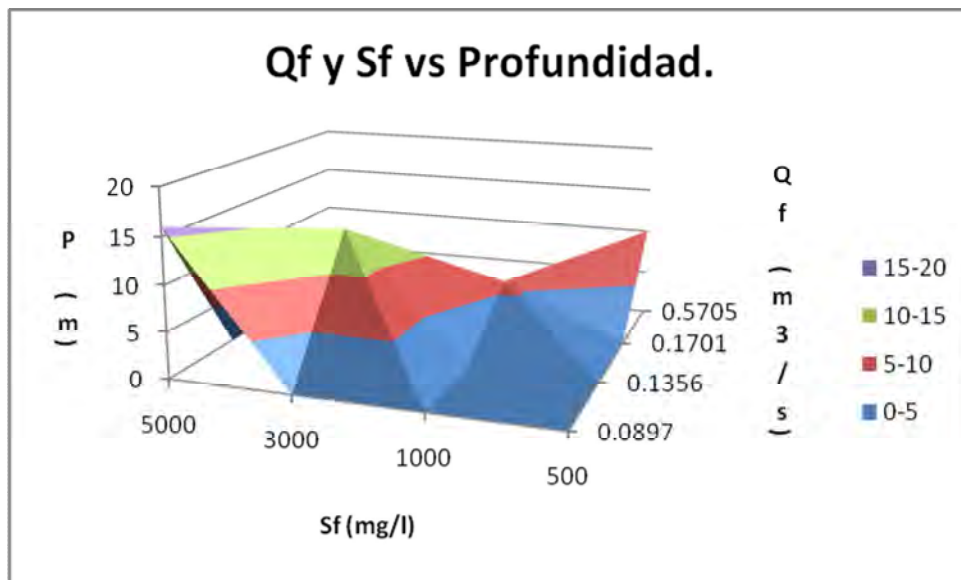
GRAFICA 19: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs POTENCIA REQUERIDA.

En la grafica anterior podemos apreciar las variaciones de la potencia requerida conforme el caudal Q_f y la concentración de DBO S_f van en aumento.



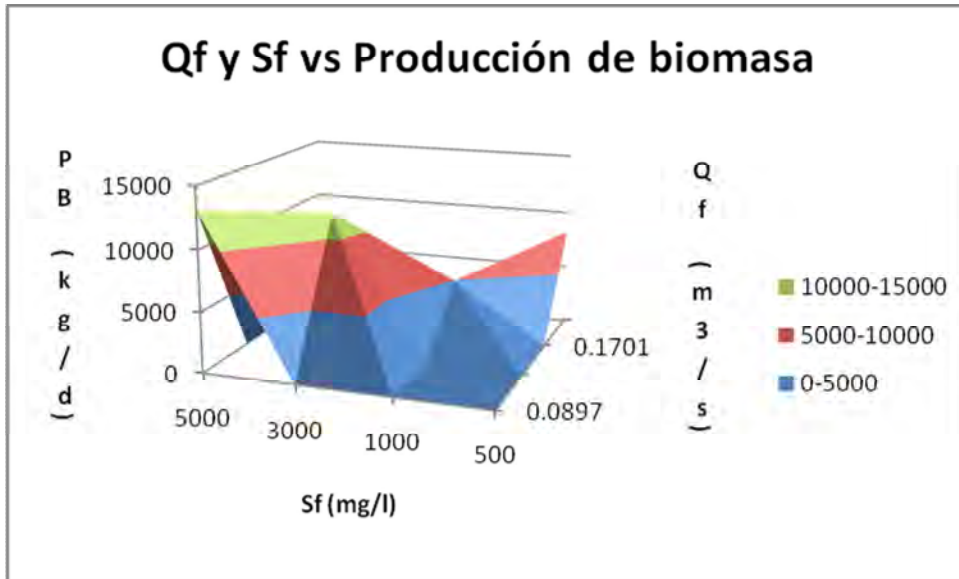
GRAFICA 20: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs NÚMERO DE AEREADORES.

El número de aereadores necesarios varia cuando aumentamos el caudal Q_f y la concentración de DBO S_f . Esto se aprecia en la gráfica anterior.



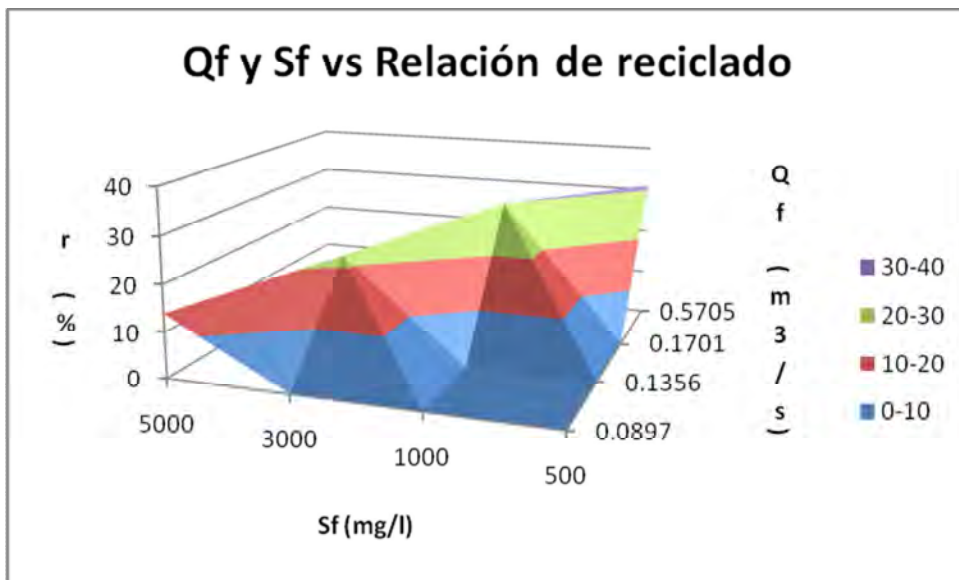
GRAFICA 21: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs PROFUNDIDAD.

La grafica anterior representa la variación que se tendrá en el reactor de lodos activados si se influye en el aumento del caudal Q_f y la concentración de DBO S_f .



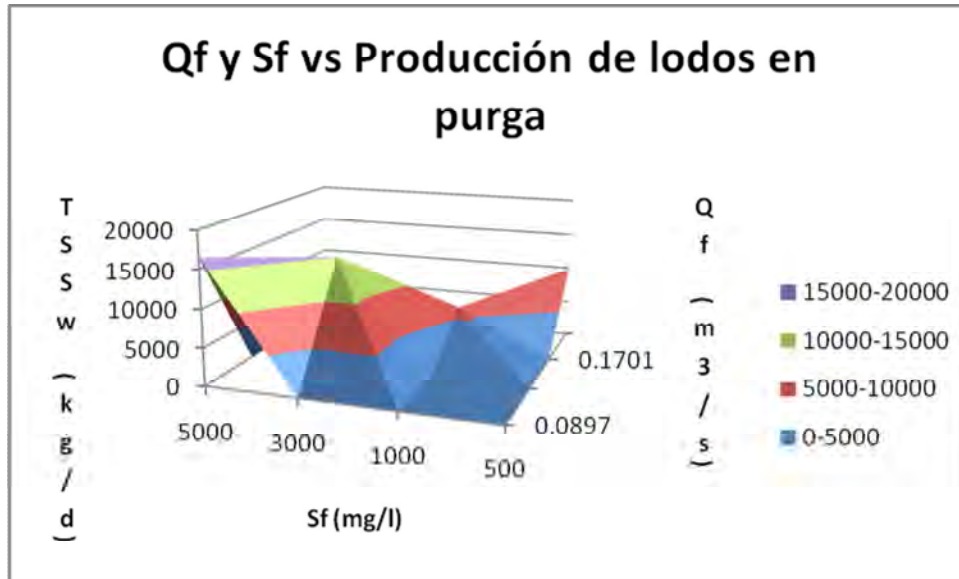
GRAFICA 22: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs PRODUCCIÓN DE BIOMASA.

La grafica anterior indica que la producción de biomasa tiene variaciones importantes conforme se incide en las variables de caudal Q_f y de concentración de DBO S_f .



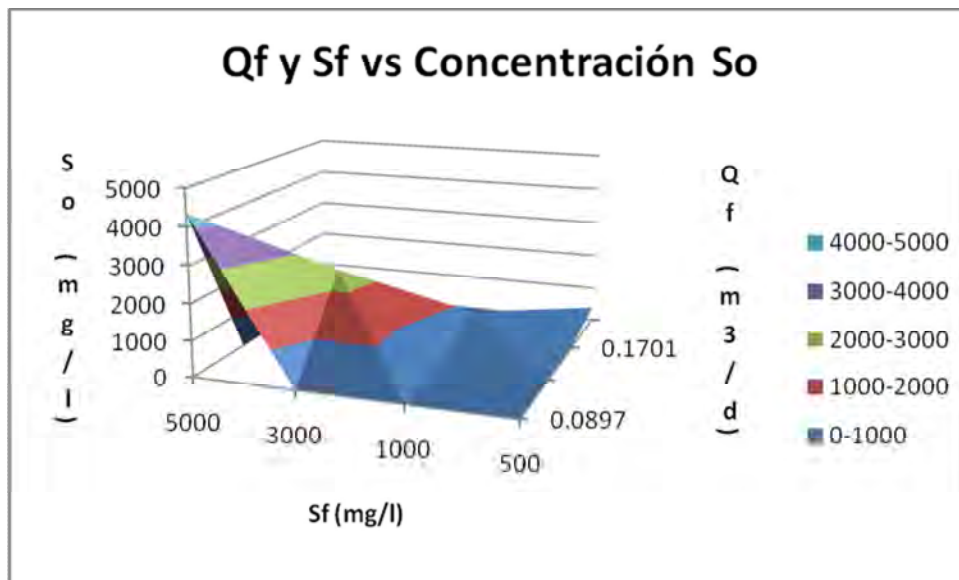
GRAFICA 23: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs RELACIÓN DE RECICLADO.

La grafica anterior nos muestra que la relación de reciclado tendrá oscilaciones entre el 10 – 30% cuando hay variaciones en el caudal Q_f y la concentración de DBO S_f .



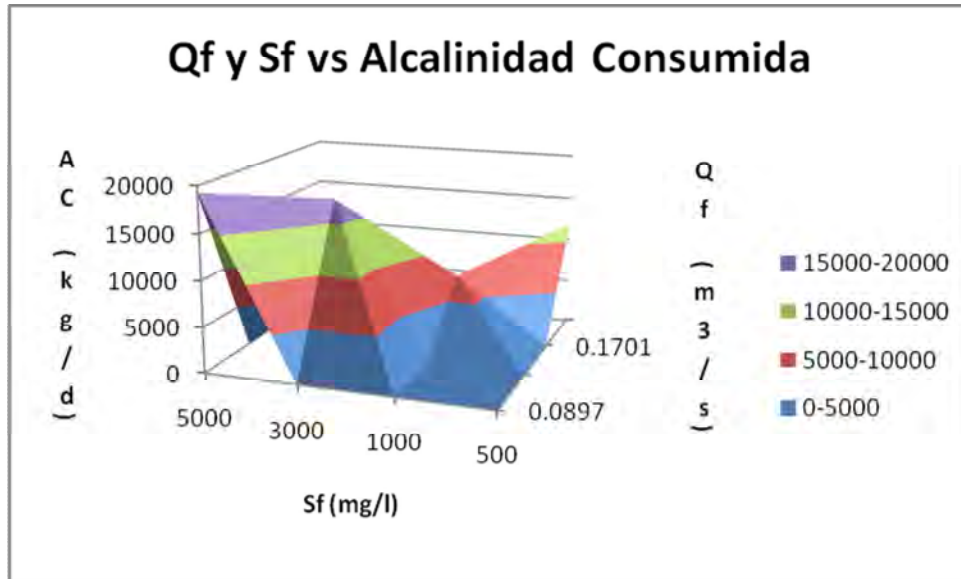
GRAFICA 24: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs PRODUCCIÓN DE LODOS EN PURGA.

La grafica anterior nos indica que la producción de lodos en la corriente de purga varía de manera importante al incidir sobre las variables de caudal Q_f y de concentración de DBO S_f .



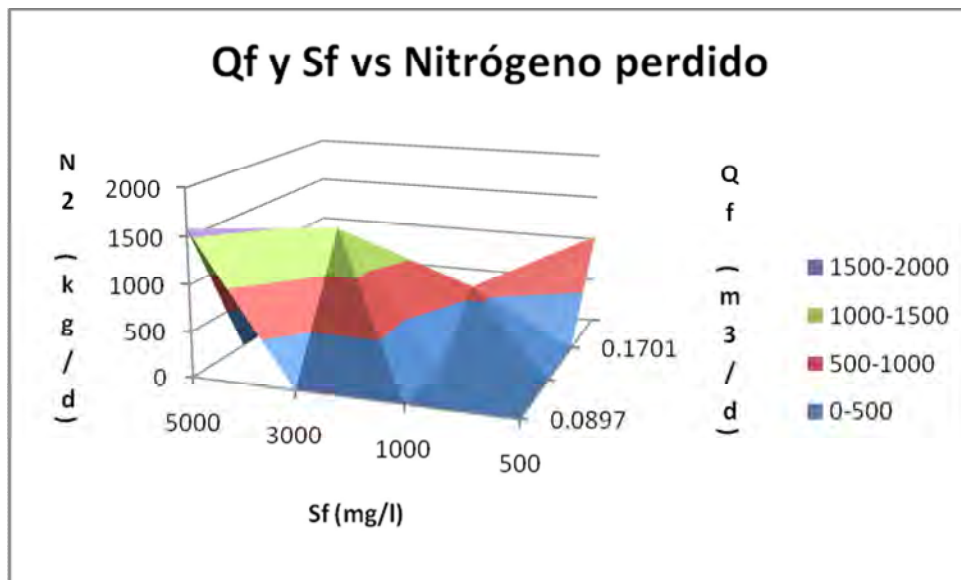
GRAFICA 25: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs CONCENTRACIÓN DE ALIMENTACIÓN COMBINADA S_o .

La grafica anterior nos marca las variaciones en la concentración de DBO en la alimentación combinada S_o , cuando incidimos sobre las variables de caudal Q_f y concentración de DBO inicial S_f .



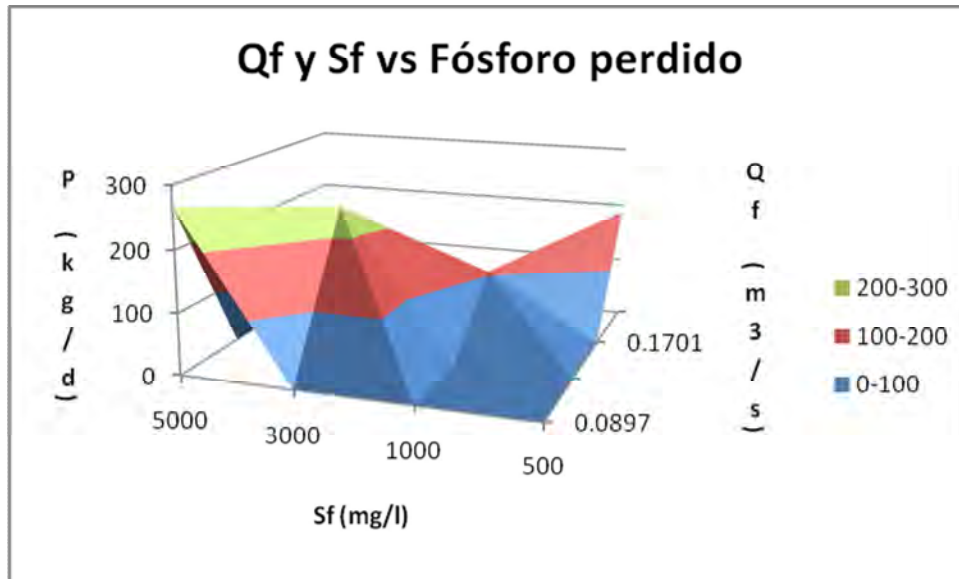
GRAFICA 26: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs ALCALINIDAD CONSUMIDA.

La grafica anterior muestra las variaciones en el consumo de alcalinidad, cuando se aumenta conjuntamente el caudal Q_f y la DBO S_f .



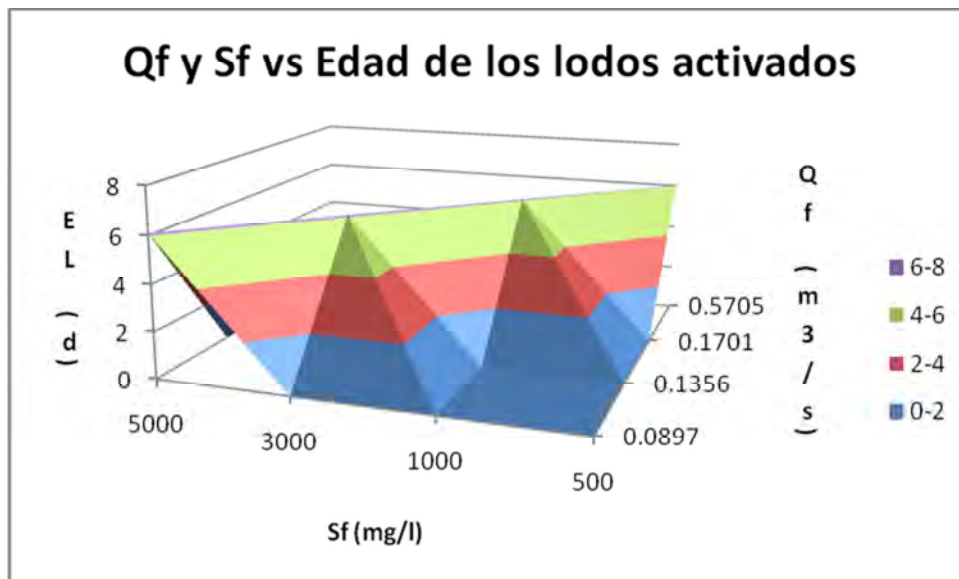
GRAFICA 27: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs NITRÓGENO TOTAL PERDIDO.

La grafica anterior representa las variaciones en cuanto a perdidas de nitrógeno se refiere dentro del reactor de lodos activados, esto al incidir sobre las variables de caudal Q_f y de concentración de DBO S_f .



GRAFICA 28: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs FÓSFORO TOTAL PERDIDO.

La grafica anterior muestra las variaciones en cuanto a fósforo perdido dentro del reactor de lodos activados se refiere, esto al incidir en las variables de caudal Q_f y de concentración de DBO S_f .



GRAFICA 29: CAUDAL INICIAL EN EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS Y DBO INICIAL vs EDAD DE LOS LODOS BIOLÓGICOS.

La grafica anterior nos muestr que la edad de los lodos no varia significativamente al incidir en las variables de caudal Q_f y de concentración de DBO S_f .

6.3 RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL CASO PLANTEADO COMO ESCENARIO UNO.

CLARIFICADOR PRIMARIO		UNIDADES
CAUDAL AGUA RESIDUAL ORIGINAL Q_0 (m ³ /d)	15000	m ³ /s
	0.1736	
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN PROMEDIO X_0 (mg/l)	500	
DBO SOLUBLE S_0 (mg/l)	500	
REMOCION ESTIMADA DE BOD (25 - 35%)	35	%
	0.35	FRACCIÓN
SEPARACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN EQUIVALENTE A (%)	55	%
	0.55	FRACCIÓN
FACTOR DE MEJORA EQUIVALENTE A (SELECCIONAR DE ACUERDO A RANGO)	1.25	
SECCIÓN DEL CLARIFICADOR	RECTANGULAR	
TIEMPO DE RESIDENCIA t (min)	40	incluyendo far
	50.0	
FACTOR DE CARGA (m ³ /m ² d)	77	incluyendo far
	61.60	

SOLIDOS EN SUSPENSIÓN DEL CAUDAL SEPARADO X_u (mg/l)	1.3	%
	13000	mg/l
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN EN EL AGUA CLARIFICADA X_f (mg/l)	275	
DBO SOLUBLE EN EL AGUA CLARIFICADA S_f (mg/l)	175	
EFLUENTE Q_f (REBOSADERO DEL CLARIFICADOR) (m ³ /d)	14735	
	0.1705	m ³ /s
CAUDAL SEPARADO (QUE SALE) DEL CLARIFICADOR Q_u (m ³ /d)	265	
	0.0031	m ³ /s
AREA A (m ²)	239.2	
PARA CLARIFICADORES DE SECCIÓN CIRCULAR:		
DIÁMETRO D (m)	17.45	
	8.73	radio
ALTURA H (m)	2.18	
VOLUMEN V (m ³)	521	

PARA CLARIFICADORES DE SECCIÓN
RECTANGULAR:

RELACION l/w =	l	3.5
	w	1

amplitud w = (m)	(w)(Xw)=	239.2
	w ² =	68.3
	w=	8

SELECCIÓN DE ESTÁNDAR ECONOMICO COMUN DE PUENTE (m)	8.5
--	-----

PROFUNDIDAD MÍNIMA (m)	2.5
------------------------	-----

LONGITUD L (m)	28
----------------	----

VOLUMEN V (m3)	581.6
----------------	-------

FLUJO TOTAL Qu APROXIMADO (kg/d)	265226
----------------------------------	--------

CONTENIDO DE SOLIDOS (kg de materia seca)	3448
--	------

BOMBEO (m3/h)	11.1
---------------	------

TIEMPO DE RESIDENCIA A CAUDAL MAXIMO (DOBLE) (min)	20.0
---	------

% DE SOLIDOS SUSPENDIDOS SEPARADOS A CAUDAL MÁXIMO (DOBLE)	40
---	----

I. DATOS SOBRE LA ALIMENTACIÓN INICIAL.		UNIDADES
CAUDAL Q_f (m ³ /s)	0.1705	
DBO SOLUBLE EN LA ALIMENTACIÓN INICIAL S_f (mg DBO ₅ /l)	175	
SOLIDOS VOLÁTILES EN LA ALIMENTACIÓN INICIAL X_{vf}	0	
ALCALINIDAD COMO CaCO ₃ (mg/l)	50	%
	0.5	FRACCIÓN
NITROGENO TOTAL KJELDAHL NTK (N) (mg/l)	60	
FÓSFORO TOTAL (P) (mg/l)	1.0	
TEMPERATURA (°C)	25	verano
	20	invierno
II. DATOS SOBRE LA CALIDAD DEL EFLUENTE.		
DBO SOLUBLE EN EL EFLUENTE MÁXIMA PERMISIBLE S_e (mg DBO ₅ /l)	20	
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN X_{ve} (mg/l)	20	

III. INFORMACIÓN PARA EL DISEÑO DEL REACTOR

VSS EN EL REACTOR X_{va} (mg/l) 2000 valores de 200

VSS EN LA DESCARGA DEL CLARIFICADOR SECUNDARIO X_{vu} (mg/l) 12000 valores de 10

% DE SÓLIDOS VOLÁTILES EN LOS MLSS
 F_v 80 %
0.8 FRACCIÓN

TEMPERATURA REACTOR T_R (°C) 30 verano
10 invierno

PARÁMETROS BIOCINÉTICOS $T=20^\circ\text{C}$

VELOCIDAD DE CONSUMO DE SUSTRATO
 k ($\text{d}^{-1} \times \text{l/mg}$) 0.074 d^{-1}
0.0031 h^{-1}

(COEFICIENTE DE ARRHENIUS PARA k) θ 1.02

PARÁMETRO DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y kg
MLVSS PRODUCIDOS / kg DBOr 0.55

COEFICIENTE DE DESCOMPOSICIÓN
MICROBIANA k_d (d^{-1}) 0.13 d^{-1}
0.0054 h^{-1}

(COEFICIENTE DE LA ECUACIÓN DE
ARRHENIUS PARA k_d y b) θ 1.05 Criterio: valor

PARÁMETRO DE UTILIZACIÓN DE OXÍGENO a (kg O ₂ /kg DBO _r)	0.55	
PARÁMETRO DE UTILIZACIÓN DE OXÍGENO b (d ⁻¹)	0.0852	d-1
	0.00355	h-1
CARACTERÍSTICAS DE SEDIMENTACIÓN DE LOS VSS		
CORRELACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE LOS VSS A LA DBO ₅ EN EL REBOSADERO DEL CLARIFICADOR SECUNDARIO		
IV. INFORMACIÓN PARA LA SELECCIÓN Y DISPOSICIÓN DE LOS AERADORES		
CARACTERÍSTICAS DE LOS AERADORES		
Déficit de Oxígeno C _L (mg/l)	2.0	
Coef. De Transferencia de O ₂ Relación α _{20°C} (Kla de agua residual/Kla de agua corriente)	0.87	Criterio: Norm
Relación de concentración de oxígeno disuelto en condiciones de saturación, agua residual C _{sr} /agua corriente C _s β	0.97	Criterio: valor
PRESIÓN P _{atm} (mm Hg)	755	

DISEÑO		
CANTIDAD DE SUSTRATO CONSUMIDO (kg/d)	2284	
ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE LA POTENCIA (HP)	109	
TEMPERATURA DE OPERACIÓN DEL REACTOR $T_w =$ (°C)	26	verano
	18	invierno
PARÁMETROS BIOCINÉTICOS A LAS T_w DE VERANO E INVIERNO		
k_{26} ($d^{-1} \times l/mg$)	0.0035	h^{-1}
	0.0831	d^{-1}
COEFICIENTE DE DESCOMPOSICIÓN MICROBIANA k_{d26} (d^{-1})	0.0072	h^{-1}
	0.1728	d^{-1}
b_{26} (d^{-1})	0.005	h^{-1}
	0.113	d^{-1}
k_{18} ($d^{-1} \times l/mg$)	0.0030	h^{-1}
	0.072	d^{-1}
COEFICIENTE DE DESCOMPOSICIÓN MICROBIANA k_{d18} (d^{-1})	0.0050	h^{-1}
	0.1198	d^{-1}

b ₁₈ (d ⁻¹)	0.0033	h ⁻¹
	0.0785	d ⁻¹
Y (kg MLVSS/kg DBO _r)	0.55	
a (kg O ₂ /kg DBO _r)	0.55	
TIEMPO DE RESIDENCIA t (h)	1	Criterio: inter
	0.0541	d
TIEMPO DE RESIDENCIA t (h)	0.146	d
	3.50	h
RELACIÓN DE ALIMENTO A MICROORGANISMOS A/M	1.62	Criterio: valor
DBO SOLUBLE REAL EN EL EFLUENTE Ser (mg/l)	20.0	
VOLUMEN DEL REACTOR (m ³)	798	
DEMANDA DE OXÍGENO PARA LAS CONDICIONES DE VERANO (kgO ₂ /h)	1437	kg/d
	60	kg/h
DEMANDA DE OXÍGENO PARA LAS CONDICIONES DE INVIERNO (kgO ₂ /h)	1381	kg/d
	58	kg/h

RESOLUCIÓN DE ECUACIÓN 4.59 CONDICIONES DE
VERANO

1.024^{T-20}	1.148
Concentración de O2 a saturación para agua corriente 760 mmHg ($C_{ss} 760$) (mg/l)	8.4
P^v (mm Hg)	23.756
P (mm Hg)	755
Concentración de O2 a saturación para agua corriente C_{ss} (mg/l)	8.34
Concentración de O2 disuelto de sat. En agua residual C_{sr} (mg/l)	8.09
K_{verano}	0.6617 valor del term

RESOLUCIÓN DE ECUACIÓN 4.59 CONDICIONES DE
INVIERNO

1.024^{T-20}	0.961
Concentración de O2 a saturación para agua corriente 760 mmHg ($C_{ss} 760$) (mg/l)	9.2

P^v (mm Hg)	17.535	
P (mm Hg)	755	
Concentración de O2 a saturación para agua corriente C_{ss} (mg/l)	9.14	
Concentración de O2 disuelto de sat. En agua residual C_{sr} (mg/l)	8.86	
$K_{invierno}$	0.6238	valor término
SUPONER UNA POTENCIA ESPECÍFICA PARA LA AERACIÓN P_v (CV/m3)	0.0685	Criterio: valor
Rendimiento de Transferencia (RT)ref (kgO2/CV h)	1.31	
Rendimiento de Transferencia (RT)real (kgO2/CV h)	0.8172	
POTENCIA REQUERIDA (CV)	70	
RECALCULAR P_v (CV/m3)	0.0883	

SELECCIÓN DE AERADORES DE (CV)	20	
NÚMERO DE AERADORES	3.52	
	4	
DISPOSICIÓN DE LOS AERADORES EN EL TANQUE DE AEREACIÓN. DIÁMETRO DE INFLUENCIA (m)	14	
PROPORCIONAR UNA SOLAPADURA TOMANDO UN COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE (%)	10	
d (m)	8.3	
SUPERFICIE (m ²)	416.7	
PROFUNDIDAD (m)	1.91	
PRODUCCIÓN NETA DE BIOMASA ΔX_v (kg/d) verano	980.5	
PRODUCCIÓN NETA DE BIOMASA ΔX_v (kg/d) invierno	1065	
RELACIÓN DE RECICLADO r (%) verano	0.193	fracción
	19.3	%
RELACIÓN DE RECICLADO r (%) invierno	0.193	fracción
	19.3	%

CÁLCULO DE CAUDALES	
Q_r (m ³ /s)	0.03
Q_o (m ³ /s)	0.20
Q_w (m ³ /s) verano	57.2 m ³ /d
	0.0007 m ³ /s
Q_w (m ³ /s) invierno	64.3 m ³ /d
	0.0007 m ³ /s
PARA COMPLEMENTO DE LOS RESTANTES CAUDALES Q_w (m ³ /s) \approx	0.0007
CAUDAL Q_o^* (m ³ /s)	0.170
Caudal Q_u (m ³ /s)	0.034
TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRÁULICO t_h (h)	1.09
BALANCE DE MATERIA DE LOS SÓLIDOS NO VOLÁTILES	
X_{Nva} (mg/l)	500

$X_{N_{VU}}$ (mg/l)	3022
$X_{N_{VF}}$ (mg/l)	12.5
PRODUCCIÓN TOTAL DE LODOS	
(VSS) _w (kg/d) verano	687.0
(VSS) _w (kg/d) invierno	1066
(NVSS) _w (kg/d)	184
(TSS) _w (kg/d) verano	871
(TSS) _w (kg/d) invierno	1250
CONCENTRACIONES DE LA ALIMENTACIÓN COMBINADA S_o (mg/l) verano	150
CONCENTRACIONES DE LA ALIMENTACIÓN COMBINADA S_o (mg/l) invierno	150
SOLIDOS VOLATILES X_{V_0} (mg/l)	1944

ALCALINIDAD CONSUMIDA (kg/d)	1142
ALCALINIDAD EN LA ALIMENTACIÓN INICIAL (kg/d)	737
NITRÓGENO PERDIDO EN EL SISTEMA POR LA PURGA DE LODOS (kg/d) verano	118
NITRÓGENO PERDIDO EN EL SISTEMA POR LA PURGA DE LODOS (kg/d) invierno	128
NITRÓGENO PERDIDO EN EL EFLUENTE (kg/d)	15
NITRÓGENO TOTAL PERDIDO (kd/d) verano	132
NITRÓGENO TOTAL PERDIDO (kd/d) invierno	143
NITRÓGENO DISPONIBLE (kg/d)	884
FÓSFORO PERDIDO EN EL SISTEMA A TRAVÉS DE LA PURGA DE LODOS (kg/d) verano	20
FÓSFORO PERDIDO EN EL SISTEMA A TRAVÉS DE LA PURGA DE LODOS (kg/d) invierno	21

FÓSFORO PERDIDO EN EL EFLUENTE (kg/d)	7
FÓSFORO TOTAL PERDIDO (kg/d) verano	27
FÓSFORO TOTAL PERDIDO (kg/d) invierno	29
FÓSFORO DISPONIBLE (kg/d)	15
DEBE AÑADIRSE FOSFORO (kg/d) verano	12
DEBE AÑADIRSE FOSFORO (kg/d) invierno	14
EDAD DE LOS LODOS θ_c (d) verano	1.63
EDAD DE LOS LODOS θ_c (d) invierno	1.50

1. Estos resultados toman como base un caudal inicial Q_0 de 15 000 m³/d, una concentración de sólidos suspendidos X_0 de 500 mg/l y una DBO inicial S_0 de 500 mg/l. Para esta configuración de entrada, obtenemos un clarificador de forma rectangular (existente), del cual obtendremos un valor de sólidos suspendidos en agua clarificada X_f igual a 275 mg/l y una DBO en el agua clarificada de 175 mg/l.
2. El volumen del clarificador primario es equivalente a 581.6 m³, muy aproximado al valor del clarificador en existencia que es de 560 m³.
3. Ya en el sistema de lodos activados con los datos de salida del clarificador que son equivalentes a los de alimentación al sistema de lodos activados, se estará consumiendo una cantidad de sustrato de 2284 kg/d.
4. El tiempo de residencia es equivalente a 1 hora, lo que difiere de los parámetros típicos, siendo estos fluctuantes en un rango de 4 – 8h.
5. La relación de alimento a microorganismos A/M tiene un valor para esta configuración de 1.62, variando también de los valores típicos para esta relación, los cuáles se ubican en un rango de 0.3 – 0.6.
6. La DBO obtenida en el efluente es equivalente a 20 mg/l, adecuándose esta a las exigencias de las Normas Oficiales Mexicanas.
7. El volumen del reactor es de 798 m³ el cuál es muy cercano al volumen del reactor existente que es de 840 m³.
8. La profundidad del tanque aerador es equivalente a 1.91m, saliendo esta de los rangos típicos que van de 2.4 a 3.6 m.
9. El volumen obtenido para el clarificador secundario es equivalente a 935 m³. Basado en el tiempo de retención y el flujo afluente al clarificador secundario Q_e .

6.4 RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL CASO PLANTEADO COMO ESCENARIO DOS.

CLARIFICADOR PRIMARIO		UNIDADES
CAUDAL AGUA RESIDUAL ORIGINAL Q_0 (m ³ /d)	25000 0.2894	m ³ /s
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN PROMEDIO X_0 (mg/l)	500	
DBO SOLUBLE S_0 (mg/l)	500	
REMOCION ESTIMADA DE BOD (25 - 35%)	35 0.35	% FRACCIÓN
SEPARACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN EQUIVALENTE A (%)	55 0.55	% FRACCIÓN
FACTOR DE MEJORA EQUIVALENTE A (SELECCIONAR DE ACUERDO A RANGO)	1.25	
SECCIÓN DEL CLARIFICADOR	RECTANGULAR	
TIEMPO DE RESIDENCIA t (min)	40 50.0	incluyendo far
FACTOR DE CARGA (m ³ /m ² d)	77 61.60	incluyendo far
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN DEL CAUDAL SEPARADO X_u (mg/l)	1.3 13000	% mg/l

SOLIDOS EN SUSPENSIÓN EN EL AGUA CLARIFICADA X_f (mg/l)	275	
DBO SOLUBLE EN EL AGUA CLARIFICADA S_f (mg/l)	175	
EFLUENTE Q_f (REBOSADERO DEL CLARIFICADOR) (m ³ /d)	2458	
	0.2842	m ³ /s
CAUDAL SEPARADO (QUE SALE) DEL CLARIFICADOR Q_u (m ³ /d)	442	
	0.0051	m ³ /s
AREA A (m ²)	398.7	
PARA CLARIFICADORES DE SECCIÓN CIRCULAR:		
DIÁMETRO D (m)	22.53	
	11.26	radio
ALTURA H (m)	2.18	
VOLUMEN V (m ³)	868	

PARA CLARIFICADORES DE SECCIÓN
RECTANGULAR:

RELACION l/w =	l	3.5
	w	1

amplitud w = (m)	(w)(Xw)=	398.7
	w ² =	113.9
	w=	11

SELECCIÓN DE ESTÁNDAR ECONOMICO COMUN DE PUENTE (m)	11.6
--	------

PROFUNDIDAD MÍNIMA (m)	2.5
------------------------	-----

LONGITUD L (m)	34
----------------	----

VOLUMEN V (m3)	917.0
----------------	-------

FLUJO TOTAL Qu APROXIMADO (kg/d)	442043
----------------------------------	--------

CONTENIDO DE SOLIDOS (kg de materia seca)	5747
--	------

BOMBEO (m3/h)	18.4
---------------	------

TIEMPO DE RESIDENCIA A CAUDAL MAXIMO (DOBLE) (min)	20.0
---	------

% DE SOLIDOS SUSPENDIDOS SEPARADOS A CAUDAL MÁXIMO (DOBLE)	40
---	----

I. DATOS SOBRE LA ALIMENTACIÓN INICIAL.		UNIDADES
CAUDAL Q_f (m ³ /s)	0.2842	
DBO SOLUBLE EN LA ALIMENTACIÓN INICIAL S_f (mg DBO ₅ /l)	175	
SOLIDOS VOLÁTILES EN LA ALIMENTACIÓN INICIAL X_{vf}	0	
ALCALINIDAD COMO CaCO ₃ (mg/l)	50	%
	0.5	FRACCIÓN
NITROGENO TOTAL KJELDAHL NTK (N) (mg/l)	60	
FÓSFORO TOTAL (P) (mg/l)	1.0	
TEMPERATURA (°C)	25	verano
	20	invierno
II. DATOS SOBRE LA CALIDAD DEL EFLUENTE.		
DBO SOLUBLE EN EL EFLUENTE MÁXIMA PERMISIBLE S_e (mg DBO ₅ /l)	20	
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN X_{ve} (mg/l)	20	

III. INFORMACIÓN PARA EL DISEÑO DEL REACTOR

VSS EN EL REACTOR X_{va} (mg/l)	3000	valores de 200
VSS EN LA DESCARGA DEL CLARIFICADOR SECUNDARIO X_{vu} (mg/l)	12000	valores de 10
% DE SÓLIDOS VOLÁTILES EN LOS MLSS F_v	80	%
	0.8	FRACCIÓN
TEMPERATURA REACTOR T_R (°C)	30	verano
	10	invierno
PARÁMETROS BIOCINÉTICOS $T=20^\circ\text{C}$		
VELOCIDAD DE CONSUMO DE SUSTRATO k ($\text{d}^{-1} \times \text{l/mg}$)	0.074	d-1
	0.0031	h-1
(COEFICIENTE DE ARRHENIUS PARA k) θ	1.02	
PARÁMETRO DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y kg MLVSS PRODUCIDOS / kg DBOr	0.55	
COEFICIENTE DE DESCOMPOSICIÓN MICROBIANA k_d (d^{-1})	0.13	d-1
	0.0054	h-1
(COEFICIENTE DE LA ECUACIÓN DE ARRHENIUS PARA k_d y b) θ	1.05	Criterio: valor
PARÁMETRO DE UTILIZACIÓN DE OXÍGENO a (kg O_2 /kg DBOr)	0.55	

PARÁMETRO DE UTILIZACIÓN DE OXÍGENO b (d^{-1})	0.0852	d-1
	0.00355	h-1
CARACTERÍSTICAS DE SEDIMENTACIÓN DE LOS VSS		
CORRELACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE LOS VSS A LA DBO5 EN EL REBOSADERO DEL CLARIFICADOR SECUNDARIO		
IV. INFORMACIÓN PARA LA SELECCIÓN Y DISPOSICIÓN DE LOS AEREADORES		
CARACTERÍSTICAS DE LOS AEREADORES		
Déficit de Oxígeno C_L (mg/l)	2.0	
Coef. De Transferencia de O2 Relación α $_{20^{\circ}C}$ (Kla de agua residual/Kla de agua corriente)	0.87	Criterio: Norm
Relación de concentración de oxígeno disuelto en condiciones de saturación, agua residual C_{sr} /agua corriente $C_s \beta$	0.97	Criterio: valor
PRESIÓN P_{atm} (mm Hg)	755	
DISEÑO		
CANTIDAD DE SUSTRATO CONSUMIDO (kg/d)	3806	

ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE LA POTENCIA (HP)	181	
TEMPERATURA DE OPERACIÓN DEL REACTOR $T_w =$ (°C)	26	verano
	18	invierno
PARÁMETROS BIOCINÉTICOS A LAS T_w DE VERANO E INVIERNO		
k_{26} ($d^{-1} \times l/mg$)	0.0035	h^{-1}
	0.0831	d^{-1}
COEFICIENTE DE DESCOMPOSICIÓN MICROBIANA k_{d26} (d^{-1})	0.0072	h^{-1}
	0.1728	d^{-1}
b_{26} (d^{-1})	0.005	h^{-1}
	0.113	d^{-1}
k_{18} ($d^{-1} \times l/mg$)	0.0030	h^{-1}
	0.072	d^{-1}
COEFICIENTE DE DESCOMPOSICIÓN MICROBIANA k_{d18} (d^{-1})	0.0050	h^{-1}
	0.1198	d^{-1}
b_{18} (d^{-1})	0.0033	h^{-1}
	0.0785	d^{-1}
Y (kg MLVSS/kg DBO _r)	0.55	
a (kg O ₂ /kg DBO _r)	0.55	

TIEMPO DE RESIDENCIA t (h)	1	Criterio: inter
	0.0361	d
TIEMPO DE RESIDENCIA t (h)	0.097	d
	2.33	h
RELACIÓN DE ALIMENTO A MICROORGANISMOS A/M	1.62	Criterio: valor
DBO SOLUBLE REAL EN EL EFLUENTE Ser (mg/l)	20.0	
VOLUMEN DEL REACTOR (m ³)	886	
DEMANDA DE OXÍGENO PARA LAS CONDICIONES DE VERANO (kgO ₂ /h)	2395	kg/d
	100	kg/h
DEMANDA DE OXÍGENO PARA LAS CONDICIONES DE INVIERNO (kgO ₂ /h)	2302	kg/d
	96	kg/h
RESOLUCIÓN DE ECUACIÓN 4.59 CONDICIONES DE VERANO		
1.024^{T-20}	1.148	
Concentración de O ₂ a saturación para agua corriente 760 mmHg (C _{ss}) ₇₆₀ (mg/l)	8.4	
P ^v (mm Hg)	23.756	

P (mm Hg)	755	
Concentración de O2 a saturación para agua corriente C_{ss} (mg/l)	8.34	
Concentración de O2 disuelto de sat. En agua residual C_{sr} (mg/l)	8.09	
K_{verano}	0.6617	valor del term

RESOLUCIÓN DE ECUACIÓN 4.59 CONDICIONES DE INVIERNO

1.024^{T-20}	0.961	
Concentración de O2 a saturación para agua corriente 760 mmHg ($C_{ss} 760$) (mg/l)	9.2	
P^v (mm Hg)	17.535	
P (mm Hg)	755	
Concentración de O2 a saturación para agua corriente C_{ss} (mg/l)	9.14	
Concentración de O2 disuelto de sat. En agua residual C_{sr} (mg/l)	8.86	

K_{invierno}	0.6238	valor término
SUPONER UNA POTENCIA ESPECÍFICA PARA LA AERACIÓN P_v (CV/m ³)	0.0685	Criterio: valor
Rendimiento de Transferencia (RT) _{ref} (kgO ₂ /CV h)	1.31	
Rendimiento de Transferencia (RT) _{real} (kgO ₂ /CV h)	0.8172	
POTENCIA REQUERIDA (CV)	117	
RECALCULAR P_v (CV/m ³)	0.1325	
SELECCIÓN DE AERADORES DE (CV)	20	
NÚMERO DE AERADORES	5.87 6	
DISPOSICIÓN DE LOS AERADORES EN EL TANQUE DE AERACIÓN. DIÁMETRO DE INFLUENCIA (m)	14	
PROPORCIONAR UNA SOLAPADURA TOMANDO UN COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE (%)	10	
d (m)	8.3	

SUPERFICIE (m ²)	416.7	
PROFUNDIDAD (m)	2.13	
PRODUCCIÓN NETA DE BIOMASA ΔX_v (kg/d) verano	1634.1	
PRODUCCIÓN NETA DE BIOMASA ΔX_v (kg/d) invierno	1775	
RELACIÓN DE RECICLADO r (%) verano	0.326	fracción
	32.6	%
RELACIÓN DE RECICLADO r (%) invierno	0.325	fracción
	32.5	%
CÁLCULO DE CAUDALES		
Q_r (m ³ /s)	0.09	
Q_o (m ³ /s)	0.38	
Q_w (m ³ /s) verano	95.4	m ³ /d
	0.0011	m ³ /s
Q_w (m ³ /s) invierno	107.2	m ³ /d
	0.0012	m ³ /s

PARA COMPLEMENTO DE LOS RESTANTES CAUDALES Q_w (m ³ /s) \approx	0.0012
CAUDAL Q_o^* (m ³ /s)	0.283
Caudal Q_u (m ³ /s)	0.094
TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRÁULICO t_h (h)	0.65
BALANCE DE MATERIA DE LOS SÓLIDOS NO VOLÁTILES	
X_{Nva} (mg/l)	750
X_{Nvu} (mg/l)	3013
X_{NVF} (mg/l)	12.4
PRODUCCIÓN TOTAL DE LODOS	
(VSS) _w (kg/d) verano	1145.0
(VSS) _w (kg/d) invierno	1777

(NVSS) _w (kg/d)	305
(TSS) _w (kg/d) verano	1450
(TSS) _w (kg/d) invierno	2082
CONCENTRACIONES DE LA ALIMENTACIÓN COMBINADA S _o (mg/l) verano	137
CONCENTRACIONES DE LA ALIMENTACIÓN COMBINADA S _o (mg/l) invierno	137
SOLIDOS VOLATILES X _{vo} (mg/l)	2950
ALCALINIDAD CONSUMIDA (kg/d)	1903
ALCALINIDAD EN LA ALIMENTACIÓN INICIAL (kg/d)	1228
NITRÓGENO PERDIDO EN EL SISTEMA POR LA PURGA DE LODOS (kg/d) verano	196
NITRÓGENO PERDIDO EN EL SISTEMA POR LA PURGA DE LODOS (kg/d) invierno	213
NITRÓGENO PERDIDO EN EL EFLUENTE (kg/d)	25

NITRÓGENO TOTAL PERDIDO (kd/d) verano	221
NITRÓGENO TOTAL PERDIDO (kd/d) invierno	238
NITRÓGENO DISPONIBLE (kg/d)	1473
FÓSFORO PERDIDO EN EL SISTEMA A TRAVÉS DE LA PURGA DE LODOS (kg/d) verano	33
FÓSFORO PERDIDO EN EL SISTEMA A TRAVÉS DE LA PURGA DE LODOS (kg/d) invierno	36
FÓSFORO PERDIDO EN EL EFLUENTE (kg/d)	12
FÓSFORO TOTAL PERDIDO (kg/d) verano	45
FÓSFORO TOTAL PERDIDO (kg/d) invierno	48
FÓSFORO DISPONIBLE (kg/d)	25
DEBE AÑADIRSE FOSFORO (kg/d) verano	20
DEBE AÑADIRSE FOSFORO (kg/d) invierno	23
EDAD DE LOS LODOS Θ_c (d) verano	1.63
EDAD DE LOS LODOS Θ_c (d) invierno	1.50

1. La configuración de este escenario está conformada por un caudal de entrada Q_0 equivalente a 25 000 m³/d, una concentración de sólidos suspendidos inicial X_0 de 500 mg/l y una DBO inicial de 500 mg/l. Con esta configuración obtenemos un efluente clarificado con una concentración de 275 mg/l de sólidos suspendidos X_f y una DBO de 175 mg/l.
2. El clarificador primario tiene un volumen equivalente a 917 m³.
3. Ya en el sistema de lodos activados, se estarán consumiendo 3806 kg/d de sustrato.
4. El tiempo de residencia es equivalente a 1 hora, lo cual sale de los valores típicos ubicados en rangos de 4 – 8h.
5. La relación de alimento a microorganismos A/M, tiene un valor de 1.62, que sale del rango típico de 0.3 – 0.6.
6. La DBO en el efluente es equivalente a 20 mg/l la cual cumple con las especificaciones de las Normas Oficiales Mexicanas.
7. El volumen del reactor es igual a 886 m³, muy cercano al del reactor existente 840 m³.
8. La profundidad obedece a un valor equivalente a 2.13 m , un poco por debajo de los rangos típicos de 2.4 – 3.6m.
9. El volumen obtenido para el clarificador secundario en este caso es igual a 1185 m³. Basado en el tiempo de residencia y en el caudal de salida del reactor Q_e .

6.5 RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL CASO PLANTEADO COMO ESCENARIO TRES.

CLARIFICADOR PRIMARIO		UNIDADES
CAUDAL AGUA RESIDUAL ORIGINAL Q_0A (m ³ /d)	25000	m ³ /s
	0.2894	
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN PROMEDIO X_0A (mg/l)	1000	
DBO SOLUBLE S_0 (mg/l)	1000	
REMOCION ESTIMADA DE BOD (25 - 35%)	35	%
	0.35	FRACCIÓN
SEPARACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN EQUIVALENTE A (%)	40	%
	0.4	FRACCIÓN
FACTOR DE MEJORA EQUIVALENTE A (SELECCIONAR DE ACUERDO A RANGO)	1.23	
SECCIÓN DEL CLARIFICADOR	RECTANGULAR	
TIEMPO DE RESIDENCIA t (min)	20	incluyendo far
	24.6	
FACTOR DE CARGA (m ³ /m ² d)	120	incluyendo far
	97.56	
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN DEL CAUDAL SEPARADO X_uA (mg/l)	0.8	%
	8000	mg/l

SOLIDOS EN SUSPENSIÓN EN EL AGUA CLARIFICADA X_o (mg/l)	400	
DBO SOLUBLE EN EL AGUA CLARIFICADA S_f (mg/l)	350	
EFLUENTE Q_o (REBOSADERO DEL CLARIFICADOR) (m ³ /d)	23026	m ³ /s
	0.2665	
CAUDAL SEPARADO (QUE SALE) DEL CLARIFICADOR Q_{uA} (m ³ /d)	1974	m ³ /s
	0.0228	
AREA A (m ²)	236.0	
PARA CLARIFICADORES DE SECCIÓN CIRCULAR:		
DIÁMETRO D (m)	17.34	radio
	8.67	
ALTURA H (m)	1.81	
VOLUMEN V (m ³)	427	
PARA CLARIFICADORES DE SECCIÓN RECTANGULAR:		
RELACION $l/w =$	l	3.5
	w	1

amplitud $w = (m)$	$(w)(Xw) =$	236.0
	$w^2 =$	67.4
	$w =$	8

SELECCIÓN DE ESTÁNDAR ECONOMICO COMUN DE PUENTE (m)	8.5
--	-----

PROFUNDIDAD MÍNIMA (m)	2.5
------------------------	-----

LONGITUD L (m)	28
----------------	----

VOLUMEN V (m ³)	570.0
-----------------------------	-------

FLUJO TOTAL QuA APROXIMADO (kg/d)	1973684
-----------------------------------	---------

CONTENIDO DE SOLIDOS (kg de materia seca)	15789
--	-------

BOMBEO (m ³ /h)	82.2
----------------------------	------

TIEMPO DE RESIDENCIA A CAUDAL MAXIMO (DOBLE) (min)	10.0
---	------

% DE SOLIDOS SUSPENDIDOS SEPARADOS A CAUDAL MÁXIMO (DOBLE)	28
---	----

CLARIFICADOR PRIMARIO		UNIDADES
CAUDAL AGUA RESIDUAL ORIGINAL Q_0 (m ³ /d)	23026	m ³ /s
	0.2665	
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN PROMEDIO X_0 (mg/l)	400	
DBO SOLUBLE S_0 (mg/l)	350	
REMOCION ESTIMADA DE BOD (25 - 35%)	35	% FRACCIÓN
	0.35	
SEPARACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN EQUIVALENTE A (%)	55	% FRACCIÓN
	0.55	
FACTOR DE MEJORA EQUIVALENTE A (SELECCIONAR DE ACUERDO A RANGO)	1.25	
SECCIÓN DEL CLARIFICADOR	CIRCULAR	
TIEMPO DE RESIDENCIA t (min)	40	incluyendo fa
	50.0	
FACTOR DE CARGA (m ³ /m ² d)	70	incluyendo fa
	56.00	
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN DEL CAUDAL SEPARADO X_u (mg/l)	1.3	% mg/l
	13000	

SOLIDOS EN SUSPENSIÓN EN EL AGUA CLARIFICADA Xf (mg/l)		220	
DBO SOLUBLE EN EL AGUA CLARIFICADA Sf (mg/l)		123	
EFLUENTE Qf (REBOSADERO DEL CLARIFICADOR) (m3/d)		22702	m3/s
		0.2628	
CAUDAL SEPARADO (QUE SALE) DEL CLARIFICADOR Qu (m3/d)		324	m3/s
		0.0038	
AREA A (m2)		405.4	
PARA CLARIFICADORES DE SECCIÓN CIRCULAR:			
DIÁMETRO D (m)		22.72	radio
		11.36	
ALTURA H (m)		1.97	
VOLUMEN V (m3)		800	
PARA CLARIFICADORES DE SECCIÓN RECTANGULAR:			
RELACION l/w =	l	3.5	
	w	1	
amplitud w = (m)	(w)(Xw)=	405.4	
	w ² =	115.8	
	w=	11	

SELECCIÓN DE ESTÁNDAR ECONOMICO COMUN DE PUENTE (m)	11.6
PROFUNDIDAD MÍNIMA (m)	2.5
LONGITUD L (m)	35
VOLUMEN V (m ³)	940.3
FLUJO TOTAL Qu APROXIMADO (kg/d)	324314
CONTENIDO DE SOLIDOS (kg de materia seca)	4216
BOMBEO (m ³ /h)	13.5
TIEMPO DE RESIDENCIA A CAUDAL MAXIMO (DOBLE) (min)	20.0
% DE SOLIDOS SUSPENDIDOS SEPARADOS A CAUDAL MÁXIMO (DOBLE)	40

I. DATOS SOBRE LA ALIMENTACIÓN INICIAL.		UNIDADES
CAUDAL Q_f (m ³ /s)	0.2628	
DBO SOLUBLE EN LA ALIMENTACIÓN INICIAL S_f (mg DBO ₅ /l)	123	
SOLIDOS VOLÁTILES EN LA ALIMENTACIÓN INICIAL X_{vf}	0	
ALCALINIDAD COMO CaCO ₃ (mg/l)	50	%
	0.5	FRACCIÓN
NITROGENO TOTAL KJELDAHL NTK (N) (mg/l)	60	
FÓSFORO TOTAL (P) (mg/l)	1.0	
TEMPERATURA (°C)	25	verano
	20	invierno
II. DATOS SOBRE LA CALIDAD DEL EFLUENTE.		
DBO SOLUBLE EN EL EFLUENTE MÁXIMA PERMISIBLE S_e (mg DBO ₅ /l)	20	
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN X_{ve} (mg/l)	20	

III. INFORMACIÓN PARA EL DISEÑO DEL REACTOR

VSS EN EL REACTOR X_{va} (mg/l)	2000	valores de 200
VSS EN LA DESCARGA DEL CLARIFICADOR SECUNDARIO X_{vu} (mg/l)	12000	valores de 10
% DE SÓLIDOS VOLÁTILES EN LOS MLSS F_v	80	%
	0.8	FRACCIÓN
TEMPERATURA REACTOR T_R (°C)	30	verano
	10	invierno
PARÁMETROS BIOCINÉTICOS $T=20^\circ\text{C}$		
VELOCIDAD DE CONSUMO DE SUSTRATO k ($\text{d}^{-1} \times \text{l/mg}$)	0.074	d^{-1}
	0.0031	h^{-1}
(COEFICIENTE DE ARRHENIUS PARA k) θ	1.02	
PARÁMETRO DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y kg MLVSS PRODUCIDOS / kg DBOr	0.55	
COEFICIENTE DE DESCOMPOSICIÓN MICROBIANA k_d (d^{-1})	0.13	d^{-1}
	0.0054	h^{-1}
(COEFICIENTE DE LA ECUACIÓN DE ARRHENIUS PARA k_d y b) θ	1.05	Criterio: valor
PARÁMETRO DE UTILIZACIÓN DE OXÍGENO a (kg O_2 /kg DBOr)	0.55	

PARÁMETRO DE UTILIZACIÓN DE OXÍGENO b (d^{-1})	0.0852	d-1
	0.00355	h-1
CARACTERÍSTICAS DE SEDIMENTACIÓN DE LOS VSS		
CORRELACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE LOS VSS A LA DBO5 EN EL REBOSADERO DEL CLARIFICADOR SECUNDARIO		
IV. INFORMACIÓN PARA LA SELECCIÓN Y DISPOSICIÓN DE LOS AEREADORES		
CARACTERÍSTICAS DE LOS AEREADORES		
Déficit de Oxígeno C_L (mg/l)	2.0	
Coef. De Transferencia de O2 Relación $\alpha_{20^\circ C}$ (Kla de agua residual/Kla de agua corriente)	0.87	Criterio: Norm
Relación de concentración de oxígeno disuelto en condiciones de saturación, agua residual C_{sr} /agua corriente $C_s \beta$	0.97	Criterio: valor
PRESIÓN P_{atm} (mm Hg)	755	
DISEÑO		
CANTIDAD DE SUSTRATO CONSUMIDO (kg/d)	2327	

ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE LA POTENCIA (HP)	111
TEMPERATURA DE OPERACIÓN DEL REACTOR $T_w =$ (°C)	26 verano 19 invierno
PARÁMETROS BIOCINÉTICOS A LAS T_w DE VERANO E INVIERNO	
k_{26} ($d^{-1} \times l/mg$)	0.0034 h^{-1}
	0.0827 d^{-1}
COEFICIENTE DE DESCOMPOSICIÓN MICROBIANA k_{d26} (d^{-1})	0.0071 h^{-1}
	0.1707 d^{-1}
b_{26} (d^{-1})	0.005 h^{-1}
	0.112 d^{-1}
k_{18} ($d^{-1} \times l/mg$)	0.0030 h^{-1}
	0.072 d^{-1}
COEFICIENTE DE DESCOMPOSICIÓN MICROBIANA k_{d18} (d^{-1})	0.0051 h^{-1}
	0.1228 d^{-1}
b_{18} (d^{-1})	0.0034 h^{-1}
	0.0805 d^{-1}
Y (kg MLVSS/kg DBOr)	0.55
a (kg O ₂ /kg DBOr)	0.55

TIEMPO DE RESIDENCIA t (h)	1	Criterio: inter
	0.0354	d
TIEMPO DE RESIDENCIA t (h)	0.102	d
	2.45	h
RELACIÓN DE ALIMENTO A MICROORGANISMOS A/M	1.73	Criterio: valor
DBO SOLUBLE REAL EN EL EFLUENTE Ser (mg/l)	20.0	
VOLUMEN DEL REACTOR (m ³)	805	
DEMANDA DE OXÍGENO PARA LAS CONDICIONES DE VERANO (kgO ₂ /h)	1460	kg/d
	61	kg/h
DEMANDA DE OXÍGENO PARA LAS CONDICIONES DE INVIERNO (kgO ₂ /h)	1409	kg/d
	59	kg/h
RESOLUCIÓN DE ECUACIÓN 4.59 CONDICIONES DE VERANO		
1.024^{T-20}	1.142	
Concentración de O ₂ a saturación para agua corriente 760 mmHg (C _{ss}) ₇₆₀ (mg/l)	8.4	
P ^v (mm Hg)	23.756	

P (mm Hg)	755
Concentración de O2 a saturación para agua corriente C_{ss} (mg/l)	8.34
Concentración de O2 disuelto de sat. En agua residual C_{sr} (mg/l)	8.09
K_{verano}	0.6578

valor del term

RESOLUCIÓN DE ECUACIÓN 4.59 CONDICIONES DE INVIERNO

1.024^{T-20}	0.973
Concentración de O2 a saturación para agua corriente 760 mmHg ($C_{ss} 760$) (mg/l)	9.2
P^v (mm Hg)	17.535
P (mm Hg)	755
Concentración de O2 a saturación para agua corriente C_{ss} (mg/l)	9.14
Concentración de O2 disuelto de sat. En agua residual C_{sr} (mg/l)	8.86

K_{invierno}	0.6313	valor término
SUPONER UNA POTENCIA ESPECÍFICA PARA LA AERACIÓN P_v (CV/m ³)	0.0685	Criterio: valor
Rendimiento de Transferencia (RT) _{ref} (kgO ₂ /CV h)	1.31	
Rendimiento de Transferencia (RT) _{real} (kgO ₂ /CV h)	0.8270	
POTENCIA REQUERIDA (CV)	71	
RECALCULAR P_v (CV/m ³)	0.0883	
SELECCIÓN DE AERADORES DE (CV)	20	
NÚMERO DE AERADORES	3.55 4	
DISPOSICIÓN DE LOS AERADORES EN EL TANQUE DE AERACIÓN. DIÁMETRO DE INFLUENCIA (m)	14	
PROPORCIONAR UNA SOLAPADURA TOMANDO UN COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE (%)	10	
d (m)	8.3	

SUPERFICIE (m ²)	416.7	
PROFUNDIDAD (m)	1.93	
PRODUCCIÓN NETA DE BIOMASA ΔX_v (kg/d) verano	1005.1	
PRODUCCIÓN NETA DE BIOMASA ΔX_v (kg/d) invierno	1082	
RELACIÓN DE RECICLADO r (%) verano	0.196	fracción
	19.6	%
RELACIÓN DE RECICLADO r (%) invierno	0.195	fracción
	19.5	%
CÁLCULO DE CAUDALES		
Q_r (m ³ /s)	0.05	
Q_o (m ³ /s)	0.31	
Q_w (m ³ /s) verano	46.0	m ³ /d
	0.0005	m ³ /s
Q_w (m ³ /s) invierno	52.4	m ³ /d
	0.0006	m ³ /s

PARA COMPLEMENTO DE LOS RESTANTES CAUDALES Q_w (m ³ /s) \approx	0.0006
CAUDAL Q_{o^*} (m ³ /s)	0.262
Caudal Q_u (m ³ /s)	0.052
TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRÁULICO t_h (h)	0.71
BALANCE DE MATERIA DE LOS SÓLIDOS NO VOLÁTILES	
X_{Nva} (mg/l)	500
X_{Nvu} (mg/l)	3023
X_{NVF} (mg/l)	6.6
PRODUCCIÓN TOTAL DE LODOS	
(VSS) w (kg/d) verano	552.0
(VSS) w (kg/d) invierno	1083
(NVSS) w (kg/d)	149

(TSS) _w (kg/d) verano	701
(TSS) _w (kg/d) invierno	1232
CONCENTRACIONES DE LA ALIMENTACIÓN COMBINADA S _o (mg/l) verano	106
CONCENTRACIONES DE LA ALIMENTACIÓN COMBINADA S _o (mg/l) invierno	106
SOLIDOS VOLATILES X _{vo} (mg/l)	1963
ALCALINIDAD CONSUMIDA (kg/d)	1163
ALCALINIDAD EN LA ALIMENTACIÓN INICIAL (kg/d)	1135
NITRÓGENO PERDIDO EN EL SISTEMA POR LA PURGA DE LODOS (kg/d) verano	121
NITRÓGENO PERDIDO EN EL SISTEMA POR LA PURGA DE LODOS (kg/d) invierno	130
NITRÓGENO PERDIDO EN EL EFLUENTE (kg/d)	23
NITRÓGENO TOTAL PERDIDO (kd/d) verano	143

NITRÓGENO TOTAL PERDIDO (kd/d) invierno	153
NITRÓGENO DISPONIBLE (kg/d)	1362
FÓSFORO PERDIDO EN EL SISTEMA A TRAVÉS DE LA PURGA DE LODOS (kg/d) verano	20
FÓSFORO PERDIDO EN EL SISTEMA A TRAVÉS DE LA PURGA DE LODOS (kg/d) invierno	22
FÓSFORO PERDIDO EN EL EFLUENTE (kg/d)	11
FÓSFORO TOTAL PERDIDO (kg/d) verano	31
FÓSFORO TOTAL PERDIDO (kg/d) invierno	33
FÓSFORO DISPONIBLE (kg/d)	23
DEBE AÑADIRSE FOSFORO (kg/d) verano	9
DEBE AÑADIRSE FOSFORO (kg/d) invierno	10
EDAD DE LOS LODOS θ_c (d) verano	1.60
EDAD DE LOS LODOS θ_c (d) invierno	1.49

1. En este escenario se plantea la utilización de dos clarificadores primarios, de los cuáles el primero estará recibiendo un caudal inicial de agua residual Q_{oA} equivalente a 25000 m³/d, una concentración inicial de sólidos suspendidos X_{oA} igual a 1000 mg/l y una concentración de DBO de 1000 mg/l
2. A la salida de este clarificador obtendremos en una concentración de sólidos suspendidos X_o equivalente a 400 mg/l y una concentración de DBO igual a 350 mg/l.
3. Este clarificador tiene un volumen equivalente a 570 m³, valor similar al del clarificador existente que es de 560 m³.
4. Una vez en el segundo clarificador obtendremos a la salida de este, una concentración de sólidos en suspensión X_f equivalente a 220 mg/l y una concentración de DBO S_f equivalente a 123 mg/l.
5. El volumen de este clarificador, de sección circular es equivalente a 800 m³.
6. Ya en el sistema de lodos activados, se estará consumiendo el equivalente a 2327 kg/d de sustrato.
7. El tiempo de residencia tiene una duración de 1 hora, el cuál sale de los parámetros típicos que son de 4 – 8 h.
8. La relación de alimento a microorganismos A/M tiene un valor de 1.73, quedando fuera de los valores típicos 0.3 – 0.6.
9. La DBO en el efluente es de 20 mg/l, adecuándose a las exigencias de las Normas Oficiales Mexicanas.
10. El volumen del reactor es equivalente a 805 m³
11. La profundidad alcanza un valor de 1.93 m. cercana a los rangos normales (inferior) 2.4 – 3.6 m.
12. El clarificador secundario tiene un volumen de 948 m³, basado en el tiempo de residencia y el caudal que lo alimenta Q_e .

6.6 RESEÑA DEL SISTEMA AQWISE™ COMO ALTERNATIVA DE COMPLEMENTO AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Aqwise™ ofrece soluciones avanzadas de tratamiento de aguas residuales para mercados industriales y municipales. Esas soluciones incrementan significativamente la capacidad y la eficiencia de las plantas de tratamiento de agua residual existente, mientras que minimizan el tamaño de las nuevas plantas a desarrollar.

Utilizando las soluciones que ofrece Aqwise, las plantas industriales pueden cumplir por mucho con los requerimientos regulatorios de descarga de aguas residuales al entorno o a los sistemas municipales de drenaje y resolver problemas típicos en la industria como los son, influentes muy variables, picos temporales, y una carga orgánica muy alta.

La familia de soluciones Aqwise, puede ser aplicable a cualquier tipo de proceso biológico, desde laguna de oxidación hasta lodos activados. Para instalaciones nuevas y existentes, Aqwise ofrece varias configuraciones: MBBR (Moving Bed Bio Reactor), IFAS (Integrated Fixed Film Activated Sludge), y FFAST (Fixed Film followed by Activated Sludge Treatment).

Las propiedades de su tecnología AGAR (attached Growth Airlift Reactor) es el resultado de más de una década de investigación multidisciplinaria intensa, esta tecnología es considerada como la “siguiente generación” en métodos biológicos de tratamiento de aguas residuales. La tecnología AGAR combina una única amplia abertura y amplia protección en su transportador de biomasa con una alta eficiencia de aereación y mezclado. Esto resulta en un área superficial efectiva superior para el crecimiento de biomasa y una óptima eficiencia de transferencia de oxígeno.



IMAGEN 4: AQWISE BIOMASS CARRIER.

El diseño hidráulico de su proceso AGAR, está basado en un campo provisto por un modelo analítico, altamente garantizado para una mezcla completa e intensiva de sus transportadores de biomasa en el reactor.

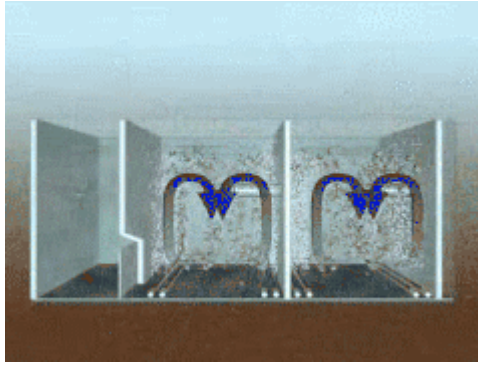


IMAGEN 5: COMPORTAMIENTO DE LOS TRANSPORTADORES DE BIOMASA EN EL REACTOR.

El proceso AGAR incrementa la capacidad de la planta de tratamiento de agua residual por encima de un 50% sin construcción adicional. Esta solución ofrece un desarrollo rápido y un mínimo tiempo de paro.

Ofrece significativas optimizaciones en la implementación de nuevos reactores, con una reducción de 30 – 60% en el volumen del reactor, comparado con los sistemas convencionales.

Ofrece la opción de incremento en la capacidad con la simple adición de transportadores de biomasa. Se puede incrementar la capacidad de los reactores existentes a la tasa exacta que se necesita con solo una inversión de capital.

Suprime o reduce significativamente la recirculación de lodos, reduciendo la atención necesaria en la operación ^[21].

CAPÍTULO SEPTIMO: CONCLUSIONES.

7.1 CONCLUSIONES

La elaboración de esta Tesis Profesional desarrolló la ingeniería conceptual para una planta de tratamiento de efluentes, y ha tenido a bien llegar al planteamiento de tres escenarios, los cuales son precursores de un caso más, el caso de estudio, que con sus respectivos estudios de etapas posteriores de ingeniería, estudios económicos y financieros, adoptarán el escenario más apegado a la realidad de sus necesidades y concretará en la ampliación, remodelación, reconstrucción o creación de una planta de tratamiento de efluentes en una terminal de almacenamiento de gasolinas (TAD).

Las herramientas generadas en esta Tesis, como el algoritmo de cálculo, el programa de cálculo generado en Microsoft Office Excel 2007™ y la investigación en cuanto a legislación vigente en materia de agua residual, sustentan las bases y son precursores de estudios más detallados y analíticos de casos con condiciones específicas.

Si bien en cada escenario planteado, adecuándolo a las exigencias primordiales que son las establecidas por las Normas Oficiales Mexicanas para reutilización de aguas residuales tratadas, se concretó en un valor que satisface estos requerimientos, se hace una introducción a modo de recomendación de la alternativa de tratamiento del proceso ofrecido por Aqwise™ el cuál ofrece el incremento en la capacidad de tratamiento de agua residual por encima del 50%, una optimización de los reactores existentes y reactores en proyecto, que va del 30 – 60% superior a la establecida, todo ello dependiendo de cada caso en particular.

De igual forma, se concluye que a medida que se deja de generalizar en el tratamiento de aguas residuales, y se va particularizando en cada caso, se hacen necesarias campañas de estudio en laboratorio de cada agua residual a tratar, porque si bien esta tesis esta basada en parámetros hallados en bibliografía (p. ej. a , b , Y , kd , Θ) que por supuesto son confiables y fehacientes, mas no totales, sino aproximados, así se obtendrían resultados inequívocos y totalmente exactos, esto lo señalo por la aproximación que se obtuvo en los resultados de los ensayos hechos en esta Tesis, que a falta de estudios particulares en el laboratorio, tuvo que recurrir a los parámetros mencionados anteriormente (entre otros).

Por último, durante todo el tiempo de desarrollo de esta Tesis Profesional, y en la investigación que hay detrás de la misma, encontré que el mejor tratamiento que puede recibir el agua, es la concientización del ser humano sobre sus recursos hídricos.

BIBLIOGRAFÍA

TESIS

- 1) Belloc S.C., Tesis Profesional para obtener el título de Ingeniero Químico "Tratamiento de aguas residuales provenientes del lavado de suelo contaminado con hidrocarburos del petróleo" UNAM, pp. 2, 2007.
- 2) Seguí A. L., Tesis Doctoral para obtener el grado de Doctor en Biotecnología Agroalimentaria y Sostenibilidad "Sistemas de regeneración y reutilización de aguas residuales" Universidad Politécnica de Cataluña, pp. 5 – 6, Marzo 2004.
- 7) Sánchez J. R., Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Químico."Análisis de riesgo en una terminal de recibo, almacenamiento y distribución de hidrocarburos" UNAM, pp. 4 – 13, 2007.
- 8) Acevedo A. V., Trabajo escrito para obtener el título de Ingeniero Industrial "Propuesta de una unidad médica para incrementar la productividad de los operadores de auto -tanques en una terminal de almacenamiento y distribución" UNAM, pp. 1 – 17, 2007.

LIBROS

- 3) "Agua, Edición Especial México" La Jornada, pp. 6 – 7, 2007.
- 20) Ramalho R. S., "Tratamiento de Aguas Residuales" Facultad de Ciencia e Ingeniería, Laval University, 2ª ed., Reverte, 1983.

ARTÍCULOS

- 4) Rodríguez A. E., Errasquin C. D, Pérez B. C., "Segregación de efluentes" Artículo de S.C.A.D.E.E.M., S.C. – PEMEX Refinación, pp. 1 – 6
- 6) "Generalidades sobre el Petróleo en México" Gerencia de Geotermia, Instituto de Investigaciones Eléctricas, pp. 2 – 5.
- 12) "Programa Parcial de Desarrollo Urbano del Sardinero – Bajos de la Gallega de la Ciudad de Veracruz" Gobierno del Estado de Veracruz, pp. 7, 2004.

- 13) Flores M. J. "Aguas residuales utilizadas en la producción agropecuaria en el Valle de Juárez, Chihuahua" Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, pp. 1 – 2, Noviembre 2004.

NORMAS

- 14) Carabias L. J., NOM-002-ECOL-1996 "Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal" Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Diario Oficial de la Federación, pp. 1 – 18, Junio 1998.
- 15) Carabias L. J., NOM-003-ECOL-1996 "Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público" Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Diario Oficial de la Federación, pp. 1 – 17, Septiembre 1998.
- 16) Ardavin I. J., NOM-052-SEMARNAT-2005 "Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos" Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Diario Oficial de la Federación, pp. 1 – 32, Junio 2006.
- 17) NMXAA-003-1980 "Aguas Residuales-muestreo" Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas, pp. 1 – 8, Marzo 1980.
- 18) Luiselli F. C., NOM-004-SEMARNAT-2002 "Protección ambiental- lodos y biosólidos- especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final" Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Diario Oficial de la Federación, pp. 1 – 43, Septiembre 2002.
- 19) NRF-009-PEMEX-2004 "Identificación de productos transportados por tuberías o contenidos en tanques de almacenamiento" Subcomité Técnico de Normalización de PEMEX Refinación, Comité de Normalización de PEMEX y Organismos Subsidiarios, pp. 1-42, Noviembre 2004.

FUENTES ELECTRÓNICAS

- 21) Aqwise. *Advanced Wastewater Treatment Solutions: Extending Nature's Capacity*. [www] URL: <www.aqwise.com>
- 5) Esquivel A. *Productos y servicios, PEMEX*. [www] URL: <<http://www.pemex.com/Conozca+Pemex/Infraestructura>> Agosto, 2007.
- 9) Maldonado V. *Terminal de Almacenamiento y Distribución Tula, Hidalgo* [www] URL: <<http://www.ref.pemex.com/octanaje/25tula.htm>>
- 10) *Terminal de almacenamiento y distribución en Xalapa, Veracruz*. [www] URL: <<http://www.ref.pemex.com/octanaje/34/34xalapa.htm>>
- 11) *Terminal de almacenamiento y distribución en Lerma, Campeche*. [www] URL: <<http://www.ref.pemex.com/octanaje/33lerma.htm>>