



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

**PROPUESTA TECNICA PARA EL TRATAMIENTO
PRIMARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES
GENERADAS EN LA INDUSTRIA PETROLERA.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A

SALVADOR DIAZ HUERTA

ASEROR: I.Q. RENÉ DE LA MORA MEDINA



México D.F.

2013





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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ZARAGOZA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/ 227/13

ASUNTO: Asignación de Jurado

Alumno (a): Diaz Huerta Salvador

PRESENTE

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

PRESIDENTE	I.Q. SALVADOR JACINTO GALLEGOS RAMALES
VOCAL	I.Q. RENÉ DE LA MORA MEDINA
SECRETARIO	I.Q. GONZALO RAFAEL COELLO GARCÍA
SUPLENTE	M. en C. ANA LILIA MALDONADO ARELLANO
SUPLENTE	I.Q. JUAN ÁNGEL LUGO MALDONADO

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
México D.F. a 13 de mayo de 2013

JEFE DE CARRERA

DR. ROBERTO MENDOZA SERNA





Dedicatoria.



Quiero dedicar esta tesis a mi madre y a mi padre por su gran apoyo y dedicación que en cada momento me han brindado, por su esmero insistente durante esta etapa de mi formación académica, gracias a su insistencia he podido avanzar y culminar esta etapa se suma importancia en mi vida.

Quiero agradecer a Juana Yely y a Melissa por estar a mi lado apoyándome en el término de este trabajo.

A si también a mis hermanos Carmen, Guadalupe, Saúl, Marcos y Miguel por su apoyo mostrado para terminar este trabajo.



Agradecimientos.



A la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme la oportunidad de realizar una formación académica.

Al Instituto mexicano del petróleo por las facilidades y apoyo para la realización de este trabajo.

Al I.Q. René de la Mora Medina por el apoyo y la motivación para la realización de este trabajo

Al I.Q. Tsayuri Ivonne Pazol García por haberme guiado paso a paso en el desarrollo de este trabajo, por su apoyo y sus consejos los cuales me ayudaron a salir adelante. Gracias por dirigir mi tesis.

Al M. en C. Florencio Jiménez Jiménez por brindarme la confianza y las facilidades para la realización de este trabajo.

Al I.Q. Jesús Zúñiga Herrera por el apoyo académico que me brindo y siempre estuvo ahí para despejar cualquier duda.

A Gerardo Escobar quien siempre me apoyo respecto al equipo de cómputo.



Introducción	1
Justificación	2
Objetivos	3
Resumen	4
Capítulo 1. Generalidades	6
1.1 Aguas residuales	7
1.1.1 Que son	7
1.1.2 Donde se originan	7
1.1.3 Clasificación de aguas residuales	9
1.1.3.1 Domésticas.....	9
1.1.3.2 Infiltración y caudal adicionales.....	9
1.1.3.3 Pluvial.....	9
1.1.3.4 Industrial	10
1.2 Aguas residuales de la industria petrolera.....	12
1.2.1 Uso del agua en procesos de refinación	13
1.2.1.1 Agua de enfriamiento	13
1.2.1.2 Agua de calderas	13
1.2.1.3 Agua de servicios generales	14
1.2.1.4 Agua de proceso	14
1.2.2 Contaminantes en el agua residual de los procesos de refinación.....	15
1.2.2.1 Sales inorgánicas.....	15
1.2.2.2 pH.....	15
1.2.2.3 Grasas y aceites.....	16
1.2.2.4 Sólidos.....	16
1.2.2.4.1 Sólidos totales	16
1.2.2.4.2 Sólidos disueltos	16
1.2.2.4.3 Sólidos suspendidos	16
1.2.2.4.4 Sólidos sedimentables.....	17
1.2.2.5 Materia orgánica.....	17
1.2.2.5.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno	18
1.2.2.5.1 Demanda química de oxígeno	18
Capítulo 2. Tratamientos primarios convencionales para el tratamiento de aguas residuales.	20
2.1 Objetivo del tratamiento de las aguas residuales.....	21
2.2 Criterios para la selección de los procesos de tratamiento.....	22



2.3	Métodos de tratamiento	24
2.4	Clasificación de los tratamientos de aguas residuales.....	25
2.4.2	Tratamiento primario	25
2.4.3	Tratamiento secundario	25
2.4.4	Tratamiento terciario.....	26
2.4.5	Manejo de lodos	26
2.5	Eficiencia de los procesos de tratamiento	28
2.6	Tratamiento primario en la industria petrolera.....	29
2.6.1	Equipo empleado para el tratamiento primario	31
2.6.1.1	Separador API.....	31
2.6.2.2	Separador de placas coalescentes	34
2.6.2.3	Separador por flotación de aire	36
Capítulo 3. Cálculo y predimensionamiento de equipo.....		38
3.1	Planteamiento del problema	39
3.2	Esquema de proceso para la etapa de tratamiento primario de aguas residuales industriales.....	40
3.3	Descripción del Proceso.....	41
3.3.1	Diagrama de Flujo de Proceso	44
3.3.2	Balace de Materia	45
3.3.3	Lista de equipo principal.....	46
3.4	Dimensionamiento de equipo	46
3.4.1	Separador API.....	46
3.4.1.1	Velocidad de elevación de glóbulo de aceite (Vt)	47
3.4.1.2	Velocidad horizontal de glóbulo de aceite (VH)	50
3.4.1.3	Sección transversal de área mínima vertical (Ac)	51
3.4.1.4	Número de canales (n)	51
3.4.1.5	Profundidad y ancho del canal (d)	52
3.4.1.6	Área transversal del canal (AT)	54
3.4.1.7	Longitud del canal (L)	54
3.4.1.8	Tiempo de residencia del líquido (Tr)	57
3.4.2	Separador de placas coalescentes (CPI)	58
3.4.2.1	Velocidad de elevación de glóbulo (Vt).....	58
3.4.2.2	Área superficial requerida (A)	60
3.4.2.3	Carga superficial (Cs)	61
3.4.2.4	Área de placas.....	62
3.4.2.5	Dimensionamiento de la superficie de placas paralelas.....	62
3.4.2.5.1	Espaciamiento entre cada placa.....	63



3.4.2.5.2	Angulo de inclinación de placa (\emptyset)	63
3.4.2.5.3	Área transversal del paso de flujo (A_t)	63
3.4.2.5.4	Perímetro humedecido (Ph)	64
3.4.2.5.5	Distancia entre cada placa (D°)	64
3.4.2.5.6	Área proyectada de placa (ay)	65
3.4.2.5.7	Capacidad de la placa (Cy)	65
3.4.2.6	Número de Reynolds (Re)	66
3.4.2.6.1	Diámetro hidráulico (HD)	67
3.4.2.6.2	Velocidad lineal del fluido (V)	67
3.4.2.6.3	Tiempo de elevación de partículas entre placas.	68
3.4.2.7	Paquetes de placas	69
3.4.2.7.1	Numero de placas requeridas	69
3.4.2.7.2	Numero de placas por paquete	70
3.4.2.7.3	Espesor por paquete de placas	70
3.4.2.8	Dimensiones del dispositivo	71
3.4.2.8.1	Ancho del dispositivo	71
3.4.2.8.2	Largo del dispositivo.....	72
3.4.2.8.3	Altura del dispositivo.....	74
3.4.2.8.4	Volumen de operación del dispositivo.....	75
3.4.3	Separador por flotación de aire (DAF)	77
Capítulo 4. Análisis y resultados de los equipos.		84
4.1	Separador API.....	85
4.1.1	Valores de operación	87
4.2	Separador de placas coalescentes	88
4.2.1	Valores de operación	90
4.3	Separador por flotación de aire	91
4.3.1	Valores de operación	93
4.4	Normatividad	94
4.4.1	Ley de las aguas residuales	94
4.4.1.1	Normas oficiales mexicanas	94
4.4.1.1.1	NOM – 001 – SEMARNAT – 1996	95
4.4.1.1.2	NOM – 004 – SEMARNAT – 2002	96
Conclusiones y recomendaciones.		98
Anexo A. Glosario de términos.		101
Anexo B. Densidades y viscosidades del agua		108
Anexo C. Simulación del tratamiento primario de aguas residuales		110
Bibliografía		130



Capítulo 1. Generalidades	6
Tabla 1.1 Estimación de los porcentajes empleados en cada actividad industrial	10
Tabla 1.2 Distribución porcentual del agua según su uso.....	13
Tabla 1.3 Índice de biodegradabilidad	19
Capítulo 2. Tratamientos primarios convencionales para el tratamiento de aguas residuales.	20
Tabla 2.1 Tipos de lodos.....	27
Tabla 2.2 Eficiencia de los procesos de tratamiento de aguas residuales	28
Tabla 2.3 Alternativas de tratamiento de aguas residuales de la industria petrolera.....	30
Capítulo 3. Cálculo y predimensionamiento de equipo.....	38
Tabla 3.1 Balance de Materia y Composición	45
Tabla 3.2 Equipos empleados en la sección del tratamiento primario	46
Tabla 3.3 Rangos típicos para el diseño básico del separador de placas paralelas	62
Tabla 3.4 Diferentes predimensiones para el separador por flotación de aire.	80
Tabla 3.5 Rangos de especificaciones para componentes del sistema de presurización para el separador por flotación de aire.....	82
Capítulo 4. Análisis y resultados de los equipos.	84
Tabla 4.1 Flujos máxicos de la sección de balance de materia del separador API.....	85
Tabla 4.2 Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales y aceite & grasas libres.	86
Tabla 4.3 Rangos de porcentaje de remoción de grasas & aceite libres y sólidos suspendidos totales.....	86
Tabla 4.4 Valores de operación del separador API.	87
Tabla 4.5 Flujos máxicos de la sección del balance de materia del separador de placas coalescentes	88
Tabla 4.6 Porcentaje de remoción de grasas & aceite libres de tamaño de partícula de 60 micrones y mayores.	88
Tabla 4.7 Porcentaje de remoción de lodos aceitosos	89
Tabla 4.8 Rangos de porcentaje de remoción de grasas & aceite libres y lodos aceitosos.	89
Tabla 4.9 Valores de operación del separador de placas coalescentes.....	90



Índice de tablas.



Tabla 4.10	Flujos máxicos de la sección del balance de materia del separador de aceite por flotación de aire.	91
Tabla 4.11	Porcentaje de remoción de los lodos aceitosos	92
Tabla 4.12	Porcentaje de remoción de los contaminantes que integran los lodos aceitosos	93
Tabla 4.13	Valores de operación del separador por flotación de aire	93
Tabla 4.14	Concentraciones de los contaminantes a la salida del tratamiento primario	96
Anexo B.	Densidades y viscosidades del agua.....	108
Tabla B.1	Densidades y viscosidades del agua a diferente temperatura.....	109



Capítulo 1. Generalidades.....	6
Figura 1.1 Clasificación y tamaño de sólidos presentes en el agua residual.....	17
Capítulo 2. Tratamientos primarios convencionales para el tratamiento de aguas residuales.....	20
Figura 2.1 Separador API.....	32
Figura 2.2 Skimmer tipo tubería rasgada.....	33
Figura 2.3 Separador de placas coalescentes.	34
Figura 2.4 Esquema de una placa coalescente	35
Figura 2.5 Separador por flotación aire	37
Capítulo 3. Calculo y predimensionamiento de equipo.	38
Figura 3.1 Simulación para la sección de tratamiento primario de aguas residuales para la industria petrolera	40
Figura 3.2 Diagrama de flujo de proceso de tipo primario.....	44
Figura 3.3 Separador API.....	47
Figura 3.4 Esquema del separador de placas coalescentes.	58
Figura 3.5 Esquema del largo del dispositivo.....	72
Figura 3.6 Esquema de la altura del dispositivo.....	74
Anexo C. Simulación del tratamiento primario de aguas residuales.....	110
Figura C.1 Mezclador identificado para el tratamiento primario de aguas residuales.....	111
Figura C.2 Corrientes de alimentación identificadas para el tratamiento primario de aguas residuales	112
Figura C.3 Selección de los componentes para las corrientes de alimentación para el Tratamiento primario de aguas residuales	113
Figura C.4 Registro del componente “grasas & aceites” en el banco de datos.....	113
Figura C.5 Registro del componente “sólidos suspendidos totales” en el banco de datos.....	114
Figura C.6 Caracterización de la corriente de alimentación no. 1 “drenaje aceitoso” para el tratamiento primario de aguas residuales.....	114



Figura C.7	Caracterización de la corriente de alimentación no. 2 “condensados contaminados” para el tratamiento primario de aguas residuales	115
Figura C.8	Caracterización de la corriente no.3 para el tratamiento primario de aguas residuales	115
Figura C.9	Separador API para el tratamiento primario de aguas residuales	116
Figura C.10	% de remoción de grasas & aceite y sólidos suspendidos totales del separador API para el tratamiento primario de aguas residuales	117
Figura C.11	% de remoción de COVs del separador API para el tratamiento primario de aguas residuales	117
Figura C.12	Caracterización de la corriente de salida no. 4 (COVs) del separador API para el tratamiento primario de aguas residuales	118
Figura C.13	Caracterización de la corriente de salida no.5 (grasas & aceites) del separador API para el tratamiento primario de aguas residuales	119
Figura C.14	Caracterización de la corriente de salida no.6 (efluente) del separador API para el tratamiento primario de aguas residuales	119
Figura C.15	Separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales	120
Figura C.16	Condiciones de operación del separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales.	121
Figura C.17	% de remoción de grasas & aceite del separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales.	121
Figura C.18	% de remoción de Covs del separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales	122
Figura C.19	Caracterización de la corriente de salida no.7 (COVs) del separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales	123



Índice de figuras.



Figura C.20	Caracterización de la corriente de salida no.8 (efluente) del separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales	123
Figura C.21	Caracterización de la corriente de salida no.9 (grasas & aceites) del separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales	124
Figura C.22	Caracterización de la corriente de salida no.10 (lodos) del separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales	124
Figura C.23	Separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales	125
Figura C.24	Condiciones de operación y % de remoción del separador por flotación de aire para el tratamiento primario de aguas residuales	126
Figura C.25	% de remoción de COVs del separador por flotación de aire para el tratamiento primario de aguas residuales	126
Figura C.26	Caracterización de la corriente de salida no.11 (COVs) del separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales	127
Figura C.27	Caracterización de la corriente de salida no.12 (grasas & aceites) del separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales	128
Figura C.28	Caracterización de la corriente de salida no.13 (efluente) del separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales	128



Introducción.

Toda comunidad genera residuos tanto sólidos como líquidos. La parte líquida de los mismos, a lo que llamamos aguas residuales, es esencialmente el agua de que se desprende la comunidad una vez que ha sido contaminada durante los diferentes usos para los cuales ha sido empleada. Entonces podemos definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos, que provienen de residencias, instituciones públicas y de establecimientos industriales y comerciales, a los que se les puede agregar aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

En lo particular, Las aguas residuales de la industria petrolera utilizan grandes cantidades de agua la cual es contaminada durante los procesos de refinación. La cantidad de agua que se requiere depende de las características particulares de cada proceso.

Para evitar impactos negativos en actividades hídricas por la industria petrolera se implementan tratamientos adecuados para las aguas residuales antes de descargar los efluentes a los ríos y mantos acuíferos. En lo particular se presenta una propuesta técnica de tratamiento primario con el propósito de remover los diversos contaminantes presentes en las aguas residuales de esta industria, la propuesta técnica fue desarrollada en el software comercial de simulación llamado "*superpro designer v8.5*". Una vez obtenidos los resultados del modelo de simulación se comparan para determinar si se cumple con las normas de protección al medioambiente.



Justificación.

El tratamiento de aguas residuales provenientes del sector petrolero es un problema complejo, debido a la toxicidad y diversidad de contaminantes. Este tipo de aguas residuales contiene compuestos orgánicos e inorgánicos, grasas y aceites principalmente.

A diferencia de las aguas residuales municipales, los efluentes industriales contienen con frecuencia sustancias que no se eliminan por un tratamiento convencional, ya sea por estar en concentraciones elevadas, o bien por su naturaleza química. Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo.

Los efluentes de la industria petrolera requieren un tratamiento antes de su disposición o reutilización debido a su naturaleza, concentración y caudal.



Objetivo general.

- Realizar una propuesta técnica de tratamiento primario de aguas residuales para la industria petrolera.

Objetivos específicos.

- Desarrollar un modelo de simulación empleando el software comercial "superpro designer v8.5" en estado estacionario para el tratamiento primario de aguas residuales.
- Predimensionar y especificar el equipo para el esquema analizado, en base a la capacidad de procesamiento.
- Comparar los valores obtenidos a la salida del tratamiento primario con la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.



Resumen.

Capítulo 1. Las aguas residuales son el resultado de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de actividades domésticas, agrícolas e industriales. Tal es el caso de la industria petrolera que genera diferentes tipos de aguas residuales con diferente grado de contaminación. Por lo general, las aguas residuales de los procesos de refinación presentan un alto contenido de contaminantes como son las grasas y aceites, compuestos orgánicos volátiles, sólidos disueltos y sólidos suspendidos de naturaleza inorgánica, es decir, poco o nada biodegradables lo que ocasiona una demanda química de oxígeno alta y demanda bioquímica de oxígeno baja en las aguas de residuales.

Capítulo 2. Se describen de forma general las etapas de tratamiento de aguas residuales en el siguiente orden: tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario o avanzado y la disposición de lodos. Además se realiza la descripción y justificación del tratamiento de tipo primario de agua residual para la industria petrolera, así mismo la descripción de los equipos que lo conforman, se proponen en el siguiente orden: (1) separador API, (2) el separador de placas coalescentes y (3) separador por inducción de aire. Esta necesidad se traduce en una creciente demanda de tecnología para el tratamiento y reutilización de aguas residuales.

Capítulo 3. Se presenta una propuesta (diagrama de flujo de proceso, balance de materia y concentraciones así como la descripción de proceso) del tratamiento de tipo primario para eliminar los contaminantes que podrían causar problemas en los tratamientos consecutivos. Se establece el predimensionamiento del área efectiva de remoción del separador API y del separador de placas coalescentes, por consiguiente



se especifica el área de remoción efectiva el separador por inducción de aire, los cuales integran el esquema de proceso del tratamiento de tipo primario.

Capítulo 4. Se plantea el esquema del tratamiento de tipo primario utilizando en el software de simulación *“superpro designer v8.5”* aplicando el porcentaje de remoción que indica la literatura para los contaminantes presenten en el agua residual de la industria petrolera, mencionados anteriormente, además se realiza la comparación de los resultados obtenidos de la corriente de salida del tratamiento de tipo primario antes de pasar al siguiente tratamiento o de descargar el efluente a receptores hídricos de acuerdo a la norma mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 la cual establece *“los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales”* con base 1996 con base a la *“Declaratoria de clasificación del río Coatzacoalcos, sus efluentes (río calzadas, arroyo gopalapa y arroyo teapa) y laguna pajaritos”* (declaratoria publicada en el diario oficial de la federación el 6 de febrero del 2008).



CAPÍTULO 1

GENERALIDADES.



El agua es probablemente el recurso natural más importante del planeta, ya que sin ella no podría existir la vida y la industria no funcionaría. A diferencia de muchas materias primas el agua no tiene sustituto en muchos usos. El agua tiene un papel vital en el desarrollo de las comunidades ya que es indispensable que su abastecimiento sea seguro para que una comunidad se establezca permanentemente. Sin embargo, los desechos líquidos y sólidos de una comunidad tienen un potencial considerable para contaminar al medio ambiente.^[1]

El agua debe administrarse cuidadosamente a las poblaciones en desarrollo y a los complejos industriales que día con día demandan cantidades de agua crecientes.^[1]

1.1 Aguas rresiduales.

1.1.1 Que son. [2]

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias.

1.1.2 Donde se originan. [3, 4]

Las aguas residuales se originan del resultado de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual.



Por otra parte el 59% del consumo total de agua en los países desarrollados se destina a uso industrial, el 30% a consumo agrícola y un 11% a gasto doméstico; el consumo de agua destinada a uso industrial alcanza los 1.170 m³/año. El sector productor no sólo es el que más gasta sino que es el que más contamina. Más de un 80% de los desechos peligrosos del mundo se producen en los países industrializados, mientras que en las naciones en vías de desarrollo un 70% de los residuos que se generan en las fábricas finalmente se vierten a las corrientes de agua sin ningún tipo de tratamiento previo, contaminando así los suministros de agua disponibles.

La industria utiliza grandes volúmenes de agua en sus productos de manufactura y en las operaciones complementarias. De hecho, la producción de alimentos, metales, productos químicos y otros bienes básicos requiere de un tonelaje de agua que excede el volumen comparado con otras materias primas. El total de agua que entra a las plantas industriales poca de ella se convierte realmente en un constituyente del producto manufacturado como la fabricación y ensamblado. Es decir, se consume una pequeña fracción o se pierde por evaporación, la fracción mayor se emplea para operaciones de acabado y generalmente se convierte en agua residual y puede contener diversos contaminantes.

Muchas plantas industriales se construyen cerca de los ríos de magnitud considerable, sobre las costas de los lagos y mares para asegurar los beneficios de suministro de agua, al igual las áreas urbanas vecinas o circundantes que alojan su fuerza de trabajo también necesitan agua y deben evacuar las aguas de residuo, ya que para mantener los recursos regionales estéticamente atractivos y recreativos las ciudades e industrias en crecimiento se extienden a distancias cada vez mayores.



Las necesidades de agua por parte de la industria son tan variadas como extensas, implican no solo los flujos deseados y disponibles si no también los requerimientos de calidad y los costos de purificación; sin embargo una vez ya utilizada el agua como materia prima se debe tomar en cuenta los volúmenes de aguas residuales, las aguas receptoras disponibles, los costos de tratamiento y los efectos contaminantes.

1.1.3 Clasificación de aguas residuales.

Así de acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificadas como:

1.1.3.1 Domésticas.^[5] Son aquellas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación, también son residuos originados por parte de establecimientos comerciales, públicos y similares.

1.1.3.2 Infiltración y caudal adicionales.^[5] Las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, etc. Hay también aguas pluviales, que son descargadas por medio de varias fuentes, como canales, drenajes y colectores de aguas de lluvias.

1.1.3.3 Pluvial.^[5] Es el agua de lluvia que se descarga en grandes cantidades sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y otra escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo.



1.1.3.4 Industrial. ^[5, 6, 7] Son líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria. Constituyen la primera fuente de contaminación de las aguas dado que las industrias utilizan el agua en mayor cantidad en sus procesos de fabricación; son las que contienen mayor cantidad de desechos químicos, las cuales son más difíciles de tratar; En algunas industrias se procesan para luego volverlas a utilizar. Se ha prestado mucha atención al tratamiento de las aguas residuales industriales debido al progreso generalmente paralelo de la industrialización, la urbanización y las cargas que resultan en los recursos disponibles de agua para usos industriales y potables, así como para recreación y evacuación de aguas residuales.

En la tabla 1.1 se muestran cinco principales sectores industriales consumidores de agua.

Tabla 1.1 estimación de los porcentajes empleados en cada actividad industrial.

Sector industrial	Enfriamiento	Proceso	Calderas	Otros
Industria alimenticia *	51.1	40.4	4.0	4.5
Química	76.5	17.5	2.3	3.7
Hierro y acero	85.2	7.1	1.0	6.7
Celulosa y papel	34.3	62.9	1.8	1.0
Petróleo	90.2	3.7	4.8	1.3

*incluye a la industria azucarera.

[7] Fuente: Clementina, 1992, Pag. 13

Los contaminantes más comunes de las descargas industriales en general proceden de las siguientes fuentes:



- Agentes químicos de acondicionamiento de agua para enfriamiento.
- Purgas de lodos acumulados en torres de enfriamiento.
- Lavado de materias primas.
- Procesos de transporte con residuos de producto terminado.
- Compuestos químicos usados en el lavado de equipo.
- Desechos de materia orgánica generados durante el proceso de industrialización.
- Desechos ácidos y alcalinos generados en prácticas auxiliares del proceso industrial, como la regeneración de intercambiadores iónicos, lavado de filtros, limpieza del equipo, etc.
- Metales pesados que se generan en algunos procesos de transformación.

Cada industria en particular, genera descargas características de acuerdo a los procesos específicos que utilizan en la elaboración de sus productos.

Son dos las circunstancias que obligan a una industria a dar tratamiento al agua:

- a) Lograr la calidad deseada en el abastecimiento para la propia industria
- b) Cumplir con las condiciones particulares en sus descargas.

Por otra parte, los contaminantes de las agua residuales también provocan la contaminación del resto del medio ambiente incluyendo el aire y el suelo, una forma común de contaminar el aire es con la quema de hidrocarburos en las chimeneas generando contaminantes potenciales en aire, una forma de reducir la contaminación consiste en lavar los efluentes de las chimeneas antes de su descarga. También la deshidratación de los residuos sólidos puede producir desechos acuosos y viceversa desprendiendo gases nocivos al aire y posteriormente descargar precipitados hacia el suelo.



1.2 Aguas residuales de la industria petrolera. [7, 8]

La elevada demanda de combustibles fósiles y productos derivados del petróleo ha provocado un considerable crecimiento de la industria petrolera en las últimas décadas. Debido a ello, cada año se construyen nuevas instalaciones de producción e infraestructuras para su transporte o se modifican las ya existentes. Además, el tratamiento y reutilización de productos petroquímicos también presentan un acusado crecimiento en los últimos años debido a los elevados precios de las materias primas.

En lo particular, la industria Petrolera emplea grandes cantidades de agua la cual es contaminada por residuos de aceite & grasas libres, disueltas y emulsionadas; sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, fenoles, compuestos orgánicos volátiles como benceno, xileno, tolueno; también por la presencia de metales como hierro, plomo, cobre, níquel, zinc procedente de fugas, reboses, trasiego de tanques y otras fuentes. La sosa cáustica, lodos cáusticos y aguas alcalinas son emulsiones relacionadas con los tratamientos químicos; Ocasionalmente también puede ser contaminada por el agua de lluvia proveniente de los patios de tanques, áreas de descarga y procesamiento de los productos, purga del agua de enfriamiento, derrames casuales de materias primas y productos terminados. Para ello se toman medidas para controlar el escurrimiento de lluvia, incluyendo el uso de recipientes de detención de agua de lluvia que también recibe tratamiento antes de su descarga.

Normalmente para evitar estos impactos negativos en diversas actividades hídricas en la industria petrolera, se implementan tratamientos adecuados a las aguas residuales antes de descargar los efluentes a los ríos y mantos acuíferos de acuerdo a las normativas de protección medioambiental. Esta necesidad se traduce en una creciente demanda de tecnología para el tratamiento y reutilización de aguas residuales.



1.2.1 Uso del agua en procesos de refinación. [7, 18]

El agua juega un papel importante dentro de los procesos, debido a que se usa para calentamiento (mediante calderas), enfriamiento y proceso. La cantidad de agua que se requiere depende de las características particulares de la refinación, como son la capacidad, los procesos involucrados y los tipos de productos generados. En la tabla 1.2 se muestran las distribuciones porcentuales del uso del agua en algunas refinaciones de México.

Tabla 1.2 Distribución porcentual del agua según su uso.

Refinería	Calderas	Enfriamiento	Proceso	Servicios
Salamanca	51.1	40.4	4.0	4.5
Minatitlán	76.5	17.5	2.3	3.7
Cd. Madero	85.2	7.1	1.0	6.7
Salina cruz ⁽¹⁾	34.3	62.9	1.8	1.0
Promedio	90.2	3.7	4.8	1.3

[18] Fuente: Navarro, 2005, Pag. 8

1.2.1.1 Agua de enfriamiento. [7, 18]

El agua de enfriamiento tiene mayor demanda en los procesos de refinación, es decir, alrededor del 60%, pero incluso pueden alcanzar entre 80 y 95 %. Generalmente el agua de enfriamiento no está en contacto directo con el petróleo y suele recircularse. Las principales fuentes de aportación de agua son: pozos, ríos y aguas residuales domésticas e industriales.

1.2.1.2 Agua de calderas. [7, 18]

El agua requerida para la generación de vapor debe de cumplir con bajos niveles de salinidad para evitar la formación de incrustaciones y corrosión. Por esta razón es tratada previamente mediante desmineralización y ajuste de pH.



1.2.1.3 Agua de servicios generales. [7, 18]

Dentro de los servicios generales se encuentran el uso de agua en sanitarios, baños, laboratorios, comedores y riego de jardines. El agua contra incendio se extrae de un cuerpo de agua cercano ó se cuentan con depósitos de agua y no se contabiliza dentro de los porcentajes de agua residual generada, por ser de carácter accidental. Aunque se contamina cuando se utiliza o bien se puede contaminar en su almacenamiento.

1.2.1.4 Agua de proceso. [7, 18]

El agua de proceso participa de manera diferente en cada etapa de la refinación, tan como se describe a continuación:

- *Desalación:* el total del crudo se desala para evitar depósitos de sal y reducir el daño causado por la corrosión. La desalación se practica añadiendo agua en proporciones de 6 a 15 % con respecto al petróleo. El efluente de la desalación contiene hidrocarburos, fenoles y sales minerales.
- *Destilación:* en las torres de destilación se usa vapor de agua, la cual se contamina con hidrocarburos como amoníaco (NH_3), cianuros, fenoles, compuestos sulfurados y mercaptanos. En la destilación suelen generarse las *aguas amargas o aguas sucias* que contienen la característica de desprender un olor desagradable.
- *Craqueo térmico y catalítico:* en el craqueo térmico se necesita agua de enfriamiento y vapor en las torres de fraccionamiento para separar los productos. En el craqueo catalítico se genera la mayor cantidad de agua amarga de una refinería. El agua de desecho suele tener un pH alcalino y contener niveles significativos de hidrocarburos, sulfuros, fenoles, amoníaco y cianuros.



- *Reformación catalítica*: es el proceso en el cual se genera la menor cantidad de agua residual con menores concentraciones de contaminantes.
- *Alquilación*: los alquilatos generados se lavan con sosa y agua para neutralizar y extraer el ácido usado como catalizador. El agua residual proveniente de los acumuladores tiene aceite, sulfuros y otros contaminantes en bajos niveles. Además las unidades de alquilación cuentan con sistemas de refrigeración, por lo que otra fuente de contaminación del agua es a través de fugas en el sistema de enfriamiento.

Las principales aportaciones de aceites y grasas como contaminantes en el agua residual son por los procesos de desalación, destilación y almacenamiento del crudo.

1.2.2 Contaminantes en el agua residual de los procesos de refinación.

1.2.2.1 Sales inorgánicas. ^[9] Están presentes en la mayor parte de los residuos industriales, endurecen el agua y hacen que no sea utilizable para la industria. Las aguas cargadas de sales producen incrustaciones en los sistemas de distribución de aguas aumentando la resistencia a la circulación y disminuyendo su capacidad de transporte. Generalmente se halla en concentraciones superiores a 35,000 partes por millón (ppm).

1.2.2.2 pH. ^[9] Generalmente el pH se encuentra a la salida de los procesos de refinación de entre 4.0 y 11.



1.2.2.3 grasas y aceites. ^[9] Se presentan libres, disueltas y emulsionadas provocan deterioro y toxicidad debido a la formación de una película que impide la aireación natural. Además crean un peligro de incendio cuando están presentes en el agua superficial en grandes cantidades. Generalmente son concentraciones entre 16 mg/L y 3231 mg/L.

1.2.2.4 Sólidos. ^[10] En el agua residual se encuentran presentes varios tipos de sólidos y se pueden clasificar, con base en su diámetro en: suspendidos, disueltos y sedimentables. Siendo los suspendidos los de mayor interés para los sistemas primarios, ya que éstos son los que removerán.

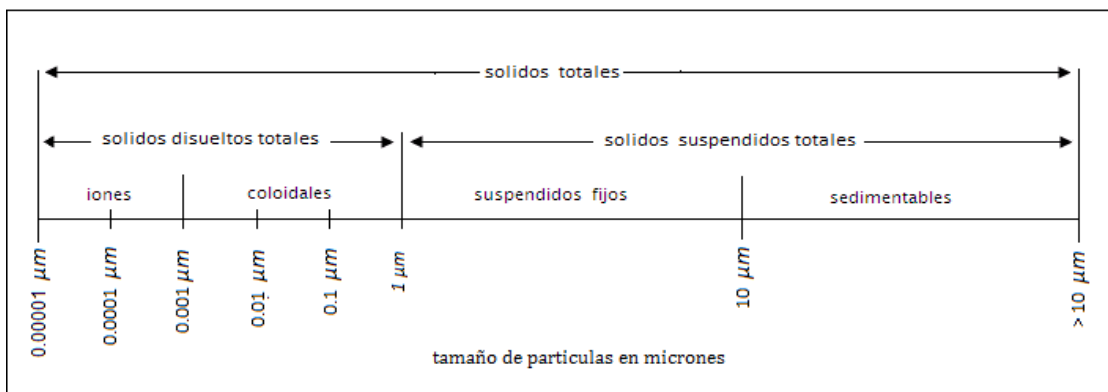
1.2.2.4.1 Sólidos totales. ^[10] Se definen como la suma de los sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales. La diferencia entre este tipo de sólidos esta dada por el tamaño de partícula.

1.2.2.4.2 Sólidos disueltos. ^[11] Son componentes de los sólidos totales; comprenden partículas del tamaño de iones y de los colides, cuya magnitud oscila entre 10^{-5} micras y 1 micra.

1.2.2.4.3 Sólidos suspendidos. ^[11] Forman parte de los sólidos totales, son partículas mayores de 1 micra y menores a 10 micras. . Flotan en la superficie del agua dando al efluente un aspecto desagradable e impiden el paso de la luz a través del agua. Generalmente son concentraciones entre 23.7 mg/L y 2042 mg/L.

1.2.2.4.4 *Sólidos sedimentables*.^[7, 11] Forman parte de los sólidos totales, son partículas mayores a 10 micras. Son sólidos en suspensión que pueden llegar a sedimentar en condiciones de reposo debido a la influencia de la gravedad. Generalmente se hallan concentraciones entre 2.7 y 7.5 mg/L.

Únicamente sedimentan los sólidos suspendidos que tengan densidad mayor que la del agua. Los lodos son acumulaciones de sólidos sedimentables. Este parámetro determina la necesidad de construir unidades de sedimentación en el tratamiento de aguas residuales de la industria petrolera.



[7] Fuente: Clementina, 1992, Pag. 30

Figura 1.1. Clasificación y tamaño de sólidos presentes en el agua residual.

1.2.2.5 *Materia orgánica*.^[11, 12] Ocasiona el Consumo de oxígeno del agua residual, crea olores desagradables, en general, condiciones sépticas. Este déficit de oxígeno causado por la materia orgánica, se considera como el factor más rechazable en la concentración de los receptores hídricos. La demanda de oxígeno de un agua residual se suele caracterizar por dos parámetros: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO).



La DQO y DBO₅ son parámetros que se utilizan para evaluar el contenido de materia orgánica en aguas naturales y residuales.

1.2.2.5.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno. ^[13, 14, 15] (DBO). Es la cantidad de oxígeno necesaria para que una población microbiana heterogénea establezca la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual.

La DBO representa una medida indirecta de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente. Valores superiores a 3 mg/l reflejan aguas muy contaminadas e inferiores a 1 mg/l corresponden aguas limpias. En condiciones normales de laboratorio la DBO se cuantifica a 20 °C durante un periodo de 5 días, con valores expresados en mg/l O₂ (DBO₅).

Principales aplicaciones.

- Medición de la calidad de las aguas residuales y superficiales.
- Establecimiento de límites de descarga.
- Diseño de unidades de tratamiento biológico.

1.2.2.5.2 Demanda química de oxígeno. ^[13, 15, 6] (DQO), es una medida de la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación química (destrucción) de la materia orgánica en el agua. Su principal inconveniente consiste en no diferenciar entre materia orgánica biodegradable y no biodegradable ó componentes que inhiben la actividad de los microorganismos que degradan la materia orgánica.

Su principal ventaja es que proporciona resultados utilizables en menos de 3 horas.



La determinación de la DBO y la DQO permite establecer su relación y según el resultado conocer la posibilidad de efectuar un tratamiento biológico o físico-químico a las aguas residuales. En la tabla 1.3 se indica el índice de biodegradabilidad y el tipo de agua.

Tabla 1.3 índice de biodegradabilidad.

DBO/DQO	Tipo de agua
< 0.2	Los vertidos se consideran de la naturaleza inorgánica, poco biodegradables, siendo convenientes tratamientos físico-químicos.
> 0.4	Se consideran biodegradables
> 0.65	Los vertidos pueden considerarse orgánicos y muy biodegradables; resultan adecuados los tratamiento biológicos.

[16] Fuente: Tebbutt, 1990, Pag. 209



CAPÍTULO 2

TRATAMIENTO PRIMARIO CONVENCIONAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.



2.1 Objetivo del tratamiento de las aguas residuales. ^[17]

El tratamiento de las aguas residuales es realizado con el propósito de evitar la contaminación física, química, bioquímica, biológica y radioactiva de cuerpos de agua receptores. De un modo general, el tratamiento persigue evitar:

- a) Daños a los abastecimientos públicos, privados e industriales de suministro de agua.
- c) Daño a las aguas destinadas a la recreación y el esparcimiento.
- d) Daños a las actividades piscícolas.
- e) Daños a la agricultura y depreciación del valor de la tierra.
- f) Impacto al entorno ecológico.

El tratamiento de las aguas residuales ha sido una consecuencia del desarrollo de la civilización y que se caracteriza por el aumento de la densidad demográfica y expansión industrial.

Las razones que justifican el tratamiento de las aguas residuales pueden ser resumidas en cuatro puntos:

- higiénicas o de salud pública.
- económicas.
- estéticas.
- legales.



2.2 Criterios para la selección de los procesos de tratamiento.^[17]

El tratamiento de aguas residuales es uno de los aspectos más desafiantes de la ingeniería sanitaria y ambiental. Conocimientos técnicos y experiencias prácticas son necesarios en la selección y análisis de los procesos de tratamiento. Los principales elementos que intervienen en la selección de los procesos de tratamiento son:

- Necesidad del cliente.
- Requerimientos de calidad del agua residual tratada por parte de la agencia reguladora.
- Selección, análisis de las operaciones y procesos unitarios.
- Costo:
 - Capital.
 - Operación y mantenimiento.
 - Evaluación económica.
- Consideraciones ambientales:
 - Impacto de la instalación:
 - Perdida del terreno.
 - Calidad del agua subterránea.
 - Flora y fauna.
 - Suelo.
 - Impacto operacional:
 - Emisiones de gases.
 - Ruidos.
 - Averías.



Capítulo 2. Tratamiento primario convencional para el tratamiento de aguas residuales.



- Generación de residuos:
 - Efluentes:
 - Aprovechamiento.
 - Disposición oceánica.
 - Disposición en lagos y lagunas.
 - Disposición en curso de agua.
 - Lodos.
 - Otros.
- Calidad de las aguas residuales:
 - Sólidos suspendidos y disueltos.
 - Materia orgánica e inorgánica.
 - Aceites y grasas.
- Otras consideraciones:
 - Tecnología adecuada.
 - Disponibilidad de equipos y repuestos.
 - Requerimientos de personal.
 - Requerimientos de energía.
 - otros.



2.3 Métodos de tratamiento.^[55]

A lo largo del tiempo, el hombre ha desarrollado diferentes métodos para tratar las aguas residuales. De las características del agua residual y la calidad que deba tener la descarga del efluente, se diseñan los métodos de tratamiento, en la mayoría de los casos se combinan los procesos de tratamiento.

El método de tratamiento tiene la finalidad de que el efluente producido pueda ser amigable para el medio ambiente. Para lograr esto, los contaminantes que contiene el agua residual pueden ser eliminados de diferentes maneras, ya sea por métodos físicos, químicos o biológicos.

El tratamiento primario contempla el uso de operaciones físicas tales como la sedimentación y el desbaste que permiten la eliminación de los sólidos sedimentables y flotantes presentes en el agua residual. En el tratamiento secundario se realizan procesos biológicos y químicos, los cuales se emplean para eliminar la mayor parte de la materia orgánica. Y por último, en el tratamiento avanzado se emplean combinaciones adicionales de los procesos y operaciones unitarias para remover esencialmente nutrientes, cuya reducción con tratamiento secundario generalmente no es significativa.



2.4 Clasificación de los tratamientos de aguas residuales.

A continuación se definen las etapas de tratamiento de aguas residuales de la manera siguiente:

- Tratamiento primario.
- Tratamiento secundario.
- Tratamiento avanzado o terciario.
- Disposición de lodos.

2.4.2 Tratamiento primario. ^[17]

Tiene como objetivo la remoción de una parte sustancial del material sedimentables o flotante por medios físicos o químicos. Es decir, el tratamiento primario es capaz de remover también una fracción importante de la carga orgánica y que puede representar entre el 25% y el 40% de la DBO y entre el 40 % y el 70% de los sólidos suspendidos. Entre los tipos de tratamiento primario se citan:

- Sedimentación primaria.
- Flotación.
- Precipitación química.
- Floculación y filtración.

2.4.3 Tratamiento secundario. ^[17]

El agua residual es acondicionada previamente mediante tratamiento primario, esto se realiza exclusivamente para procesos biológicos. En este se consume y se oxida la materia orgánica eliminando contaminantes orgánicos y sólidos disueltos de menor tamaño que no fueron removidos en el tratamiento primario.



Por ejemplo; entre los procesos biológicos se encuentran el de lodos activados que generalmente es considerado como el más efectivo para la remoción de materia orgánica, con eficiencias de remoción de 85 a 95 % para DBO, 30 a 70 % para DQO.

2.4.4 Tratamiento terciario. ^[17]

Tiene como objetivo complementar los procesos anteriormente indicados cuando se tienen sustancias que no se pueden eliminar con el tratamiento biológico; se requiere de un tratamiento avanzado para que pueda ser utilizados para diferentes usos como recarga de acuíferos, recreación, agua industrial etc.

Los tratamientos terciarios pueden ser físicos, químicos y/o biológicos, entre ellos se encuentran la filtración, la absorción y la adsorción con carbón activado, este tratamiento es útil en la remoción de sustancias orgánicas refractarias.

2.4.5 Manejo de lodos. ^[17]

El tratamiento de las aguas residuales produce una serie de subproductos como son los residuos, productos retenidos principalmente en los sedimentadores primarios que vienen a conformar la parte más importante de los subproductos.

Los lodos antes de su disposición final deben ser acondicionados a causa del alto contenido de materia orgánica putrefacta y de ninguna manera pueden ser dispuestos libremente. El lodo procedente de las plantas de tratamiento, varía según el tipo de planta.



Capítulo 2. Tratamiento primario convencional para el tratamiento de aguas residuales.



En líneas generales se puede indicar que los lodos provienen de la sedimentación primaria y representa entre el 0.22% y el 0.93% del volumen de agua residual. En el caso de los lodos provenientes del tratamiento secundario, varían en función de los procesos. Los lodos activados comúnmente presentan rendimiento del 1.2 al 1.5 del volumen de agua tratado con un contenido de humedad de 97% al 99%.

Los procesos típicos de manejo de lodos son: concentración, espesamiento, digestión, acondicionamiento, deshidratación o secado, incineración y oxidación. De éstos, la digestión, incineración u oxidación por vía húmeda son los más empleados para la reducción de la materia orgánica, y la concentración, acondicionamiento y deshidratación para la eliminación de la humedad.

El objetivo del tratamiento de la materia orgánica:

- a) Reducción apreciable del contenido de la materia orgánica volátil.
- b) Aumento del contenido de sólidos fijos.
- c) Reducción del contenido de humedad.
- d) Mayor posibilidad de drenaje del agua contenida en los lodos.
- e) Producción de gases, principalmente metanos.

En la tabla 2.1 se resumen las características de los lodos procedentes de diferentes procesos de tratamiento.

Tabla 2.1 tipos de lodos

TIPO DE LODO	ASPECTO	OLOR	SECADO	HUMEDAD (%)
Primario	Pardo y pegajoso	Fuerte	Difícil	95-97.5
Secundario	Ceniciento floculento	Medio	Medio	92-95
Terciario	Negro homogéneo granular	Suave	Fácil	93

[17] Fuente: centro panamericano de la salud, 2002, Pag.16



2.5 Eficiencia de los procesos de tratamiento. ^[17]

En la tabla 2.2 se indican las eficiencias de remoción de los principales procesos de tratamiento de aguas residuales, están clasificadas en tratamiento primario, secundario y terciario, complementándose con los aspectos de disposición de aguas residuales y manejo y disposición de lodos.

Tabla 2.2. Eficiencia de los procesos de tratamiento de aguas residuales.
(Expresado en porcentaje).

PROCESO	DBO	DQO	SOLIDOS SUSPENDIDOS
	%	%	%
Tratamiento primario			
Sedimentación	25-40	20-35	40-70
Tratamiento secundario			
Filtros percoladores	50-95	50-80	50-92
Lodos activos	55-95	50-80	55-95
lagunas			
primarias	75-85	60-70	85-95
secundarias	90-95	70-80	85-95
terciarias	85-95	60-70	85-95
Tratamiento avanzado	----	-----	-----

[17] Fuente: centro panamericano de la salud, 2002, Pag.17

Atendiendo a la finalidad del agua tratada y la calidad del agua residual, el tratamiento de las aguas residuales en las refinerías incluye, tratamiento primario (procesos físicos y/o químicos), tratamiento secundario (proceso biológico) y tratamiento terciario, además del tratamiento de lodos.



2.6 Tratamiento primario en la industria petrolera. ^[18]

Las aguas generadas por la industria petrolera son una importante fuente de contaminación, por ello es necesario desarrollar una serie de tratamientos sobre las aguas residuales para reducir al mínimo los efectos sobre el cauce receptor.

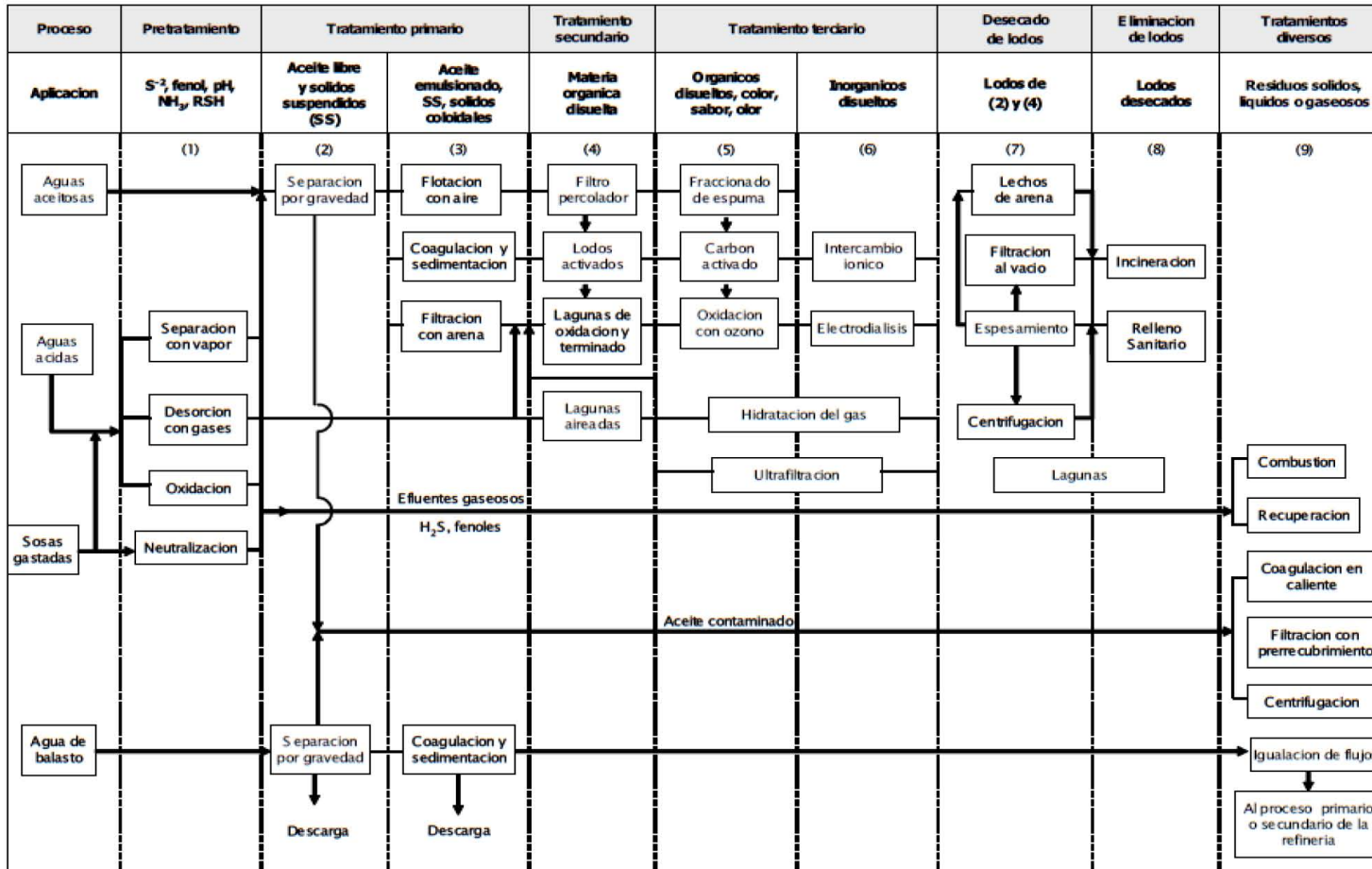
El tratamiento primario consiste en la remoción de grasas & aceites libres, disueltas, emulsionadas; sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales que arrastran las corrientes aceitosas provenientes de las áreas de proceso y transporte de productos. La remoción se realiza por sedimentación y flotación, respectivamente; por medios físicos y químicos.

Generalmente, los principales separadores por gravedad utilizados en la industria petrolera son: el separador de la American petroleum institute (API), el separador de placas coalescentes (CPI), una tercera separación de grasas y aceites se lleva a cabo mediante la flotación con aire disuelto (DAF), En esta etapa se puede recurrir al uso de desestabilizantes para romper las emulsiones de aceite-agua y mejorar las eficiencias de remoción. Se utilizan prácticamente en las refinerías, eliminan del 50 al 99 % de aceite libre y del 10 al 85% de sólidos suspendidos. El separador por flotación de aire consigue resultados comparables. Del total del aceite presente el 10 % se encuentra libre, del 70 a 80 % emulsionado y del 10 al 20 % disuelto.

En la tabla 2.3 se establecen las etapas de tratamiento de aguas residuales clasificadas en tratamiento primario, secundario y terciario; así como también el manejo y disposición de lodos.

Por lo tanto, esta tesis se delimita solo al tratamiento primario residual para aguas residuales generadas por la industria petrolera.

Tabla 2.3 alternativas de tratamiento de aguas residuales de la industria petrolera.





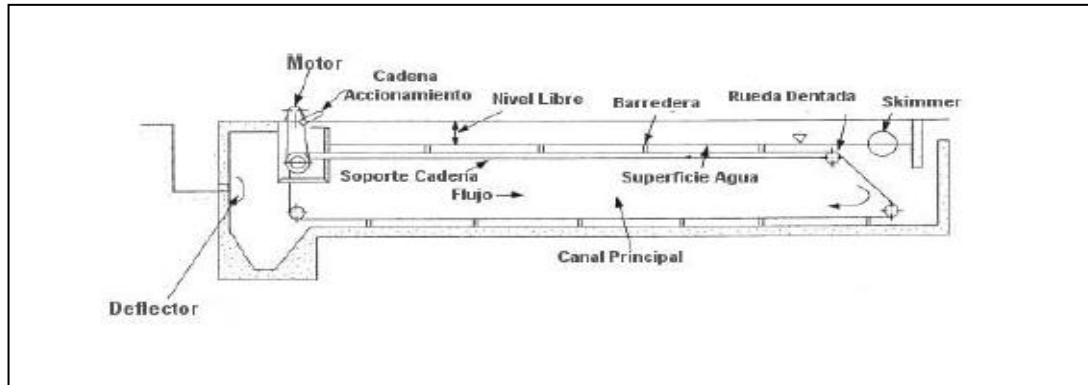
2.6.1 Equipo empleado para el tratamiento primario.

2.6.1.1 Separador API. ^[19,57]

La función del separador API es la remoción de grasas y aceites libre y sólidos suspendidos contenidos en el agua residual que los comprende y deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Los componentes a separar deben estar en fase líquida
- Las grasas y aceites deben estar en estado libre, no eliminándose en consecuencia las grasas y aceites que se encuentren disueltos o emulsionados.
- Evitar la posible formación de atmósferas tóxicas y/o peligrosas. Por lo que se debe colocar una cubierta de aluminio en la parte superior del separador API.
- Disminuir riesgos de incendios por acumulación de compuestos potencialmente combustibles en las superficies.
- Evitar la presencia de aceites & grasas en los procesos biológicos por la toxicidad de estos compuestos.
- Régimen de flujo laminar.

Este tipo de separadores consiste en un canal de sección rectangular, trabajando en régimen de flujo laminar y con un tiempo de retención que permita a las gotas de aceite separarse y alcanzar la superficie donde serán eliminadas.



[57] Fuente: colección EOI medio ambiente, 2005, Pag.121

Figura 2.1 Separador API.

Con el fin de facilitar la separación, se instalan unas barrederas superficiales perpendiculares a las paredes laterales del canal que son arrastradas por unas cadenas sinfín, que se desplazan en la misma dirección del flujo, acumulando el aceite en las proximidades de un skimmer, que facilita la eliminación.

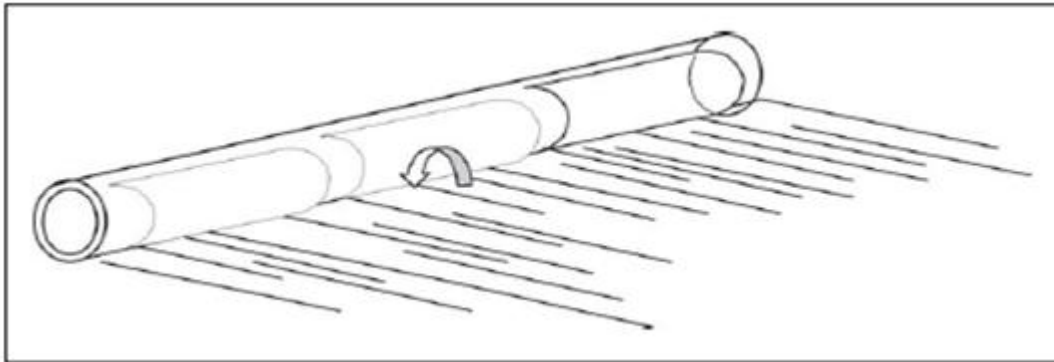
Debido a la disminución de la velocidad del agua en estos equipos se tiene una separación de los sólidos en suspensión presentes en dicha agua.

Estos sólidos son arrastrados a uno de los extremos del separador por las barrederas, acumulándose en el fondo donde son extraídos por bombeo y enviados a tratamiento de fangos.



Con el fin de no producir turbulencias en el seno del líquido la velocidad de las rasquetas debe ser muy lenta. Los aceites acumulados en la superficie del separador son arrastrados hacia uno de sus extremos por las rasquetas, son extraídos de la superficie mediante un Skimmer (removedor de aceite). Estos pueden ser: Tubería rasgada, Bandas continuas, Otros.

En la figura adjunta se incluye skimmer tipo tubería rasgada.



[57] Fuente: colección EOI medio ambiente, 2005, Pag.122

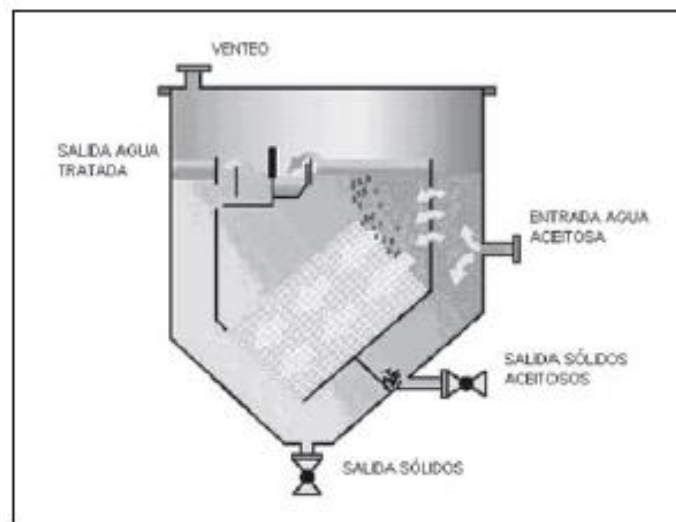
Figura 2.2 Skimmer tipo tubería rasgada.

El separador API tiene la finalidad de remover sólidos suspendidos totales y grasas & aceites libres con un tamaño promedio de partícula de 150 micrones y mayores.

2.6.2.2. Separador de placas coalescentes.^[19, 20]

Los separadores de placas coalescentes tienen la función de remover grasas y aceites libres con un tamaño promedio de partícula de 30 micrones y mayores contenidos en el agua residual que los comprende, libres que no se pudieron remover en el separador API.

Estos equipos al igual que los separadores API, la separación se basa en la diferencia de la densidad entre el agua residual y las grasa & aceites a separar.



[21] Fuente: www.wplinternational.com

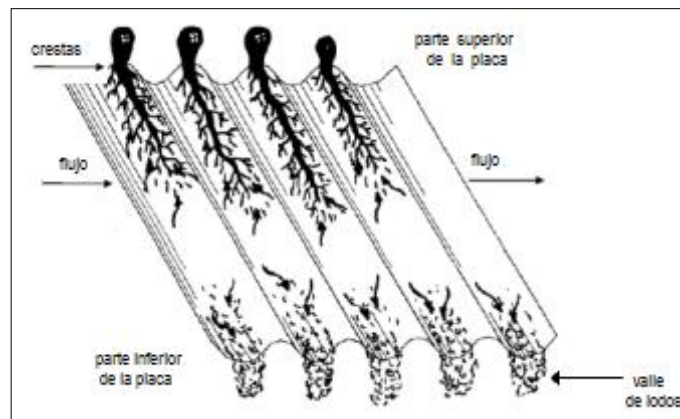
Figura 2.3 Separador de placas coalescentes.

A continuación, ventajas que presentan los separadores de placas coalescentes:

- Se generan menos turbulencias lo que conlleva una disminución de la posibilidad de formación de cortocircuitos hidráulicos.
- Requieren menos tiempo de retención, al recorrer la gota de aceite a separar solamente la distancia vertical entre las dos placas.

Los separadores de placas consisten en un conjunto de placas coalescentes paralelas, formando un paquete con un ángulo de 45 grados en base a la superficie horizontal requerida. La separación entre las placas (2 y 4 cm) con un ángulo de 45°.

Las gotas de aceite se acumulan en las crestas de las placas, facilitando el ascenso a la superficie de las mismas al formar gotas de mayor tamaño por coalescencia. Ver la figura 2.5. Los sólidos en suspensión deslizarán por los valles de las placas hasta la zona de evacuación de lodos mediante bombeo.



[20] Fuente: wáter smart environmental, Pag. 9

Figura 2.4 esquema de una placa coalescente.



2.6.2.3 Separador por flotación de aire. [9, 18, 21, 22]

El sistema *DAF* es un proceso de separación física utilizado para eliminar contaminantes del agua. El proceso consiste en la saturación del agua con aire a presión, al liberar la presión el aire disuelto forma pequeñas burbujas que arrastran las partículas suspendidas en el líquido y ascienden hasta la superficie.

El objetivo principal del sistema *DAF* es reducir la carga de la demanda química de oxígeno (DQO) para la eliminación de grandes contaminantes de DQO que incluyen grasas, aceites, materia orgánica y sólidos coloidales. Se puede lograr una reducción hasta del 90 % de DQO y sólidos suspendidos. El sistema utiliza un polímero aniónico producto químico que puede mejorar su rendimiento.

Su funcionamiento.

El efluente entrante se introduce en el recipiente de flotación donde entra en contacto con efluente reciclado y tratado (denominado agua blanca). Al aumentar la presión dentro del recipiente donde el aire se está disolviendo asegura que una mayor concentración de aire se disuelva en la fase líquida.

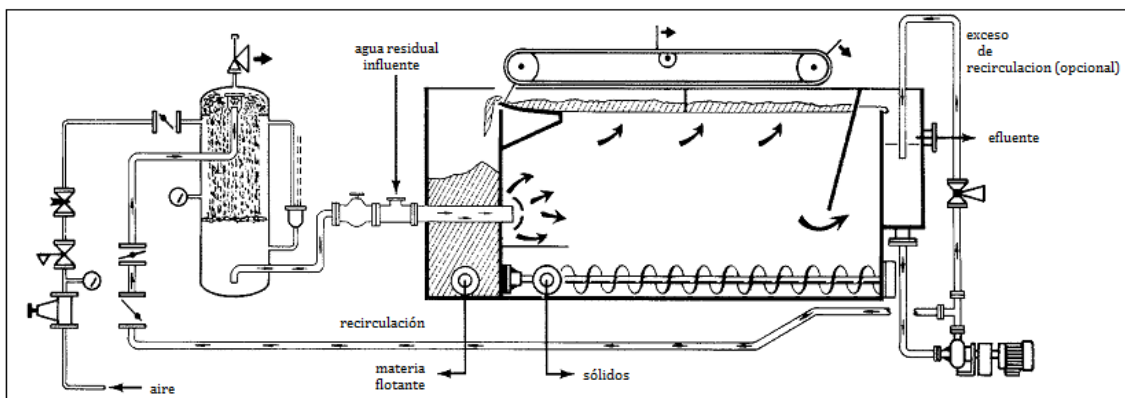
Tamaño de la partícula: el tamaño de burbujas de aire formadas en el seno del líquido oscila entre 10 y 100 μm , las burbujas pequeñas (100 μm o menos), ascienden como esferas bajo condiciones laminares

Formación de la partícula: su formación implica dos pasos: la nucleación y el crecimiento de la burbuja. La nucleación ocurre una vez que el efluente saturado ha entrado al tanque de flotación la presión el aire disuelto forma pequeñas burbujas que arrastran las partículas suspendidas en el líquido y ascienden hasta la superficie provocando que floten a la superficie donde son detenidos y posteriormente un

colector mecánico los elimina; en el tanque de flotación, las burbujas experimentan un crecimiento debido a la presión hidrostática (durante su ascenso o por coalescencia).

Generalmente las burbujas de aire están cargadas negativamente. La mayoría de los aniones se reúnen en el lado gaseoso de la interfase, mientras que los cationes se extienden en el lado del agua de esta interfase. Puesto que las partículas en suspensión o coloides pueden tener una importante carga eléctrica, pueden producirse atracciones o repulsiones entre estos y las burbujas de aire.

Dentro del tanque de flotación, el mecanismo colector consta de una serie de paletas que funcionan sobre una cadena plástica resistente a la corrosión y retienen lo “flotante” justo debajo de la superficie del tanque y lo llevan a un depósito para la recuperación de los lodos. Para eliminar el riesgo de acumulación de lodos en la base del tanque de flotación, el diseño también puede incluir un raspador de piso.



[22] Fuente: www.panaménv.com

Figura 2.5 Separador por flotación de aire.

este separador tiene la finalidad de separar sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales y grasas & aceites disueltos y emulsionados con un tamaño promedio de partícula de 10 micrones a 30 micrones que no se pudieron remover en el separador de placas coalescentes.



CAPÍTULO 3

CÁLCULO Y PREDIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO.



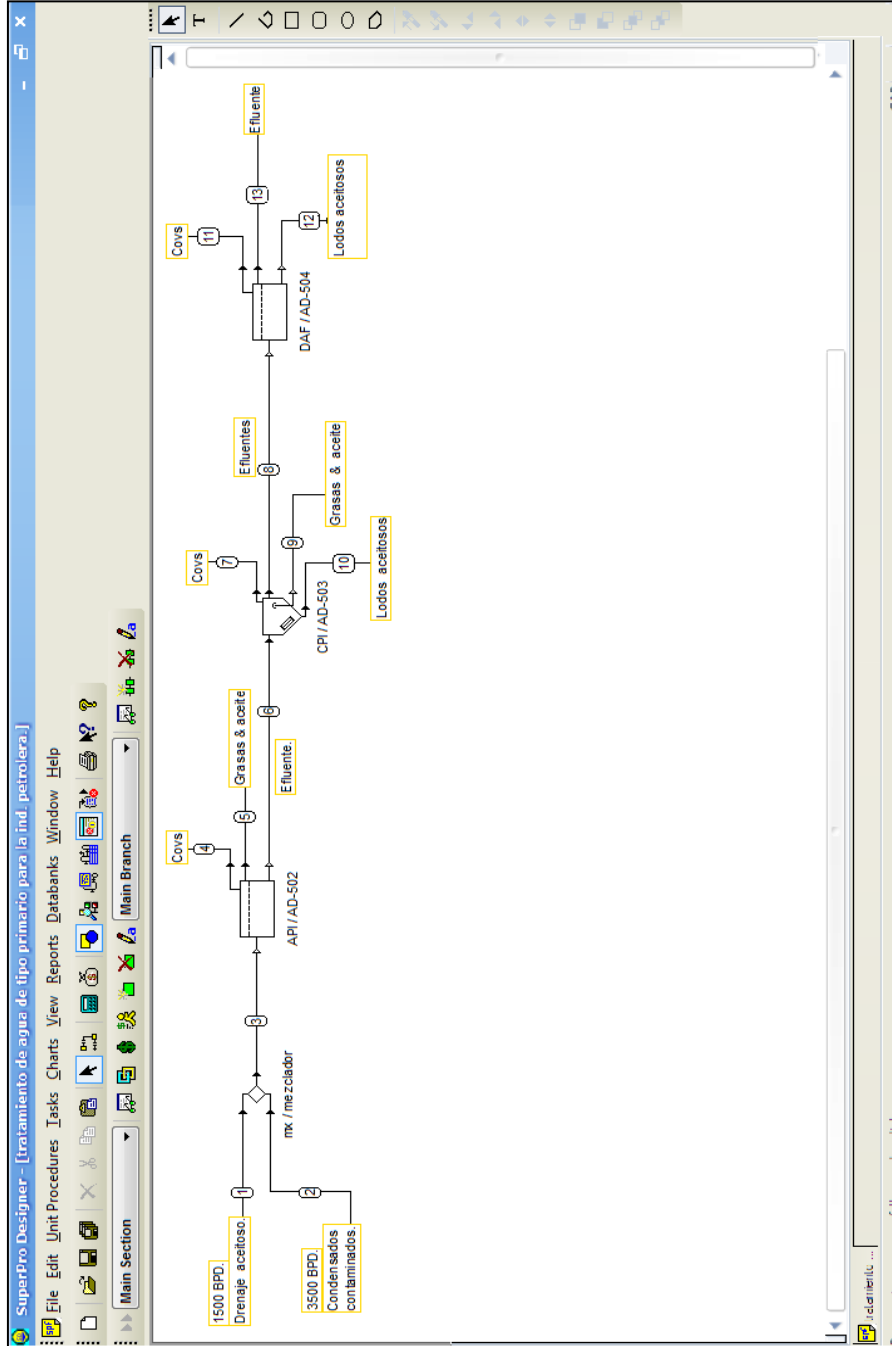
3.1 Planteamiento del problema.

Las aguas residuales que se generan en los procesos de refinación presentan un alto contenido de contaminantes. Son un gran problema ocasionando daños a su tratamiento a proceso biológico y daños ambientales a los cuerpos hídricos receptores. La importancia de acondicionar el agua antes de la etapa mencionada anteriormente solo puede realizarse mediante el acondicionamiento del agua residual en tratamientos primarios.

En este capítulo se presenta una propuesta de tratamiento primario para este tipo de agua residual para eliminar en su totalidad compuestos que pudiesen causar problemas en los tratamientos subsecuentes (proceso biológico). Estos componentes son las grasas y aceites, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, sólidos sedimentables, compuestos orgánicos volátiles (benceno, tolueno, xileno), cobre, hierro, plomo, níquel, zinc y fenoles.

Las grasas y aceites que se encuentran es este tipo de agua residual son por lo general: trazas de gasolinas, diésel, turbosina y gasóleos.

3.2 Esquema de proceso del tratamiento primario de las aguas residuales de la industria petrolera.



Realizado por: Salvador Díaz Huerta.

Figura 3.1 Simulación para la etapa de tratamiento primario de aguas residuales para la industria petrolera. esquema planteado en superpro designer v8.5



3.3 Descripción del Proceso.

Separador API (AD-502).

Las aguas residuales que llegan a la sección del tratamiento primario están integradas por el drenaje aceitoso general y condensado contaminado provenientes de los procesos de refinación a una temperatura promedio de 35 °C y a presión atmosférica.

Las corrientes de alimentación de la sección del tratamiento primario se reciben en el separador de aceite API AD-502 con la finalidad de separar el aceite libre mayor a 150 micrones y sólidos suspendidos, con una eficiencia de remoción de aceite del 90 %. El aceite recuperado se envía a límite de batería.

Los COVs (compuestos orgánicos volátiles) del separador AD-502 se recolectan en el cabezal de COVs y se envían a límite de batería.

Los lodos generados en el separador de aceite AD-502 son enviados al tanque de almacenamiento de lodos aceitosos mediante la bomba de lodos aceitoso GA-010N/R del separador API.

Separador de placas (DA-503)

La corriente de salida de agua clarificada del separador AD-502 alimenta al separador de placas AD-503 mediante la bomba de alimentación GA-020N/R el cual consta de cuatro paquetes de placas coalescentes para la separación de aceite libre mayor a 30 micrones con una eficiencia de remoción de aceite del 80 %.



La corriente de aceite recuperado sale del AD-503 y se une a la corriente de aceite recuperado proveniente del separador de aceite AD-502 para enviarse a límite de batería.

Los compuestos orgánicos volátiles del separador AD-503 se recolectan en el cabezal COVs para unirse a la corriente de compuestos orgánicos volátiles del separador de aceite API, AD-502 y son enviados a límite de batería.

Los lodos generados en el separador de aceite de placas son enviados al tanque de almacenamiento de lodos aceitosos, mediante la bomba de lodos GA-011N/R del separador API.

DAF (AD-504).

La corriente de salida de agua clarificada del separador AD-503 alimenta al separador de aceite por flotación AD-504 mediante la bomba de alimentación GA-021N/R del separador con una eficiencia de remoción de aceite del 90%.

El aire se introduce en parte del efluente que se recircula para mezclarse con el flujo entrante. Previo a su entrada, la corriente del efluente de recirculación se envía con la bomba GA-005N al tanque de retención del sistema de flotación FA-008, el cual es un tanque de saturación de aire presurizado.

El aire es suministrado por medio del compresor de aire del sistema de flotación GB-006N/R, en donde la máxima cantidad de aire se disuelve en la corriente de reciclo, la cual se mezcla con el flujo de alimentación del separador FA-008 antes de entrar a la cámara de flotación. A medida que el flujo de aire saturado llega a la presión atmosférica, se forman burbujas microscópicas. Cuando la corriente de reciclo entra al



tanque, las mamparas aseguran un mezclado rápido y homogéneo con el agua residual entrante y su dispersión por toda la sección transversal del tanque.

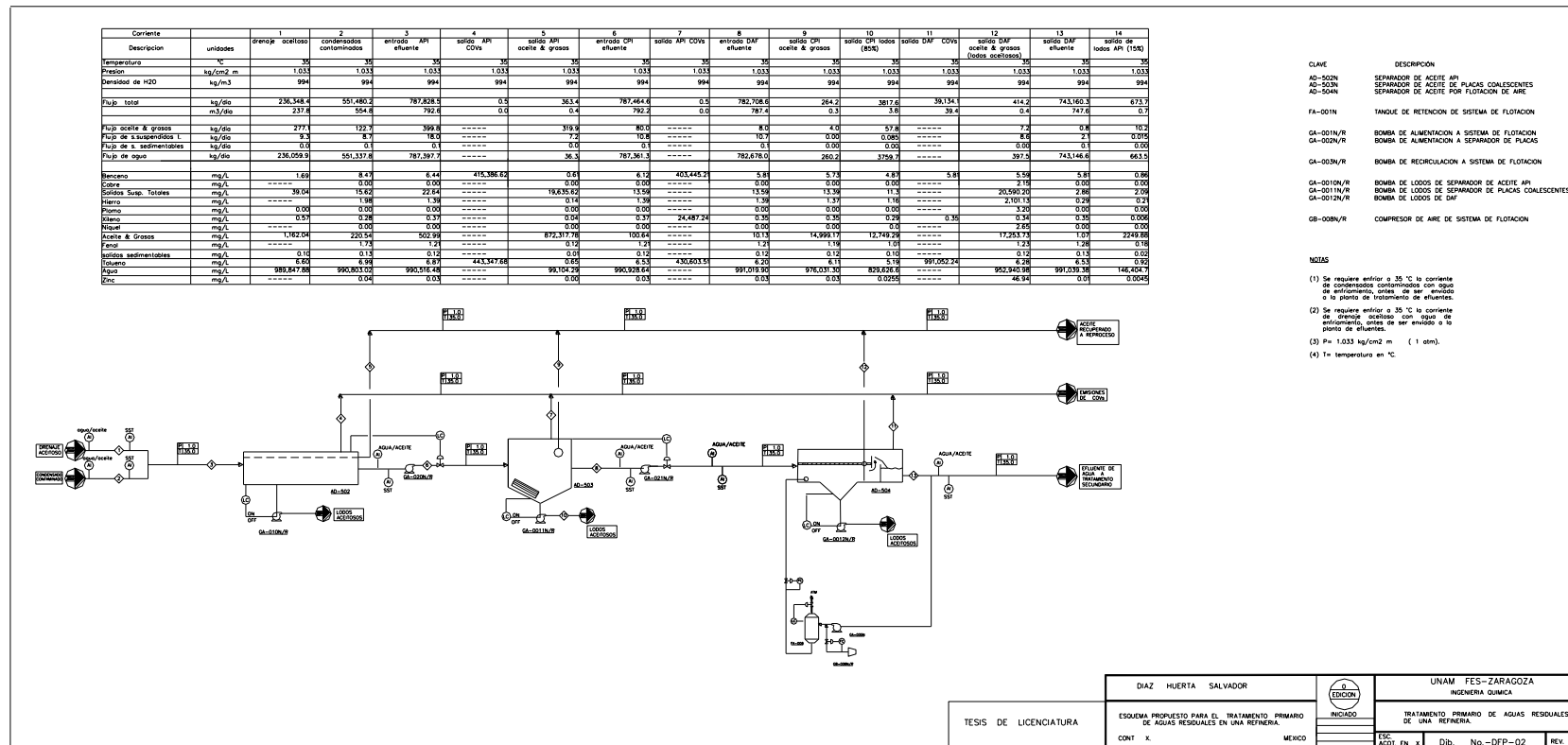
Los compuestos orgánicos volátiles del separador AD-504 se recolectan en el cabezal de COVs para unirse a la corriente de COVs del separador API, AD-502 y del separador de aceite de placas AD-503 y son enviados al límite de batería.

Los lodos generados en el separador de aceite por flotación de aire AD-504, son enviados al tanque de almacenamiento de lodos aceitosos, mediante la bomba de lodos aceitosos, GA-0012N/R.



Capítulo 3. Cálculo y predimensionamiento de equipo.

3.3.1 Diagrama de flujo de proceso.



Realizado por: Salvador Díaz Huerta

Figura 3.2 Diagrama de flujo de proceso del tratamiento primario.



Capítulo 3. Cálculo y predimensionamiento de equipo.



3.3.2 Balance de Materia.

corriente		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Descripción	Unidades	drenaje aceitoso	condensados contaminados	entrada API efluente de agua	salida API emisiones	salida API aceite & grasas	entrada CPI agua	salida CPI emisiones	entrada DAF agua	salida CPI aceite & grasas	salida CPI lodos (85%)	salida DAF emisiones	salida DAF aceite & grasas	salida DAF efluente	salida API lodos (15%)
Temperatura	°C	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Presión	Kg/cm2 m	1.033	1.033	1.033	1.033	1.033	1.033	1.033	1.033	1.033	1.033	1.033	1.033	1.033	1.033
Densidad de agua	Kg/m3	994	994	994	994	994	994	994	994	994	994	994	994	994	994
Flujo masico total	Kg/dia	236,348.4	551,480.2	787,828.6	0.5	363.4	787,464.6	0.5	782,708.6	264.2	3,817.6	39,134.1	414.2	743,160.3	673.6924
Flujo volumetrico total	m3/dia	237.8	554.8	792.6	0.0	0.4	792.2	0.0	787.4	0.3	0.0	39.4	0.4	747.6	0.0000
Flujo de aceite & grasas	kg/dia	277.1	122.7	399.8	-----	319.9	80.0	-----	8.0	4.0	57.78	-----	7.2	0.8	10.1960
Flujo de Solidos suspendidos	kg/dia	9.3	8.7	18.0	-----	7.2	10.8	-----	10.7	0.0	0.05	-----	8.6	2.1	0.0091
Flujo de solidos sedimentable	kg/dia	0.0	0.1	0.1	-----	0.0	0.1	-----	0.1	0.0	0.00	-----	0.0	0.1	0.0001
Flujo de agua	kg/dia	236,059.9	551,337.8	787,397.7	-----	36.3	787,361.3	-----	782,678.0	260.2	3,759.70	-----	397.5	743,146.6	663.4772
bencceno	mg/L	1.69	8.47	6.44	415,386.62	0.61	6.12	403,446.21	5.81	5.73	4.867	5.81	5.59	5.81	0.8588
cobre	mg/L	-----	0.00	0.00	-----	0.00	0.00	-----	0.00	0.00	0.002	-----	2.15	0.00	0.0003
solidos suspendidos	mg/L	39.04	15.62	22.64	-----	19,635.62	13.59	-----	13.59	13.39	11.380	-----	20,590.20	2.86	2.0083
hierro	mg/L	-----	1.98	1.39	-----	0.14	1.39	-----	1.39	1.37	1.161	-----	2,101.13	0.29	0.2049
plomo	mg/L	0.00	0.00	0.00	-----	0.00	0.00	-----	0.00	0.00	0.002	-----	3.20	0.00	0.0003
xileno	mg/L	0.57	0.28	0.37	-----	0.04	0.37	24,487.24	0.35	0.35	0.295	0.35	0.34	0.35	0.0521
nikuel	mg/L	-----	0.00	0.00	-----	0.00	0.00	-----	0.00	0.00	0.001	-----	2.65	0.00	0.0003
aceite & grasas	mg/L	1,162.04	220.54	502.99	-----	872,317.78	100.64	-----	10.13	14,999.17	12,749.293	-----	17,253.73	1.07	2249.8752
fenol	mg/L	-----	1.73	1.21	-----	0.12	1.21	-----	1.21	1.19	1.015	-----	1.23	1.28	0.1791
Solidos sedimentables	mg/L	0.10	0.13	0.12	-----	0.01	0.12	-----	0.12	0.12	0.101	-----	0.12	0.13	0.0179
tolueno	mg/L	6.60	6.99	6.87	443,347.68	0.65	6.53	430,603.51	6.20	6.11	5.194	991,052.24	6.28	6.53	0.9166
agua	mg/L	989,847.88	990,803.02	990,516.48	-----	99,104.29	990,928.64	-----	991,019.90	976,031.30	829,626.608	-----	952,940.98	991,039.38	146404.6956
zinc	mg/L	-----	0.04	0.03	-----	0.00	0.03	-----	0.03	0.03	0.026	-----	46.94	0.01	0.0046

Realizado por: Salvador Díaz huerta

Tabla 3.1. Balance de Materia y Composición



3.3.3 Lista de equipo principal.

Tabla 3.2 equipos empleados en la sección del tratamiento primario.

clave	Servicio	No. de unidades
AD - 502	Realiza una separación de tamaño de glóbulo de aceite libre > 150 μm .	1
AD - 503	Realiza una separación de tamaño de glóbulo de aceite libre de 150 μm - 30 μm .	1
AD - 504	Realiza una separación de tamaño de glóbulo de aceite emulsionado y disuelto de 30 μm – 10 μm .	1

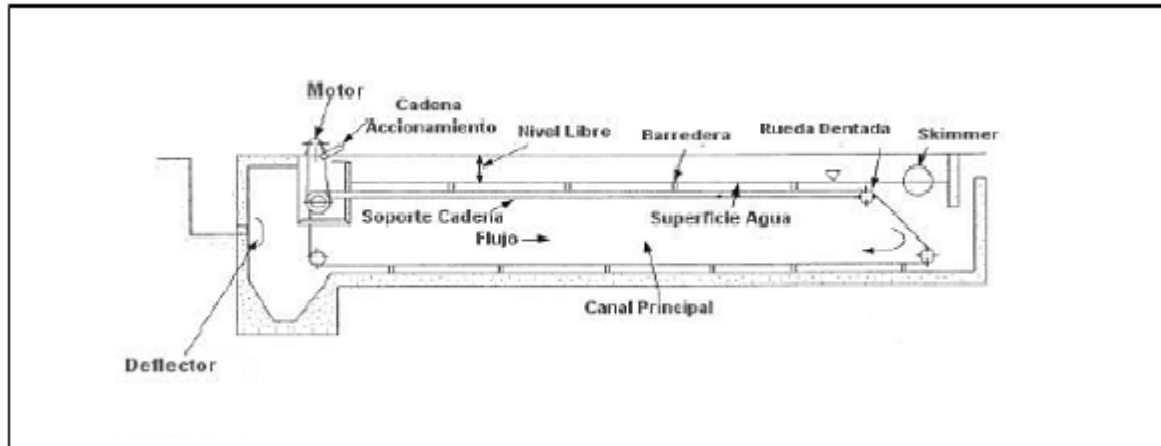
Realizado por: Salvador Díaz Huerta.

3.4 Dimensionamiento de equipo.

Para determinar el predimensionamiento y características de cada equipo que integran el esquema de proceso para el tratamiento primario propuesto es necesario realizar el cálculo para cada uno. A continuación se plantea una metodología, así como criterios de diseño de los equipos.

3.4.1 Separador API. ^[19]

Se procede a dimensionar el FA-502 del esquema de proceso para la primera etapa del tratamiento primario planteado anteriormente.



[57] Fuente: colección EOI medio ambiente, 2005, Pag.121

Figura 3.3 separador API.

El predimensionamiento del separador API, se basa en la velocidad de elevación del glóbulo de aceite & grasas de acuerdo con la ley de Stokes.

3.4.1.1 Velocidad de elevación de glóbulo de aceite (V_t).

El cálculo inicia con una relación matemática proporcionada por la ley de Stokes. De acuerdo a la siguiente ecuación.

$$V_t = \left(\frac{g}{18 \cdot \mu} \right) (\rho_w - \rho_o) \cdot D^2 ; \frac{\text{cm}}{\text{s}} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

V_t = Velocidad de elevación de glóbulo de aceite, cm/s.

g = Aceleración de la gravedad, 981 cm/s².



μ = Viscosidad absoluta del agua residual en función de la temperatura de diseño, g/cm•s.

ρ_w = Densidad del agua a la temperatura de diseño, g/cm³.

ρ_o = Densidad del aceite a la temperatura de diseño, g/cm³.

D = Diámetro de la gota de aceite que se retira, cm.

Estableciendo los valores que caracterizan este tipo de aguas residuales. Se procede a calcular la velocidad de elevación de aceite (V_t). De acuerdo a la ecuación 3.1

$$g = 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$$

$$T = 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\mu = 0.0071 \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}}$$

$$\rho_w = 0.994 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_o = 0.92 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$D = 0.015 \text{ cm}$$

La viscosidad absoluta para el agua residual (μ) se encuentra en el apéndice B, tabla B.1. La densidad para el agua residual (ρ_w) se encuentra en el apéndice B, tabla B.1.



Procedemos a sustituir todos los valores antes mencionados. De acuerdo a la ecuación 3.1

$$V_t = \left(\frac{981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}}{(18) \left(0.0071 \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}} \right)} \right) \left(0.994 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} - 0.92 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) (0.015 \text{ cm})^2$$

$$V_t = 0.128 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Nota: se utilizó el sistema internacional de unidades (SI) en los puntos 3.4.1.1 y 3.4.2.1 para la determinar la velocidad de elevación del glóbulo de aceite, para efecto de tener presente el diámetro de glóbulo de aceite en cm. Los cálculos a partir del punto 3.4.1.2 se realizan con el sistema inglés, esto es debido a que los valores establecidos en los siguientes cálculos son basados en el API 421 "Design and Operation of Oil-Water Separators". El cual comprende unidades del sistema inglés.

Bien ahora convertimos la velocidad de elevación del glóbulo de aceite (V_t) del sistema internacional al sistema ingles de la siguiente manera.

$$V_t = 0.128 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right) \left(\frac{1 \text{ ft}}{30.48 \text{ cm}} \right) = 0.252 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

Por lo tanto. La velocidad de elevación de glóbulo de aceite es:

$$V_t = 0.252 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$



3.4.1.2 Velocidad horizontal de glóbulo de aceite (V_H).

Una vez obtenida la velocidad de elevación de glóbulo de aceite, se procede a determinar la velocidad horizontal (V_H), con la siguiente ecuación.

$$V_H = 15 \cdot V_t \leq 3 \quad \frac{\text{ft}}{\text{min}} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde la velocidad de elevación de glóbulo de aceite (V_t) es 0.248 ft/min calculada anteriormente; sustituyendo estos valores en la ecuación 3.2, tenemos que la velocidad horizontal obtenida (V_H) es:

$$v_H = 15 \left(0.252 \frac{\text{ft}}{\text{min}} \right)$$

$$v_H = 3.8 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

De acuerdo al API 421, nos indica una velocidad horizontal (V_H) de 3 pies por minuto como límite superior recomendado para separadores aceite/agua.

$$V_H = 3.0 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$



3.4.1.3 Sección transversal de área mínima vertical (A_c).

Usando el flujo de diseño de alimentación (Q_m) de 14.62 ft³/min (5000 barriles por día) y el valor recomendado de la velocidad horizontal (V_H) de 3.0 ft/min.

El total de la sección transversal de área mínima vertical del separador (A_c) en ft² puede determinarse a partir de la siguiente ecuación:

$$A_c = \frac{Q_m}{V_H} ; \quad \text{ft}^2 \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.3; tenemos que:

$$A_c = \frac{14.62 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}}{3.0 \frac{\text{ft}}{\text{min}}}$$

$$A_c = 4.9 \text{ ft}^2$$

3.4.1.4 Número de canales (n).

Una vez obtenida el área la sección transversal mínima vertical (A_c) en ft², procedemos a determinar el número de canales requeridos (n) para el separador API.



Típicamente, las dimensiones recomendadas para un canal son de 20 ft de ancho y 8 ft de profundidad (160 pies cuadrados), Sobre esta base el número de canales requeridos (n) se calcula con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{A_c}{160} ; \text{ Adimensional} \qquad \text{Ecuación 3.4}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.4

$$n = \frac{4.9 \text{ ft}^2}{160 \text{ ft}^2}$$

$$n = 0.30$$

El valor obtenido es 0.30, por lo tanto; se redondea al número entero más próximo. Por lo tanto el número de canales requeridos son:

$$n = 1.0$$

3.4.1.5 Profundidad y ancho del canal (d).

dado el área de la sección transversal mínima vertical (A_c) de 4.9 ft² y el número de canales deseados (n), procedemos a calcular la profundidad del canal con la ecuación 3.5. El ancho del canal (B) debe ser mayor o igual a 6 ft ó menor o igual a 20 ft en base al criterio de diseño establecido por el API 421.



$$d = \frac{A_c}{B \cdot n} ; \quad \text{ft} \qquad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde (d) es la profundidad del canal en ft, (A_c) es el área de sección transversal vertical mínima en ft^2 , (B) es el ancho del canal en ft, (n) es el número de canales (adimensional).

Por lo tanto fijamos el ancho del canal como mínimo de 6 ft en base al criterio de diseño antes mencionado, Procedemos a sustituir la ecuación 3.5

$$d = \frac{4.9 \text{ ft}^2}{(6 \text{ ft})(1.0)}$$

$$d = 0.81 \text{ ft}$$

La profundidad del canal del separador es de 0.81 ft, por lo tanto no cumple con el criterio de diseño establecido por el API 421, el cual indica que la profundidad debe ser igual o mayor a 3 ft y menor o igual a 8 ft.

Así mismo existe la relación profundidad del canal (d) / ancho del canal (B), sustituyendo esta relación con el resultado obtenido de la ecuación 3.5 y el ancho del canal de 6 ft, tenemos que $d/B = 0.135$ por lo tanto no cumple con el criterio de diseño establecido por el API 421 el cual nos indica que d/B debe ser igual o mayor a 0.3 y menor o igual a 0.5.



Considerando los criterios de diseño de profundidad y ancho del canal tenemos entonces unas dimensiones finales de una profundidad mínima del canal de 3 ft y un ancho mínimo del canal de 6 ft por lo tanto d/B es igual a 0.5, por lo que la relación está satisfecha.

3.4.1.6 Área transversal del canal (A_T).

Procedemos a calcular el área transversal necesaria del canal (A_T) en ft^2 con la ecuación 3.6. Donde, el ancho del canal (B) es de 6 ft y la profundidad del canal (d) es de 3 ft. De acuerdo a esto tenemos que:

$$A_T = (B) (d); \quad \text{ft}^2 \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.6

$$A_T = (6\text{ft})(3\text{ft})$$

$$A_T = 18 \text{ft}^2$$

3.4.1.7 Longitud del canal (L).

Una vez que la profundidad y anchura del separador se han determinado, la dimensión final a calcular es la longitud del canal (L) en ft y se obtiene mediante siguiente ecuación.



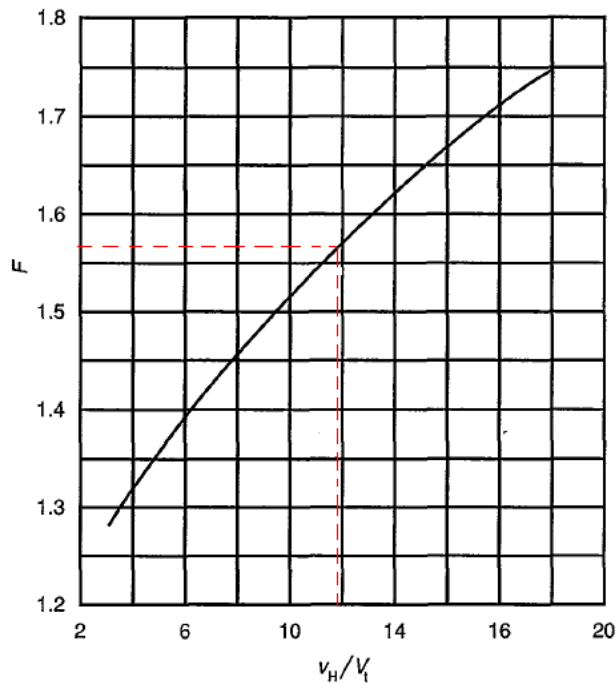
$$L = F \left(\frac{V_H}{V_T} \right) d; \quad \text{ft}^2 \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Donde, (F) es el parámetro global de diseño compuesto por un factor de turbulencia y un factor de cortocircuito (a dimensionales), (V_H) es la velocidad horizontal recomendada de 3.0 ft/min, (V_t) es la velocidad de elevación del glóbulo de aceite de 0.252 ft/min, (d) es la profundidad del canal de 3.0 ft.

El cálculo comienza con la determinación del parámetro global de diseño (F), se basa en la relación (V_H)/ (V_t). Como a continuación se muestra.

$$\frac{V_H}{V_T} = \frac{3.0 \frac{\text{ft}}{\text{min}}}{0.252 \frac{\text{ft}}{\text{min}}} = 11.9$$

De acuerdo al resultado obtenido de la relación (V_H)/ (V_t) el parámetro global de diseño (F) = 1.57, se obtiene de la grafica 3.1. A continuación se muestra.



[19] Fuente: API 421, Pag. 10

Grafica 3.1 factor de turbulencia y cortocircuitó

Una vez obtenido valor de F se procede a determinar la longitud del canal sustituyendo los datos en la ecuación 3.7

$$L = (1.57) (11.9) (3 \text{ ft}) = 56 \text{ ft}$$

En base a la longitud obtenida se procede a aplicar la relación “longitud del canal (L) / ancho del canal (B)” proporcionada por el API 421 el cual establece que L / B es igual o mayor a 5.0

$$\frac{L}{B} = \frac{56 \text{ ft}}{6 \text{ ft}} = 9.36$$



En este caso, L/B es igual a 9.36 por lo que la verificación está satisfecha. Por lo tanto la longitud de separador es 56 ft.

3.4.1.8 Tiempo de residencia del líquido (T_r).

Una vez obtenidas las dimensiones básicas del separador API, procedemos a calcular el tiempo de residencia del líquido (T_r) en min. De acuerdo a la siguiente ecuación:

$$T_r = \frac{(B) (d) (L)}{Q_m}; \quad \text{ft}^2 \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Donde, el ancho del canal (B) es de 6 ft, la profundidad del canal (d) es de 3 ft, la longitud del canal (L) es de 56 ft y el flujo de diseño (Q_m) es de 14.62 ft³/min.

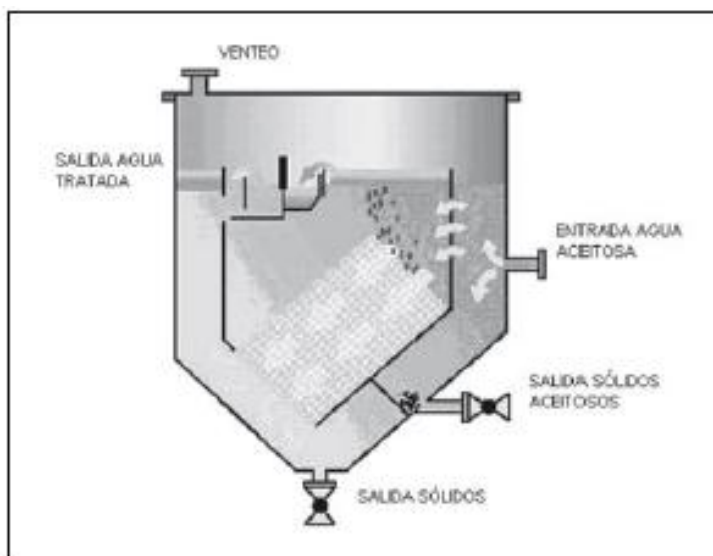
Sustituyendo los datos en la ecuación 3.8. Tenemos:

$$T_r = \frac{(6 \text{ ft}) (3 \text{ ft}) (56 \text{ ft})}{14.62 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}}$$

$$T_r = 68.9 \text{ min.}$$

3.4.2 Separador de placas coalescentes (CPI). ^[19, 20]

Se procede a predimensionar el FA-503 del esquema de proceso para el tratamiento primario planteado anteriormente. De acuerdo con los siguientes cálculos.



[21] Fuente: www.wplinternational.com

Figura 3.4 esquema del separador de placas coalescentes.

3.4.2.1 Velocidad de elevación de glóbulo (V_t).

El primer cálculo para el separador de placas coalescentes comienza al igual que el separador API, con una relación matemática proporcionada por la ley de Stokes.

$$V_a = \left(\frac{g}{18 \cdot \mu} \right) (\rho_w - \rho_o) D^2 ; \quad \frac{\text{cm}}{\text{s}} \quad \text{Ecuación 3.9}$$



Donde:

V_a = Velocidad de elevación de glóbulo de aceite, cm/s.

g = Aceleración de la gravedad, 981 cm/s².

μ = Viscosidad absoluta del agua residual en función de la temperatura de diseño, g/cm•s.

ρ_w = Densidad del agua a la temperatura de diseño, g/cm³.

ρ_o = Densidad del aceite a la temperatura de diseño, g/cm³.

D = Diámetro de la gota de aceite que se retira, cm.

Una vez establecidos los valores que caracterizan este tipo de aguas residuales. Se procede a calcular la velocidad de elevación de aceite (V_t).

$$g = 981 \text{ cm/s}^2$$

$$g = 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\mu = 0.0071 \text{ g/cm}\cdot\text{s.}$$

$$\rho_w = 0.994 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_o = 0.92 \text{ g/cm}^3$$

$$D = 0.003 \text{ cm.}$$

La viscosidad absoluta propuesta para el agua residual (μ) se encuentra en el apéndice B, tabla B.1. La densidad para el agua residual (ρ_w) se encuentra en el apéndice B, tabla B.1.



Procedemos a sustituir los valores antes mencionados. De acuerdo a la ecuación 3.9

$$V_a = \left(\frac{981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}}{(18) \left(0.0071 \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}} \right)} \right) \left(0.994 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} - 0.92 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) (0.003 \text{ cm})^2$$
$$V_a = 0.005 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \therefore 0.010 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

La velocidad de elevación del glóbulo de aceite (V_a) = 0.010 ft/min.

3.4.2.2 Área superficial requerida (A).

Una vez obtenida la velocidad de elevación de glóbulo de aceite (V_a), se procede a determinar área superficial requerida (A), con la siguiente ecuación.

$$A = \frac{Q_m}{V_a}; \quad \text{ft}^2 \quad \text{Ecuación 3.10}$$

Usando el flujo de diseño de entrada al separador (Q_m) de 14.62 ft³/min y el valor obtenido de la velocidad de elevación de glóbulo de aceite (V_a) de 0.010 ft/min.



Procedemos a calcular el total del área superficial requerida del separador (A_c) en ft^2 , a partir de la ecuación 3.10

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.10, tenemos que:

$$A = \frac{14.62 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}}{0.010 \frac{\text{ft}}{\text{min}}}$$

$$A = 1473 \text{ ft}^2$$

3.4.2.3 Carga superficial (C_s).

Utilizamos el flujo de diseño de entrada al separador (Q_m) de $14.62 \text{ ft}^3/\text{min}$ y el valor obtenido del área superficial requerida del separador (A), para calcular la carga superficial en ft^2 , de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$C_s = \frac{Q_m}{A}; \quad \frac{\text{gpm}}{\text{ft}^2} \quad \text{Ecuación 3.11}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.11.



$$C = \frac{\left(14.62 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}\right) \left(\frac{1 \text{ gal}}{0.13368068 \text{ft}^3}\right)}{1473 \text{ ft}^2}$$

$$C = 0.0753 \frac{\text{gpm}}{\text{ft}^2}$$

3.4.2.4 Área de placas.

Las dimensiones propuestas para cada una de las placas requeridas son las siguientes: 3.29 ft (1.0 m) de largo por 1.64 ft (0.5 m) de ancho. Por lo tanto tenemos un área de 5.4 ft². Estas dimensiones están en función del número de Reynolds para lograr obtener condiciones de flujo laminar, lo cual permite la separación máxima de grasas & aceites libres en el flujo del fluido.

3.4.2.5 Dimensionamiento de la superficie de placas paralelas.

Tabla 3.3 rangos típicos para el diseño básico del separador de placas paralelas.

Variable	Rango
Espaciamiento entre placas	0.75 – 1.5 in.
Angulo de inclinación de la placa desde horizontal	45 ° - 60 °
Tipo de remoción de aceite	Solo aceite libre
Dirección de flujo de aguas residual	Flujo cruzado, descendente.

[19] Fuente: API 421, Pag. 25



3.4.2.5.1 Espaciamiento entre cada placa (E).

De acuerdo a la tabla 3.3 tenemos un espaciamiento mínimo entre cada placa de 0.75 pulgadas es la distancia perpendicular entre cada placa de la superficie del separador.

3.4.2.5.2 Ángulo de inclinación de placa (θ)

De acuerdo a la tabla 3.3 tomamos un ángulo de inclinación de 45° desde una superficie horizontal, para cada placa del separador.

3.4.2.5.3 Área transversal del paso de flujo (A_t).

Se determina utilizando el largo de la placa propuesto de 3.29 ft (1.0 m) y el espaciamiento entre cada placa (E) de 0.75 pulgadas. De acuerdo a la ecuación siguiente.

$$A_t = (\text{largo de la placa})(E); \quad \text{ft}^2 \quad \text{Ecuación 3.12}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.12. Tenemos que.

$$A_t = (3.29 \text{ ft}) \left[0.75 \text{ in} \left(\frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right) \right]$$

$$A_t = 0.2056 \text{ ft}^2$$



3.4.2.5.4 Perímetro humedecido (P_h).

El perímetro humedecido en ft, se obtiene sumando dos veces el largo de la placa.

$$P_h = 3.29 \text{ ft} + 3.29 \text{ ft}$$

$$P_h = 6.58 \text{ ft}$$

3.4.2.5.5 Distancia entre cada placa (D^0).

Esta distancia se calcula con $\frac{3}{4}$ pulgadas de espaciamiento entre cada placa (E) y el ángulo de inclinación (θ) de 45° . De acuerdo a la siguiente ecuación.

$$D^0 = \frac{E}{\text{seno}(45)}; \quad \text{ft} \quad \text{Ecuación 3.13}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.13. Tenemos que.

$$D^0 = \frac{0.75 \text{ in} \left(\frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right)}{\text{seno}(45)}$$

$$D^0 = 0.088 \text{ ft}$$



3.4.2.5.6 Área proyectada de placa (A_y).

El área proyectada de la placa se calcula con el perímetro húmedo de 6.58 ft, la inclinación de la placa es de 45 ° grados y el ancho de la placa de 3.29 ft. De acuerdo a la siguiente ecuación.

$$A_y = (P_h) \cos (45) (\text{largo de la placa}); \quad \text{ft}^2 \quad \text{Ecuación 3.14}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.14. Tenemos que.

$$A_y = (6.58 \text{ ft}) \cos (45) (3.29 \text{ ft})$$

$$A_y = 15.3 \text{ ft}^2$$

3.4.2.5.7 Capacidad de la placa (C_y).

Se calcula con el área proyectada de la placa de 15.3 ft² y la carga superficial de 0.0753 gpm/ ft². De acuerdo a la siguiente ecuación.

$$C_y = (A_y)(C_s); \quad \text{gpm} \quad \text{Ecuación 3.15}$$



Sustituyendo los datos en la ecuación 3.15 Tenemos que.

$$C_y = (15.3 \text{ ft}^2)(0.0753 \frac{\text{gpm}}{\text{ft}^2})$$

$$C_y = 1.15 \text{ gpm}$$

3.4.2.6 Numero de Reynolds (Re).

El numero de Reynolds, numero abreviado Re, es una identificación matemática de la presencia o ausencia de condiciones de sedimentación. La ecuación se presenta a continuación.

$$Re = \frac{(HD)(D)(V)}{\eta}; \quad \text{Adimensional} \quad \text{Ecuación 3.16}$$

Donde, HD es diámetro hidráulico en ft, D es la densidad del fluido en g/cm^3 , V es la velocidad del fluido en ft/s, μ es la viscosidad absoluta del fluido en lb/ ft s. La densidad (ρ) y la viscosidad absoluta (μ) están en función de la temperatura del flujo a la entrada del de tratamiento primario.

La viscosidad absoluta y la densidad para el agua residual se encuentran en el apéndice B tabla B.1 y tabla B.1



3.4.2.6.1 Diámetro hidráulico (HD).

El diámetro hidráulico, se determina con la siguiente ecuación. Cuando el paso de flujo de fluido tiene un área de sección transversal que no sea un círculo.

$$HD = \frac{4(\text{sección del área transversal})}{\text{perímetro humedecido}}; \quad \text{ft} \quad \text{Ecuación 3.17}$$

Una vez obtenida el área de la sección transversal de 0.2056 ft^2 y el perímetro humedecido de 6.58 ft . Procedemos a sustituir la ecuación 3.17.

$$HD = \frac{4(0.2056 \text{ ft}^2)}{6.58 \text{ ft}}$$

$$HD = 0.125 \text{ ft}$$

El diámetro de hidráulico es de 0.125 ft .

3.4.2.6.2 Velocidad lineal del fluido (V).

La velocidad lineal del fluido en ft/s , se calcula, con la capacidad de la placa de 1.15 gpm y el área transversal del flujo de 0.2056 ft^2 . De acuerdo a la siguiente ecuación.

$$V = \frac{C_y}{A_t}; \quad \frac{\text{ft}}{\text{s}} \quad \text{Ecuación 3.18}$$



Sustituyendo los datos en la ecuación 3.18. Tenemos que.

$$V = \frac{1.15 \text{ gpm}}{\left(\frac{60 \text{ s}}{\text{min}}\right) \left(\frac{7.481 \text{ gal}}{\text{ft}^3}\right) (0.2056 \text{ ft}^2)}$$

$$V = 0.01248 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$$

Por lo tanto. Procedemos a calcular el Número de Reynolds (Re).de acuerdo a la ecuación 3.16

$$\text{Re} = \frac{(0.125 \text{ ft}) \left(62.40 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}\right) \left(0.01248 \frac{\text{ft}}{\text{s}}\right)}{0.0004771 \frac{\text{lb}}{\text{ft} \cdot \text{s}}}$$

$$\text{Re} = 204.07$$

El número de Reynolds es de 204.07 Por lo tanto, Se dice que es Flujo laminar el cual permite la separación máxima de las partículas del fluido portador.

3.4.2.6.3 Tiempo de elevación de partículas entre placas.

El tiempo de elevación de partículas entre las placas (t_e) en s, se calcula con la distancia entre placas (D°) de 0.088 ft y la velocidad de elevación de glóbulo de aceite (V_a) de 0.010 ft/s. De acuerdo a la siguiente ecuación.

$$t_e = \frac{D^\circ}{V_a}; \quad \text{s} \quad \text{Ecuación 3.19}$$



Sustituyendo los datos en la ecuación 3.19. Tenemos que.

$$t_e = \frac{0.088 \text{ ft}}{0.010 \frac{\text{ft}}{\text{min}}}$$

$$t_e = 8.8 \text{ min}$$

3.4.2.7 Paquetes de placas.

3.4.2.7.1 Numero de placas requeridas.

El número de placas requeridas Se calcula con el área proyectada de la placa (A_y) de 15.3 ft^2 y el área de superficie requerida (A) de 1453 ft^2 . De acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\text{no. de placas} = \frac{A}{A_y}; \quad \text{adimencion al} \quad \text{Ecuación 3.20}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.20. Tenemos que.

$$\text{no.de placas} = \frac{1473 \text{ ft}^2}{15.3 \text{ ft}^2}$$

$$\text{no.de placas} = 96$$



3.4.2.7.2 *Numero de placas por paquete.*

El no. de placas por paquete se calcula con el no. de placas requeridas que son 95 y se proponen 4 paquetes de placas para el área de superficie del separador de placas coalescentes. De acuerdo Con la siguiente ecuación.

$$\text{no. de placas por paquete} = \frac{\text{no. de placas requeridas}}{\text{no. de paquetes propuestos}}; \text{ Adimensional}$$

Ecuación 3.21

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.21. Tenemos que.

$$\text{no. de placas por paquete} = \frac{95}{4}$$

$$\text{no. de placas por paquete} = 23.75 \therefore 24$$

3.4.2.7.3 *Espesor por paquete de placas.*

El Espesor de cada paquete de placas se calcula, con el total de 24 placas por paquete, un espesor de placa de ¼ pulgada propuesto y un espaciamiento entre placas (E) de ¼ pulgada. De acuerdo Con la siguiente ecuación.

$$\text{espesor por cada paquete} = (\text{no. de placas por paquete}) (\text{espesor de la placa}) + (\text{no. de placas por paquete} - 1) (E); \text{ in}$$

Ecuación 3.22



Sustituyendo los datos en la ecuación 3.22. Tenemos que.

$$\text{espesor por cada paquete} = (24) \left(\frac{1}{4} \text{ in} \right) + (24-1) \left(\frac{3}{4} \text{ in} \right)$$

$$\text{espesor por cada paquete} = 23 \text{ pulgadas} \therefore 58.42 \text{ cm}$$

3.4.2.8 Dimensiones del dispositivo.

De acuerdo al número y dimensiones de las placas obtenidas se procede a calcular las dimensiones básicas del dispositivo que las comprende.

3.4.2.8.1 Ancho del dispositivo.

El ancho del dispositivo se calcula con los 4 paquetes de placas propuestos y el ancho de la placa obtenido de 1.64 ft (0.5 m). De acuerdo Con la siguiente ecuación.

$$\text{ancho del equipo} = (\text{no. de paquetes}) (\text{ancho de la placa}); \text{ m}$$

Ecuación 3.23

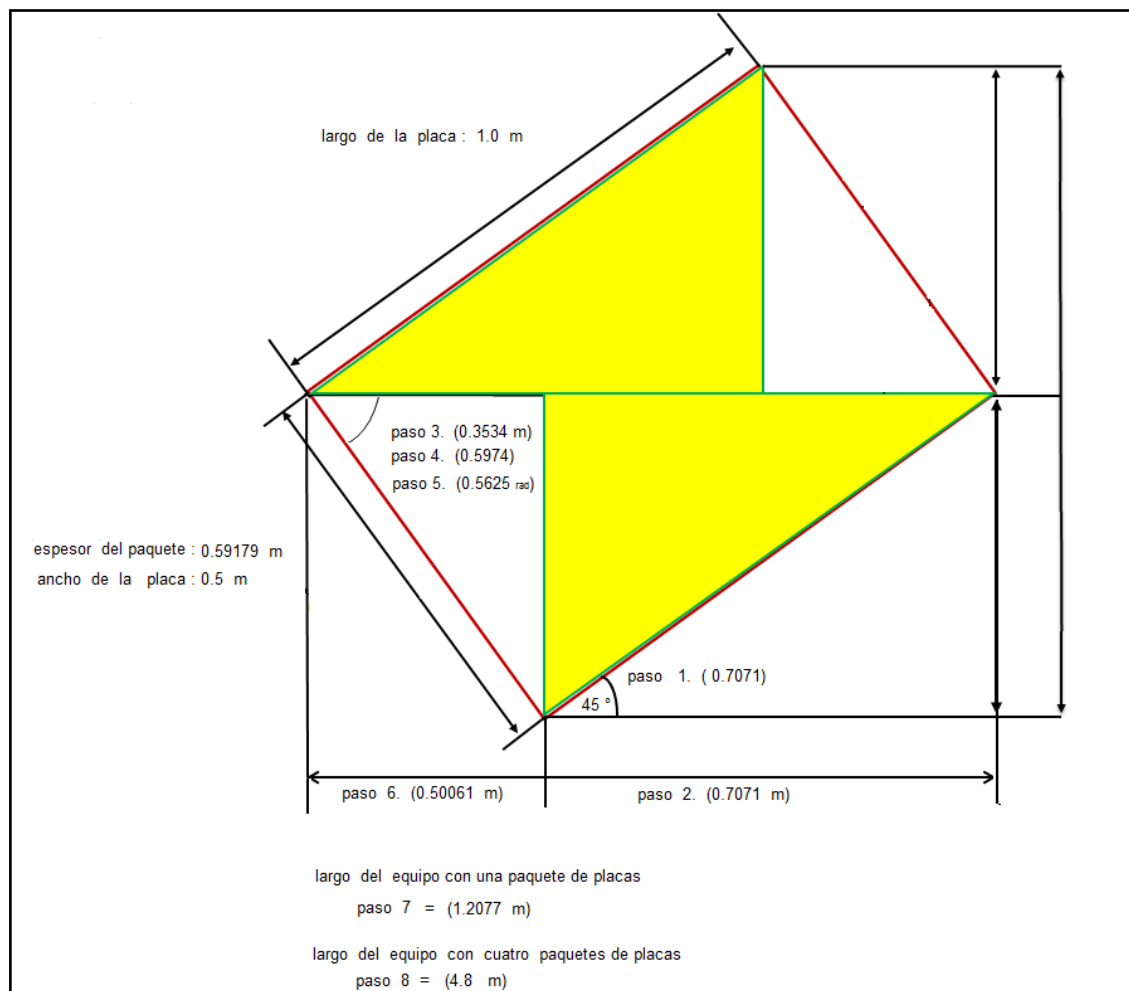
Sustituyendo los datos en la ecuación 3.23. Tenemos que.

$$\text{ancho del equipo} = (4) (0.5) (0.5 \text{ m}) + (0.3)$$

$$\text{ancho del equipo} = 1.3 \text{ m.}$$

3.4.2.8.2 Largo del dispositivo.

El largo del dispositivo se calcula de acuerdo a una serie de pasos que continuación se mencionan en la figura 3.5, los pasos se describen a continuación. La figura 3.5 hace alusión a uno de los cuatro paquetes de placas coalescentes.



Realizado por: Salvador Díaz Huerta.

Figura 3.5. Esquema de un paquete de placas coalescentes.



Cálculo del largo del dispositivo.

paso 1) $\cos(45) = 0.7071$

paso 2) $\left(\begin{matrix} 0.7071 \\ \text{paso 1} \end{matrix} \right) \left(\begin{matrix} 1.0 \text{ m} \\ \text{largo de la placa} \end{matrix} \right) = 0.7071 \text{ m}$

paso 3) $\left(\begin{matrix} 0.5 \text{ m} \\ \text{ancho de la placa} \end{matrix} \right) \left(\begin{matrix} 0.7071 \text{ m} \\ \text{paso 1} \end{matrix} \right) = 0.35 \text{ m}$

paso 4) $\frac{\begin{matrix} \text{paso 3} \\ 0.35 \text{ m} \end{matrix}}{0.58 \text{ m}} = 0.60 \text{ m}$
espesor del paquete de placas

paso 5) $\text{seno} \left(\begin{matrix} 0.60 \\ \text{paso 4} \end{matrix} \right) = 0.569_{\text{rad}}$

paso 6) $\text{coseno} \left(\begin{matrix} 0.60 \text{ m} \\ \text{paso 5} \end{matrix} \right) \left(\begin{matrix} 0.58 \text{ m} \\ \text{espesor del paquete de placas} \end{matrix} \right) = 0.491_{\text{rad}}$

El paso 2 y paso 6 se suman para obtener el largo de un paquete del equipo.

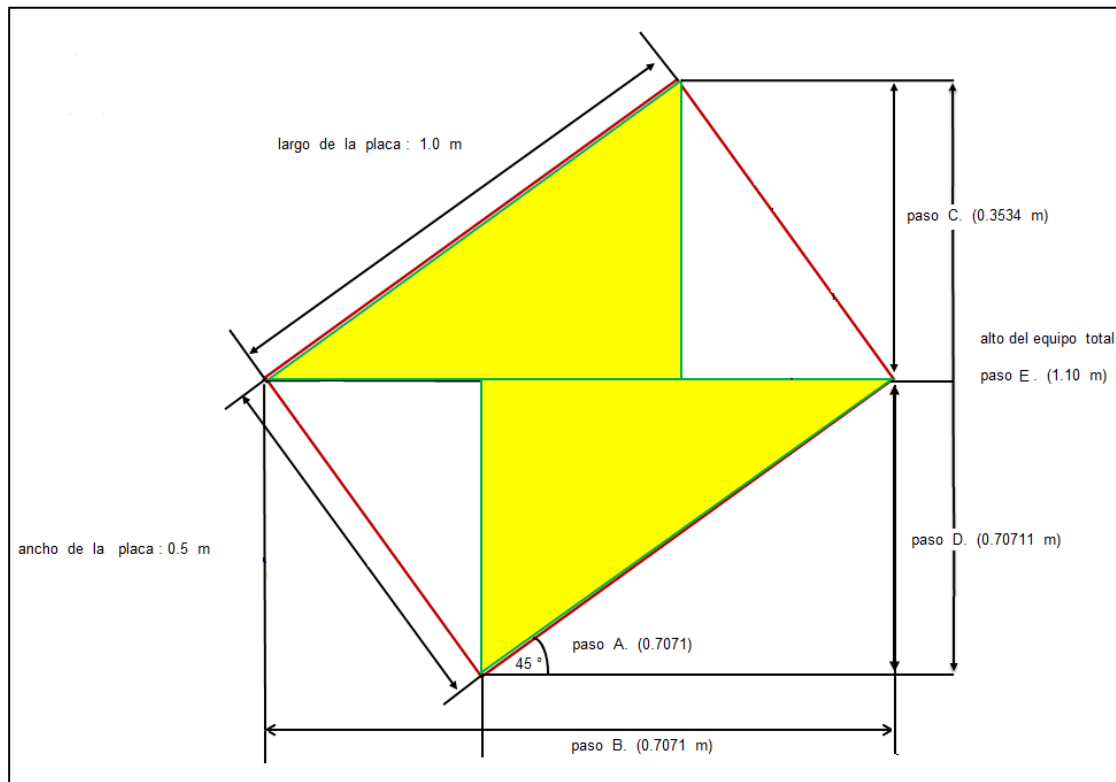
paso 7) $0.70711 \text{ m} + 0.491 \text{ m} = 1.20 \text{ m}$

paso 8) el total del largo del equipo es :

$$\left(\begin{matrix} 1.20 \text{ m} \\ \text{paso 8} \end{matrix} \right) \left(\begin{matrix} 4 \\ \text{no. de paquete de placas} \end{matrix} \right) + 0.2 = 4.8 \text{ m}$$

3.4.2.8.3 Altura del dispositivo.

La altura del dispositivo se calcula de acuerdo a una serie de pasos que a continuación se menciona en la figura 3.6, los pasos se describen a continuación. La figura 3.6 hace alusión a uno de los cuatro paquetes de placas coalescentes.



Realizado por: Salvador Díaz Huerta.

Figura 3.6. Esquema de uno paquete de placas coalescentes.



Calculo de la altura del equipo.

paso A) $\cos(45) = 0.7071$

paso B) $\left(\underset{\text{paso 1}}{0.7071} \right) \left(\underset{\text{largo de la placa}}{1.0 \text{ m}} \right) = 0.7071 \text{ m}$

paso C) $\left(\underset{\text{ancho de la placa}}{0.5 \text{ m}} \right) \left(\underset{\text{paso 1}}{0.7071 \text{ m}} \right) = 0.35 \text{ m}$

paso D) $\left(\underset{\text{largo de las placa}}{1.0 \text{ m}} \right) \left(\underset{\text{paso 1}}{0.7071 \text{ m}} \right) = 0.7071 \text{ m}$

El paso C y paso D se suman para obtener la altura del dispositivo.

paso E) $\left(\underset{\text{paso C}}{0.35355 \text{ m}} \right) + \left(\underset{\text{paso D}}{0.70711 \text{ m}} \right) = 1.06 \text{ m}$

3.4.2.8.4 Volumen de operación del dispositivo.

Una vez ya obtenidas las dimensiones del dispositivo procedemos a calcular el volumen de operación. De acuerdo a la siguiente ecuación.

$$vol = \left(\underset{\text{equipo}}{\text{ancho del}} \right) \left(\underset{\text{equipo}}{\text{largo del}} \right) \left(\underset{\text{equipo}}{\text{altura del}} \right) + 5\% \text{ de sobrediseño; } m^3 \quad \text{Ecuación 3.24}$$

Nota: el 5 % de sobre diseño es establecido por el API 421.



Donde, el ancho del equipo es de 2.3 m, el largo de 4.8 m, la altura de 1.06 m.

Sustituyendo los datos en la ecuación 3.24. Tenemos que.

$$\text{vol} = (1.3 \text{ m}) (5.0 \text{ m}) (1.06 \text{ m})$$

$$= 6.9 \text{ m}^3$$



3.4.3 Separador por flotación de aire (DAF).^[9, 20, 22]

Para efectos del predimensionamiento del separador por flotación de aire el FA-503 del esquema de proceso para el tratamiento primario planteado anteriormente, se procede a obtener las predimensiones del DAF en base al flujo de alimentación en comparación con los datos proporcionados por el proveedor “Pan America-Environmental”.

Ahora bien, El flujo de alimentación del DAF se ubica en la corriente no. 9 en el diagrama de flujo de proceso ubicado en el capítulo 3 página 49, a continuación se muestra el flujo de entrada en *barriles/día*.

flujo de alimentación a tratar: $4967.6 \frac{\text{barriles}}{\text{día}}$

Procedemos a convertir el flujo de alimentación de *barriles/día* a m^3/s de la siguiente manera. Para efectos de cálculo.

$$4967.6 \frac{\text{barriles}}{\text{día}} \left(\frac{24 \text{ galones}}{1 \text{ barril}} \right) \left(\frac{3.785 \text{ lt}}{1 \text{ galon}} \right) \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} \right) \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \right) \left(\frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right) \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right)$$
$$= 0.00525 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$



Ahora bien, debido a la presencia de las cargas catiónicas de los metales y de los contaminantes en el DAF se adiciona un polímero aniónico en estado líquido para flocular y por efecto de la suma de las masas que genera el floculante bajan como lodos los contaminantes y los que quedan suben a la superficie por efecto del aire.

Cantidad de solución de polímero aniónico: 5 kg/día.

Densidad de solución de polímero aniónico: 1.25 kg/litro.

Ahora bien procedemos a convertir la densidad de solución de polímero aniónico de kg/litro a kg/m^3 para efectos de cálculo (paso no. 1); así también convertimos la cantidad de solución de polímero aniónico de kg/día a m^3/s para efectos de cálculo (paso no. 2).

paso no. 1

$$1.25 \frac{\text{kg}}{\text{lt}} \left(\frac{1000 \text{ lt}}{1 \text{ m}^3} \right) = 1250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

por lo tanto tenemos una densidad de $1250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

paso no. 2

$$\text{densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Ecuación 3.25}$$

$$\text{densidad solución polimera} = \frac{\text{cantidad solución polimera}}{\text{volumen solución polimera}} \quad \text{Ecuación 3.25}$$



procedemos a sustituirla ecuación no.1 con los datos de la densidad y cantidad de solución polimérica tenemos que:

$$1250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{5 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{\text{volumen}}$$

$$\text{volumen solución polimérica} = \frac{5 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{1250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.004 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

ahora bien convertimos $0.004 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$ a $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ de la siguiente manera:

$$0.004 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \right) \left(\frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right) \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 4.629 \times 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

por lo tanto el flujo volumétrico de solución polimérica aniónica es:

$$4.629 \times 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El flujo total de alimentación del DAF es la suma del flujo de agua a tratar y el flujo de entrada de la solución de polímero aniónico. Como a continuación se muestra.

$$\text{flujo de solución polimérica aniónica (floculante)}: 4.629 \times 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{flujo de agua a tratar}: 0.00525 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$



$$\text{flujo total de alimentación} : 4.629 \times 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + 0.00525 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{flujo total de alimentación} : 0.0053 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

A continuación Procedemos a convertir el flujo total de alimentación del DAF de $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ a GPM de la siguiente manera.

$$0.0053 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \left(\frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \right) \left(\frac{1 \text{ galon}}{3.785 \text{ L}} \right) \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right) = 83.3 \text{ GPM}$$


De acuerdo a los rangos de flujos de alimentación comerciales propuestos para el DAF en GPM por el proveedor “*pan America-Environmental*” ubicamos el flujo obtenido de **83.3 GPM** en la tabla 3.1 que a continuación se menciona y así obtener el predimensionamiento básico del separador por flotación de aire (DAF).

Tabla 3.4 Diferentes predimensiones para el separador por flotación de aire.

Large DAF Specification Table				
Model	Length	Width	Height	Flow Rate GPM (Max.)
	A	B	C	
DAF-60	15'-2"	6'-0"	5'-7"	120
DAF-85	19'-8"	6'-0"	5'-7"	170
DAF-100	22'-11"	6'-2"	5'-7"	200
DAF-120	24'-3"	6'-7"	6'-7"	250
DAF-150	27'-3"	7'-2"	6'-10"	300
DAF-180	28'-3"	8'-2"	8'-0"	360
DAF-200	31'-1"	8'-2"	8'-0"	400
DAF-250	33'-1"	9'-0"	8'-5"	500
DAF-300	36'-0"	9'-0"	8'-5"	600
DAF-350	42'-0"	10'-4"	9'-0"	700
DAF-400	48'-0"	10'-4"	9'-0"	800
DAF-450	55'-0"	10'-4"	9'-6"	900
DAF-550	59'-0"	11'-0"	9'-6"	1100
DAF-600	62'-0"	11'-4"	9'-8"	1500

Model DAF				
Model	Length	Width	Height	Flow Rate GPM (Max.)
	A	B	C	
DAF-60	15'-2"	6'-0"	5'-7"	120

DAF
Dissolved Air Flotation Systems



950 N. Rand Rd., Ste 120 Wauconda, IL 60084 USA 847-487-9166 fax: 847-487-9218 www.panamenv.com panam@panamenv.com

[22] Fuente: Pan América-environmental.



Por lo tanto, el flujo obtenido (83.3 GPM) es ubicado en el rango de flujo de 120 gpm en la tabla 3.1 siendo un modelo DAF-60 y las predimensiones son las siguientes.

- Largo del separador por flotación de aire es de 15 pies y 2 pulgadas (referido a la tabla 3.1) lo cual equivale a 4.62 metros.
- Ancho del separador por flotación de aire es de 6 pies (referido a la tabla 3.1) lo cual equivale a 1.83 metros.
- Alto del separador por flotación de aire es de 5 pies y 7 pulgadas (referido a la tabla 3.1) lo cual equivale a 1.7 metros.
- La geometría del separador por flotación de aire es cuadrada.

A continuación procedemos a obtener las predimensiones de los componentes del sistema de presurización del separador por flotación de aire en base a los siguientes criterios de diseño.

- 1.- presión de trabajo del sistema normalmente varía entre 4 y 6 atmósferas.
- 2.-Porcentaje de recirculación del flujo al 50 %.

Ahora, Procedemos a calcular el 50 % del flujo de recirculación del separador por flotación de aire de la siguiente manera.



flujo total de entrada al separador: 83.3 GPM

porcentaje de recirculación del flujo: 50%

$$\frac{(83.3 \text{ GPM}) (50 \%)}{100 \%} = 41.6 \text{ GPM}$$

por lo tanto el flujo de recirculación es: 41.5 GPM

De acuerdo a la tabla 3.2 ubicamos el flujo de recirculación de 41.5 GPM en los rangos de flujo comerciales establecidos, para especificar las dimensiones de los componentes del sistema de presurización del separador por flotación de aire, como son: bomba centrífuga, compresor y el tanque de presurización.

Tabla 3.5 rangos de especificaciones para componentes del sistema de presurización para el separador por flotación de aire.

Pressurization System Components									
Pump Head	Flow GPM	Pump Data		Compressor Data		Retention Tank			Back Pressure Valve Size
		HP	RPM	HP @ 1750 RPM	Capacity SCFM @ 100 PSIG	Diameter	Height	Clearance Dimension	
75 PSIG 174 Ft.	50	10	3500	1	1.46	1'6"	8'0"	8'7.5"	2
	100	10		1	2.92	1'6"	8'0"	8'7.5"	2
	150	15		1.5	4.38	2'0"	9'3"	10'2"	3
	200	20		2	5.84	2'0"	9'3"	10'2"	3
	300	25		3	8.76	2'6"	9'6"	10'8.5"	4
	500	40		5	14.60	3'0"	10'9"	11'11.5"	6
	650	50	5	18.90	3'6"	11'0"	12'3.75"	6	
	800	60	1800	7.5	23.36	4'0"	11'3"	12'6.75"	8
	1000	75		10	29.20	4'6"	11'6"	13'6.3125"	8
	1200	100		10	35.69	5'0"	11'9"	14'1.375"	10
	1500	100		15	43.90	5'6"	12'0"	14'4.375"	10
	1750	125		15	51.10	6'0"	12'3"	14'10.75"	12
	2000	125		15	58.04	6'6"	12'6"	15'1.375"	12
	2400	150		20	70.08	7'0"	12'9"	15'4.375"	12

[22] Fuente: Pan América-environmental.



Una vez ubicado el flujo obtenido de 41.5 gpm en un rango de flujo de 50 gpm en la tabla anterior (*segunda columna*) procedemos a obtener la especificación de los componentes del sistema de presurización del DAF (*primera fila*) de la siguiente manera.

- Bomba.
 - Flujo de recirculación: 50 GPM.
 - Potencia: 10 HP.
 - Presión de descarga: 75 psig.
 - 3500 RPM

- Compresor.
 - Q. compresor: 1.46 ft³ std/min
 - Potencia del compresor: 1 HP.
 - 1750 RPM
 - Tipo: reciprocante.
 - Presión de descarga: 100 psig.

- Tanque de retención.
 - Diámetro de tanque: 1 ft y 6 in. (0.4572 metros).
 - Longitud: 8 ft. (2.43 metros).



CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LOS EQUIPOS.



4.1 Separador API. ^[19]

El separador de aceite AD-502 es alimentado por el efluente de agua residual procedente de los procesos de refinación a 35 °C previamente enfriada, tiene la capacidad de remover sólidos suspendidos y aceite libre de tamaño promedio de partícula de 150 micrones y mayores.

A continuación en la tabla 4.1 se muestra la sección del balance de materia del separador API (AD-502). El balance de materia que se ubica en el capítulo 3 página 37.

Tabla 4.1 flujos másicos de la sección de balance de materia del separador API.

Corriente		3	4	5
Descripción	Unidades	entrada API efluente de agua	salida API emisiones	salida API aceite & grasas
Flujo másico	kg/día	787,828.6	0.5	363.4
Flujo volumétrico	m3/día	792.6	0.0	0.4
aceite & grasas	kg/día	399.8	-----	319.9
sólidos suspendidos	kg/día	18.0	-----	7.2
sólidos sedimentables	kg/día	0.1	-----	0.0

Realizado por: Salvador Díaz Huerta.

La remoción de grasas & aceites libres y sólidos suspendidos se visualiza en la corriente de salida no. 5 del separador API; la remoción efectiva se realiza en el canal del separador API.



Con base a la tabla 4.1 se puede observar en la tabla 4.2 un porcentaje de remoción del 80 % de grasas & aceite libre y 40 % de sólidos suspendidos, que comparado con datos característicos de separadores API se encuentra dentro del rango establecido. Por lo cual, tomando como referencia este porcentaje de remoción se especifica el tamaño de canales de separador API.

Tabla 4.2 porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales y aceite & grasas libres.

Corriente		3		5
Descripción	Unidades	entrada API efluente de agua	% de remoción	salida de API aceite & grasas
aceite & grasas libres	kg/día	399.8	80	319.9
sólidos suspendidos totales	kg/día	18.0	40	7.2

Realizado por: Salvador Díaz Huerta.

Como se puede observar en la tabla 4,3 el separador API cumple con el criterio de diseño establecido en base al porcentaje de remoción por diferentes literaturas. La remoción se realizó con ayuda del simulador “superpro designer v8.5” (consultar anexo A) con un tiempo de residencia de 68.9 min aunque las literaturas manejan de 10 a 15 min.

Tabla 4.3 rangos de porcentaje de remoción de grasas & aceite libres y sólidos suspendidos totales.

% remoción	simulación superpro designer v8.5	criterios de diseño (literatura).
grasas y aceite libres	80	80 - 100
sólidos suspendidos totales	40	40 - 70

Realizado por: Salvador Díaz Huerta.



4.1.2 Valores de operación.

Los valores de operación fueron realizados de acuerdo al API 421 “diseño y operación de separadores de agua-aceite”.^[19]

Tabla 4.4 Valores de operación del separador API.

Servicio	Separador de aceite API
No. de unidades	1.0
flujo, BPD	5000
flujo, m3/día	792.6
flujo, m3/h	33.02
Volumen del dispositivo, m3	30.40
Tamaño de partícula removida, μm	≥ 150
No. de canales	1.0
Longitud del canal, m	16.9
Ancho del canal, m	1.8
Profundidad del canal, m	0.9
Cumple con API- 421	Si cumple
Entrada Grasas y aceites, ppm	502.99
Salida Grasas y aceites, ppm	100.64
Tiempo de residencia, min	68.9
Facilidades para evacuación de lodos aceitosos	si
Forma de evacuación de lodos aceitosos	automática

Realizado por: Salvador Díaz Huerta.

De acuerdo a los valores de operación mencionados en la tabla 4.4 es posible la remoción de sólidos suspendidos totales y aceite & grasas de 150 micrones y mayores.



4.2 Separador de placas coalescentes. ^[19, 20]

El separador de aceite de placas coalescentes AD-503, recibe el efluente residual del separador de aceite AD-502 a 35 °C, tiene una capacidad de remoción de aceite libre de tamaño promedio de partícula de 30 micrones y mayores, partículas que no se pudieron remover en el separador AD-502. A continuación en la tabla 4.5 se muestra la sección del balance de materia del separador CPI (AD-503).

Tabla 4.5 Flujos másicos de la sección del balance de materia del separador de placas coalescentes.

Corriente		6	7	9	10
Descripción	Unidades	entrada CPI agua	salida CPI emisiones	salida CPI aceite & grasas	salida CPI lodos
Flujo másico	kg/día	787,464.6	0.0	264.2	4,491.3
Flujo volumétrico	m3/día	792.2	0.0	0.3	4.5
aceite & grasas	kg/día	80.0	-----	4.0	68.0
lodos aceitosos	kg/día	10.8	-----	0.0	0.1

Realizado por: Salvador Díaz Huerta.

La remoción de grasas & aceite libres se visualiza en el flujo de salida del CPI en la corriente no. 9. La remoción efectiva se realiza en el área de las placas coalescentes. A continuación se muestra en la tabla 4.6 el porcentaje de remoción obtenido.

Tabla 4.6 porcentaje de remoción de grasas & aceite libres de tamaño de partícula de 30 micrones y mayores.

Corriente		6		9
Descripción	Unidades	entrada CPI agua	% de remoción	salida CPI aceite & grasas
aceite & grasas libres	kg/día	80.0	5	4.0

Realizado por: Salvador Díaz Huerta.



La remoción de lodos aceitosos se visualiza en el flujo de salida del separador de aceite AD-503 en la corriente no. 10. La remoción efectiva se realiza en el área de las placas coalescentes. A continuación se muestra en la tabla 4.7 el porcentaje de remoción obtenido.

Tabla 4.7 porcentaje de remoción de lodos aceitosos.

Corriente		6		10
Descripción	Unidades	entrada CPI agua	% de remoción	salida CPI lodos aceitosos
lodos aceitosos	kg/día	80.0	85	68.0

Realizado por: Salvador Díaz Huerta.

el porcentaje de remoción de grasas & aceite libres establecido por la literatura no se cumple en el separador de placas coalescentes (ver tabla 4.8), debido a que el efluente que alimenta al separador pasa por las placas coalescentes removiendo los glóbulos de aceite & grasas libres de 30 micrones a 150 micrones provocando que los glóbulos se unan para formar partículas mas grandes (llamado coalescencia) y así generar el porcentaje de remoción adecuado que indica la literatura para los lodos aceitosos. Los glóbulos de aceite y grasas libres de 60 micrones y menores y las grasas & aceites emulsionados y disueltas se remueven en el separador por flotación de aire.

La remoción de grasas & aceites y lodos aceitosos se realizo con ayuda del simulador “superpro designer v8.5” consultar anexo A; con un tiempo de residencia de 1.7 horas aunque las literaturas manejan de 10 a 15 min. Ver tabla 4.8.

Tabla 4.8 rangos de porcentaje de remoción de grasas & aceite libres y lodos aceitosos.

% remoción	simulación superpro desinger v8.5	criterios de diseño (literatura).
grasas y aceite lbres	5	80 - 100
lodos aceitosos	85	80 - 100

Realizado por: Salvador Díaz Huerta.



4.2.1 Valores de operación.

Los valores de operación fueron realizados de acuerdo al estándar API 421 “diseño y operación de separadores de agua-aceite” [19] y “sistemas de separación de partículas / líquidos. Con placas corrugadas inclinadas, para el tratamiento de agua de proceso, agua potable y aguas residuales” [20].

Tabla 4.9 Valores de operación del separador de placas coalescentes.

Servicio	Separador de aceite CPI
No. de unidades	1
Flujo, BPD	4998.1
flujo, m3/día	792.2
flujo, m3/h	33.0
Volumen del dispositivo, m3	13.10
Tamaño de partícula removida, μm	≥ 30
Longitud del dispositivo, m	5.0
Ancho del dispositivo, m	2.31
Altura del dispositivo, m	1.1
largo de la placa, m	1.0
ancho de la placa, m	0.5
No. de placas	96
paquete de placas	4.0
Entrada Grasas y aceites, ppm	100.64
Salida Grasas y aceites, ppm	8.00
% de remoción de grasas & aceite libre	5
tiempo de residencia, min	100.71
posición del separador	elevado
Facilidades para evacuación de lodos aceitosos	si
Forma de evacuación de lodos aceitosos	automática

Realizado por: Salvador Díaz Huerta.

De acuerdo a los valores de operación mencionados en la tabla 4.9 es posible la remoción de lodos aceitosos y grasas & aceite de 60 micrones y mayores.

4.3 Separador por flotación de aire. [20, 52]

El separador de aceite AD-504, recibe el efluente residual del separador de aceite AD-503 a 35 °C, tiene una capacidad de remoción de sólidos suspendidos, aceite libre, emulsionado y disuelto de tamaño promedio de partícula de 10 micrones y mayores que no se pudieron remover en el separador AD-503. A continuación en la tabla 4.10 se muestran los datos del balance de materia del separador AD-504.

Tabla 4.10 Flujos máxicos de la sección del balance de materia del separador de aceite por Flotación de aire.

Corriente		8	11	12	13	
Descripción	Unidades	entrada DAF efluente	salida DAF Covs	salida DAF lodos aceitosos	salida DAF efluente	
Flujo máxico	kg/día	782,708.6	39,134.1	414.2	743,160.3	
Flujo volumétrico	m ³ /día	787.4	39.4	0.4	747.6	
aceite & grasas	kg/día	8.0	-----	7.2	0.8	
lodos aceitosos	sólidos disueltos totales					
	cobre	kg/día	0.0	-----	0.0	0.0
	hierro	kg/día	1.1	-----	0.9	0.2
	plomo	kg/día	0.0	-----	0.0	0.0
	níquel	kg/día	0.0	-----	0.0	0.0
	zinc	kg/día	0.0	-----	0.0	0.0
lodos	sólidos suspendidos totales					
	sólidos suspendidos	kg/día	10.7	-----	8.6	2.1
	sólidos sedimentables	kg/día	0.1	-----	0.0	0.1

Realizado por: Salvador Díaz Huerta.

La remoción de grasas & aceites libres, emulsionado y disuelto y sólidos suspendidos totales que conforman los lodos aceitosos se visualiza en el flujo de salida del AD 504 (corriente 12). A continuación se muestra la tabla 4.11 con los porcentajes de remoción de los lodos aceitosos.

Tabla 4.11 porcentaje de remoción de los lodos aceitosos

Corriente		8		12	
Descripción	Unidades	entrada DAF efluente	% de remoción	salida DAF lodos aceitosos	
aceite & grasas	kg/día	8.0	90	7.2	
lodos aceitosos	sólidos disueltos totales				
	cobre	kg/día	0.0	60	0.0
	hierro	kg/día	1.1	80	0.9
	plomo	kg/día	0.0	80	0.0
	níquel	kg/día	0.0	80	0.0
	zinc	kg/día	0.0	80	0.0
	sólidos suspendidos totales				
	sólidos suspendidos	kg/día	10.7	80	8.6
sólidos sedimentables	kg/día	0.1	0.05	0.0	

Realizado por: Salvador Díaz Huerta.

El porcentaje de remoción de grasas & aceite y sólidos suspendidos totales obtenido por el separador AD-504 cumple el porcentaje de remoción establecido por la literatura. La remoción se realizó con ayuda del simulador “superpro designer v8.5”, consultar anexo A. A continuación se muestra la tabla 4.12.

Por otra parte, generalmente los sólidos disueltos totales son cationes que se extienden en el agua presentando carga positiva, y cuando entran en contacto con el polímero aniónico con carga negativa (para mayor rendimiento) se atraen provocando que la suma de sus masas sea cada vez mayor y así generando sólidos sedimentables que corresponden a los sólidos suspendidos totales. Por ello el porcentaje de remoción establecido por la literatura para los sólidos suspendidos totales es mismo para los sólidos disueltos totales presentes en el separador por flotación de aire. Ver tabla 4.12.



Tabla 4.12 porcentaje de remoción de los contaminantes que integran los lodos aceitosos.

	% remoción	simulación superpro desinger v8.5	criterios de diseño (literatura).
lodos aceitosos	grasas y aceite libre emulsionados y disueltos	90	70 - 95
	solidos suspendidos totales	80.05	69 - 95
	solidos disueltos totales	76	69 - 95

Realizado por: Salvador Díaz Huerta.

4.3.1 Valores de operación.

Los valores de operación fueron realizados en base a “sistemas de separación de partículas / líquidos. Con placas corrugadas inclinadas, para el tratamiento de agua de proceso, agua potable y aguas residuales” ^[20] y “removal of oil and grease in oil processing wastewaters, Choong Hee Rhee, Senior Engineer Paul C. Martyn, Supervising Civil Engineer Jay G. Kremer, Head, Industrial Waste Section. All of the Sanitation Districts of Los Angeles County”. ^[52]

Tabla 4.13 Valores de operación del separador por flotación de aire.

Servicio	Separador de aceite DAF
No. de unidades	1
Flujo del agua residual, BPD	4967.5
flujo, m3/día	787.4
flujo, m3/s	0.00525
flujo polimero anionico, m3/s	4.629 X 10 -8
Flujo total de alimentación, BPD	4998.0
Flujo total de alimentación, gpm	83.3
Volumen, m3	14.37
Tamaño de partícula removida, µm	>=10
Longitud del dispositivo, m	4.6
Ancho del dispositivo, m	1.83
Altura del dispositivo, m	1.7
Entrada Grasas y aceites, ppm	8.00
Salida Grasas y aceites, ppm	1.07
% de remoción de grasas & aceite	90
Facilidades para evacuación de lodos aceitosos	si
Forma de evacuación de lodos aceitosos	automática

Realizado por: Salvador Díaz Huerta.



4.4 Normatividad. ^[53, 54]

La utilización del agua crea derechos y obligaciones entre los usuarios, y por lo tanto, es necesario establecer normas jurídicas que regulen unos y otras para de esta manera, hacer racional el uso del agua y evitar conflictos en lo posible, considerando que el agua es un recurso natural de usos múltiples.

4.4.1 Ley de aguas nacionales. ^[7, 54]

Es de interés hacer notar que en la Ley de Aguas Nacionales se toca de manera específica el problema de la calidad de las aguas, al declarar de utilidad pública las obras hidráulicas destinadas a preservar y mejorar las condiciones ecológicas. la prevención y control de la contaminación de las aguas cualquiera que sea su régimen; prevenir que se puedan suspender los aprovechamientos, obras y actividades que dañen los recursos hidráulicos o el equilibrio ecológico; regular la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas residuales y las condiciones en que hayan de descargarse; fijar el orden de relación para los usos del agua; establecer que en los casos de disminución, escasez o contaminación de las fuentes de abastecimiento, se podrán restringir y aún suspender otras explotaciones y proyectos y por otra parte, se sancionará a quienes, sin autorización arrojen en los cauces y vasos de propiedad nacional las aguas residuales industriales.

4.41.1 Normas oficiales mexicanas. ^[7]

Las Normas Oficiales Mexicanas son entendidas como el conjunto de reglas científicas o tecnológicas emitidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales la cual establecen los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y los límites máximos permisibles que deberán observarse en el



desarrollo de las actividades o uso y destino de bienes, que causen o puedan causar daño al medio ambiente.

Lo que se persigue con estas normas es uniformar los principios y los criterios, de las políticas y estrategias en materia ambiental, determinando los parámetros de emisión dentro de los cuales se garanticen las condiciones necesarias para el bienestar de la población, así como el de asegurar la preservación y restauración del equilibrio ecológico, protegiendo además el ambiente.

4.4.1.1.1 *NOM-001-SEMARNAT- 1996.* ^[53, 55]

LA NOM-001-SEMARNAT-1996, ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales.

A continuación se da cumplimiento con la norma oficial mexicana de la secretaria del medio ambiente y recursos naturales la NOM-001-SEMARNAT-1996 con base a la *“Declaratoria de clasificación del río Coatzacoalcos, sus efluentes (río calzadas, arroyo gopalapa y arroyo teapa) y laguna pajaritos”* (declaratoria publicada en el diario oficial de la federación el 6 de febrero del 2008). De acuerdo a las metas de calidad que indica la declaratoria se comparan los contaminantes presentes en la corriente de salida del tratamiento primario para saber si es posible la descarga



o bien implementar un tratamiento subsecuente para lograr las metas de calidad de agua deseadas.

Esta declaratoria comprende en su totalidad a los contaminantes presentes a la salida del tratamiento primario. Se toman como referencia solo las metas de calidad del agua del arroyo teapa (plazo c). A continuación en la siguiente tabla se realiza la comparación de los valores obtenidos a la salida del tratamiento primario.

Tabla 4.14 concentraciones de los contaminantes a la salida del tratamiento primario.

Salida del efluente del tratamiento primario. (corriente 13)		NOM-001-SEMARNAT-1996		
		Declaratoria de clasificación del río Coatzacoalcos.		
Parámetros	Concentraciones obtenidas	Metas de calidad del agua del arroyo teapa (plazo C)		Cumplimiento
Temperatura, °C	35	<35		✓
Benceno, mg/L	5.81	0.01		x
cobre, mg/L	0.00	0.2		✓
sólidos suspendidos, mg/L	2.86	30		✓
Fierro, mg/L	0.29	0.3		✓
plomo, mg/L	0.00	0.03		✓
xileno, mg/L	0.35	0.5		✓
níquel, mg/L	0.00	0.1		✓
aceite & grasas, mg/L	1.07	10		✓
fenol, mg/L	1.28	0.1		x
sólidos sedimentables, mg/L	0.13	<1		✓
tolueno, mg/L	6.53	0.2		x
zinc, mg/L	0.01	0.2		✓

Realizado por: Salvador Díaz Huerta.

4.4.1.1.2 NOM-004-SEMARNAT-2002. [55]

LA NOM-004-SEMARNAT-2002, PROTECCION AMBIENTAL.- LODOS Y BIOSOLIDOS.- ESPECIFICACIONES Y LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINATES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL.

Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes del desazolve de



Capítulo 4. Análisis y resultados de los equipos.



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 medio ambiente y la salud humana. Esta norma es obligatoria para personas físicas y morales que realizan esta actividad.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.



De acuerdo a las etapas que integran el tratamiento de aguas residuales generadas en la industria petrolera solo se desarrolló el modelo propuesto para la etapa del tratamiento primario con ayuda del software de simulación comercial llamado "superpro designer v8.5" aplicando el porcentaje de remoción que indica la literatura para grasas y aceites; cobre, hierro, plomo, níquel y zinc (sólidos disueltos totales); tolueno, benceno y xileno (compuestos orgánicos volátiles); sólidos suspendidos totales de origen inorgánico en los equipos (separador API, separador de placas coalescentes y separador por aire inducido) que integran este tratamiento. Con base al porcentaje de remoción aplicado solo se logró cumplir con las siguientes metas de calidad del agua que son: grasas y aceites, cobre, hierro, plomo, níquel, zinc y xileno; y las metas de calidad del agua que no se lograron cumplir son: benceno y tolueno, las metas de calidad del agua se rigen de acuerdo a la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 con base a la "*Declaratoria de clasificación del río Coatzacoalcos, sus efluentes (río calzadas, arroyo gopalapa y arroyo teapa) y laguna pajaritos*" (declaratoria publicada en el diario oficial de la federación el 6 de febrero del 2008). Hacemos referencia en esta declaratoria solo para comparar los resultados obtenidos en la salida del tratamiento primario, así como se pudieron referenciar otras declaratorias de la NOM-001-SEMARNAT-1996 (tabla 4.14).

Por otra parte la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 referida a *protección ambiental.- lodos y biosólidos.- especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final*, planteada en el punto de **normatividad** del capítulo 4, no se le dio cumplimiento ya que los lodos aceitosos obtenidos a la salida de los tres equipos que involucran al tratamiento primario no fueron estabilizados es decir, no se les realizó ningún proceso físico, químico o biológico para acondicionarlos para su aprovechamiento o disposición final;



de esta manera los lodos aceitosos no pasan hacer biosólidos y por lo tanto no hay resultados para comparar con los límites máximos permisibles de los biosólidos que se presentan en la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Además se realizó el predimensionamiento del área efectiva de separación del separador API y del separador de placas coalescentes cumpliendo con “API 421”^[19], por consiguiente se especificó el área efectiva de separación del separador por flotación aire de acuerdo al “pan america-ambiental”^[22] en función de la capacidad de procesamiento de 5000 barriles por día (corresponde a un dato de flujo real de tratamiento de agua procedente de destilación y de almacenamiento del crudo.

Se recomienda no modificar el orden de los separadores del tratamiento primario por el hecho de que a la entrada del tratamiento se ubica el separador API el cual recibe y sedimenta los glóbulos de aceite & grasas de 150 micrones y mayores ocasionando que al separador siguiente (separador de placas coalescentes) no se le obstruyan las placas coalescentes por tener un diámetro de glóbulo de 60 micrones y mayores, por consiguiente al separador por flotación aire llegan glóbulos de diámetro de 30 micrones y mayores a los cuales las burbujas de aire los suben a la superficie sin ningún problema. De lo contrario, se genera un porcentaje de remoción nulo y un desborde de líquido en los separadores.



ANEXO A.
GLOSARIO DE TÉRMINOS.



Absorción.- ^[23] En química de coloides es el proceso mediante el cual, cuando dos fases entran en contacto, uno de los componentes pasa de una fase a la otra.

Aceite.- ^[23] Sustancia grasa, líquida a temperatura ordinaria, de mayor o menor viscosidad, no miscible con agua y de menor densidad que ella, se puede obtener sintéticamente.

Aceite Disuelto.- ^[24] Necesitan tratamiento con flotación por aire inducido sofisticado para poder ser separados.

Aceite Emulsionado.- ^[24] Es necesario deshacer la emulsión antes de que puedan ser separados. Los aceites emulsionados frecuentemente se conocen por el nombre de aceites solubles, debido a que el aceite parece estar disuelto en agua, aunque en realidad está suspendido en el agua en forma de gotas muy pequeñas. Normalmente se deshace el estado de emulsión cambiando el pH o añadiendo compuestos químicos

Aceite Libre.- ^[24] Sube a la superficie y es separado por gravedad.

Acondicionar el agua.- ^[25] Es eliminar grasas, aceites y demás materiales flotantes más ligeros que el agua, que podrían distorsionar los procesos de tratamiento posteriores, se efectúa mediante insuflación de aire, para desemulsionar las grasas y mejorar la flotabilidad.

Actividad Piscícola.- ^[26] Aquellas actividades relacionadas con la cría y multiplicación de peces en un río, estanque o lago, que provengan de la cría y las que se deriven de la elaboración complementaria de los productos que obtenga el criador.



Adsorción.- ^[23] Proceso por el cual un gas, vapor, materia disuelta o partículas suspendidas son captadas o adheridas a la superficie de otro material, tanto por fuerzas físicas como químicas.

Agua Clarificada.- ^[27] Agua que contiene materia particulada que fluye con lentitud a través de un tanque de sedimentación después de que las partículas más grandes se asienten en el fondo durante cierto tiempo.

Aire Presurizado.- ^[28] Es el aire que se encuentra a una presión superior a la atmosférica; esta condición del aire se obtiene mediante bombas o compresores.

Anión.- ^[29] Átomo o molécula que perdió su neutralidad eléctrica para tener carga negativa (ha ganado electrones).

Barrederas.- ^[30] Barre el fango depositado en el fondo del tanque de sedimentación

Biodegradable.- ^[31] Sustancia que puede ser descompuesta con cierta rapidez por medios biológicos, los más importantes de los cuales son bacterias aerobias.

Biosólidos.- ^[57] Lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, puedan ser susceptibles de aprovechamiento.

Catión.- ^[29] Átomo ó molécula que perdió su neutralidad eléctrica para tener carga negativa (ha ganado electrones). Los cationes son iones positivos. Son especialmente frecuentes e importantes los que forman la mayor parte de los metales.

Cauce receptor.- ^[32] La corriente o depósito natural de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los



terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas, cuando puedan contaminar los suelos, subsuelo o los acuíferos.;

Coalescencia.- ^[33] Acción mediante la cual las partículas en suspensión, gotitas de una emulsión o de un metal se unen para formar gránulos o gotas mayores, respectivamente.

Contaminación Radioactiva.- ^[23] Emisiones de lluvia radioactiva o radiaciones nucleares.

Cortos Circuitos Hidráulicos.- ^[9] La existencia de cortos circuitos significa que la sedimentación efectiva no se produce en el volumen total del tanque de sedimentación, sino que un volumen que entra no puede extenderse uniformemente en el tanque de la forma prevista, por lo que alcanza la zona de salida antes de que se cumpla el tiempo teórico de retención. Para evitar cortocircuitos, algunos departamentos oficiales especifican una distancia mínima entre la entrada y la salida del tanque.

Craqueo Térmico.- ^[34] Es el proceso en el que una mezcla de alcanos procedentes del gas natural o del petróleo se somete a calefacción, a temperatura del orden de 400 C, durante periodos cortos.

Craqueo Catalítico.- ^[35] Es el proceso de la refinería más importante y más ampliamente utilizado para la conversión de aceites pesados en gasolina y productos ligeros.

Densidad Demográfica.- ^[36] Generalmente se expresa como el número promedio de personas por kilómetro cuadrado



Desalación.- ^[37] Es el proceso de eliminar la sal del agua de mar para obtener agua dulce.

Desmineralización.- ^[38] “Desionización” es la eliminación (por sustitución o intercambio) de los cationes y aniones que contenga.

Efluente.- ^[39] Todo residuo gaseoso, líquido, sólido o mezcla de ellos que fluye a un cuerpo receptor.

Filtración.- ^[40] Se emplea en el tratamiento del agua, la filtración se utiliza para eliminar el floculo biológico del efluente secundario decantado, precipitados obtenidos y sólidos que permanecen después de coagulación química de las aguas residuales en los procesos de tratamiento físico-químicos ó tratamientos posteriores.

Floculación.- ^[15] Formación de aglomerados por unión de partículas en suspensión existentes en el seno del líquido, mediante la adición de un reactivo llamado floculante.

Flujo Laminar.- ^[41] Es el movimiento del fluido altamente ordenado y es posible identificar líneas de flujo a lo largo de las cuales parece moverse en láminas continuas.

Infiltración.- ^[42] Es el proceso de aplicación intermitente de aguas residuales (por lo general) a cultivos, vegetación o terrenos forestales.

Ingeniería Ambiental.- ^[43] Es el conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes necesarias para diseñar y construir sistemas y procesos para la producción de bienes y servicios que contribuyan a la racionalización y eficientización de las relaciones de intercambio de materia y energía que suceden entre la sociedad y la naturaleza.



Ingeniería Sanitaria.- ^[44] Disciplina dedicada al diseño de tecnología y manejo de infraestructura para el tratamiento sanitario de aguas de servicio público, efluentes urbanos y en general, desechos domésticos, municipales e industriales, gaseosos, líquidos o sólidos.

Ion.- ^[29] Conceptualmente esto se puede entender como que, a partir de un estado neutro de un átomo o partícula, se han ganado o perdido electrones; este fenómeno se conoce como ionización.

Límite De Batería.- ^[45] Este término describe la totalidad de equipo e instalaciones que están directamente involucrados en la producción de producto.

Lodos Activados.- ^[46] Es un conjunto de procedimientos cuyo fundamento es poner en contacto el agua residual con una masa biológica preexistente en un tanque de aeración. El influente (agua residual que se va a tratar) entra al tanque en donde tiene contacto con los microorganismos, por esta razón, a este se le denomina tanque de aeración.

Lodos.- ^[57] Son sólidos con un contenido de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización.

Mampara.- ^[47] Se utiliza para tranquilizar las aguas y favorecer una sedimentación óptima para los sólidos y grasas.

Nucleación.- ^[48] Es el proceso en el cual un número mínimo de átomos, iones o moléculas se unen para dar un sólido estable de mayor tamaño.



Número De Reynolds.- ^[41] Es el comportamiento de un fluido, en particular se refiere a las pérdidas de energía. Depende que el flujo sea laminar o turbulento

Polímero Anionico.- ^[41] Son polímeros cargados negativamente con grados de polimerización que pueden ser superiores a 100.000 y cuyos pesos moleculares están comprendidos entre 1 y 10 millones.

Presión Hidrostática.- ^[50] Es la fuerza por unidad de área que ejerce un líquido en reposo sobre las paredes del recipiente que lo contiene y sobre cualquier cuerpo que se encuentre sumergido, como esta presión se debe al peso del líquido, esta presión depende de la densidad (ρ), la gravedad (g) y la profundidad (h) del el lugar donde medimos la presión (P).

Precipitación Química.- ^[51] Consiste en añadir ciertos productos químicos al agua residual para conseguir que estos alteren el estado físico de los sólidos disueltos o en suspensión y se produzca un eliminación por sedimentación

Sedimentación.- ^[38] Es la operación unitaria mediante la cual se separa el fluido y los sólidos de una suspensión por gravedad, aprovechando la diferencia de densidad entre ambas fases.



ANEXO B

DENSIDADES Y VISCOSIDADES DEL AGUA.



B.1 densidad y viscosidad del agua. [20]

Temperatura		Viscosidad absoluta para el agua		Densidad del agua	
°C	°F	poises	lbs/ft-sec	gm/cc	lbs/cu ft
0	32.0	0.017870	0.00120424	0.999	62.351
1	33.8	0.017280	0.00116338	0.999	62.355
2	35.6	0.016710	0.00112407	0.999	62.358
3	37.4	0.016180	0.00108799	0.999	62.360
4	39.2	0.015670	0.00105324	1.000	62.360
5	41.0	0.015190	0.00102059	0.999	62.360
6	42.8	0.014720	0.00098968	0.999	62.359
7	44.6	0.014280	0.00095984	0.999	62.357
8	46.4	0.013860	0.00093135	0.999	62.354
9	48.2	0.013460	0.00090460	0.999	62.350
10	50.0	0.013070	0.00087873	0.999	62.345
11	51.8	0.012710	0.00085427	0.999	62.339
12	53.6	0.012350	0.00084870	0.999	62.333
13	55.4	0.012020	0.00080824	0.999	62.326
14	57.2	0.011690	0.00078681	0.999	62.317
15	59.0	0.011390	0.00076631	0.999	62.309
16	60.8	0.011090	0.00074662	0.999	62.299
17	62.6	0.010810	0.00072761	0.999	62.289
18	64.4	0.010530	0.00070953	0.999	62.278
19	66.2	0.010270	0.00069206	0.999	62.266
20	68.0	0.010020	0.00067533	0.998	62.254
21	69.8	0.009779	0.00065920	0.998	62.241
22	71.6	0.009548	0.00064368	0.998	62.228
23	73.4	0.009325	0.00062883	0.998	62.213
24	75.2	0.009111	0.00061431	0.997	62.198
25	77.0	0.008904	0.00060054	0.997	62.183
26	78.8	0.008705	0.00058710	0.997	62.167
27	80.6	0.008513	0.00057420	0.997	62.150
28	82.4	0.008327	0.00056177	0.996	62.133
29	84.2	0.008148	0.00054967	0.996	62.115
30	86.0	0.007975	0.00053805	0.996	62.097
31	87.8	0.007808	0.00052682	0.995	62.078
32	89.6	0.007647	0.00051600	0.995	62.058
33	91.4	0.007491	0.00050552	0.995	62.038
34	93.2	0.007340	0.00049531	0.995	62.018
35	95.0	0.007194	0.00048550	0.994	61.996
36	96.8	0.007052	0.00047609	0.994	61.974
37	98.6	0.006915	0.00046682	0.994	61.952

[20] Fuente: wáter smart environmental, Pag.30

Tabla B.1 densidad y viscosidad del agua.



Anexo C. Simulación del tratamiento primario
de aguas residuales.



ANEXO C

**SIMULACIÓN DEL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS
RESIDUALES.**



C.1 Simulación del tratamiento de primario de aguas residuales industriales.

En este anexo, se presenta la secuencia de los pasos realizados para generar el esquema de simulación del tratamiento primario de aguas residuales.

El modelamiento del esquema de remoción comienza con la integración de los equipos. El primer equipo a integrar es un mezclador el cual lleva a cabo el “mezclado” de las corrientes de alimentación provenientes de los límites de batería.

Una vez en el ambiente del simulador, procedemos a insertar el *mezclador* de la siguiente manera. Ubicamos la “*barra de menú*”, seleccionamos “*unit procedures* → *Mixing* → *Discrete Flow* → *2-Stream*”. De esta manera se selecciona cualquier operación unitaria.

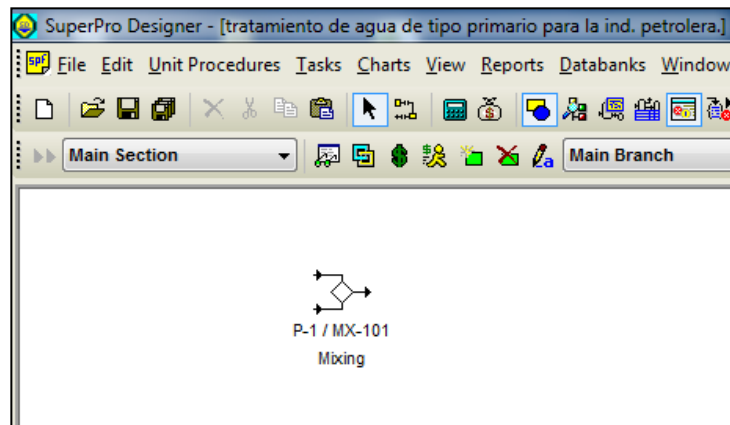


Figura (C.1) mezclador identificado para el tratamiento primario de aguas residuales.



Anexo C. Simulación del tratamiento primario de aguas residuales.



Ahora procedemos a conectar la corriente no. 1 “*drenaje aceitoso*” y la corriente no. 2 “*contaminados condensados*” al mezclador para generar la corriente no. 3. Las corrientes las arrastramos de la barra de herramientas e identificamos a cada una de ellas.

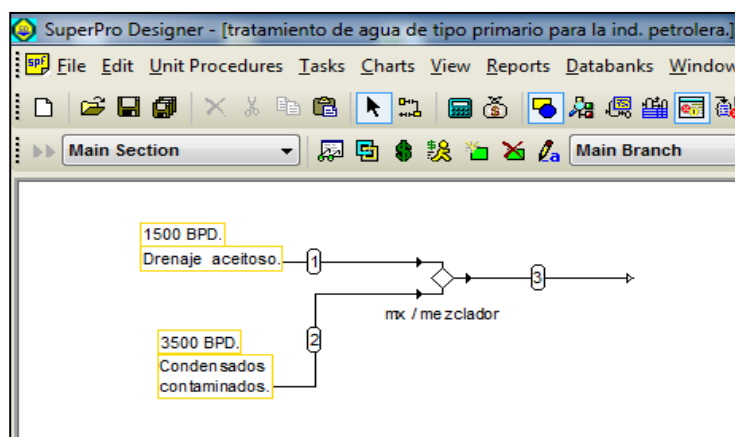


Figura (C.2) corrientes de alimentación identificadas para el tratamiento primario de aguas residuales.

Una vez ya integradas las corrientes, se procedió a la selección de los componentes que conforman la alimentación del tratamiento primario. Esto se lleva a cabo seleccionando los componentes químicos que son comúnmente caracterizables e identificables, por lo general son seleccionados del banco de datos que maneja el simulador. De la barra de herramientas del simulador seleccionamos “tasks→pure-components→register, edit/view properties”.



Anexo C. Simulación del tratamiento primario de aguas residuales.

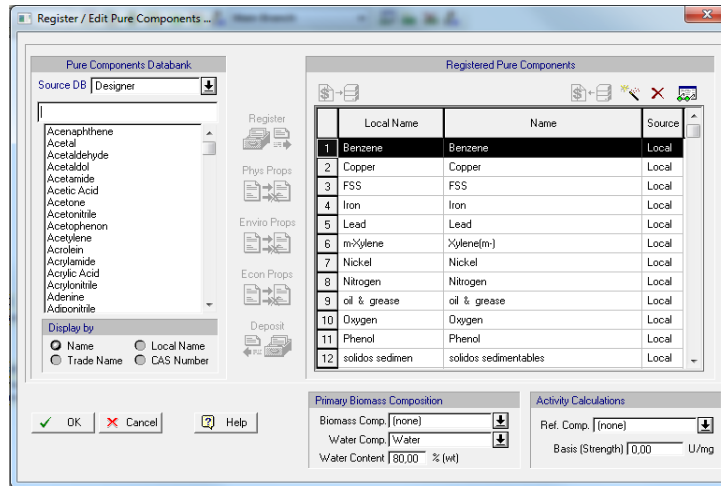


Figura (C.3) selección de los componentes para las corrientes de alimentación para el tratamiento primario de aguas residuales.

Los componentes *grasas & aceites* y *sólidos suspendidos totales* que también forman parte de la alimentación del tratamiento primario se dan de alta en el banco de datos del simulador de la siguiente manera. De la barra de herramientas del simulador seleccionamos “*databanks → pure component*”.

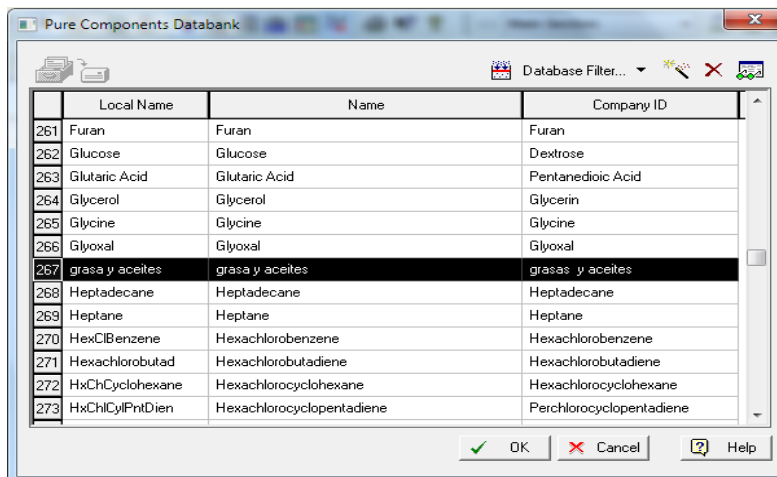


Figura (C.4) registro del componente “*grasas & aceites*” en el banco de datos.

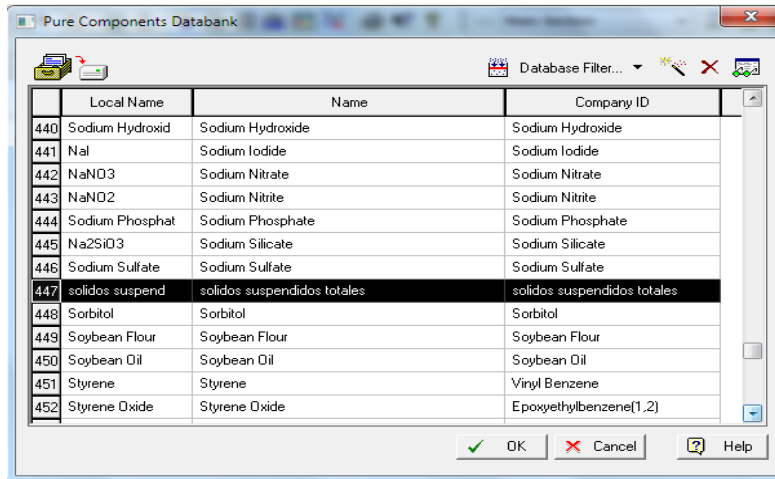


Figura (C.5) registro del componente “sólidos suspendidos totales” en el banco de datos.

Ahora bien; seleccionamos los componentes correspondientes para cada corriente de alimentación y a su vez introducimos su composición inicial en mg/L , una vez introducidos los componentes que participan de manera global en todo el esquema de la simulación, se procedió a la introducción de los flujos volumétricos totales en *barriles/día* de cada corriente y la selección de unidades en el cual se trabajó describiendo el comportamiento del efluente en el proceso.

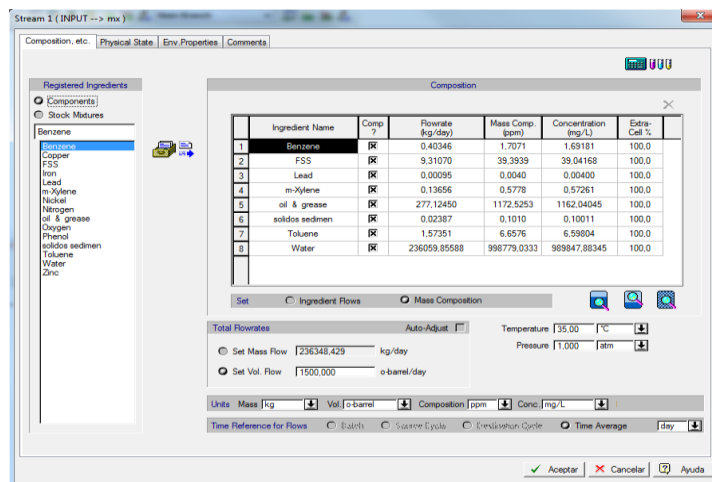


Figura (C.6) caracterización de la corriente de alimentación no. 1 “drenaje aceitoso” para el tratamiento primario de aguas residuales.



Anexo C. Simulación del tratamiento primario de aguas residuales.

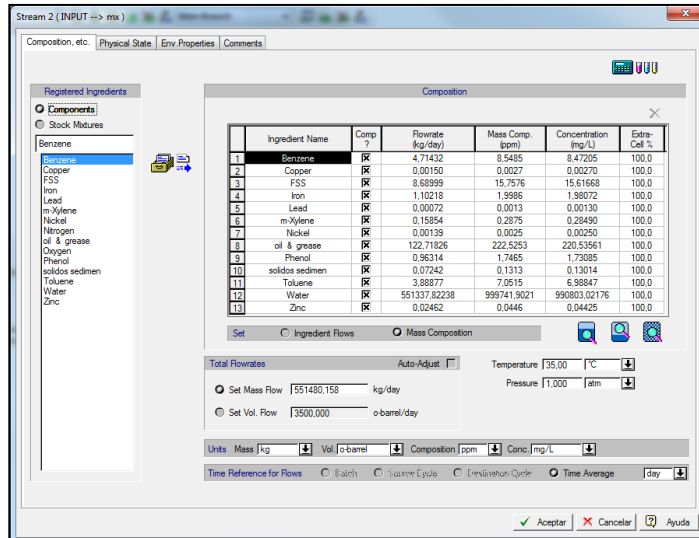


Figura (C.7) caracterización de la corriente de alimentación no. 2 “condensados contaminados” para el tratamiento primario de aguas residuales.

Una vez caracterizadas las corrientes de alimentación para el tratamiento primario de aguas residuales, la corriente no. 3 se caracteriza a través del mezclador de la siguiente manera.

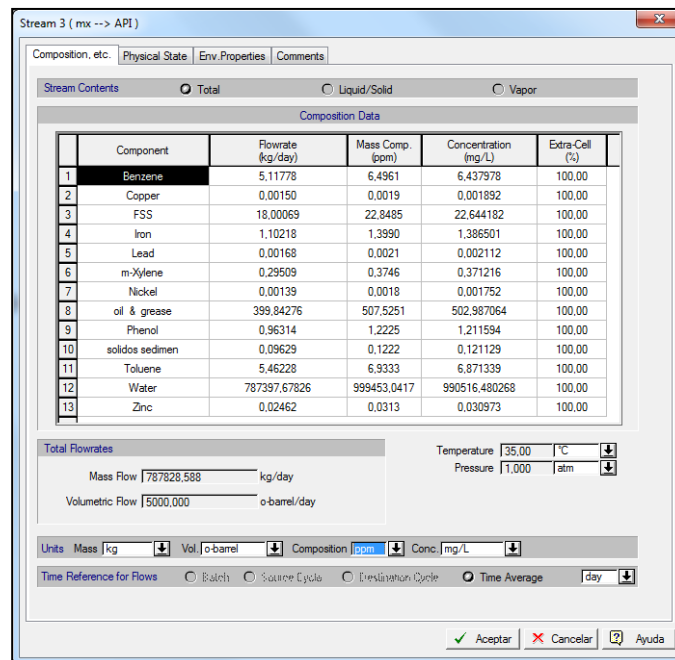


Figura (C.8) caracterización de la corriente no.3 para el tratamiento primario de aguas residuales.

Una vez caracterizada la corriente de alimentación no. 3 (véase figura A.8) se procede a la integración de los equipos que forman parte del tratamiento primario, para realización de la simulación de proceso. Por lo tanto procedemos a insertar primeramente el separador API, para después identificar las corrientes de salida.

El cual realiza una remoción de grasas & aceites del 80%, de sólidos suspendidos totales el 40 % y de compuestos orgánicos volátiles (benceno y tolueno) el 5 % con un tamaño de partícula de 150 micrones y mayores.

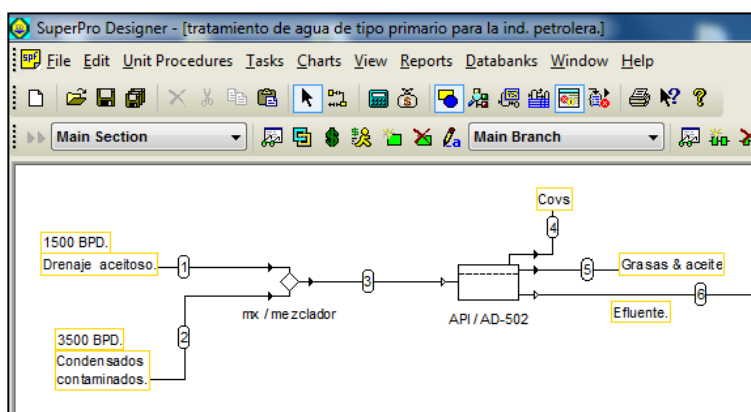


Figura (C.9) separador API para el tratamiento primario de aguas residuales.

Para realizar la simulación del separador API se deben establecer las condiciones de operación necesarias como la densidad del aceite, tamaño de la partícula de aceite, viscosidad del agua para su buen funcionamiento al igual también los porcentajes de remoción de grasas & aceites, sólidos suspendidos totales (ver figura A.10) y compuestos orgánicos volátiles (benceno y tolueno) véase figura A.11.

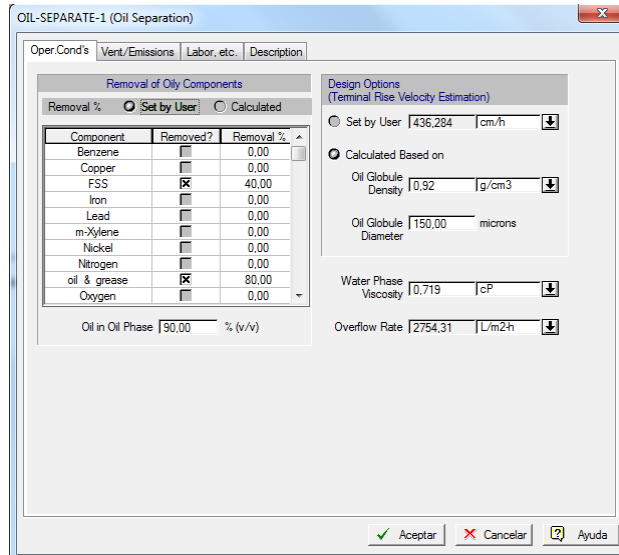


Figura (C.10) % de remoción de grasas & aceite y sólidos suspendidos totales del separador API para el tratamiento primario de aguas residuales.

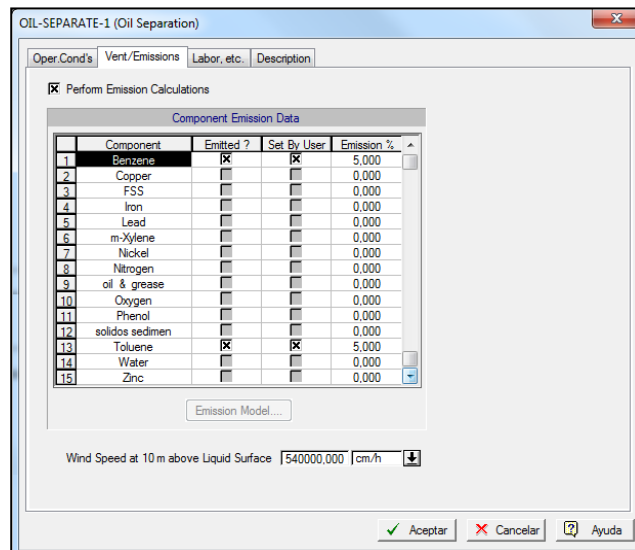


Figura (C.11) % de remoción de COVs del separador API para el tratamiento primario de aguas residuales.



Anexo C. Simulación del tratamiento primario de aguas residuales.



Una vez realizada la simulación del separador API podemos observar a continuación la reducción de las concentraciones obtenidas en las corrientes de salida del equipo (véase la figura A.12, A.13 y A.14) en base al % de remoción asignado a los componentes mencionados anteriormente (véase la figura A.12, A.13 y A.14).

The screenshot shows a software window titled "Stream 4 (API --> OUTPUT)". It has tabs for "Composition, etc.", "Physical State", "Env. Properties", and "Comments". The "Stream Contents" section has radio buttons for "Total" (selected), "Liquid/Solid", and "Vapor". Below this is a "Composition Data" table with the following data:

Component	Flowrate (kg/day)	Mass Comp. (ppm)	Concentration (mg/L)	Extra-Cell (%)
1 Benzene	0,25589	483719,6122	415386,623288	100,00
2 Toluene	0,27311	516280,3878	443347,678105	100,00

Below the table, there are fields for "Total Flowrates": Mass Flow (0,529 kg/day) and Volumetric Flow (0,004 o-barrel/day). To the right, Temperature is 35,00 °C and Pressure is 1,000 atm. At the bottom, there are unit selection dropdowns for Mass (kg), Vol. (o-barrel), Composition (ppm), and Conc. (mg/L). There are also radio buttons for "Time Reference for Flows" (Batch, Steady Cycle, Discharge Cycle, Time Average) and a "Time Average" dropdown set to "day". Buttons for "Aceptar", "Cancelar", and "Ayuda" are at the bottom right.

Figura (C.12) caracterización de la corriente de salida no. 4 (COVs) del separador API para el tratamiento primario de aguas residuales.



Anexo C. Simulación del tratamiento primario de aguas residuales.



Stream 5 (API --> OUTPUT)

Composition, etc. Physical State Env. Properties Comments

Stream Contents Total Liquid/Solid Vapor

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/day)	Mass Comp. (ppm)	Concentration (mg/L)	Extra-Cell (%)
1	Benzene	0.00022	0.6175	0.611933	100.00
2	Copper	0.00000	0.0002	0.000189	100.00
3	FSS	7.20027	19812.7574	19635.616648	100.00
4	Iron	0.00005	0.1400	0.138724	100.00
5	Lead	0.00000	0.0002	0.000211	100.00
6	m-Xylene	0.00001	0.0375	0.037141	100.00
7	Nickel	0.00000	0.0002	0.000175	100.00
8	oil & grease	319.87421	880187.3039	872317.775852	100.00
9	Phenol	0.00004	0.1223	0.121224	100.00
10	solidos sedimen	0.00000	0.0122	0.012119	100.00
11	Toluene	0.00024	0.6590	0.653124	100.00
12	Water	36.34101	99998.3465	99104.287078	100.00
13	Zinc	0.00000	0.0031	0.003099	100.00

Total Flowrates

Mass Flow | 363.416 | kg/day

Volumetric Flow | 2.306 | o-barrel/day

Temperature | 35.00 | °C

Pressure | 1.000 | atm

Units Mass | kg | Vol. | L | Composition | ppm | Conc. | mg/L

Time Reference for Flows Batch Source Cycle Destination Cycle Time Average | day

✓ Aceptar ✗ Cancelar ? Ayuda

Figura (C.13) caracterización de la corriente de salida no.5 (grasas & aceites) del separador API para el tratamiento primario de aguas residuales.

Stream 6 (API --> CPI)

Composition, etc. Physical State Env. Properties Comments

Stream Contents Total Liquid/Solid Vapor

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/day)	Mass Comp. (ppm)	Concentration (mg/L)	Extra-Cell (%)
1	Benzene	4.86167	6.1738	6.118624	100.00
2	Copper	0.00150	0.0019	0.001893	100.00
3	FSS	10.80041	13.7154	13.592790	100.00
4	Iron	1.10213	1.3996	1.387078	100.00
5	Lead	0.00168	0.0021	0.002113	100.00
6	m-Xylene	0.29508	0.3747	0.371371	100.00
7	Nickel	0.00139	0.0018	0.001753	100.00
8	oil & grease	79.96855	101.5519	100.643917	100.00
9	Phenol	0.96310	1.2230	1.212099	100.00
10	solidos sedimen	0.09629	0.1223	0.121180	100.00
11	Toluene	5.18852	6.5894	6.530489	100.00
12	Water	787361.33726	999868.8127	990928.635974	100.00

Total Flowrates

Mass Flow | 787464.643 | kg/day

Volumetric Flow | 4997.630 | o-barrel/day

Temperature | 35.00 | °C

Pressure | 1.000 | atm

Units Mass | kg | Vol. | o-barrel | Composition | ppm | Conc. | mg/L

Time Reference for Flows Batch Source Cycle Destination Cycle Time Average | day

✓ Aceptar ✗ Cancelar ? Ayuda

Figura (C.14) caracterización de la corriente de salida no.6 (efluente) del separador API para el tratamiento primario de aguas residuales.



Anexo C. Simulación del tratamiento primario de aguas residuales.



Ahora bien, procedemos a integrar el separador de placas coalescentes con la finalidad de realizar una segunda remoción de menor tamaño de partícula de 30 micrones y mayores que no fueron removidos en el API. De grasas & aceites libres el 85 %, lodos aceitosos el 5 % y compuestos orgánicos volátiles (benceno, xileno y tolueno) el 5 %.

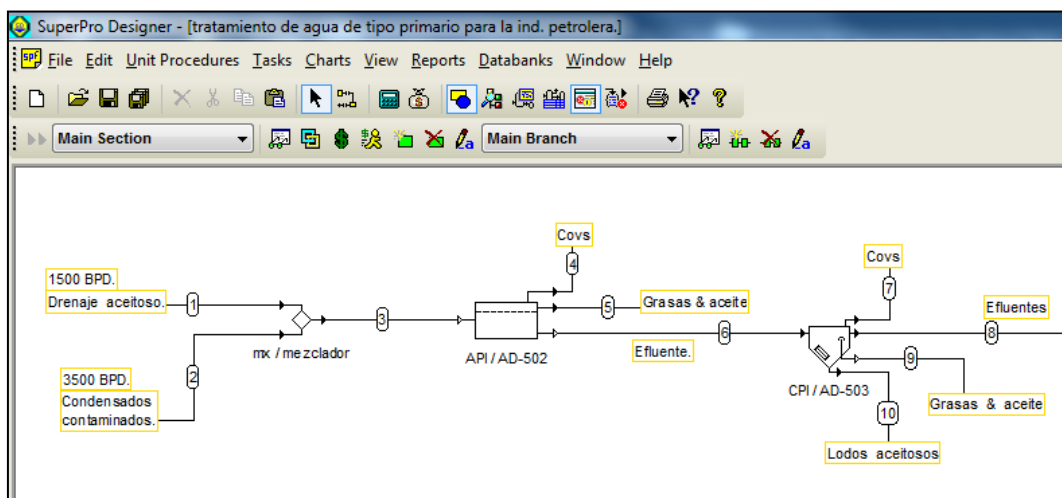


Figura (C.15) separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales.

Para realizar la simulación del separador de placas coalescentes debemos asignar las condiciones de operación necesarias como la densidad y viscosidad del agua, densidad y diámetro de la partícula de aceite para su buen funcionamiento, como a continuación se muestran en la figura A.16. Así también los porcentajes de remoción de grasas & aceites, lodos aceitosos y los compuestos orgánicos volátiles (véase en la figura A.17 y A.18).

The screenshot shows the 'CLARIFY-1 (IP Clarification)' window with the following settings:

- Design:** Design For Oil And Solids Removal (selected)
- Design Oil Globule Data:** Min Diameter: 30.00 microns, Density: 0.920 g/cm³
- Design Solid Particle Data:** Min Diameter: 100.00 microns, Density: 1.030 g/cm³
- Water Component Data:** Density: 0.994 g/cm³, Viscosity: 0.719 cP
- Turbulence Factor:** Calculated (selected)
- Power Consumption:** Power Type: Std Power, Power: 0.0000
- Operational Parameters:** Rise Velocity: 72.69 cm/h, Design Velocity: 72.69 cm/h, Settling Velocity: 98.24 cm/h, Solids Loading: 2.87 kg/m²-day

Figura (C.16) condiciones de operación del separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales.

The screenshot shows the 'CLARIFY-1 (IP Clarification)' window with the 'Particulate Removal in the Sludge' section. The 'Component Removal %' is set to 'Set by User'. The table below shows the removal percentages for various components:

Component	Oil Components Removal %	Solid Components Removal %
6 m-Xylene	0.00	0.00
7 Nickel	0.00	0.00
8 Nitrogen	0.00	0.00
9 oil & grease	5.00	85.00
10 Oxygen	0.00	0.00
11 Phenol	0.00	0.00
12 sulfuric acid/mer	0.00	0.00

Additional settings at the bottom of the window:

- Oil Concentration in Oil Stream: 15000.000 mg/L
- Solids Concentration in Sludge Stream: 15000.000 mg/L

Figura (C.17) % de remoción de grasas & aceite del separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales.

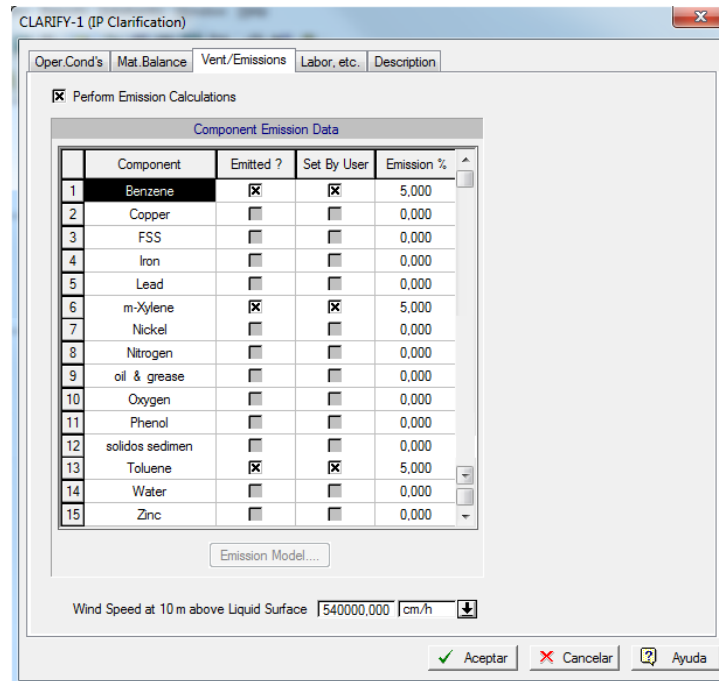


Figura (C.18) % de remoción de COVs del separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales.

Una vez realizada la simulación del separador de placas coalescentes que integra el tratamiento primario de aguas residuales podemos observar a continuación la disminución de las concentraciones obtenidas en las corrientes de salida del equipo (véase la figura A.19, A.20, A.21 y A.22) en base al % de remoción asignado a los componentes anteriormente. Ver la figura A17 y A.18.

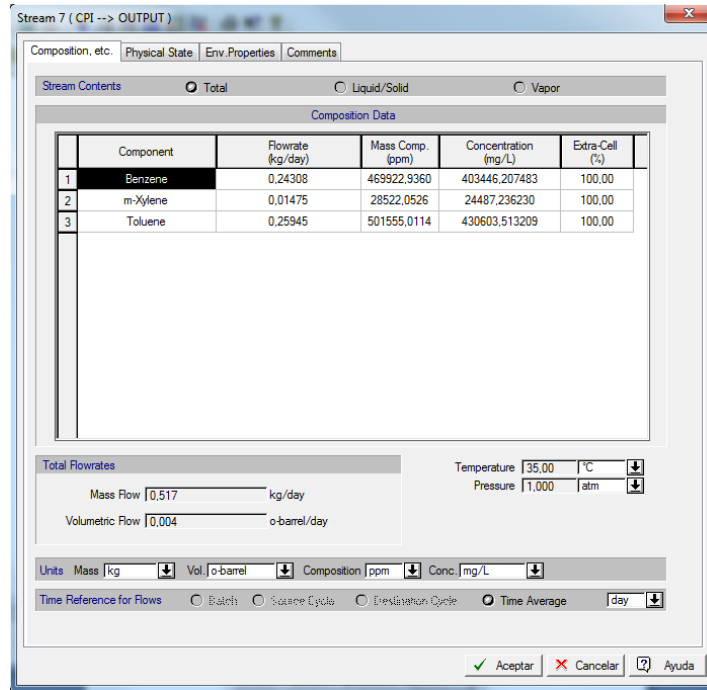


Figura (C.19) caracterización de la corriente de salida no.7 (COVs) del separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales.

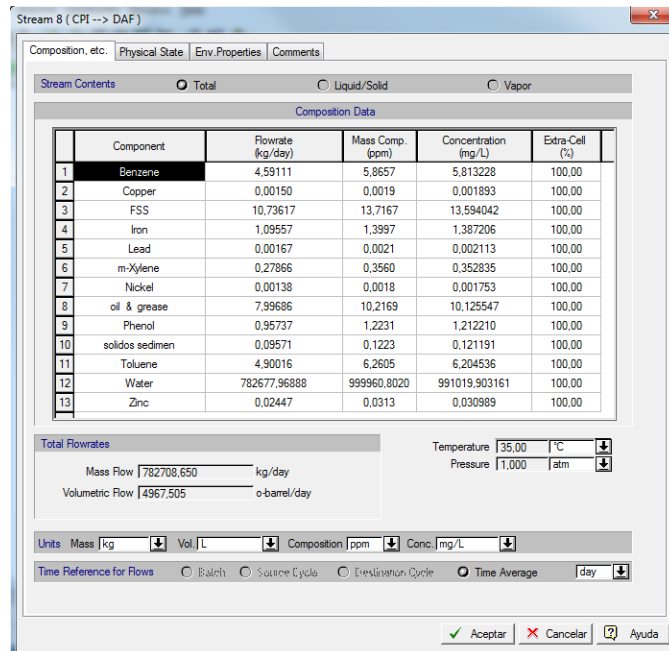


Figura (C.20) caracterización de la corriente de salida no.8 (efluente) del separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales.

Stream 9 (CPI --> OUTPUT)

Composition, etc. | Physical State | Env. Properties | Comments

Stream Contents: Total Liquid/Solid Vapor

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/day)	Mass Comp. (ppm)	Concentration (mg/L)	Extra-Cell (%)
1	Benzene	0.02595	5,7770	5,725306	100,00
2	Copper	0.00001	0,0019	0,001864	100,00
3	FSS	0.06067	13,5092	13,388440	100,00
4	Iron	0.00619	1,3786	1,366225	100,00
5	Lead	0.00001	0,0021	0,002081	100,00
6	m-Xylene	0.00157	0,3506	0,347498	100,00
7	Nickel	0.00001	0,0017	0,001726	100,00
8	oil & grease	67,97327	15134,4892	14999,168117	100,00
9	Phenol	0.00541	1,2046	1,193876	100,00
10	solidos sedimen	0.00054	0,1204	0,119358	100,00
11	Toluene	0.02769	6,1658	6,110696	100,00
12	Water	4423,18125	984836,9680	976031,303681	100,00
13	Zinc	0.00014	0,0308	0,030520	100,00

Total Flowrates

Mass Flow | 4491,283 | kg/day

Volumetric Flow | 28,504 | o-barrel/day

Temperature | 35,00 | °C

Pressure | 1,000 | atm

Units: Mass | kg | Vol. | o-barrel | Composition | ppm | Conc. | mg/L

Time Reference for Flows: Batch Source Cycle Destination Cycle Time Average | day

✓ Aceptar ✗ Cancelar ? Ayuda

Figura (C.21) caracterización de la corriente de salida no.9 (grasas & aceites) del separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales.

Stream 10 (CPI --> OUTPUT)

Composition, etc. | Physical State | Env. Properties | Comments

Stream Contents: Total Liquid/Solid Vapor

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/day)	Mass Comp. (ppm)	Concentration (mg/L)	Extra-Cell (%)
1	Benzene	0.00153	5,7770	5,725306	100,00
2	Copper	0.00000	0,0019	0,001864	100,00
3	FSS	0.00357	13,5092	13,388440	100,00
4	Iron	0.00036	1,3786	1,366225	100,00
5	Lead	0.00000	0,0021	0,002081	100,00
6	m-Xylene	0.00009	0,3506	0,347498	100,00
7	Nickel	0.00000	0,0017	0,001726	100,00
8	oil & grease	3,99843	15134,4892	14999,168117	100,00
9	Phenol	0.00032	1,2046	1,193876	100,00
10	solidos sedimen	0.00003	0,1204	0,119358	100,00
11	Toluene	0.00163	6,1658	6,110696	100,00
12	Water	260,18713	984836,9680	976031,303681	100,00
13	Zinc	0.00001	0,0308	0,030520	100,00

Total Flowrates

Mass Flow | 264,193 | kg/day

Volumetric Flow | 1,677 | o-barrel/day

Temperature | 35,00 | °C

Pressure | 1,000 | atm

Units: Mass | kg | Vol. | o-barrel | Composition | ppm | Conc. | mg/L

Time Reference for Flows: Batch Source Cycle Destination Cycle Time Average | day

✓ Aceptar ✗ Cancelar ? Ayuda

Figura (C.22) caracterización de la corriente de salida no.10 (lodos) del separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales.

Una vez removidas las grasas & aceites libres por los equipos API y CPI, una vez más se realizó una tercera remoción para eliminar las grasas & aceites disueltos y emulsionados presentes en el efluente que afectan por consiguiente el tratamiento secundario de aguas residuales. La remoción se efectuara por medio del separador por flotación de aire (DAF).

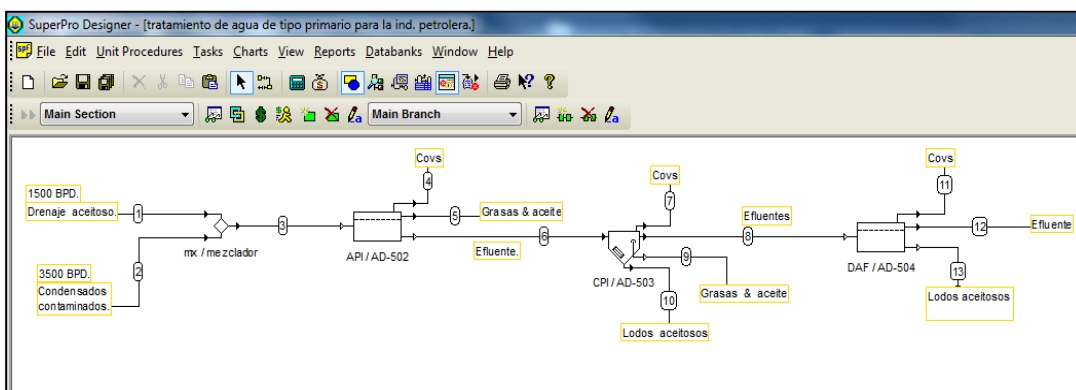


Figura (C.23) separador de placas coalescentes para el tratamiento primario de aguas residuales.

Para realizar la simulación del separador por flotación de aire debemos asignar las condiciones de operación necesarias para su buen funcionamiento como son: los datos de aeración, presión y viscosidad del líquido. Así también los porcentajes de remoción de cobre, sólidos suspendidos totales, hierro, níquel, plomo, grasas & aceites y zinc como se muestran en la figura A.24 y compuestos orgánicos volátiles (benceno, xileno y tolueno) véase figura A.25.

Separation Efficiency

Component	Flotation %
Benzene	0.00
Copper	60.00
FSS	80.00
Iron	80.00
Lead	80.00
m-Xylene	0.00
Nickel	80.00
Nitrogen	0.00
oil & grease	90.00
Oxygen	0.00
Phenol	0.00
solidos sedimen	0.00
Toluene	0.00
Water	0.00
Zinc	80.00

Particulate Concentration In Sludge: 40000.000 mg/L

Total Surface Loading Rate (including recycle): 479.167 L/m²h

Detention Time: 375.652 min

Pressure / Recycle Ratio

Without Recycle

With Recycle

Absolute Pressure: 3.671 atm

Recycle Ratio: 1.00 %

Aeration Data

Air to Solid Ratio: 0.01 m³/kg

Air Solubility: 0.02 mL/L

Saturation Level: 50.00 %

Air Requirement per Flotation Unit: 0.00 m³/s

Solids Loading: 0.01 kg/m²h

Liquid Viscosity: 0.719 cP

Figura (C.24) condiciones de operación y % de remoción del separador por flotación de aire para el tratamiento primario de aguas residuales.

Perform Emission Calculations

Component Emission Data

	Component	Emitted ?	Set By User	Emission %
1	Benzene	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5.000
2	Copper	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000
3	FSS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000
4	Iron	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000
5	Lead	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000
6	m-Xylene	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5.000
7	Nickel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000
8	Nitrogen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000
9	oil & grease	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000
10	Oxygen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000
11	Phenol	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000
12	solidos sedimen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000
13	Toluene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000
14	Water	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5.000
15	Zinc	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.000

Emission Model...

Wind Speed at 10 m above Liquid Surface: 540000.000 cm/h

Figura (C.25) % de remoción de COVs del separador por flotación de aire para el tratamiento primario de aguas residuales.



Anexo C. Simulación del tratamiento primario de aguas residuales.



Una vez realizada la simulación del separador por flotación de aire que integra el tratamiento primario de aguas residuales podemos observar a continuación la disminución de las concentraciones obtenidas en las corrientes de salida del equipo (véase la figura A.26, A.27 y A.28) en base al % de remoción asignado a los componentes anteriormente. Ver la figura A.24 y A.25.

Stream 11 (DAF --> OUTPUT)

Composition, etc. Physical State Env. Properties Comments

Stream Contents Total Liquid/Solid Vapor

Composition Data

Component	Flowrate (kg/day)	Mass Comp. (ppm)	Concentration (mg/L)	Extra-Cell (%)
1 Benzene	0.22956	5.8659	5.813418	100.00
2 m-Xylene	0.01393	0.3560	0.352846	100.00
3 Water	39133.89844	999993.7781	991052.238331	100.00

Total Flowrates

Mass Flow 39134.142 kg/day

Volumetric Flow 248.367 o-barrel/day

Temperature 35.00 °C

Pressure 1.000 atm

Units Mass kg Vol. o-barrel Composition ppm Conc. mg/L

Time Reference for Flows Batch Source Cycle Destination Cycle Time Average day

Aceptar Cancelar Ayuda

Figura (C.26) caracterización de la corriente de salida no.11 (COVs) del separador por flotación de aire para el tratamiento primario de aguas residuales.



Anexo C. Simulación del tratamiento primario de aguas residuales.



Stream 12 (DAF --> OUTPUT)

Composition, etc. | Physical State | Env. Properties | Comments

Stream Contents Total Liquid/Solid Vapor

Composition Data

Component	Flowrate (kg/day)	Mass Comp. (ppm)	Concentration (mg/L)	Extra-Cell (%)
1 Benzene	0.00233	5.6295	5.589861	100.00
2 Copper	0.00090	2.1657	2.150403	100.00
3 FSS	8.58894	20736.2951	20590.198423	100.00
4 Iron	0.87646	2116.0382	2101.129791	100.00
5 Lead	0.00134	3.2237	3.200951	100.00
6 m-Xylene	0.00014	0.3417	0.339278	100.00
7 Nickel	0.00111	2.6737	2.654819	100.00
8 oil & grease	7.19717	17376.1513	17253.728417	100.00
9 Phenol	0.00051	1.2357	1.226981	100.00
10 solidos sedimen	0.00005	0.1235	0.122668	100.00
11 Toluene	0.00262	6.3247	6.280140	100.00
12 Water	397,50701	959702.5270	952940.984541	100.00
13 Zinc	0.01958	47.2702	46.937196	100.00

Total Flowrates

Mass Flow [414.198] kg/day

Volumetric Flow [2.624] o-barrel/day

Temperature [35.00] °C

Pressure [1.000] atm

Units Mass [kg] Vol. [o-barrel] Composition [ppm] Conc. [mg/L]

Time Reference for Flows Batch Source Cycle Discharge Cycle Time Average [day]

Aceptar Cancelar Ayuda

Figura (C.27) caracterización de la corriente de salida no.12 (grasas & aceites) del separador por flotación de aire para el tratamiento primario de aguas residuales.

Stream 13 (DAF --> OUTPUT)

Composition, etc. | Physical State | Env. Properties | Comments

Stream Contents Total Liquid/Solid Vapor

Composition Data

Component	Flowrate (kg/day)	Mass Comp. (ppm)	Concentration (mg/L)	Extra-Cell (%)
1 Benzene	4.35923	5.8658	5.813342	100.00
2 Copper	0.00060	0.0008	0.000797	100.00
3 FSS	2.14723	2.8893	2.863491	100.00
4 Iron	0.21911	0.2948	0.292205	100.00
5 Lead	0.00033	0.0004	0.000445	100.00
6 m-Xylene	0.26458	0.3560	0.352842	100.00
7 Nickel	0.00028	0.0004	0.000369	100.00
8 oil & grease	0.79969	1.0761	1.066438	100.00
9 Phenol	0.95686	1.2875	1.276036	100.00
10 solidos sedimen	0.09566	0.1287	0.127572	100.00
11 Toluene	4.89754	6.5901	6.531218	100.00
12 Water	743146.56342	999981.5033	991039.383050	100.00
13 Zinc	0.00489	0.0066	0.006528	100.00

Total Flowrates

Mass Flow [743160.309] kg/day

Volumetric Flow [4716.514] o-barrel/day

Temperature [35.00] °C

Pressure [1.000] atm

Units Mass [kg] Vol. [o-barrel] Composition [ppm] Conc. [mg/L]

Time Reference for Flows Batch Source Cycle Discharge Cycle Time Average [day]

Aceptar Cancelar Ayuda

Figura (C.28) caracterización de la corriente de salida no.13 (efluente) del separador para el tratamiento primario de aguas residuales.



Anexo C. Simulación del tratamiento primario de aguas residuales.



De esta manera se lleva a cabo el procedimiento del tratamiento primario para las aguas residuales de la industria petrolera. Esta simulación fue realizada con ayuda del software comercial “*superpro designer V8.5*”.



- 1.- Ramos Castillo Pedro, *“Uso eficiente y sustentable de los recursos naturales”*, Ediciones universidad de salamanca, primera edición, 2007.
2. - Mara, D.D. & Cairncross, S., *“Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture”*, Ginebra, (1989).
- 3.-Mendonca, S.R. *“Tópicos Avanzados en Sistemas de Esgotos Sanitarios”*, Rio de Janeiro, 1987.
- 4.- Carlos A. Chávez y Pacho, *“Planta de tratamiento de aguas residuales: importancia e impacto ecológico en el desarrollo integral”*, Universidad de Texas.
- 5.- GRUPO TAR, *“Características De Las Aguas Residuales”*, Tar Innova, Tecnología Ambiental, Escuela Universitaria Politécnica De Sevilla.
- 6.- Paolo Bifani, *“Medio Ambiente Y Desarrollo Sostenible”*, Madrid: Instituto De Estudios Políticos Para America Latina Y Africa (IEPALA), Cuarta Edición, 1999.
- 7.- Clementina R. Ramírez cortina, *“Tratamiento de aguas residuales industriales”*, Universidad autónoma metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Colección. Libro de texto 1992, Págs. 204
- 8.- Janet Nápoles Álvarez¹, Areli Avalos Rodriguez¹, Norma Pérez Pompa², Alina Marañón Reyes², Eleazar Díaz Franco³; *“Impacto Ambiental De La Industria Petrolera De Santiago De Cuba, Caracterización”*, Centro De Estudios De Biotecnología Industrial (CEBI); Universidad De Oriente, Facultad De Ciencias Naturales, Refinería De Petróleo “ Hermanos Díaz”, Santiago De Cuba.
- 9.- Nelson L. Nemerow *“Aguas Residuales Industriales. Teorías, Aplicaciones Y Tratamiento”*, Editorial H. Blume, Pág.Gs.572.
- 10.- Cesar G. Calderón Mólgora, *“Identificación Y Descripción De Sistemas Primarios Para El Tratamiento De Aguas Residuales”*, Comisión Nacional De Agua, CNA , Instituto Mexicano De Tecnología Del Agua ,IMTA, Pág. 46.
- 11.- Mariano Seáñez Calvo, *“Ingeniería Del Medio Ambiente Aplicada Al Medio Natural Continental”*. Editorial Mundi-Prensa, Segunda Edición, , 1999, Pág. 702.
- 12.- Xavier Doméne, José Peral, *“Química Ambiental De Sistemas Terrestres”*, Editorial Reverte, 2006.Pág. 229.



- 13.- Sociedad Española De Ciencias Forestales, Grupo Mundi-Prensa, *"Diccionario Forestal"*, (SECF), Editorial Aeros, pág. 1317.
- 14.- Quiroz Ruiz Hans Ramón, *"Microbiología Acuática"*, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, 2012. Pás. 25
- 15.- Bureau Veritas Formación, *"Manual Para La Formación En Medio Ambiente"*, Editorial Lex Nova, Primera Edición, 2008, Pág. 807.
- 16.- Tebbutt, T.H.Y, *"Fundamentos De Control De Agua"*, Editorial Limusa México, 1990 Pág.239
- 17.- Ing. Ricardo Rojas, *"Sistemas De Tratamiento De Aguas Residuales"*, Centro Panamericano De Ingeniería Sanitaria Y Ciencias Del Ambiente, Organización Panamericana De La Salud, Organización Mundial De La Salud, 2002, Pág. 19.
- 18.- Villalobos Navarro María Magdalena, *"Remoción Del Aceite Emulsionado En Aguas Residuales De Refinerías Mediante Su Estabilización Y Flotación Con Aire Disuelto"* Tesis, UNAM, 2005.
19. - American Petroleum Institute (API), *"Monographs On Refinery Environmental Control-Management of Water Discharges: Design and Operation of Oil-Water Separators"*, Primera Edición.
20. - Water Smart Environmental, Inc *"Particle/Liquid Separation Systems. Featuring Inclined Corrugated Plates, For Treatment of Process Water, Potable Water & Wastewater"*, Kansas, Pag. 55
21. - www.wplinternational.com, *"Sewage and Wastewater Treatment, Rainwater Harvesting and Grease Management Systems"*, wpl International.
22. - www.panamenv.com, *"Oil Water Separators"*, Pan America Environmental.
- 23.- Néstor Julio Fraume Restrepo, *"Diccionario Ambiental/ Ecología Y Medio Ambiente"*, Editorial ECOE Ediciones, 2007, pág.465.
- 24.- www.aguamarket.com, *"Remoción De Aceite"*, Aguamarket.
- 25.- www.tratamientosdelaguaydepuracion.es/pretratamientos-aguas-residuales.html, *"Petratamiento De Aguas Residuales" Aguas Del Mare Nostrum.*



26. www.seniat.gob. "Glosario", Servicio Integrado De Administración Aduanera Y Tributaria.
- 27.- Henry, J. Glynn Heinke. Gary W. "*Ingeniería Ambiental*", Editorial Prentice Hall Mexico, 1999.
28. <http://diccionario.motorgiga.com>, "Aire Comprimido".
29. - W. H. Freeman And Company, "*Chemistry an Experimental Science*", Universidad De Oviedo. Editorial Reverte, 1987 . Pág. 510.
- 30.- <http://www.waterxpert.net>, "Aguas Residuales", Waterxpert.
- 31.- Arturo Rodríguez Salinas. Ana Cordiova Y Vázquez, "Manual De Compostaje Municipal", 2006. Primera Edición, Pág.102.
- 32.- <http://www.ecured.cu>, "L .residuales", A.D. líquidos
- 33.- Guadalupe De La Lanza Espino. Carlos Cáceres Martínez. Salvador Ademe Martínez. Salvador Hernández Pulido. De La Lanza E., G., C. Cáceres M., S. Adame M. Y S. Hernández P, "*Diccionario De Hidrología Y Ciencias Afines*", (1999), UNAM, México.
34. - Gillespie Humphreys, Baird Robinson, "*Chemistry*", Editorial Reverte, 1990, Pag. 1145
- 35.- James H. Gary, "*Refino Del Petróleo, Tecnología Y Economía*", Editorial Reverte, 1980. Pag. 392.
- 36.- Patrick Vaughan, Richard H. Morrow, "*Salud Comunitaria*" ,Editorial Pax México, Primera Edición, 1997, Pag.29.
- 37.- Mateos, R.M y González Casanova, "*Los Caminos Del Agua En Las Islas Baleares, Acuíferos Y Manantiales*", Conselleria De Medio Ambiente Del Govern De Les Illes Balears, 2009 Pag. 280.
- 38.- J. Costa López, S. Cervera March, "*Curso De Ingeniería Química. Introducción A Los Procesos, Las Operaciones Unitarias Y Los Fenómenos De Transporte*", Editorial Reverte, 1991. Pag.456.
- 39.- <http://www.fio.unicen.edu.ar>, "*Materiales Efluentes*", Unicen.



- 40.-Walter J. Weber, Jr. *“Control De La Calidad Del Agua Procesos Físicoquímicos”*, Editorial Reverte, 1979, Págs. 680.
- 41.- Robert L. Mott, *“Mecánica De Fluidos”*, Editorial Pearson, sexta Edición, 2006, Pag. 647
- 42.- J. Glynn Henry Y Gary W. Heinke, *“Ingeniería Ambiental”*, Editorial Pearson Educación, Segunda Edición, 1999. Pág.800
- 43.- Gutiérrez Barba Herrera Colmenero , *“La Ingeniería Ambiental En México”*, Editorial Limusa, 2001. Primera Edición, Pág. 93
- 44.-www.Osman.Es, *“Observatorio De Salud Y Medio Ambiente De De Anda Lucía”*, Ingeniería sanitaria.
- 45.- J. Happel. D.G.Jordan, *“Economía De Los Procesos Químicos”*, Editorial Reverte, 1981. Pag: 480
- 46.-Jiménez Cisneros Blanca Elena, *“La Contaminación Ambiental En México: Causa, Efectos y Tecnología Apropiaada”*, editorial Limusa, Colegio De Ingenieros Ambientales De México, 2001. Pág. 926.
- 47.-<http://depuraciondelagua.com>, *“Separadores De Grasas”*.
- 48.- Skoog Douglas A. West, Donald M. James, *“Fundamentos De Química Analítica”*, Editorial Reverte, 1996, Cuarta Edición. Pag. 472.
- 49.- Aguilar, M.L. Sáez, J. Llorens, M. Soler, A. Ortuño, J.F, *“Tratamiento Físico-químico De Aguas Residuales. Coagulación-Floculación”*, Universidad De Murcia, 2002, Pag. 202.
- 50.- S. Burbano De Ercilla. E. Burbano García. C.Gracia Muñoz, *“Física General”*, Treinta Y Dos Edición, Editorial Tebar, 2003, Pág. 800.
- 51.- Ramón Sans Frofria, *“Ingeniería Ambiental: Contaminación Y Tratamientos”*, Editorial Marcocombo, 1999, Pás.14.
52. - Choong Hee Rhee, Senior Engineer Paul C. Martyn, *“Removal of Oil And Grease In Oil Processing Wastewaters”*, Industrial Waste Section, Pág. 15.
53. - NOM-001-SEMARNAT-1996. *“Límites Máximos Permisibles De Contaminantes En Las Descargas De Aguas Residuales En Aguas Y Bienes Nacionales”*, 1997, Pag.35



Bibliografía.



- 54.-Carlos Fortino Cortina Domínguez, *“Alternativa De Tratamiento De Aguas Residuales De La Industria Textil”*, Tesis, IPN, 2005.
- 55.- *Declaratoria de clasificación del río Coatzacoalcos, sus efluentes* (rio calzadas, arroyo gopalapa y arroyo teapa) y laguna pajaritos. (Declaratoria publicada en el diario oficial de la federación el 6 de febrero del 2008).
56. – NOM – 004 – SEMARNAT - 2002. Protección ambiental.- lodos y biosolidos.- especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
57. – Juan Antonio Sainz Sastre, *Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales*, colección EOI medio ambiente, Madrid,2005.