

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETROLEO,
GAS NATURAL Y PETROQUIMICA**



**“TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL
DE AGUAS DE PRODUCCION EN EL
NOR – OESTE PERUANO”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE PETROLEO**

ELABORADO POR:

ROLANDO LUCIO GOMEZ ANGELES

**PROMOCION 1991 – I
LIMA – PERÚ**

Digitalizado por:

2011

INDICE		PAG.
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ANTECEDENTES	3
3.	OBJETIVO	4
4.	FORMULACION DE HIPOTESIS	4
5.	MARCO TEORICO	5
5..1	UBICACIÓN GEÓGRAFICA	5
5..2	ASPECTOS LEGALES EXISTENTES RELATIVOS A LAS DESCARGAS DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA DE PETRÓLEO	6
5.2.1	LA LEY GENERAL DE AGUAS. DECRETO LEY 17752	6
5.2.2	LEY ORGÁNICA DE HIDROCARBUROS, LEY 26221	7
5.2.2.1	DECRETO SUPREMO N° 015 - 2006 EM	7
5.2.2.2	RESOLUCIÓN DIRECTORIAL N° 030-96-EM/DGAA	8
5.2.3	CÓDIGO DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES - DECRETO LEGISLATIVO NO 613 (08/09/90).	8
5.2.4	EL CÓDIGO SANITARIO, DECRETO LEY 1705	9
6.	PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO Y FLUIDOS ASOCIADO	10
6..1	MECANISMO DE PRODUCCIÓN	10
6..2	SISTEMA DE RECOLECCIÓN DEL PETRÓLEO	11
7.	AGUA DE FORMACIÓN ASOCIADA A LA PRODUCCIÓN DEL PETRÓLEO	12
7..1	AGUA DE FORMACIÓN	12
7..2	COMPOSICIÓN DEL AGUA DE FORMACIÓN	12
7..3	PROCESO DE SEPARACIÓN DEL AGUA SALADA DEL PETRÓLEO	15
7..4	SUBPRODUCTOS GENERADOS EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DEL AGUA SALADA DEL PETRÓLEO	17

8.	RECONOCIMIENTO DEL ÁREA DE ESTUDIO	18
9.	MONITOREO	19
9..1	SELECCIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO	19
9..2	PARÁMETROS DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUA	20
9..3	CLASIFICACIÓN DEL CURSO HÍDRICO DE ACUERDO A LEY GENERAL DE AGUAS	24
9..4	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES	25
9..5	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL AGUA DE PRODUCCIÓN	26
10.	EFFECTOS DE LAS DESCARGAS EN EL AMBIENTE	27
10..1	EFFECTOS EN LA CALIDAD DE AGUA	27
10..2	EFFECTOS EN LA FLORA Y FAUNA	27
11.	TRATAMIENTO DEL AGUA DE PRODUCCIÓN	28
11..1	TRATAMIENTO PRIMARIO	28
11..1.1	SEPARADORES DE ACEITE - GRASA Y SEDIMENTADORES	29
11..1.2	SISTEMA DE FLOTACIÓN	37
11..1.3	PROCESOS QUÍMICOS	41
11..2	TRATAMIENTO SECUNDARIO	50
11..2.1	MÉTODOS BIOLÓGICOS	51
11..3	TRATAMIENTO TERCARIO O AVANZADO	59
12.	DISPOSICIÓN DE AGUA DE PRODUCCIÓN	64
12..1	MÉTODOS DE DISPOSICIÓN DE AGUA DE PRODUCCIÓN	64
12..2	DISPOSICIÓN DE AGUA DE FORMACIÓN PROPUESTO EN EL NOROESTE PERUANO	65
12..2.1	DESCARGA CONTROLADA A LA QUEBRADA SECA	66
12..2.2	LAGUNA DE EVAPORACIÓN	66

12.2.3 INYECCIÓN EN POZOS ABANDONADOS	67
13. CONSIDERACIONES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS APLICABLES AL ÁREA DE ESTUDIO	69
14. BENEFICIOS ECONÓMICOS EN EL TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES	72
15. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
16. BIBLIOGRAFÍA	75
17. ANEXOS	76

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años existe la preocupación mundial por estudiar las implicaciones de la contaminación cualitativa y cuantitativa. Averiguar sus causas, conocer sus efectos estimar las consecuencias para la humanidad y el ecosistema terrestre, la proyección del futuro de mantener las tendencias actuales etc. son noticias del día.

Ningún país puede escapar de la contaminación. El aire, el suelo, los ríos, el mar, etc. receptores de la última instancia de los contaminantes son propiedad de toda la humanidad y no de un solo país.

La actividad productiva mundial y dentro de ella la actividad industrial se ha desarrollado desde sus orígenes sin considerar las condiciones ambientales mínimas. Es recién en la última década que el hombre despierta la necesidad de protecciones ambientales, al descubrir que pueden tener retribución económica rentable. El reciclado, el reuso de desechos, se transforman así en una actividad productiva más. Sin embargo muchos desechos que no presenta mayor posibilidad de reuso son virtualmente abandonados a su suerte, para incomodidad, deterioro y el peor de los casos destrucción del medio ambiente.

El Perú en este campo, viene desarrollando acciones legislativas que permiten generar conciencia ambiental de respeto a nuestro entorno, mediante la educación y conciencia nacional, lo mismo que regula la actividad productiva y el desarrollo, buscando un equilibrio entre la utilización económico - social de sus recursos naturales y la protección de los mismos, para lograr el desarrollo sostenible.

La legislación nacional introduce recién principios ambientales, como son el principio de participación ciudadana, la obligación de desarrollar estudios de impacto ambiental, el sistema nacional del ambiente, y por primera vez la tipificación de delitos ecológicos y el principio de contaminador - pagador. Estas disposiciones han presionado a la mayoría de

industrias a la búsqueda de sistema de manejo y tratamiento de sus desechos. No obstante aun estamos en la primera etapa de adecuación, que por lo complicado de los medios para cumplir con los objetivos y la carencia de modelos y tecnología que puedan ser aplicadas a nuestra realidad. Termina siendo muchas veces mal entendidas, por juicios inexactos a la hora de superar el factor costo - beneficio de un control ambiental.

La actividad petrolera no escapa de la realidad, la tendencia actual más importante, es el del cumplimiento de las normas de vertido a fin de proteger el medio ambiente. La presente tesis enfatiza el sistema y tecnología de tratamiento y manejo del agua producida en la explotación de petróleo.

2. ANTECEDENTES

El Nor-Oeste Peruano es la región con más tradición petrolera en Latinoamérica. En esta zona, desde 1863, ya se estaba perforando pozos de petróleo con técnicas modernas para extraer petróleo. Hasta la fecha esta región tiene casi 150 años de historia petrolera y los pozos aún siguen produciendo y se sigue encontrando nuevos hallazgos tanto en tierra como en el mar, en estas áreas, los pozos suelen tener una producción de 50 a 80 barriles por día, sin embargo hay empresas que tienen producción de 600 a 700 barriles por día.

La actividad petrolera, produjo cambios ambientales en la zona, como aumento de la población, pérdidas del balance ecológico, uso de los recursos naturales, y contaminación del medio ambiente.

El Estado tuvo que intervenir con medidas correctivas, dando normas concretas sobre la protección ambiental que señalan las condiciones técnicas para el desarrollo de las actividades de hidrocarburo, a fin de reducir o minimizar los impactos ambientales que pudiera producirse.

En la actualidad la producción de petróleo cuenta con un sistema permanente de recolección y traslado del crudo hacia la refinería. Y están acompañados con un sistema de tratamiento de las aguas de producción.

3. OBJETIVO

El presente trabajo tiene como objetivo implementar acciones con el propósito de minimizar los problemas de contaminación ambiental, generadas por la producción de agua en la explotación de petróleo en el Nor-Oeste peruano (Talara)

4. FORMULACION DE HIPOTESIS

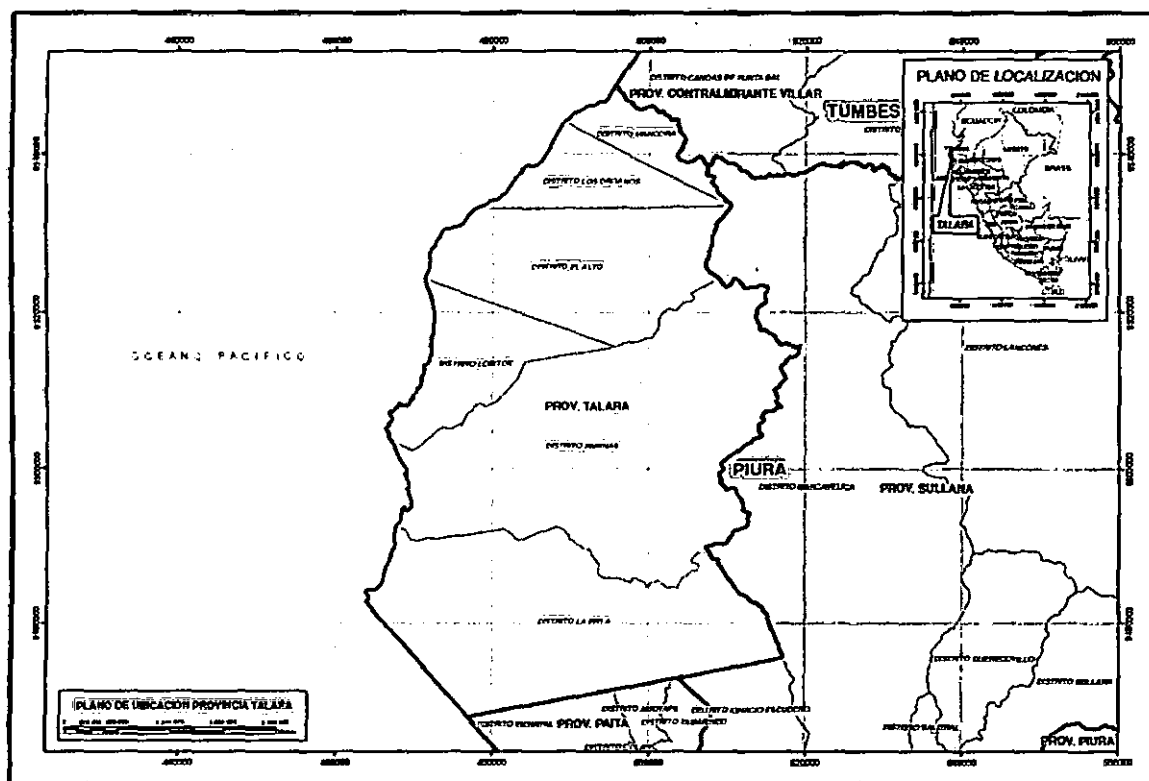
En la producción de petróleo en el Nor-Oeste del Perú la aplicación del control óptimo, monitoreo, tratamiento del agua de producción y su disposición final minimizará los contaminantes que tienen fuerte impacto ambiental, lo que producirá ahorros como consecuencia de cumplir lo ordenado por los organismo estatales y ahorros de gastos por remediación y/o tener que desplazar caseríos o cambios de localización de personas, grupos y empresas, a causa de aguas contaminadas por hidrocarburos, cumpliendo así con la legislación vigente sobre la materia.

5. MARCO TEORICO

5.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Los Yacimientos de Hidrocarburo del Nor-Oeste Peruano, ocupa una área aproximadamente 1'100,000 ha. De los cuales 300,000 Ha corresponden en tierra y 800,000 Ha corresponden al Zócalo Continental, las operaciones indicadas se encuentran ubicadas entre los departamentos de Piura y Tumbes, distante de 1100 Km. Al norte de Lima.

Figura 1 PLANO DE UBICACION



5.2 ASPECTOS LEGALES EXISTENTES RELATIVOS A LAS DESCARGAS DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA DE PETRÓLEO

La Constitución por su carácter de norma de mayor jerarquía, constituye el marco legal obligado de las regulaciones legales sobre medio ambiente y los recursos naturales.

En ella promueve la “La defensa de la persona humana y el respeto de su dignidad son el fin supremo de la sociedad y del Estado”, La norma postula el derecho de la persona de habitar en un medio ambiente saludable, lo que constituye una premisa específica dentro de los derechos genéricos que se reconoce a la persona humana de proteger su salud integral.

El deber de conservar el medio ambiente es también una modalidad de principio general, que obliga a los medios de la colectividad a participar en la promoción y defensa de su salud, la de su familia y de la comunidad.

La Constitución ha hecho caer en el Estado la función de evaluar y preservar los recursos naturales, fomentar su explotación racional y promover su industrialización para impulsar el desarrollo económico. Por ley orgánica se fijan las condiciones de su utilización y de su otorgamiento a particulares y conservación del medio ambiente.

En el marco legal del país desarrolla la materia legal sectorial siguiente:

5.2.1 LA LEY GENERAL DE AGUAS. DECRETO LEY 17752

Para todo tipo de vertimiento de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, esta ley es la que determina las obligaciones y sanciones.

Este decreto ley establece básicamente que todas las actividades de extracción de los recursos energéticos deben ser concordantes fundamentalmente con la

conservación y también con la preservación de la calidad de agua (título: I y II) Así mismo sugiere el uso ordenado y racional de las aguas para proyectos energéticos, industriales y mineros (cap. IV).

5.2.2 LEY ORGÁNICA DE HIDROCARBUROS, LEY 26221

Aprobada el 19 de agosto de 1993, en su artículo 87 dispuso que el Ministro de Energía y Minas elaborara el reglamento para quienes desarrollen actividades de hidrocarburos deben cumplir con las disposiciones sobre el medio ambiente.

5.2.2.1 DECRETO SUPREMO N° 015-2006-EM

REGLAMENTO PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL EN LAS ACTIVIDADES DE HIDROCARBUROS

Este reglamento tiene por objeto establecer las normas y disposiciones para regular en el territorio nacional la Gestión Ambiental de las actividades de exploración, explotación, refinación, procesamiento, transporte, comercialización, almacenamiento y distribución de hidrocarburos, durante su ciclo de vida, con el fin primordial de prevenir, controlar, mitigar, rehabilitar y remediar los impactos ambientales negativos derivados de tales actividades, para propender al desarrollo sostenible y de conformidad con el ordenamiento normativo ambiental.

En cuanto al tema del agua de producción, este reglamento:

Artículo 76°.- Establece que la disposición final se efectuará por reinyección. El método y sus características técnicas, así como la formación (reservorio) receptora, serán aprobados con el EIA correspondiente.

Artículo 77°.- se establecen las especificaciones para el sistema de reinyección.

Quinta disposición transitoria.- Señala que "la exigencia de la disposición final de agua de producción mediante el sistema de reinyección operará para los Yacimientos que a la fecha de expedición del presente Reglamento no se encuentran en producción, salvo que en los respectivos instrumentos de gestión ambiental se haya considerado la disposición del Agua de Producción mediante la reinyección, en cuyo caso operará esto último"

Nota.- Este D.S. Reemplaza al D.S. N° 046-93 EM

5.2.2.2 RESOLUCIÓN DIRECTORIAL N° 030-96-EM/DGAA

Aprueba los niveles máximos permisibles de efluentes líquidos para las actividades de explotación y comercialización de hidrocarburos líquidos, vigente desde el 04 de noviembre de 1996.

5.2.3 CÓDIGO DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES - DECRETO LEGISLATIVO NO 613 (08/09/90)

El Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (**CMARN**) es la norma que desarrolla y da contenido al derecho recogido en la constitución.

En alusión a la utilización de los recursos energéticos: el art. 73 del capítulo XIII dice textualmente: "La actividad energética, su infraestructura, así como el transporte, transformación, distribución, almacenamiento y utilización final de la energía debe ser realizada sin ocasionar contaminación del suelo, agua o aire". Debe emplearse las mejores tecnologías para impedir que los daños ambientales sean irreparables.

5.2.4 EL CÓDIGO SANITARIO, DECRETO LEY 1705

En el código sanitario se establece que el saneamiento ambiental comprende el control sanitario entre otros aspectos de aire, los ruidos, las aguas, las tierras y los desperdicios, así como el control de los productos químicos o físicos dañinos a la salud humana.

Los recursos deben ser conservados y preservados, no debiendo ser alterados sus condiciones naturales por causa externa que modifique sus propiedades con peligro para la salud pública.

El código además comprende diversas normas sobre la salud en el trabajo, de observación en todos los centros laborales.

6. PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO Y FLUIDOS ASOCIADOS

La producción del petróleo comienza tan pronto se perfora el pozo inicial de exploración y continúa a través del desarrollo del campo. La producción requiere que los fluidos ingresen al interior del pozo y puedan salir a la superficie, donde son procesados, separados y transportados al mercado.

A medida que la producción continúa, disminuye la presión del yacimiento en la vecindad inmediata de los pozos productores. Se produce movimiento del fluido dentro del yacimiento y se perturba el contacto petróleo - agua.

Si la tasa de disminución de la presión fuese infinitamente pequeña, se podría esperar el ascenso de la zona de contacto a una velocidad constante y de una forma uniforme. Lamentablemente la economía determina las tasas de producción, por lo tanto hay movimiento de fluidos en el yacimiento y los contactos de agua - petróleo cambian. Estos cambios varían desde un movimiento lento, relativamente parejo y constante, hasta la digitación y conificación del agua. Los movimientos del agua y de los contactos están en función de los parámetros del yacimiento.

El agua que se mueve en el yacimiento alcanzará llegar al pozo y comenzará a salir en la producción, y será separado del petróleo.

6.1. MECANISMO DE PRODUCCIÓN

Los reservorios del Nor-Oeste peruano constituyen fundamentalmente yacimientos de petróleo con gas disuelto y mecanismo de producción predominante en estos reservorios, es la impulsión por gas disuelto, combinada en algunos casos con pequeños casquetes gasíferos. No se ha detectado ningún caso de producción por impulsión de agua.

6.2. SISTEMA DE RECOLECCIÓN DEL PETRÓLEO

Los fluidos producidos en el cabezal del pozo son mezclas complejas de compuestos de hidrógeno y carbono, con densidades y presiones de vapor diferentes, y otras características. La corriente del pozo experimenta reducciones continuas de presión y temperatura cuando sale del yacimiento. Los gases se forman de los líquidos, el vapor del agua se condensa, y parte de la corriente del pozo se cambia de líquido a burbujas, neblina y gas libre. El gas lleva gotas líquidas y el líquido lleva burbujas de gas. La separación física de estas fases es una de las operaciones básicas de la producción, el procesamiento, y el tratamiento de petróleo y gas.

Los separadores pueden ser verticales y horizontales y son clasificados de la siguiente manera:

- De dos fases si separan gas de la corriente total de líquidos.
- De tres fases si separan el gas, petróleo y agua.

El agua libre es enviada hacia las pozas de recuperación API donde se recupera el crudo que está en forma de películas en el agua de producción.

El gas separado es enviado hacia un "scrubber" (separador donde se retira los líquidos del gas) y sale hacia la central eléctrica. El petróleo todavía con alto contenido de agua salada es enviado a los tanques de lavado (Gun Barrel), que consiste en hacer pasar a través de un colchón de agua, donde las gotas de agua salada presentes en el petróleo son atrapadas por la fase continua (agua). El petróleo pasa por un rebose a los tanques de almacenamiento, luego a los desaladores (eliminación de la emulsión de agua en petróleo), posteriormente a su almacenamiento y distribución. (Figura 2).

7. AGUA DE FORMACIÓN ASOCIADA A LA PRODUCCIÓN DEL PETRÓLEO

7.1. AGUA DE FORMACIÓN.- Es agua salada atrapada en los intersticios de los sedimentos durante la deposición de estos.

Por medio de estudios geofísicos se ha establecido que la composición de las aguas de mar o de los océanos ha cambiado poco con el tiempo geológico. No obstante, las aguas de formación resultan ser más salinas que la de mar entre 3 y 10 veces. El agua de mar contiene un promedio de 3.5 por ciento o 35 000 ppm de NaCl. Varias teorías se han presentado para explicar el aumento en la salinidad de las aguas de formación con el tiempo geológico. Una de las más aceptadas explica el proceso en términos de la evaporización de las moléculas de agua con el escape de los gases de la estructura geológica. Otra teoría se basa en la evaporación del agua debido al gradiente geotérmico de la tierra. Es posible que ambos procesos operen simultáneamente.

7.2. COMPOSICIÓN DEL AGUA DE FORMACIÓN

El agua producida contiene gran variedad de sales disueltas (como cationes y aniones), sólidos suspendidos, sólidos disueltos, contenido de petróleo, gases, compuestos orgánicos.

COMPONENTES IONICOS

CATIONES:

- **CALCIO.-** Los iones son un componente principal de la salmuera de yacimiento petrolífero. El ión calcio se combina fácilmente con bicarbonatos, carbonatos y sulfatos para formar precipitados insolubles.

- **MAGNESIO.-** Los iones se presentan solamente en bajas concentraciones y también forman incrustaciones. Normalmente se encuentran como un componente de la incrustación del carbonato de calcio.
- **SODIO.-** Es el catión más abundante en las salmueras de los yacimientos petrolíferos. Generalmente se halla en concentraciones superiores a 35 000 ppm. El sodio generalmente no presenta problemas en el manejo, pero vuelve al agua no apta para el consumo humano o de animales, y es a menudo fatal para la vida vegetal.
- **HIERRO.-** Naturalmente se encuentra en concentraciones muy bajas. Su presencia muchas veces indica problemas de corrosión. El hierro también se combina con los sulfatos y materia orgánica para formar un lodo de hierro, y es particularmente susceptible de formar lodos si hay ácidos presentes.
- **BARIO.-** Es uno de los metales pesados, y se puede combinar con los sulfatos para formar sulfatos de bario insoluble. Aún en cantidades pequeñas causa grandes problemas. El bario se queda en la superficie por mucho tiempo, y debe evitarse la descarga a la superficie. Todos los metales tienden a ser tóxicos para los seres humanos en cantidades muy pequeñas, y tienden a concentrarse en la población marina (crustáceos, camarones, etc.).
- **ESTRONCIO Y RADIO.-** Pueden ser radiactivos y pueden concentrarse en moluscos tales como las ostras. También pueden formar costras, pero generalmente sólo se encuentran como trazas en productos de calcio.

ANIONES:

- **CLORUROS.-** Son casi siempre uno de los componentes principales de las Salmueras, el problema principal del manejo de los cloruros es que la corrosividad de la salmuera aumenta drásticamente con el contenido de cloruro. Además el contenido de cloruro generalmente es demasiado elevado para que el agua sea utilizable como potable para los seres humanos o el ganado y es muchas veces elevado como para matar la mayor parte de la vegetación.
- **CARBONATOS Y BICARBONATOS.-** formar costras insolubles.
- **SULFATOS.-** forman costras pero además son la fuente alimenticia para las bacterias reductoras de sulfatos que puedan llevar a la formación de H_2S en el yacimiento.

OTROS COMPONENTES

Además de elevados niveles de constituyentes iónicos posee en su composición ciertos materiales como son: sólidos en suspensión, sólidos disueltos, Contenido de petróleo, compuestos orgánicos.

- **CONTENIDO DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN.-** Es la cantidad de sólidos que puedan separarse por filtrado de un volumen dado, y se usa para estimar la tendencia de taponamiento de los sistemas de inyección. Generalmente se usan un filtro con poros de 0.45μ de diámetro.
- **SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES**
Es simplemente el residuo de la evaporación, o la suma de los aniones y cationes del análisis.
- **CONTENIDO DE PETRÓLEO EN EL AGUA.-** Es la cantidad de petróleo disperso en el agua, producido muchas veces se ve como iridiscencia sobre las aguas donde se elimina o derrama, y causa problemas severos. Esto

incluye la toxicidad para los peces, la reducción de la aireación, sabores y olores y la interferencia con las plantas de tratamiento de agua. Si se descarga el agua en la superficie es problema estético y a menudo, tóxico para los mamíferos y las aves. En pozos de inyección pueden causar emulsión en la formación.

7.3. PROCESO DE SEPARACIÓN DEL AGUA SALADA DEL PETRÓLEO

Los crudos procedentes de los pozos ingresan a una tubería múltiple en los cuales son mezclados a voluntad para obtener una con contenido de agua y crudo lo más homogéneo posible. (Figura. 3).

La mezcla de los crudos es sometida en línea a la adición de un reactivo químico con el propósito de romper la emulsión aceite agua.

Así pre-tratado, el crudo ingresa a una unidad llamada separador trifásico, la cual es un tanque diseñado con una capacidad suficiente para proveer un periodo de retención de cinco minutos con el propósito de favorecer la acción del reactivo adicionado; separándose, de esta manera, parte del agua salina libre, petróleo y gas.

Una vez libre del gas, la mezcla de crudo es enviada a un sistema de separación por decantación llamados "Gun Barrel". Este es un sistema de tres tanques en series en los cuales el ingreso de la mezcla es por el fondo saliendo por la parte superior para ingresar al segundo nuevamente por el fondo y así sucesivamente hasta alcanzar el tercer tanque. El agua salina es atrapada por la fase continua (agua) y es drenada automáticamente por un sifón instalado a una altura para mantener constante el colchón de agua. En este sistema se logra separar un gran volumen de agua salina libre.

De los "Gun Barrel", el crudo es almacenado en tanques de almacenamientos primario en los cuales aún actúa el reactivo adicionado inicialmente, formando nuevamente una fase de agua al fondo y otra de petróleo encima.

El crudo almacenado es posteriormente enviado a la desaladora termoeléctrica que está compuesta de tres unidades, que son:

DESALADOR TÉRMICO.- Este es una unidad que bien puede considerarse un sedimentador de partículas de agua. En ella el crudo es calentado hasta alcanzar temperaturas de 170 a 180 °F por medio de quemado de una mezcla de aire y petróleo (producido en la unidad base de las desaladora). Al calentar de esta manera el crudo, éste disminuye su viscosidad ofreciendo por tanto menor resistencia a la deposición de las partículas de agua en el fondo en donde es colectada y separada del proceso.

DESALADOR ELECTROSTÁTICO.- El propósito de esta unidad es de reducir el contenido salino del crudo a un mínimo de 10 PTB (1b por mil barriles) o menos, nivel considerando como el máximo aceptable debido a la formación de ácido clorhídrico que afecta considerablemente los procesos posteriores de destilación de crudo. Esta unidad utiliza corriente continua de un alto voltaje creando dos campos de corriente, una positiva y otra negativa, bien definidos para así atraer partículas de agua altamente ionizada por el contenido salino. Debido a que la cantidad de agua salina presente en el crudo se halla sumamente dispersa en gotas minúsculas y para favorecer su separación adiciona agua del río previamente sedimentada y deaerada al vacío. Ello contribuye a conglomerar la suspensión la dispersión acuosa favoreciendo la posterior separación del crudo.

Posterior al desalado electrostático, el crudo con un mínimo contenido de agua salina, es bombeado a los tanques de almacenamiento finales de donde será transportado.

UNIDAD BASE.- Esta unidad funciona como un generador de energía para el funcionamiento de las dos unidades citadas anteriormente. Además en esta unidad es energizada el agua inyectada para la limpieza de las unidades de calor y deaerador del agua utilizada en la unidad electrostática.

7.4. SUBPRODUCTOS GENERADOS EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DEL AGUA SALADA DEL PETRÓLEO

AGUA SALINA.- El volumen de agua salina es generado en los tanques de separación por decantación (Gun Barrel) en cantidades que representan aproximadamente entre 45 a 50 % del total, en los tanques de almacenamiento primario un 20 a 25%, en la desaladora térmica un 10 a 15 % y en la desaladora electrostática de un 5 a 10%.

AGUA ACEITOSA.- Por general la separación de petróleo y salmuera no es completa y una cierta cantidad de petróleo, compuesto orgánicos y gases disueltos son descargados conjuntamente con el agua salina.

PETRÓLEO.- A las descargas mencionadas se añaden petróleo por derrames, fugas, lavado y reparación de equipos y accesorios y otras fuentes que tienen su origen en mala operación de los sistemas de control.

8. RECONOCIMIENTO DEL ÁREA DE ESTUDIO

Talara se encuentra en la región de la costa, que caracteriza por presentar superficies relativamente llanos, con extensos desiertos y tablazos.

Se caracteriza por tener suelos arenosos con acumulación de arcillas, de naturaleza calcárea, de escaso contenido orgánico, Desde el punto de vista paisajístico, se pueden distinguir las zonas de las llanuras aluviales que acompañan los cauces de las quebradas de características poco profundas, no apto para la agricultura y la ganadería.

Tiene un clima muy seco (Temperatura media de 25°C / T°Min=17°C – T°Max=32°C). El régimen de precipitaciones es estacional, muy ligeras lluvias en el verano y ausentes el resto del año, con la presencia del fenómeno "El Niño" las lluvias se intensifican.

Las quebradas presentan cursos hídricos temporales los cuales pueden llegar a desembocar al Océano Pacífico,

Las aguas subterráneas en el área de estudio no llegan a constituir un recurso aprovechable debido a la escasez de lluvias y las condiciones meteorológicas de la zona.

La densidad de la población arbórea está determinada por lo errático de la producción de lluvias y por su intensidad, así tenemos durante el año meses lluviosos como meses extremadamente secos; Dentro de la vegetación arbórea característica de este ámbito, son muy pocas las especies que dominan en el paisaje y pueden, en algunos casos, formar asociaciones muy conspicuas; entre éstas podemos citar al hualtaco, al palo santo -típicamente caducifolias-, al algarrobo y al sapote -perennifolias-. Las unidades de vegetación identificadas son las áreas desérticas, zonas agrícolas y algarrobales, sabanas y bosque seco.

9. MONITOREO

La toma de muestras de los efluentes de los campos petroleros, como de las aguas receptoras nos servirá para determinar:

- Las características de estas aguas.
- Estimar el potencial de la contaminación del efluente.
- Medir el rendimiento de las unidades de tratamiento.
- Determinar el efecto de los contaminantes sobre las aguas receptoras.
- Cumplir con los reglamentos establecidos.

Un buen análisis carece de valor si el agua no es representativa del agua del sistema, por eso el monitoreo requiere un cuidadoso evaluación sobre todo donde recolectar las muestras y establecer programas de monitoreo como se muestra en el cuadro 1.

9.1 SELECCIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO

El monitoreo de las descargas de las extracciones de petróleo, así como de las aguas receptoras, requiere una cuidadosa evaluación donde recolectar la muestra.

PUNTOS DE MUESTREO PARA LAS DESCARGAS

El lugar ideal sería el punto exactamente antes que las descarga ingrese a un cuerpo receptor (corriente natural), si este punto no es de acceso fácil ni seguro la muestra debería ser recolectada en el primer punto accesible.

PUNTOS DE MUESTREO PARA AGUAS RECEPTORAS

Como mínimo se debe ubicar una estación de muestreo aguas arriba y otra agua abajo en cada cuerpo receptor. La muestra aguas arriba debe estar ubicada lo suficiente lejos para asegurarse de que no exista influencia de la descarga para determinar el punto más adecuado para la estación de agua abajo, se recomienda

recolectar inicialmente varias muestras en puntos aguas abajo de la descarga y realizar un análisis de la zona de mezcla de la descarga y el agua receptor.

La ubicación de la estación aguas abajo debe estar en el punto en el que la descarga se haya mezclado completamente con el agua receptora.

El decreto supremo N° 046-96 EM exige que el lugar de monitoreo en la corriente receptora sea 500 mts. Corrientes arriba y corrientes abajo del punto de descarga.

Todo punto de muestreo debe estar marcado con precisión en mapas, de manera que se pueda retornar con facilidad. Debe fotografiarse el lugar y tomar notas de algunas características geográficas permanentes. De ser posibles debe colocarse un hito en la orilla.

9.2 PARÁMETROS DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUA

Los parámetros de calidad de agua que se muestra a continuación deben estar incluidas como mínimo en cualquier programa de monitoreo, en las descargas y aguas receptoras de las instalaciones petroleras. Estos son:

- Temperatura
- PH
- Conductividad
- Sólidos totales disueltos
- Cloruros
- Demanda bioquímica de oxígeno
- Coliforme totales
- Demanda química de oxígeno
- Oxígeno disuelto
- Aceites y grasas
- Fenoles

- Amoniaco
- Sulfuro
- Metales: Bario, cadmio, cromo, plomo, Mercurio.
- Caudales de descargas
- Caudales de las aguas receptoras.

Estos factores afectan la habilidad de los cuerpos de agua de mantener un ambiente saludable, a continuación son discutidos:

TEMPERATURA.- La mayoría de los organismos, incluyendo los humanos, pueden sobrevivir solo dentro un rango de temperatura relativamente estrecho. Una temperatura de agua superficial alta reduce los niveles de oxígeno disuelto, causa la muerte de los peces, interfiere con la propagación y crías de las especies, incrementa las velocidades de crecimiento de organismos benéficos y perjudiciales y acelera las reacciones químicas del agua. La temperatura de un cuerpo de agua superficial fluctúa con las estaciones y la cantidad de las radiaciones solares incidentes. Estas fluctuaciones pueden ser incrementadas por grandes descargas de efluentes industriales y domésticas.

CALCIO.- Los iones son un componente principal de la salmuera de yacimiento petrolífero. El ion calcio se combina fácilmente con bicarbonatos, carbonatos y sulfatos para formar precipitados insolubles no se incrementará en más de 3° C por encima de la temperatura ambiental del agua.

P.H.- Las aguas superficiales normales contienen químicos disueltos tales como carbonatos, que ayudan al agua a amortiguar cambios rápidos en la concentración de iones hidrógeno e hidrófilos. La vida acuática, las plantas y la vida silvestre sólo pueden sobrevivir dentro de un rango de PH muy estrecho, en el rango de 6.5 a

8.5 unidades de PH pero no alteradas en más de 0.5 unidades de PH del valor del ambiente.

CONDUCTIVIDAD.- Es una medida de la capacidad que tiene la solución para transmitir la corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia, movilidad, valencia y concentración de los iones así como de la temperatura del agua. En el caso de la salmuera de los campos petroleros es simplemente un indicador de la salinidad del agua.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS.- Los sólidos suspendidos y la turbidez resultante pueden causar la muerte de los peces (obstruyendo los bronquios, lo que interfiere con la respiración) y perturbar la crianza cuando se destruye los hábitats de la vida silvestre y los peces. Altas concentraciones de sólidos en suspensión reducen el valor recreativo del agua superficial y crea restricciones económicas adicionales en el suministro de agua apropiada para el consumo humano o la industria.

No se debe incrementar en más de 10 mg / lt sobre el valor del ambiente

CLORUROS.- Son los principales Aniones inorgánicos en el agua. Son los principales componentes de la salmuera de petróleo. El incremento del cloruro en el agua ocasiona el aumento de la corrosividad del agua. El alto contenido de estos impide que el agua sea utilizada para el consumo humano o el ganado. Alto porcentaje de cloruros en los cuerpos de agua también puede matar a la vegetación circundante.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO).- Es la cantidad de oxígeno usado por las bacterias bajo condiciones aeróbicas en la oxidación de materia orgánica para obtener CO_2 , H_2O . Esta prueba proporciona una medida de la contaminación orgánica del agua, especialmente de la biodegradación.

COLIFORMES TOTALES.- Son bacteria asociadas con los desechos humanos y animales. Los coliformes totales proporcionan una medida de la contaminación del agua de los desechos fecales.

OXÍGENO DISUELTO.- Proporciona una medida de la cantidad de oxígeno en el agua. Los niveles de oxígeno disuelto deben ser mantenidos en 5 mg/ lt. o más para proteger las pesquerías y la vida vegetal, para prevenir la aparición de condiciones sépticas y para permitir que el cuerpo de agua asimile el material orgánico en forma adecuada. Los niveles de oxígeno disuelto son afectados por la temperatura, los niveles de materia orgánica disuelta y en suspensión y la presencia de sedimentos o lodos de fondo, los organismos naturales y compuestos inorgánicos oxidantes.

ACEITES Y GRASAS.- Son generalmente menos densos, que el agua y como tales forman películas en la superficie. El aceite y la grasa son tóxicos para muchas variedades de la vida vegetal y acuática, manchan la piel del pescado, crean sabor y olores. Los efectos tóxicos para muchas variedades de la vida vegetal y acuática. Los efectos tóxicos incluyen la inmovilización, la esterilización y la interferencia con la respiración y otras funciones normales del cuerpo. El efecto más adverso del aceite, sin embargo, es el daño a los valores estéticos y de recreación de las áreas circundantes a la cuenca de agua.

FENOL.- En niveles altos puede manchar la piel de los peces y afectar negativamente la flora, la fauna y seres humanos. En niveles relativamente bajos, estimula la producción de olores fuertes y desagradables cuando se presentan en combinación de cloruros.

AMONIACO (NH₃)- Concentraciones altas de amoníaco en aguas superficiales son tóxicas para los peces y pueden ser oxidadas, consumiendo el oxígeno disuelto del agua (nitrificación).

SULFUROS.- La medición de sulfuros total en el agua incluye H₂S y HS⁻ Disuelto, así como sulfuros metálicos solubles en ácidos que pueden estar presentes en la materia suspendidas. Puede ser tóxica para los peces y generar olores desagradables.

METALES.- Los metales (Ba, Cd, Cr, Pb, Hg) Estos elementos por encima de ciertas concentraciones, son tóxicas para la vida acuática y humana.

BARIO.- Tiene efectos irreversibles para la salud y es tóxica para los animales, se pueden combinar con los sulfatos para formar sulfato de bario.

CADMIO.- Se acumula en los tejidos blandos y puede interferir en el metabolismo. En el sistema acuático el cadmio se acumula fácilmente en las ostras.

CROMO.- Es cancerígeno para el sistema respiratorio y venenoso para los peces.

PLOMO.- Se acumula en las ostras, mariscos. Llega al ser humano a través de la cadena alimenticia y se acumula en los huesos. El plomo es un inhibido de las encimas e influye en el metabolismo celular.

9.3 CLASIFICACIÓN DEL CURSO HÍDRICO DE ACUERDO A LEY GENERAL DE AGUAS

La ley general de aguas DL 17752 establece una clasificación de seis tipos de curso de aguas continentales:

- I. Agua para abastecimiento doméstico con simple desinfección, estos cursos de agua sola podrán recibir descargas con o sin tratamiento, que no alteren en la zona de vertimiento las características naturales.
- II. Agua de abastecimiento doméstico con tratamiento o procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración, y desinfección. Aprobados por el Ministerio de Salud. Sólo pueden recibir descarga con o sin tratamiento, que no alteren en la zona de vertimiento las características naturales.
- III. Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebidas de animales.
- IV. Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baños y similares).
- V. Aguas de zonas de pesca de mariscos bivalbos.
- VI. Aguas de preservación de fauna acuática pesca recreativa o comercial.

9.4 NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES

Los niveles máximos permisibles de los efluentes en la explotación y comercialización de la industria petrolera indican en la tabla N° 1:

Tabla N° 1

PARÁMETRO	VALOR EN CUALQUIER MOMENTO	VALOR PROMEDIO ANUAL
TEMPERATURA T°C	El efluente no debe incrementarse la T° en más de 3°C a partir de un radio de 500 metros en torno al punto de emisión	
Cloruros		La concentración en el punto de control del cuerpo receptor no deberá ser mayor a 250mg/lit
PH	Mayor 5.5 y menor que 9.0	Mayor 5.5 y menor que 9.0
Aceites y grasas (mg/lit) Para vertimiento en aguas continentales	30	20
Bario (mg/lit)	5.0	3.0
Plomo (mg/lit)	0.4	0.2

9.5 ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL AGUA DE PRODUCCIÓN

Las aguas producidas han estado presentes en la capa freática asociada al petróleo y al gas que se producen, durante ciento de millones de años. Han tenido amplio contacto con las varias formaciones rocosas y ha disuelto exitosamente a ciertos compuestos. Para determinar el tratamiento óptimo, previo al método de eliminación elegido y, ciertamente, para determinar el método de eliminación a emplear, se requiere un análisis preciso del agua producida.

Un análisis completo de agua de producción se determina tanto con mediciones in situ como en el laboratorio.

RESULTADOS DE LOS ANALISIS

Para los fines de estudio se escogió la quebrada Pariñas y un campo de producción del Nor-Oeste peruano,

Los resultados de monitoreo de agua de producción correspondientes a los años 2008 y 2009 se muestran en el cuadro 1, cuadro 2 y cuadro 3.

Los parámetros más relevantes son: aceites y grasas, bario y plomo.

Aceites y Grasas.- En el resultados del último monitoreo muestran valores aceptables por debajo de los niveles máximos permisibles, con excepción de junio, julio, agosto

Bario.- En algunos meses supera los niveles de máximo permisibles

Plomo.- No superan los niveles máximos permisibles

Temperatura.- Están por debajo de la gradiente de 3°C por emisión de efluentes líquidos

10. EFECTOS DE LAS DESCARGAS EN EL AMBIENTE

La industria de petróleo durante sus diversas fases es considerada como una de las actividades productivas que compromete al ambiente.

En la fase de producción el más alto potencial de contaminación esta en el manejo de crudos, con los derrames en la líneas de conducción, baterías y en las aguas de formación.

10.1. EFECTOS EN LA CALIDAD DE AGUA

La descarga de agua producida con elevadas concentraciones de contaminantes en su composición contribuye a impartir características objeccionables. Por lo común se tiene idea de recurrir a las normas de calidad de agua, para determinar los posibles efectos de tal o cual contaminante. Se requiere que el cuerpo receptor tenga tal capacidad de dilución de tal forma que las descargas alteren en mínima forma sus características.

10.2. EFECTOS EN LA FLORA Y FAUNA

ACUÁTICA.- Las aguas con alto contenido de cloruros son tóxicos para la vegetación y la vida acuática llegando incluso a desaparecerlos. Otro efecto asociado con las descargas de la salmuera lo constituye las películas de petróleo que se forma en la superficie del agua interfiriendo con el mecanismo de oxígeno, esencial para la vida de los peces y que también afecta a las aves al recubrir su plumaje y ocasionarles la muerte.

TERRESTRE.- Un efecto directo sobre la flora e indirecto sobre la vida silvestre lo constituye el despale y desbroce de la cubierta vegetal exponiendo al suelo a la erosión hídrica, las cuales a consecuencia de la hidrólisis de determinados compuestos minerales (silicatos complejos) liberan cantidades de hierro y aluminio que se oxidan y cimientan formando auténticas rocas inertes totalmente estériles.

11. TRATAMIENTO DEL AGUA DE PRODUCCIÓN

El tratamiento de agua de producción incluye una serie de procesos básicos u operaciones unitarias, su secuencia estará definida por la característica del agua a tratar y el grado de depuración que se quiera conseguir.

El proceso de tratamiento es: mecánico, químico y biológico. Atendiendo a la secuencia de su aplicación, el tratamiento puede ser: primario, secundario y terciario.

La necesidad de aplicar uno o más de estos tratamientos depende de la composición del efluente y de las especificaciones de calidad que deba cumplir el efluente.

11.1 TRATAMIENTO PRIMARIO.-

Se denomina a todos los dispositivos diseñados para la remoción mediante métodos físicos y mecánicos, del material en suspensión y sedimentables.

El tratamiento puede ir acompañado con la adición de productos químicos o coagulantes de manera que aceleren la decantación de los sólidos presentes en el agua residual.

Las operaciones unitarias que se utilizan comúnmente son: separación de aceites y grasas, sedimentación, la floculación, la flotación y la filtración.

SEPARACIÓN POR GRAVEDAD.-

La separación de las sustancias contaminantes del agua de producción se realiza aprovechando la acción de la gravedad, es decir separar el aceite y sólidos sedimentables del resto del efluente acuoso por diferencia de densidades.

Su fundamento teórico para la separación de sólidos se basa en la ley de stokes, que es bastante útil y puede aplicarse en el caso de líquidos con flujo de régimen laminar.

La ecuación es:

$$V_s = \{d^2 * g * (Q_f - Q_s) / (0.18 * \eta_f)\}$$

11. TRATAMIENTO DEL AGUA DE PRODUCCIÓN

El tratamiento de agua de producción incluye una serie de procesos básicos u operaciones unitarias, su secuencia estará definida por la característica del agua a tratar y el grado de depuración que se quiera conseguir.

El proceso de tratamiento es: mecánico, químico y biológico. Atendiendo a la secuencia de su aplicación, el tratamiento puede ser: primario, secundario y terciario.

La necesidad de aplicar uno o más de estos tratamientos depende de la composición del efluente y de las especificaciones de calidad que deba cumplir el efluente.

11.1 TRATAMIENTO PRIMARIO.-

Se denomina a todos los dispositivos diseñados para la remoción mediante métodos físicos y mecánicos, del material en suspensión y sedimentables.

El tratamiento puede ir acompañado con la adición de productos químicos o coagulantes de manera que aceleren la decantación de los sólidos presentes en el agua residual.

Las operaciones unitarias que se utilizan comúnmente son: separación de aceites y grasas, sedimentación, la floculación, la flotación y la filtración.

SEPARACIÓN POR GRAVEDAD.-

La separación de las sustancias contaminantes del agua de producción se realiza aprovechando la acción de la gravedad, es decir separar el aceite y sólidos sedimentables del resto del efluente acuoso por diferencia de densidades.

Su fundamento teórico para la separación de sólidos se basa en la ley de stokes, que es bastante útil y puede aplicarse en el caso de líquidos con flujo de régimen laminar.

La ecuación es:

$$V_s = \{d^2 * g * (Q_f - Q_s) / (0.18 * n_f) \}$$

Donde:

V_s = Velocidad de ascenso o descenso del cuerpo extraño en el agua (cm/seg)

d = Diámetro del cuerpo extraño en el agua. (Cm)

Q_f = Densidad del líquido base. (gr/Cm³)

Q_s = Densidad del cuerpo extraño. (gr/Cm³)

n_f = Viscosidad dinámica del líquido base. (gr/cm)

Para la separación por gravedad se utilizan los siguientes equipos:

- Separadores de aceite y grasa
- Trampas de arena, o desarenadores
- Tanques de sedimentación
- Sistema de flotación para separar sustancias flotantes

11.1.1 SEPARADORES DE ACEITE - GRASA Y SEDIMENTOS

El objetivo es retirar el aceite de las agua, Estos separadores suelen complementarse con equipos que permiten separar partículas en suspensión.

Los separadores agua-aceite más utilizados son: separadores API, separadores CPI (interceptores de placas corrugadas) y separadores PPI (interceptores de placas paralelas)

SEPARADORES API.- Fue originado por el American Petroleum Institute (API). su función básica es separar el petróleo libre del efluente acuoso. Está diseñado para separar gotas de aceite de diámetro mayor de 150 micrones (0.015 cm). Además permite la retención de sólidos presentes del efluente. (figura 4, figura 5 y figura 6).

ELEMENTOS

- Rejilla colectora de basura
- Cámara de distribución
- Rejilla de distribución
- Cámara de separación Colectores de lodo
- Placas de retención de petróleo
- Tubería colectora de petróleo
- Vertedero
- Desnatadoras rotatorias
- Bombas para lodos de aceite
- Pozo acumulador de aceite
- Materiales de construcción: concreto armado y partes de acero al carbón.

FUNCIONAMIENTO DE UN SEPARADOR API.- El Efluente aceitoso pasa por un comportamiento donde está colocado una rejilla metálica inclinada que retiene los desperdicios presentes en el efluente. Luego el flujo llega a la cámara de distribución y pasa a la cámara de separación a través de la rejilla de distribución; esta rejilla hace que el flujo sea distribuido uniformemente en la cámara de separación. En la cámara de separación ocurre la mayor parte de la separación del petróleo, aunque ésta se inicia desde la cámara de distribución; la mayor parte de los lodos se separa en los colectores situados en el piso de la cámara de distribución y el resto en el fondo de la cámara de separación. La cámara de separación cuenta con una desnatadora rotatoria que empuja el aceite separado hacia la tubería colectora del aceite y los lodos depositados en el piso son empujados al colector situado en el piso de la cámara de separación, delante de la rejilla de distribución. Al salir de la cámara el efluente tratado pasa por un vertedero, que fija la altura de líquido

en el separador, y es conducido a las aguas receptoras o a posteriores tratamientos.

El petróleo recuperado llega a una poza de donde es bombeado automáticamente (por el control de nivel) hacia el tanque de almacenamiento de aceite.

Los lodos son bombeados periódicamente de los colectores a un recipiente donde son almacenados y luego procesados. La remoción de lodos es muy importante ya que si se acumula en el piso bloquean parte de la rejilla de distribución y reduce el área transversal del separador, afectando su eficiencia de separación.

DISEÑO DE SEPARADORES API

Los separadores API se diseñan tomando como objetivo la separación de gotitas de aceite de diámetro de (0.015 cm) y suponiendo que el flujo del efluente es uniforme sin turbulencia.

a.- Velocidad de ascensión de gotas de aceite en agua (Vt).- De la ley de Stokes se tiene:

$$V_t = 0.0123 (S_w - S_o) / \mu$$

Donde:

Vt: velocidad ascensional de la gotita de aceite de diámetro 0.015 cm. En cm/seg

So, Sw gravedad específica del agua y del aceite a la temperatura del diseño,

μ: Viscosidad absoluta del efluente a la temperatura de diseño. Poise

b.- Mínima área horizontal (Ah)

$$Ah = F * Q / V_t$$

F : Factor de turbulencia, depende de V_h/V_t

Q : Flujo volumétrico de efluente:

V_h : Velocidad horizontal

V_h / V_t	F
20	1.45
15	1.37
10	1.27
6	1.14
3	1.07

c.- Mínima longitud (L)

$$L = F * P * (V_h/V_t)$$

d.- Mínima área transversal (AT)

$$At = Q / V_h$$

DIMENSIONAMIENTO DE SEPARADOR API.- Los separadores están diseñados dentro de los siguientes rangos:

Velocidad Horizontal (V_h) a lo largo del separador no debe ser mayor de 15 veces la velocidad ascensional (V_t) de gotas de aceite de 0.015 cm. de diámetro, ni mayor de 3 pies/min. El límite a fijar debe ser menor a estos dos valores.

Profundidad: mínima 3 pies, Máxima 8 pies.

Ancho: mínimo 6 pies, máximo 20 pies

Relación de profundidad / ancho: mínima 0.3 , máxima 0.5.

DETERMINACIÓN DE NÚMEROS DE SEPARADORES NECESARIOS

Se debe construir un mínimo de dos separadores API aun cuando el volumen del efluente sea pequeño; esto permite que se tenga un separador en operación mientras el otro se está limpiando o reparando.

Una vez determinada la mínima área transversal necesaria para el tratamiento del efluente, el número de separadores a construir se determina dividiendo esta área entre la máxima área transversal del separador de mayor tamaño que se pueda construir en el terreno. Si éste cociente presenta valores fraccionarios, se redondea al número entero siguiente.

MATERIALES DE CONSTRUCCION

Se prefiere el concreto armado ya que este material satisface la condición de que todas las superficies en contacto con el efluente deben ser las más lisas que sea posible, las planchas, vertederos, tuberías colectores, y otras partes metálicas pueden ser construidas de acero al carbono; en este caso se debe tomar precauciones para minimizar la corrosión o para facilitar el remplazo de esta pieza

VENTAJAS DE UN SEPARADOR API

- Reducen la concentración de los contaminantes como son el petróleo y sólidos sedimentables
- Se aprovecha la acción de la gravedad para el proceso
- Recupera el petróleo (trazas de petróleo) del efluente

SEPARADORES CPI

El diseño del interceptor de placas corrugadas fue desarrollado por la Compañía Shell de Holanda. En su nuevo tipo de separador por gravedad. (figura 7 y 8).

ELEMENTOS

- Rejilla colectora de basura
- Cámara de sedimentación
- Vertederos (2): entrada y salida
- Módulos de placas corrugadas a 45° con horizontal
- Pozo colector de lodos
- Tubería colectora de aceite
- Pozo colector de petróleo
- Bomba para lodos y aceite

FUNCIONAMIENTO DE UN SEPARADOR CPI.-

Consiste en un sistema de dos tanques comunicados a través de un módulo de platos corrugados paralelos colocados en un ángulo de 45 grados con respecto a la horizontal. Las corrugaciones de esas placas forman canales alternos para el aceite y para el lodo; el aceite se coloca por debajo de la placa y fluye a la superficie de líquido donde es colectada y los lodos caen al

pozo colector. El efluente clarificador fluye por canaleta vertical hacia la salida. Los lodos depositados en el pozo son succionados periódicamente por una bomba.

La eficiencia de la separación de aceites y lodos de un separador CPI es mayor que la de un separador API que ocupa la misma área del terreno. Esta mayor eficiencia se basa en la mayor superficie de separación que ofrece al efluente, así como la menor distancia que debe recorrer las partículas de sólidos y gotas de aceite a separarse. Mientras que el separador API ofrece solamente su área horizontal de la superficie y del fondo para la separación de las gotas de aceites y de los lodos respectivamente. (figura 9 y 10)

DIMENSIONAMIENTO DE SEPARADORES CPI

Los módulos CPI vienen en dimensiones estándar: 3.25 ft. de ancho, 3.25 ft de alto y 5.75 ft. De largo.

Cada modulo consiste de 24 o 48 placas paralelas montadas en forma paralelas en estructura metálica. Generalmente cada placa tiene cinco concavidades y seis convexidades, aunque algunas veces se utiliza placas más grandes.

La distancia de placas es variable, entre 2 a 4 cm. Estas placas están colocadas en un ángulo de 45 grados.

El flujo máximo por modulo es de 20,000 BPD para mantener un NRe: 400 max.

MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Las placas del separador son de poliéster de ácido isoftálico reforzadas con fibras de vidrio.

Los soportes de los módulos son de acero inoxidable 304. El resto de material de construcción es acero al carbón y concreto.

VENTAJAS DEL USO DE SEPARADORES CPI

- Ocupa menos área que un separador API de la misma eficiencia.
- En general, se considera que el que el área del terreno ocupada por un separador CPI es la sexta parte de la requerida por un separador API
- Son menos costosos. El costo de instalación de un separador CPI se estima que es de 80% del correspondiente a un separador API
- Logra una separación de aceite y lodo más eficiente. El separador API baja el contenido de aceite en el efluente desde 400 a 100 ppm. Mientras que un separador CPI o reduce desde 400 a 50 ppm.
- Flujo laminar entre placas. Favorece el proceso de separación por gravedad
- Facilidad de remoción de lodo y sedimento

SEPARADORES PPI

El principio de operación de los separadores PPI (interceptores de placas paralelas) y su aplicación es similar a la de los separadores CPI. Las placas paralelas en este caso son lisas: su eficiencia es menor que los separadores CPI, pero mayor que los separadores API.

FUNCIONAMIENTO DE UN SEPARADOR PPI

Como se puede ver en a figura N° 9, el efluente llega a una cámara donde se deposita los sedimentos; luego por medio de una tubería es enviado a la zona de distribución (placas guías) de donde ingresan a los módulos de pacas paralelas están dispuestas formando ángulos de 45 grados con la horizontal ver figura 10, de tal modo que los lodos caen en un conducto centra y el aceite sube por el espacio libre entre las placas y las paredes de separador. El agua clarificada pasa a la salida y de ahí por una tubería al exterior. Los

lodos son retirados por una manguera que se introduce por la tubería mostrada en la figura N° 9.

La utilización de este tipo de separadores ha tenido una reducción importante debido a la gran eficiencia de los separadores CPI desarrolladas casi simultáneamente.

Los separadores API, PPI, CPI se aplican a los efluentes directos de los campos petroleros, en algunos casos el efluente tratado no reúne los requisitos de la calidad necesaria para que sea enviada a las aguas superficiales.

Los sistemas de tratamiento adicionales del efluente de los separadores están encaminados a reducir el contenido de aceite y grasas en emulsión, sólidos suspendidos y coloidales. Estos métodos son:

- Flotación con gas
- Coagulación, floculación y sedimentación
- Filtración

11.1.2 SISTEMA DE FLOTACION

La flotación es un tratamiento mediante el cual el aceite en emulsión, sólidos suspendidos y coloidales son arrastrados hacia la superficie por medio de las burbujas de aire ó gas, a las cuales se adhieren; estas burbujas les confieren una densidad media inferior a la del agua. Las características principales son la introducción de burbujas finas dispersadas en el fluido, una zona de turbulencia mínima y medio de recolección. Figura 11

USO DE AIRE.- El aire proporciona una mayor efectividad dado que oxida y remueve la mayoría de los sulfuros en el agua, haciendo más fácil para remover esta parte de petróleo que fue absorbida en la superficie del sulfuro de hierro precipitado.

El uso del aire incrementa el contenido del oxígeno del efluente.

TIPOS DE SISTEMA DE FLOTACIÓN CON AIRE:

FLOTACIÓN CON AIRE DISPERSO.- El aire se inyecta directamente en la cámara de flotación donde llega el efluente para disponer el aire se utiliza medios porosos, difusores o tuberías perforadas, la burbujas formadas son de varios milímetros de diámetro y causan turbulencia. Estos tipos de sistema de flotación son usados en la industria Minera donde los sólidos suspendidos son de mayor tamaño.

La eficiencia de este método para tratar efluentes de separadores API es muy baja, esto se debe a que el tamaño de las burbujas formadas es generalmente grande en el tamaño de las gotitas de aceite emulsionado. Sólidos suspendidos y coloidales; además el contacto de las burbujas con el efluente es corto, lo que disminuye la posibilidad de que las burbujas se adhieren a las partículas suspendidas.

FLOTACION CON AIRE DISUELTO.- En este sistema de flotación se producen micro burbujas de 5 a 20 micrones de diámetro, similares a las que se observan en el agua blanca que sale por el grifo a una alta presión. Estas burbujas se obtienen por expansión del efluente líquido enriquecido con aire que se ha inyectado a una presión de varias atmósferas. Su utilización se está haciendo más extensa ya que mejora grandemente la calidad del efluente a ser enviado a las aguas superficiales.

El efluente de los separadores es tratado con floculantes y presurizado entre 20 y 40 psi saturado con aire a esta presión en un tanque presurizador donde es retenido de 1 a 2 minutos. El efluente pasa a la cámara de flotación donde es liberado a la presión atmosférica. La reducción de presión resulta en la liberación de burbujas microscópicas de aire que adhiere las partículas suspendidas formando nata. Esta nata es retirada por desnatadoras

rotatorios provistos de paletas y colectada en un pozo. En las cámaras de flotaciones comerciales el tiempo de retención es de orden de 10 a 15 minutos.

Este proceso puede ser aplicado de dos formas: con presurización total o parcial del flujo de efluente.

FLOTACIÓN CON AIRE POR PRESURIZACIÓN TOTAL DEL EFLUENTE

Todo el efluente de los separadores es tratada con floculantes y presurizado. La capacidad requerida de la bomba presurizadora en este método es mayor que la requerida en el método de presurización parcial, pero la presión de saturación necesaria va a ser mayor. Figura 12.

FLOTACIÓN CON AIRE POR PRESURIZACIÓN PARCIAL DEL EFLUENTE.

- Este sistema es similar al anterior con la única diferencia que solamente se presuriza una parte del flujo del efluente. El efluente de los separadores llega a la cámara de floculación y luego pasa a la cámara de flotación. A la salida de la cámara de flotación se toma parte del efluente clarificado, generalmente de 20 a 50 % del flujo total, se presurizara y se recirculará a la entrada de la cámara de flotación. Figura 13.

VENTAJA

Se prefiere utilizar la operación con reciclado porque:

Permite que la bomba presurizadora opere con un fluido más limpio.

La bomba puede ser de menor capacidad.

El control de las variables del proceso es más simple porque el flujo de reciclado es constante. Flotación con aire por presurización parcial del efluente.

No hay formaciones de emulsiones en la bomba presurizadora.

La floculación puede optimizarse.

Generalmente con la operación con reciclado e inyección de floculantes se logra una eficiencia del 85 - 95 % de remoción de sólidos y aceites.

El agua que deja la unidad de flotación limpia todo el petróleo excepto la emulsión estable muy fina y la suspensión de sólidos impregnados con el petróleo. Esta emulsión por lo común es reducida añadiendo floculantes químicos al sistema

CONSIDERACIÓN BÁSICA PARA EL DISEÑO DE SISTEMA DE FLOTACIÓN

Si se emplea floculantes en este proceso el tanque homogenizador provee un tiempo de residencia de 2 a 5 minutos. La cámara de floculación debe proveer un tiempo de retención de 5 a 20 minutos. Las firmas suministradoras del equipo fijan el tiempo exacto requerido basándose en la concentración de aceite y sólidos suspendidos en el efluente del separador y el tipo de floculante a usar.

El sistema de presurización debe contar con una bomba presurizadora que permite presurizar el efluente en el rango de 30 - 50 psig. El tanque presurizador debe proveer el tiempo de retención de 1 a 2 minutos. El exceso de aire disuelto que se logra generalmente corresponde al 50% del nivel de saturación a la presión atmosférica. La fracción del efluente presurizado debe ser entre 20 y 50 % del flujo total. Algunos caso se presuriza el efluente de 45 y 120 psig siendo la fracción presurizada entre el 10 y 30 del flujo total. El consumo promedio de aire comprimido varía entre 15 y 50 lt. de aire por metro cubico de efluente tratado.

La cámara de flotación por lo general es abierta a la atmósfera, la altura de la cámara varía entre 2 a 4 mts. aunque puede ser más baja para unidades pequeñas. La cámara de flotación debe proveer un tiempo de residencia de 15 a 20 minutos. Otro criterio empleado en el diseño de la cámara de flotación es considerar una carga de 2.5 galones por minuto por pie cuadrado de superficie (1.7 lt/seg/m^2)

La entrada del efluente a la cámara de flotación debe ser por la unidad superior del aparato. la salida del efluente tratado debe situarse a una altura tal que haya la posibilidad que los lodos acumulados lleguen hasta ese punto. La salida del efluente puede ser por vertederos o por tuberías.

el retiro de la nata se hace mediante desnatadoras rotatorias rectangulares; consiste una serie de paletas de madera accionadas de una cadena, que empuja la nata hacia el canal de evacuación o pozo colector.

11.1.3 PROCESOS QUÍMICOS

Se utilizan principalmente para denominar los métodos basados en reacciones netamente químicas y físico - químicas. La finalidad de este tipo de procesos químicos es lograr lo siguiente:

- Neutralización de las descargas
- Separación de los sólidos que no pueden eliminarse a través de medios mecánicos simples
- Eliminación de grasas y aceites
- mejoramiento del efecto de clarificación de los sistemas de flotación y filtración
- Efectos factibles mediante el uso de cloro o compuestos clorados tales como desinfección, control de crecimiento de algas, descontaminación,

deodorización, descoloramiento, oxidación y control de larvas de mosca en lechos biológicos.

Con relación a los procesos químicos existentes, las normas federales alemanas sobre tratamiento de aguas residuales (ATV) establecen una distinción entre las reacciones con y sin conversión. Cuando las sustancias disueltas se trata **sin conversión** de materiales, se producen las siguientes reacciones físico químicas: Adsorción, extracción, separación por membranas, destilación.

Cuando las sustancias disueltas son tratadas **con conversión** de materiales ocurre las siguientes reacciones químicas: neutralización, precipitación, oxidación, reducción, intercambio de iones.

Cuando se trata **sustancia no disueltas**, ocurre generalmente los siguientes procesos básicos: sedimentación, filtración, floculación, adsorción, flotación.

MÉTODOS DE TRATAMIENTOS

NEUTRALIZACIÓN

La neutralización es una reacción química simple. las aguas ácidas o básicas deben de ser neutralizadas antes de ser descargadas a las aguas superficiales.

Existe una distinción básica entre tres tipos de agua residuales ácidas

Aguas residuales que contienen ácidos fuertes con sales fácilmente solubles en agua (ejem. Cl , HNO_3), Se emplea alcalisis u oxido metálico terrosos para neutralizar este tipo de aguas residuales. No se producen sólidos sedimentables y así el tratamiento consiste en una simple mezcla.

Aguas residuales que contienen ácidos fuertes con sales difícilmente solubles en agua (ejem. H_2SO_4) en estos procesos se puede producir una gran cantidad de sedimentos.

Aguas residuales que contienen ácidos débiles (ejem. CO₂, COOH).

Actualmente se utilizan las siguientes clases de procesos neutralizantes:

Empleo de la capacidad amortiguadora de los cuerpos receptores.

Mezcla de las aguas residuales ácidas con las alcalinas.

Adición de sustancias químicas que producen reacciones alcalinas, tales como NaOH, Ca(OH)₂ etc.

Filtración a partir de material neutralizantes tales como CaCO₃, MgO-CaCO₃, etc.

USO DE LA CAPACIDAD AMORTIGUADORA.- La capacidad amortiguadora de un cuerpo receptor depende de la denominada dureza carbónica presente en el agua.

La siguiente reacción sirve para ilustrar el proceso de un cuerpo receptor:



Cuando se excede el producto de solubilidad del sulfato de calcio, este último precipita.

Para la neutralización mediante la reacción con **reactivos químicos** generalmente se considera los siguientes materiales:

Hidróxido de calcio : Ca(OH)₂ (en estado sólido ó como agua de cal)

Solución de Hidróxido de sodio: NaOH

Carbonato de calcio: CaCO₃

Dolomita parcialmente calcinada : CaCO₃ + MgO

Magnetita calcinada: MgCO₃ ----> MgO

Cemento

Carbonato de sodio: Na₂CO₃

Dependiendo del tipo de ácido que se usará, de la cantidad de agua, de las condiciones locales, etc. por lo general se utiliza cal como neutralizante.

El proceso de neutralización se determina en base a la cantidad de agua residual que va a tratarse. En el caso de volúmenes menores de agua (menos de 1 m^3) se emplea una planta estática de neutralización, donde se agrega el agente neutralizante al agua ácida hasta que el PH cumpla con los requisitos establecidos. En las plantas continuas de grandes dimensiones, el control del proceso de neutralización es automático

El proceso de filtración con un material de filtro neutralizante se realiza a una velocidad calculada para que el agua residual permanezca en contacto con el material filtrante hasta alcanzar el nivel de neutralización, por ejem. un PH de 6 a 9.

COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN

Este tipo de tratamiento adicional al efluente de los separadores se basa en el uso de agentes químicos floculantes que producen la formación de microflocos o conglomerados microscópicos de las partículas contaminantes; la siguiente etapa comprende la aglomeración de estos microflocos para formar grumos o conglomerados apreciables; y por último estos conglomerados caen al fondo de la unidad de tratamiento (sedimentación), la eficiencia de este tipo de tratamiento es comparable a la lograda por flotación con gas aunque un poco inferior; se logra de 75% a 80% de remoción de aceite y 55 a 70 % de remoción de los sólidos. Este tratamiento puede reducir el contenido de aceite en el efluente a 10 ppm. o menos, la turbidez puede ser reducida aproximadamente a 30 ppm. por sedimentación; si se usa filtración del efluente clarificado puede

reducirse a 5 ppm. El color es definitivamente reducido. la reducción de DBO depende de la concentración .

ETAPAS DE COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN

COAGULACIÓN

Se puede usar la coagulación química para precipitar sólidos disueltos, o producir coalescencia de gotitas de aceite emulsionado y material suspendidos que se encuentran presentes en el efluente de los separadores. Esta acción es lograda mediante adición de ciertas sales metálicas solubles al efluente en medio alcalino

La impureza en los efluentes de los separadores generalmente están cargados negativamente y los precipitados metálicos tienen carga positiva, se produce la neutralización y consiguiente formación de microflocos. Para eliminar los coloides por coagulación se utilizan polielectrolitos los cuales actúan como un puente que liga las partículas y forma los microflocos.

FLOCULACION

En esta fase los microflocos se convierten en grumos o aglomerados apreciables mediante la aplicación de una agitación; la materia suspendida, tal como glóbulos de aire, bacterias, coloides y sólidos son atrapados en los conglomerados.

Los grumos formados pueden ser de tal densidad, que precipiten al fondo donde se acumulan y luego son retirados. Si el contenido de aceite en los grumos es tal que no cae rápidamente puede ser separado más fácilmente por flotación de aire.

No es recomendable usar filtración para la remoción inicial de los grumos porque los filtros se taponarían fácilmente, se puede aplicar filtración para retener pequeños grumos arrastrados por el efluente clarificado.

FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO

El efluente de los separadores pasa por sistema de ajuste de PH para optimizar el proceso de coagulación: generalmente se agrega ácido , soda o cal , y se homogeniza la mezcla permitiendo suficiente tiempo para que se logre el PH adecuado.

Después de flocular el efluente ingreso a la cámara de sedimentación donde los grumos sedimentan por gravedad y son empujados por deslodador rotatorio hacia un pozo colector situado en el piso de la cámara de sedimentación, los grumos colectados son desaguados e incinerados o son usados como relleno sanitario.

CONSIDERACIÓN BÁSICA PARA EL DISEÑO DE UNIDADES

Las instalaciones para el ajuste de PH deben permitir un tiempo de residencia de 1 a 2 minutos y suficiente agitación

Los coagulantes pueden ser agregados al efluente o directamente al mezclador "flash" Este mezclador debe proveer un tiempo de residencia de 2 a 5 minutos, la agitación es realizada por paletas horizontales o verticales accionadas mecánicamente.

La agitación de la cámara debe ser suave y controlado para que no se produzca rotura de los grumos formados, el periodo es entre 5 y 20 minutos; el tiempo exacto es determinado mediante pruebas de laboratorio.

La cámara de sedimentación puede ser diseñada en forma similar a un separador API, permitiendo tiempo de retención entre 2 y 8 horas, según la

densidad de los grumos formados. El tiempo de retención se determina mediante pruebas de laboratorio.

SELECCIÓN DE UNIDADES DE COAGULACIONES

La forma de la unidad de tratamiento depende del espacio disponible. puede adquirirse unidades completas de tipos paquetes ya sea circulares o rectangulares, hasta un tratamiento de flujo 500 galones/minuto

Las unidades de mayor tamaño son construidas de acero, son embarcados por segmentos y ensamblados en el terreno, las unidades con estructuras de concreto pueden ser construir por el comprador y el proveedor suministra el equipo mecánico para su instalación por el comprador.

Los proveedores de este tipo de unidades solicitan una muestra del efluente a trata, para realizar pruebas de laboratorio y determina las condiciones de diseño, coagulante, dosis apropiado.

REMOCIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Los sólidos en suspensión deben removerse de cualquier agua que se va a inyectar, pues es probable que tapone la formación. Se usan varios tipos de filtro para retira los sólidos

FILTRACIÓN

Es un proceso que consiste en hacer pasar un fluido que contiene materiales en suspensión a través de un medio filtrante en el que quedan retenidas las partículas sólidas. Es una operación complementaria a la coagulación y sedimentación

La filtración es un método de separación de líquidos sólidos en donde se hace pasar un flujo a través de un lecho poroso y se retiene las partículas. Algunos

filtros también permiten el fenómeno de absorción; en estos casos puede ser utilizado también para reducir el contenido de aceite en un efluente. Para poder ser filtrados los sólidos suspendidos deben ser floculentos o se debe dar tratamiento de coagulación química al efluente a tratar. Entre los tipos de filtro más usados en refinería se encuentran:

- Filtros de paja
- Filtros de arena
- Filtros de retro lavado
- Filtros pre captados (de vacío)

FILTROS DE PAJA.- Este tipo de filtro es muy eficiente para eliminar aceite y o sólidos. Su utilización para tratar efluentes de separadores es muy limitada, ya que generalmente necesita cambios frecuentes del medio filtrante.

Como medio filtrante utilizan Heno, paja libre de polvo, alfalfa y viruta. El uso de viruta no es muy recomendable por su tendencia a compactarse y taponarse más rápidamente que los otros materiales mencionados. El filtro paja realiza dos funciones: filtración y absorción. Los sólidos suspendidos son atrapados en los intersticios del medio filtrante: el aceite es absorbido por el medio filtrante a su paso por el filtro. Después de cierto tiempo se satura el filtro y el aceite empieza a salir en el efluente tratado; en ese momento se debe cambiar el medio filtrante; en muchos casos la frecuencia de cambio del medio filtrante es excesiva.

FILTROS DE ARENA.- Este tipo de filtros es usado generalmente en plantas de tratamiento de agua para uso doméstico. Son usados para eliminar los sólidos en suspensión ya sea atrapándolos en los intersticios entre los granos de arena,

o adhiriéndolos en los intersticios entre los granos de arena. Los filtros de arena fina son utilizados en caso en que el agua a tratar tienen menos de 30 ppm de sólidos suspendidos, este tipo de filtros son llamados también "filtros lentos" Los filtros de arena gruesa permite tratar mayores flujos de agua y con mayor contenido de sólidos suspendidos, es decir mayor turbidez; Este tipo de filtros son también denominados como "filtros rápidos".

La limpieza de los filtros lentos se realiza raspando la superficie de arena ; los filtros rápidos generalmente son retro lavados.

FILTROS DE RETROLAVADOS AUTOMÁTICO.- Este tipo de filtro es mucho más eficiente que los filtros de arena y reduce las necesidades de personal para la operación de limpieza. Su aplicación esta limitadas a la etapa final de tratamiento.

Estos filtros son completamente automáticos y generalmente están instalados en grupos de dos para evitar la interrupción del tratamiento cuando un filtro está en el ciclo de retro lavado.

Durante el ciclo de filtración el agua a tratar pasa a través del medio filtrante, donde son retenidos los sólidos. El agua filtrada cae a la cámara de colección, desde donde sube por un tubo hacia la zona de retención de filtración, aumenta la caída de presión a través del filtro hasta llegar a un máximo; alcanzando este máximo el lecho está lleno de sólidos suspendidos y automáticamente entra en acción el controlador del ciclo de retro lavado y termina el ciclo de filtración.

La capa de carbón va sobre la de arena; Su utilización permite contar con una zona de retención de agua filtrada más grande, ya que siendo el carbón más eficiente ocupa menor volumen que la arena; Los granos de carbón varían entre 3 y 6 mm de diámetro, y la capa tiene un espesor de 3 ft. (91.5 cm.) .

FILTROS PRECAPTADOS.-La utilización de este tipo de filtro rotatorios para eliminar sólidos suspendidos y aceite del efluente de separadores es muy eficiente: su eficiencia es comparada al del proceso de coagulación. Pero estos filtros son usados raramente para tratar efluentes de separadores debido a los altos costos de inversión y de operación. En estos tipos de filtros la filtración no se realiza a través de elementos fijos, sino a través de un material filtrante que se introduce en el aparato al principio de cada de cada ciclo de funcionamiento, para formar una capa filtrante micro porosa (precapa) sobre un soporte fijo. Una vez que la precapa Esta taponada con sólidos (saturada), es eliminada al exterior con el agua del ciclo de lavado.

11.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO

El efluente del tratamiento primario todavía contiene entre 40 y 50% de los sólidos en suspensión originales y virtualmente todo los sólidos disueltos orgánicos e inorgánicos. La eliminación de sustancias orgánicas es denominada tratamiento secundario y puede consistir en procesos físicos - químicos o procesos biológicos. La combinación de operaciones físico - químicas, tales como coagulación, micro tamizado, filtración, oxidación química, adsorción con carbón activado y otros procesos, puede usarse para la eliminación de sólidos y reducir la DBO hasta niveles aceptables, pero estas operaciones representan altos costos.

En el tratamiento biológico los microorganismos usan las sustancias orgánicas del agua residual.

11.2.1 MÉTODOS BIOLÓGICOS

Las aguas residuales domésticas, industriales y comerciales contienen una gran diversidad de sustancias en forma disuelta y no disuelta, las cuales son

aprovechadas por microorganismos para su crecimiento y para su proceso metabólico, lo que permite removerlas del agua residual. La conversión de dichas sustancias puede realizarse en un medio que contenga oxígeno (aerobio) o que carezca de oxígeno (anaerobio).

Los indicadores en el proceso de tratamiento del agua residual son las Bacterias. Las aguas que contienen compuestos orgánicos biológicamente degradables son soluciones nutritivas para estas bacterias pues allí pueden crecer y multiplicarse.

MICROORGANISMOS EXISTENTES

Existen principalmente dos grupos diferentes:

- Organismos heterótrofos (animales, bacterias, hongos).
- Organismos autótrofos (plantas y algunos protozoarios).

LOS HETERÓTROFOS.- Utilizan sustancias orgánicas para producir energía a través de la oxidación o la respiración (metabolismo energético). Al mismo tiempo que convierten dicha sustancias, como ejem. Azúcares en CO_2 y H_2O . Una porción de las sustancias orgánicas absorbidas se emplea para sintetizar la sustancia corporal (metabolismo o de crecimiento).

LOS AUTÓTROFOS.- Sintetizan las sustancias orgánicas a partir del CO_2 y del H_2O a través de la fotosíntesis, utilizando la energía de los rayos solares.

Los compuestos nutritivos en las aguas residuales comprenden principalmente materia orgánica, se utiliza sobre todo organismos heterótrofos de bajo nivel.

El principio básico del tratamiento de aguas residuales consiste en la conversión de una mayoría de sustancias disueltas en una masa de organismos para que estas sustancias puedan extraerse del agua residual

como materia sedimentable. Para llevar a cabo este proceso se necesita la energía. Una parte de los nutrientes pasa por un proceso de oxidación, es decir es mineralizado y descompuesta nuevamente en forma inorgánica como nitratos, sulfatos, CO_2 , y otros compuestos similares. Estas sustancias también experimentan luego una conversión mediante la acción de la masa de bacterias (como la Nitrosomonas y las Nitrobacterias) y así sintetizan la masa de bacterias que, una vez sedimentada en depósitos, pueden ser separadas del agua residual.

PROCESO METABÓLICO

La relación entre los nutrientes disponibles y la masa de organismos determina y controla los procesos metabólicos al igual que las etapas de crecimiento y la demanda de oxígeno

- **Etapas inicial.-** Se activan las enzimas que son necesarias para descomponer los compuestos macromoleculares.
- **Etapas exponencial.-** Esta fase se caracteriza por la existencia de una excesiva cantidad de nutrientes.
- **Etapas estacionaria.-** El número de células no aumenta debido a que la cantidad de nutrientes es limitada.
- **Etapas de extinción.-** La totalidad de nutrientes ha sido consumida. los microorganismos oxidan su propia sustancia celular, consumiéndola como última reserva nutriente

FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS PROCESOS BIOLÓGICOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES COMERCIALES

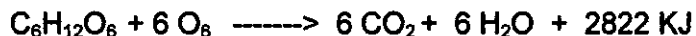
Constituyen:

- **La composición del contenido.-** Corresponde a la capacidad de degradación de los microorganismos. Algunas sustancias presentan un alto índice de descomposición biológica, mientras que otras no. El índice depende de la adaptabilidad de los microorganismos en proceso.
- **La razón de nutrientes.-** Las aguas residuales a menudo contienen una cantidad excesiva o escasa de nitrógeno o fósforo con respecto al DBO_5 . En este caso es necesario un tratamiento especial o la adición de sales nutritivas. Por otra parte las aguas residuales deben contener cantidades suficientes de otras sustancias orgánicas, sales nutritivas, trazas de elementos tales como sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre, los cuales son vitales para el desarrollo y reproducción de las células
- **el valor de PH.-** Debe fluctuar entre 6.0 y 8.5.

DESCOMPOSICIÓN AEROBIA DE LOS COMPUESTOS CARBONÁCEOS ORGÁNICOS

Los consumidores aerobios de carbono son extremadamente importantes y vitales en el tratamiento de las aguas residuales.

Los compuestos carbonáceos orgánicos útiles, como son los carbohidratos, grasa y proteínas, son consumidos rápidamente para favorecer el crecimiento y los procesos metabólicos, siendo de esta forma extraídos del agua residual. Un indicador específico de este proceso es la disminución de DBO_5 y DQO .



Con un suministro de oxígeno adecuado la descomposición aeróbica de los compuestos carbonáceos orgánicos biológicamente utilizables da como resultado bióxido de carbono, agua y sustancia celular.

NITRIFICACIÓN.- La conversión del nitrógeno orgánico en nitrógeno amoniacal como resultado de los procesos anaerobios y aerobios de descomposición. Al comienzo el nitrógeno orgánico se presenta principalmente en forma de amoniaco (NH_4^+), que es transformado en nitrato en dos etapas.

Las bacterias de las nitrosomonas oxidan el amoniaco convirtiéndolo en nitrito según la siguiente ecuación:



La segunda etapa, las bacterias de las especies Nitrobacterianas oxidan el nitrito convirtiendo en nitrato, de acuerdo a la siguiente ecuación.



El nitrito producido por los nitrosomonas es oxidado instantáneamente por las Nitrobacterias convirtiendo en nitrato. Las dos ecuaciones anteriores se pueden integrar :



Con este ejemplo se puede demostrar que los oxidantes del amoníaco y del nitrito siempre colaboran con la naturaleza. Utilizan la energía química liberada en los procesos de oxidación para asimilar el bióxido de carbono CO_2 como fuente exclusiva de carbono.

El oxígeno necesario que se consume en este proceso se extrae del agua de modo el contenido de oxígeno puede disminuir por debajo de los mínimos que requieren los peces. Como resultado de la nitrificación, el nitrógeno conserva sus efectos fertilizantes con relación a las algas y demás plantas acuáticas. El nitrato deteriora el uso de aguas superficiales. El nivel establecido por las normas internacionales de la organización mundial de la salud es de 45 mg de NO_3^- / lt en el agua potable.

DESNITRIFICACIÓN.-

Muchas otras bacterias diseminadas en la naturaleza, y que también participan en el tratamiento biológico de las aguas residuales, pueden aprovechar tanto el oxígeno libre disuelto en el agua residual como el oxígeno ligado a los nitritos y nitratos como si fuera oxígeno libre en la oxidación total de los compuestos carbonáceos orgánicos en bióxido de carbono y agua directamente, sin productos intermedios detectables. Como ejemplo puede citarse el caso de diversas bacterias de la especie pseudomonas, las cuales oxidan carbohidratos, ácidos orgánicos y alcoholes, tanto aerobiamente con el oxígeno libre o anaerobiamente con el oxígeno de nitritos y nitratos.

En la respiración de nitritos/ nitratos, el nitrógeno es liberado en forma de gas y escapa del agua residual hacia la atmósfera. Este método es adecuado para extraer el nitrógeno fertilizante del agua residual.

DESULFURACIÓN

Además de la descomposición anaerobio de aminoácidos sulfurosos (desulfuración), La formación de sulfuro de hidrógeno o de sus sales por la acción de la bacteria anaerobias que utilizan el oxígeno ligado a los sulfatos en la respiración anaerobia (desulfuración), es una fuente importante de la formación de dicho sulfuro en un medio carente de oxígeno.

En este proceso el oxígeno ligado mineralmente es aprovechado por las bacterias para oxidar los compuestos carbonáceos orgánicos en forma similar a como ocurre en el proceso de desnitrificación. El oxígeno ligado a los sulfatos se consume en la respiración, dando paso a la formación de H_2S . su relación con el sulfuro de hidrógeno está en función del valor del PH.

Con valores de PH por debajo de 7, se produce principalmente H_2S

Con valores de PH de alrededor de 7, se forman H_2S y HS^- en proporciones casi iguales

Con valores de PH mayores de 7, se produce principalmente HS^- o S^{2-}

El sulfuro de hidrogeno es una sustancia meffitica altamente tóxica. No es estable bajo condiciones aerobias. Se oxidan químicamente hasta convertirse en azufre elemental, o las bacterias reductoras lo oxidan transformándolo en sulfato a través del ciclo de del azufre. El proceso de desulfurización se realiza en un medio carente de oxígeno sólo cuando no hay oxígeno proveniente de los nitritos y nitratos

LODOS ACTIVADOS

El lodo activo se descompone principalmente mediante microorganismos floculantes (sobre todo Bacterias y protozoarios) y se mezclan con oxígeno disuelto y agua residual.

Los sistemas de lodos activados comprenden unidades de aireación y unidades de tratamiento secundario y equipos de aireación.

Es un proceso biológico de régimen continuo en el cual la población microbiana se mezcla con el agua residual, los microorganismos eliminan y absorben parcialmente la materia orgánica que contiene el agua residual, o lo convierte en biomasa sedimentable.

Se producen por el desarrollo de diversas bacterias y otros microorganismos cuando el agua residual contiene cantidades suficiente de materia rica en nutrientes y existe el oxígeno necesario. Los organismos consumen rápidamente el oxígeno disuelto y se debe suministrar más oxígeno de la atmósfera o airear constantemente la mezcla de agua residual y el lodo. El lodo está compuesto por flóculos en donde se realizan los procesos biológicos

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LODOS ACTIVADOS

- Carga orgánica
- Nutrientes (Nitrógeno y fósforo), requeridos para mantener una actividad biológica óptima
- Los efectos biotóxicos y/o bioestáticos del efluente sobre el sistema biológico
- El contenido del crudo del agua de producción que se alimenta al sistema

- Los requerimientos de oxígeno y la tasa de producción de lodos del sistema de tratamientos en las variaciones de las cargas orgánicas de agua residuales
- La capacidad del lodo para separarse del licor tratado en el clarificador secundario, de concentrarse hasta el punto donde se obtenga el nivel deseado de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación mediante el reciclaje del lodo.

REACTOR BIOLÓGICO

El tratamiento en el cual puede asegurarse mediante el control de la cinética del crecimiento bacterial y se requiere de constante biocinética.

Los reactores biológicos son de carga y de flujo continuo con recirculación

Operación del reactor de flujo continuo con recirculación

En el reactor de flujo continuo el contenido está completamente mezclado y su composición en cada instante es la misma en todos los puntos del reactor, por consiguiente la corriente de salida de este reactor tiene la misma composición que del fluido contenido en el mismo.

El proceso consiste en la entrada del efluente sedimentado en un tanque violentamente agitado por aireadores mecánicos o sistema de difusión de aire comprimido, de modo que todo el contenido mantenga una composición aproximada cte. luego para una sedimentación secundaria y la línea de retorno del lodo.

FACTOR PARA EL CONTROL DE LOS REACTORES BIOLÓGICOS

Para que el tratamiento pueda realizarse adecuadamente se debe controlar las variables:

- El agua residual a tratarse.
- La adaptación de los microorganismos a medio.
- Los nutrientes.
- Control del PH .
- Control de la temperatura.
- Sales disueltas.
- Tiempo de retención celular.

ADAPTACIÓN Y CRECIMIENTO DE LOS MICROORGANISMO

Cuando se va a tratar aguas residuales industriales, muchas veces los lodos activados del tratamiento de las aguas negras es la mejor fuente de Microorganismo a pesar de que generalmente estos lodos no contienen los microorganismos apropiados en la cantidad suficiente, es posible estimular su crecimiento mediante el aumento gradual de las cargas de las aguas negras.

Después de varios ciclos se produce la selección adecuada, al cabo del cual predomina los microorganismo requeridos, mientras que los demás desaparecen.

Antes se creía que era necesario emplear cultivos especiales de microorganismos. Pero los cultivos especiales no brindan más ventajas que las bacterias que se desarrollan por efecto de la contaminación natural.

11.3. TRATAMIENTO TERCIARIO O AVANZADO

Cuando el efluente que proviene del tratamiento secundario no es suficiente para su descarga hacia una corriente receptora, debido a la persistencia de contaminantes, es necesario someterlo a un tratamiento adicional. Este tratamiento conduce a la eliminación de la materia orgánica remanente o a la eliminación de elementos no biodegradables como sólidos en suspensión, sales

inorgánicas disueltas como las del nitrógeno, fósforo y nutrientes asociados con la eutroficación.

Normalmente este tratamiento sigue al tratamiento secundario convencional, pero no siempre es el caso, porque algunas operaciones o procesos unitarios del tratamiento secundario, e incluso del tratamiento primario se puede remplazar por un sistema de tratamiento terciario.

Los procesos y operaciones unitarias que se incluyen en este tratamiento son: adsorción, intercambio iónico, ósmosis inversa, electrodiálisis, ultrafiltración, destilación, extracción líquido-líquido y cristalización.

ADSORCIÓN

Este proceso se basa en la retención sobre la superficie de un sólido (adsorbente), de las moléculas en disolución (adsorbato), por las acción de fuerzas químicas (cargas eléctricas de valencia) o física. Se aplica para eliminar los restos de materia orgánica y contaminante específicos.

Cuando la adsorción es química, el proceso es irreversible y resulta imposible la recuperación del adsorbente.

El tratamiento comúnmente usado para el tratamiento de aguas residuales es el carbón activado.

La materia orgánica disuelta se adsorbe en la superficie externa e interna del carbón y cuando estas superficies están cubiertas, el carbón debe ser regenerado.

El carbón activado puede ser de dos formas: granular (2mm de diámetro) ó en polvo muy fino.

El sistema de lodos activados granular consiste en un tanque cilíndrico con un lecho fijo móvil del material. El agua pasa a través del lecho, con un tiempo de retención suficiente como para que realiza el proceso de adsorción.

En la operación con lechos fijos la operación es por cargas: el lecho se puede limpiar con vapor supe calentados, pero en la práctica comúnmente es removido para su limpieza en un horno y el proceso de regeneración es esencialmente el mismo como en su activación original.

En los sistemas móviles, el carbón agotado es eliminado continuamente del fondo del lecho y repuesto con carbón regenerado.

En el tratamiento de aguas residuales con carbón activado en polvo, este puede ser adicionado en el tanque de aireación y eliminado con los sólidos biológicos en el clarificador secundario. En este caso los elementos orgánicos biodegradables y no biodegradables son adsorbidos. La biomasa crece en la superficie del carbón. La eficiencia de remoción biodegradable se puede mejorar por este proceso; Pero usualmente este método está en función de la eficiencia de los no biodegradable.

INTERCAMBIO IÓNICO

Este proceso consiste en el intercambio de iones entre los elementos presentes en una disolución y los existentes en una fase sólida finitamente dividida (0.5 a 1.5 mm. De diámetro) denominada cambiador.

En la actualidad se usan resinas orgánicas sintéticas (del tipo débil - benceno - estireno). Las resinas son de dos tipos, de acuerdo a los iones a intercambiar : aniones y cationes.

Existe una variedad de resinas en el mercado por lo que se debe elegir la más adecuada para tratar cada tipo de agua residual de acuerdo a la calidad final que se desea conseguir.

Se ejecuta en columnas rellenas con las resinas o materiales de intercambio formando un lecho, a través del cual se hace pasar el agua residual con un caudal constante. El trabajo se realiza a presión.

El proceso de intercambiador iónico se realiza en cuatro etapas bien diferenciadas: carga, lavado ascendente, regeneración y lavado descendente.

La aplicación del intercambio iónico es adecuada para el tratamiento de aguas residuales de plantas de recubrimiento metálico, para eliminar elementos radiactivos y para eliminar compuestos orgánicos de carácter iónico.

ÓSMOSIS INVERSA

Cuando las soluciones acuosas de concentraciones diferentes están separadas por una membrana semipermeable, hay un tránsito de agua (no de soluto) de la más diluida a la más concentrada, diluyéndose este último. Este fenómeno se llama osmosis si se aplica en el lado de la solución más concentrada una presión superior a la osmótica se reinvierte el fenómeno, pasando agua de la solución más concentrada a la más diluida, Este fenómeno se denomina ósmosis inversa.

La membrana usadas comúnmente en la ósmosis inversa está compuesto de acetato de celulosa con un espesor de alrededor de 100 um. La película contiene aberturas microscópicas que permiten el paso de moléculas de agua pero retiene los sólidos disueltos, el resultado del proceso es una solución concentrada de iones en el lado de la presión de la membrana y agua relativamente libre de iones.

En la osmosis inversa se utiliza diferentes tipos de configuraciones: sistema espiral- aireado, sistema tubular y membranas fibras -agujeros. Los sistemas espiral -aireado y de fibra- agujeros generalmente proveen de una alta velocidad de flujo, pero son más susceptibles a obstruirse que los sistemas tubulares y se usa para desmineralizar el agua. Las unidades tubulares son más apropiadas para el tratamiento de aguas residuales, porque la obstrucción de la membrana puede minimizarse por el incremento de la velocidad de flujo a través del tubo.

ELECTRODIALISIS

La electrodiálisis es un proceso combinado de ósmosis inversa y electrólisis para la separación de sales disociadas en electrolitos. Con la aplicación de una fuerza electrostática, los iones se dirigen hacia el electrodo correspondiente pero son interceptados por membranas semipermeables, en la que quedan retenidas.

ULTRAFILTRACIÓN

Esta es una operación físico química íntimamente ligada a la retro- ósmosis. Se basa en la separación, según el tamaño molecular de los componentes de una solución a través de una membrana de ultrafiltración que actúa como tamiz: esto permite el paso de agua y de soluto de bajo peso molecular, reteniendo a los de peso molecular alto, se diferencia de ósmosis inversa en que en ésta se separa el agua de las moléculas pequeñas, como puede ser las sales disueltas. Su eficiencia depende de la presión aplicada, que debe ser suficiente como para vencer la resistencia de la membrana.

La ultrafiltración se utiliza para tratar aguas residuales de la industria tales como la química, la papelera y la de alimentos.

12 DISPOSICIÓN DE AGUA DE PRODUCCIÓN

12.1 MÉTODOS DE DISPOSICIÓN DE AGUA DE PRODUCCIÓN

Los métodos más comunes de disposición de efluente generados por la extracción y desalado de petróleo son:

- **Descarga controlada en la superficie.**- Es practicada en algunas zonas como en los estados septentrionales de los Estados Unidos de Norte América. El agua producida es usada para rociar los caminos en el invierno y su contenido salino aprovechado para derretir el hielo y la nieve a la temperatura cercana al punto de congelamiento. La descarga sobre la superficie se descarga en algunas zonas áridas del mundo en donde el agua es rociada sobre los caminos para controlar el polvo.
- **Descarga controlada en aguas superficiales.**- Se practica en algunas zonas, por ejemplo en Wyoming. Se ejerce el control sobre la cantidad de sales disueltas totales en el fluido (en Wyoming el límite es de 5000 ppm.), en el uso del agua.
- **Evaporación.**- En las zonas áridas donde la tasas de evaporación son altas, el agua producida se coloca en fosas y se deja para que se evapore. El agua se purifica por la evaporación pero las sales y los sólidos disueltos permanecen en la fosa de evaporación. Eventualmente se deberán disponer de estos sólidos en forma segura.
- **Descarga controlada en ambientes marinos costeros.**- Comprende principalmente un control del contenido del petróleo y del punto de descarga. Los objetivos principales son evitar las aguas muertas o estancadas y las zonas pesqueras.
- **Descarga en aguas profundas (sin mareas).**- Las descargas desde plataformas han sido comunes. Los controles en donde se han aplicado, han sido dirigidos principalmente al contenido del petróleo.

- **Inyección por el espacio anular.-** La inyección de agua por el espacio anular de pozos productivos en varios campos. Esencialmente, es lo mismo que la inyección en pozo somero poco profundo pues el fluido se dirige a la primera zona permeable debajo de la tubería de revestimiento. Además, los controles de la cementación de la primera tubería de revestimiento no se adecuan a la disposición de las aguas, y la tubería de revestimiento se perforó hace buen tiempo y podría estar desgastada hasta el punto de falla.
- **Inyección en pozo poco profundos.-** Es popular en algunas zonas. el riesgo de contaminación de las capas freáticas poco profundas y de aguas potables subterránea aumenta obviamente a medida que disminuye la profundidad de inyección.
- **Inyección en pozo profundo-** La inyección de agua a zonas profundas, a través de un pozo inyector a profundidades mayor de 600 pies que no sean zonas productoras. Es un método muy popular en los Estados Unidos de Norte América y en Canadá.
- **Inyección para mantenimiento de presión, recuperación secundaria.-** Los fluidos son reinyectados para apoyar la recuperación adicional de petróleo del campo.

12.2 DISPOSICIÓN DE AGUA DE FORMACIÓN PROPUESTO EN EL NOR-OESTE PERUANO

Se han planteado tres alternativas de disposición de agua de formación:

- Descarga controlada a la quebrada Pariñas.
- Laguna de evaporación.
- Inyección en pozos abandonados.

12.2.1 DESCARGA CONTROLADA A LA QUEBRADA PARIÑAS

Consiste en descargar al río el agua salina generada. Es el método menos costoso y de actual aplicación.

Este método requiere de un eficiente proceso de separación de las pequeñas cantidades de crudo para lo cual se recurre a los separadores API, CPI, PPI, o los sistemas de flotación con disolución de aire.

Ventajas

- Bajo costo de construcción
- Requiere de pre tratamiento simple.
- Es mezclado con otras aguas y diluido a un nivel aceptable .

Desventajas

- Poco práctico para descargar a grandes distancias o terreno accidentado por los altos costos de bombeo.
- Requiere programas continuos de muestreo de efectos.

12.2.2 LAGUNA DE EVAPORACIÓN

Representa la alternativa menos costosa a la descarga directa. Esta consiste en descargar los efluentes en amplias pozas para concentrar las sales presentes, por medio de la evaporación de agua al contacto con la atmósfera.

Ventajas

- Aprovecha la elevada temperatura de la salmuera
- Rápido de construir y fácil de mantener.
- Sólo el petróleo flotante es removido.
- La cantidad de sales no es importante para la operación del sistema.

- Efectivas en áreas de relativamente áridas y de bajo costo.

Desventajas

- Extremado potencial contaminante de agua superficial y subterránea debido a fallas estructurales.
- Costo elevado de tierra lo hace impracticable.
- Puede ser usado sólo donde las tasa de evaporación son elevadas y costo de tierras bajos
- Películas de petróleos pueden llegar a afectar seriamente el proceso.

12.2.3 INYECCIÓN EN POZOS ABANDONADOS

Este método es el más costoso de los citados, aunque los peligros al medio ambiente casi son descartados. La disposición será efectuada con sistemas diseñados y operados de acuerdo con las siguientes especificaciones:

- a. Se podrá inyectar directamente por la tubería de revestimiento si la presión de inyección es menor al 80% de la máxima presión interna permitida para este tipo de tuberías. En caso contrario, cada pozo inyector deberá contar con tubería de inyección sentada con empaque por encima de la parte superior de la zona de disposición final y por debajo de fuentes de aguas subterráneas potables.
- b. La tubería de revestimiento de superficie de cada pozo inyector deberá cubrir el hueco hasta por debajo de la fuente de agua subterránea más profunda diferente al agua de formación. Además, la tubería de revestimiento deberá estar cementada hasta la superficie.

- c. Cada cinco (5) años se deberá someter cada pozo inyector a una Prueba de Integridad Mecánica. El informe de la prueba será remitido a OSINERG.**

- d. Se podrá reemplazar la Prueba de Integridad Mecánica por un control y registro mensual de la presión en el espacio anular entre la sarta de revestimiento y la tubería de inyección durante el proceso efectivo de inyección. Los registros deberán ser evaluados anualmente por un inspector / auditor contratado por el operador y su informe alcanzado a OSINERG. Este informe deberá contener las conclusiones del inspector / auditor sobre el estado mecánico del sistema de inyección y sobre las recomendaciones para la continuación de su uso.**

- e. El operador deberá proponer en el EIA las especificaciones complementarias para el adecuado funcionamiento del sistema y la efectiva protección del agua, el suelo y el ecosistema en su conjunto.**

13 CONSIDERACIONES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS APLICABLES AL ÁREA DE ESTUDIO

La descarga del agua de producción en ésta área puede ocasionar una alta contaminación ambiental, por lo cual se debe tomar medidas de control para ocasionar menor daño al sistema ecológico de la zona.

Al margen del costo que implicaría la inyección de agua, sería la primera opción a elegirse, De esta manera la contaminación es mínima. Este método ocasionaría mucho gasto, lo cual no justificaría la producción de algunos pozos.

La estimación en costo que ocasionaría la implementación de un sistema de inyección de agua sería:

- Instalación de equipos de remoción de aceite, poza API costo U:S.\$ 200 000
- Para rehabilitar el pozo seleccionado se han estimado U:S.\$ 100 000 por pozo, dentro del cual se incluye mano de obra, servicios químicos y equipos de subsuelo.
- La perforación de pozos inyectores se estima en U:S.\$ 900 000 cada uno
- Instalaciones de superficie, considerando las alternativas más críticas, sistema de inyecciones a presiones de 500 psi o mayores lo cual implica tuberías de acero de 6" de diámetro, internamente protegida. (U:S.\$ 250,000) y un sistema de bombeo estimado U:S.\$ 200 000
- Sistema de filtrado para eliminar sólidos en suspensión, y un sistema de inyección de inhibidores de incrustaciones y corrosión, se estima en U:S.\$ 35 000
- El uso de dos generadores eléctricos, instalados de 150 kw. Cada una como fuente de energía, se ha estimado en U:S.\$ 95 000
- Costo de un tanque instalado de 30 MBls., con protección catódica, se estima en U:S.\$ 150 000

El alto costo que se necesita para la implementación de un sistema de inyección hace que se busque otras alternativas que sean menos costosas como el vertimiento del agua producida a las quebradas. El vertimiento a las quebradas, se debe llevar a cabo en conformidad con las reglamentaciones y guías ambientales vigentes.

El petróleo es el principal contaminante en esta zona, y el tratamiento de agua que se aplica es más, en la remoción del petróleo del agua de producción,

Los sistemas de tratamiento primario de agua de producción reducen las concentraciones de aceites y grasa, sólidos totales y en suspensión.

Los Campos petroleros de Talara cuentan con separadoras **API** para la remoción de petróleo y sólidos en suspensión del efluente.

Los separadores de placas paralelas reducirían hasta un 25 % más las actuales concentraciones tanto de petróleo como los sólidos en suspensión. Adicionalmente se implementaría una unidad de clarificación para el efluente, para tener más confiabilidad en el proceso.

El costo de la conversión de la poza API a una poza CPI es de US\$ M 50

SISTEMA DE FLOTACIÓN

Se usa para clarificar el efluente de las pozas API, CPI, PPI. La remoción del petróleo y sólidos en suspensión está entre 30% y 40% más que los separadores de placas paralelas.

Este método separa el petróleo y sólidos, excepto la emulsión estable.

Para romper la emulsión estable se adiciona floculantes químicos

Su costo de implementación es de alrededor de US\$ 150 000.

COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

Mejora la clarificación del efluente de los separadores API, CPI, PPI. se usan agentes químicos floculantes, La eficiencia de tratamiento es comparable a la lograda por la flotación con aire, aunque un poco inferior. El costo de instalación es de US\$ 50.

Este método es recomendado para clarificar el agua de producción, por reducir la concentración de aceites y grasas a valores aceptables y por su bajo costo comparado con el sistema de flotación.

FILTRACIÓN

Tratamiento adicional, se efectúa para una mayor separación de los sólidos en suspensión, cuando el agua producida va a ser inyectada a la formación y así no ocasionar el taponamiento de los espacios porosos de la formación. La remoción de los sólidos estaría entre 80 a 98 %.

TRATAMIENTOS SECUNDARIOS Y TERCIARIOS

Mejora el tratamiento del efluente, debe de remover mayor número de contaminante (entre ellos el cloruro).

Se requiere procesos de tratamiento no convencionales como lodos activados, ósmosis inversa, electrodiálisis, etc. los cuales requieren altas inversiones iniciales y altos costos de operación y mantenimiento.

14. BENEFICIOS ECONÓMICOS EN EL TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES

La industria tiene la responsabilidad moral, legal y económica de afrontar el tratamiento de sus aguas residuales con el fin de obtener un efluente satisfactorio para el curso de agua receptor. El tratamiento de aguas residuales está siendo promovido e incluso forzado por el gobierno, El tratamiento de agua tiene beneficios, teniendo en cuenta los receptores y sus posibles medidas. Los beneficios que se pueden obtener son de tres tipos: primario, secundario e Intangible:

a. BENEFICIO PRIMARIO.-

- se define como el valor acumulado por los servicios y productos acumulados directamente por el proyecto
- Ahorro como consecuencia de cumplir lo ordenado por los organismos estatales, es decir evitar gastos legales, de expertos y el tiempo empleado por la dirección en las tramitaciones legales.
- Ahorro como consecuencia del incremento en el rendimiento de la producción por el mejor conocimiento de los procesos que produce aguas residuales y aplicaciones.
- Preservación de la ecología y medio ambiente

b. BENEFICIO SECUNDARIO.-

- Ahorro a los usuarios de aguas abajo como consecuencia de mejorar la calidad de agua.
- Fuente de trabajo de los empleados que trabajan en la construcción y funcionamiento de las instalaciones de agua residuales.
- Mayor crecimiento económico de la zona, debido a la confianza de la industria a su tratamiento de aguas residuales y posibilidades de expansión de la planta.

- Mayor crecimiento económico de la zona con más posibilidad de agua limpia para otras operaciones industriales que a su vez, dan mayor empleo y dinero en la zona.
- Mayor valor de las propiedades limítrofes como resultado de un curso de agua más limpio, más agradable.
- Más posibilidad de recreo, pesca, remo, natación, como resultado de una mayor pureza de agua.

c. BENEFICIOS INTANGIBLES

- Buenas relaciones públicas y una mejor presentación de la industria después de la instalación de los sistemas para eliminar la contaminación.
- Mejor salud mental de los habitantes de la zona, tranquilizados por tener un tratamiento de agua residual adecuado y agua limpias.
- Práctica de conservación mejoradas, lo que producirá efectos beneficios como agua más limpia, para más gente y más años.
- Mejora y acondicionamiento de belleza panorámicas y lugares históricos.
- Ahorros de costos de cambio de ubicación (de personas, grupos, empresas) a causas de aguas impuras.
- Las inversiones de capital asegura la permanencia de la industria en la zona, dando confianza por lo tanto a otras personas y los ciudadanos que dependen de las rentas industriales de la zona.
- Progreso tecnológico, resultante de la investigación y funcionamiento de las instituciones de tratamiento de las aguas residuales.

15. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La primera opción, para disposición de agua producida en la explotación de petróleo, es la inyección a pozos profundos.
- Existe una serie de subproductos que son generados en la explotación y desalado de petróleo, estos poseen en sus composiciones elementos capaces de deteriorar el frágil equilibrio del ecosistema, si no son adecuadamente tratadas y dispuestas.
- El método de disposición adecuado y económico, es la descarga a la quebrada seca, siempre y cuando se base en la premisa de remoción de petróleo en las aguas a descargar.
- Las unidades de tratamiento recomendadas, es la poza API que se encuentre conectada a un sistema de coagulación, floculación y sedimentación.
- Realizar programas de monitoreo y establecer seguimientos de las características de la quebrada, mensualmente.

16. BIBLIOGRAFÍA

- Guía para disposición y el tratamiento de agua de producción. ARPEL
- Protocolo de monitoreo de calidad de agua sub-sector hidrocarburo. Ministerio de Energía y Minas. Dirección general de asuntos ambientales.
- Manual de Servicios Industriales de Petróleos del Perú:
- API publicación 421: Monographs of water discharges Desing and operation of oil water separators
- Manual de tratamiento de aguas CEPIS.
- La Ley General de Aguas. Decreto Ley 17752

ANEXOS

CUADRO 1.- RESUMEN DE ACCIONES A SEGUIR

PROGRAMA DE MONITOREO DE EFLUENTES LIQUIDOS								
PUNTOS DE MUESTREO		Nº DE MUESTRAS		FRECUENCIA		PARAMETROS	AGUA PRODUCCION	CUERPO RECEPTOR
EMISOR	RECEPTOR	EMISOR	RECEPTOR	EMISOR	RECEPTOR			
POZA API	500 MTS. AGUAS ARRIBA	1	1	M	M	CAUDAL	X	X
				M	M	TEMPERATURA	X	X
POZA CLARIFICADORA	500 MTS. AGUAS ABAJO	1	1	M	M	PH	X	X
				M	M	CONDUCTIVIDAD	X	X
						TSD	X	X
				M	M	CL	X	X<2>
				M	M	OXIGENO		X
				M	M	ACEITE Y GRASAS	X	X
				T	T	NITROGENO AMONIACAL		X
				T	T	FENOLES		X
				T	T	SULFUROS		X
				T	T	Pb	X	X
				T	T	Cd	X	X
				T	T	Ba	X	X
T	T	Hg	X	X				
T	T	Cr	X	X				

(1) MEDICION TOMADA EN EL CAMPO

M = MENSUAL

T = TRIMESTRAL

CUADRO 2.- MONITOREO DE AGUA DE PRODUCCION

Parametros	Unidades	Fecha														Promedio
		May 2008	Jun 2008	Jul 2008	Ago 2008	Set 2008	Oct 2008	Nov 2008	Dic 2008	Ene 2009	Feb 2009	Mar 2009	Abr 2009	May 2009	Jun 2009	
Volumen	(bls)	565.000	543.000	525.000	537.000	512.000	522.000	525.000	530.000	549.000	510.000	589.000	572.000	574.000	520.0000	540.929
Temperatura	°F	68.50	67.20	82.20	80.60	79.20	79.00	80.70	78.90	86.20	89.60	91.60	87.40	89.60	76.90	81.257
PH		5.70	5.60	8.00	7.30	7.30	7.50	7.20	7.60	7.20	7.20	6.90	7.10	6.90	7.27	7.055
conductividad a 25°C mS/cm	mS/cm	26.30	27,5	23.76	26.98	30.60	35.89	29.56	30.76	35.78	29.56	38.93	24.45	31.65	29.69	28.136
TDS	mgr/lt	19359.00	21444.00	21000.00	19000.00	20000.00	22000.00	19023.00	21600.00	18190.00	19765.00	21129.00	22299.00	18569.00	19654.00	20216.571
Cl	mgr/lt	10537.00	11400.00	12106.00	11720.00	10375.00	10160.00	10740.00	10611.00	6234.00	10065.00	7792.00	8411.00	10313.00	10688.00	10082.286
Aceite y grasas	mgr/lt	21.00	17.50	33.00	13.80	11.50	12.60	6.10	24.00	12.70	10.40	27.50	13.70	17.80	17.20	17.057
Pb	mgr/lt	0.027	0.013	0.011	0.010	0.030	0.011	0.012	0.013	0.039	0.010	0.009	0.006	0.009	0.003	0.015
Cd	mgr/lt		0.030			0.003			0.020			0.005			0.008	0.009
Ba	mgr/lt	1.051	1.055	2.112	3.750	4.055	11.131	14.211	17.890	18.151	40.321	18.342	25.120	25.100	30.870	15.226
Hg	mgr/lt		0.000			0.000			0.000			0.000			0.000	0.000
Cr	mgr/lt		0.100			0.000			0.010			0.000			0.008	0.005

CUADRO 3.- MONITOREO

500 MTS. AGUAS ARRIBA

Parametros	Unidades	Fecha														
		May 2008	Jun 2008	Jul 2008	Ago 2008	Set 2008	Oct 2008	Nov 2008	Dic 2008	Ene 2009	Feb 2009	Mar 2009	Abr 2009	May 2009	Jun 2009	Promedio
Caudal	m3/min															
Temperatura	°F	68.80	67.20	79.90	82.60	74.90	78.10	81.20	80.70	92.30	91.60	88.10	88.90	89.70	80.60	81.76
PH		8.10	8.10	8.80	8.30	8.14	8.36	8.15	7.96	8.28	7.92	7.90	7.69	7.52	7.80	8.07
conductividad a 25°C	mS/cm	2.60	2.80	3.16	2.99	3.20	2.89	2.10	3.00	2.90	2.89	3.20	2.67	2.90	2.50	2.84
TDS	mgr/lit	2441.00	2560.00	2957.00	2576.00	3065.00	2889.00	2234.00	2443.00	2682.00	2867.00	3042.00	2932.00	2378.00	2443.00	2679.21
Cl	mgr/lit	922.00	1251.00	1338.00	1186.00	568.00	534.00	605.00	1435.00	292.00	724.00	402.00	453.00	799.00	567.00	791.14
Aceite y grasas	mgr/lit	3.20	2.00	13.00	7.60	9.00	1.50	9.80	13.50	5.80	4.10	3.20	1.50	4.10	0.50	5.63
Pb	mgr/lit	0.012	0.022	0.005	0.007	0.008	0.003	0.005	0.006	0.004	0.006	0.008	0.002	0.006	0.005	0.007
Cd	mgr/lit		0.001			0.003			0.003			0.001			0.000	0.002
Ba	mgr/lit	0.066	0.067	0.006	0.043	0.051	0.201	0.210	0.909	0.396	0.938	0.919	0.880	0.839	0.490	0.430
Hg	mgr/lit		0.000			0.000			0.000			0.000			0.000	0.000
Cr	mgr/lit		0.000			0.000			0.000			0.000			0.000	0.000

CUADRO 4.- MONITOREO

500 MTS. AGUAS ABAJO

Parametros	Unidades	Fecha														Promedio
		May 2008	Jun 2008	Jul 2008	Ago 2008	Set 2008	Oct 2008	Nov 2008	Dic 2008	Ene 2009	Feb 2009	Mar 2009	Abr 2009	May 2009	Jun 2009	
Caudal	m3/min															
Temperatura	*F	68.80	67.20	79.90	82.60	74.90	81.00	80.90	78.90	92.10	91.60	88.10	87.00	86.20	77.800	81.21
PH		7.91	8.10	8.80	8.33	7.99	8.25	7.61	8.26	7.80	7.69	7.69	7.55	7.60	7.600	7.94
conductividad	mS/cm	3.40	2.90	3.21	3.10	3.14	2.97	3.23	3.60	3.10	2.99	3.610	3.600	3.900	3.500	3.30
TDS	mgr/lt	2627.00	2898.00	2989.00	3056.00	2489.00	2796.00	3287.00	3134.00	3487.00	2593.00	2682.00	2897.00	3267.00	2987.000	2942.07
Cl	mgr/lt	594.00	1973.00	1738.00	1707.00	496.00	596.00	670.00	1120.00	407.00	1020.00	455.00	560.00	1104.00	790.000	945.00
Aceite y grasas	mgr/lt	3.10	2.50	14.40	6.90	3.70	2.10	30.10	7.00	4.10	6.80	37.90	2.50	7.10	1.000	9.23
Pb	mgr/lt	0.016	0.025	0.012	0.005	0.011	0.003	0.004	0.007	0.005	0.006	0.005	0.005	0.004	0.008	0.01
Cd	mgr/lt		0.002			0.006			0.001			0.002			0.003	0.00
Ba	mgr/lt	0.071	0.076	0.094	0.044	0.053	0.376	0.357	0.981	0.412	0.929	0.906	0.899	0.853	0.653	0.48
Hg	mgr/lt		0.000			0.000			0.000			0.000			0.000	0.00
Cr	mgr/lt		0.000			0.000			0.010			0.000			0.003	0.00

FIGURA 1 PLANO DE UBICACION

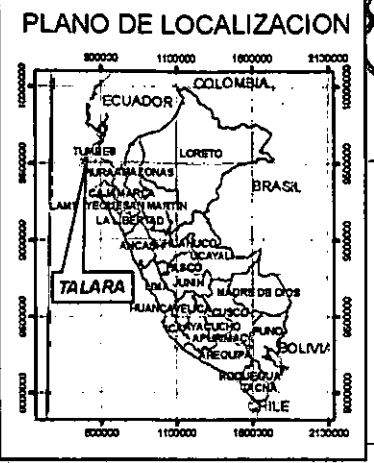
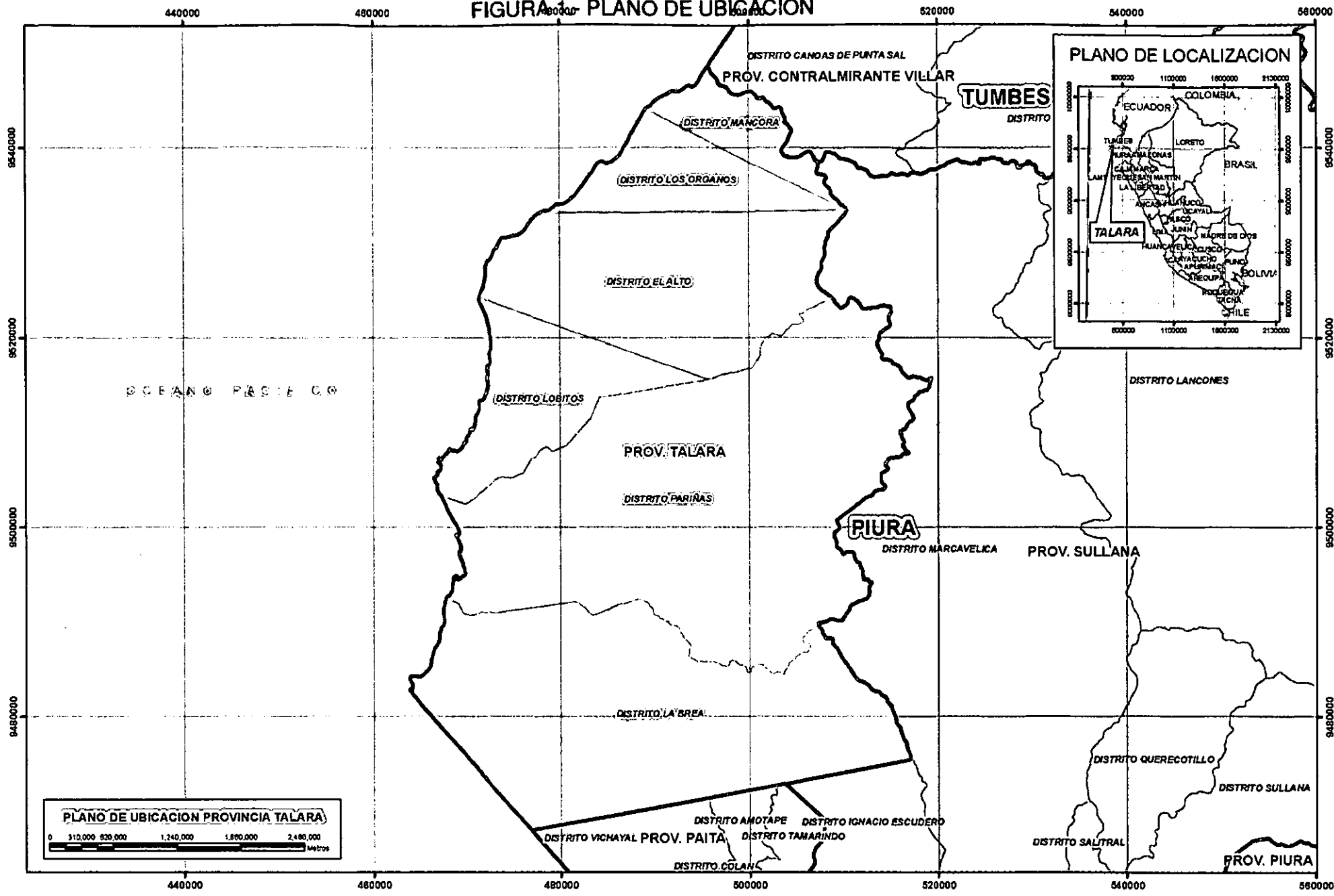


FIGURA 2.- DIAGRAMA DE FLUJO

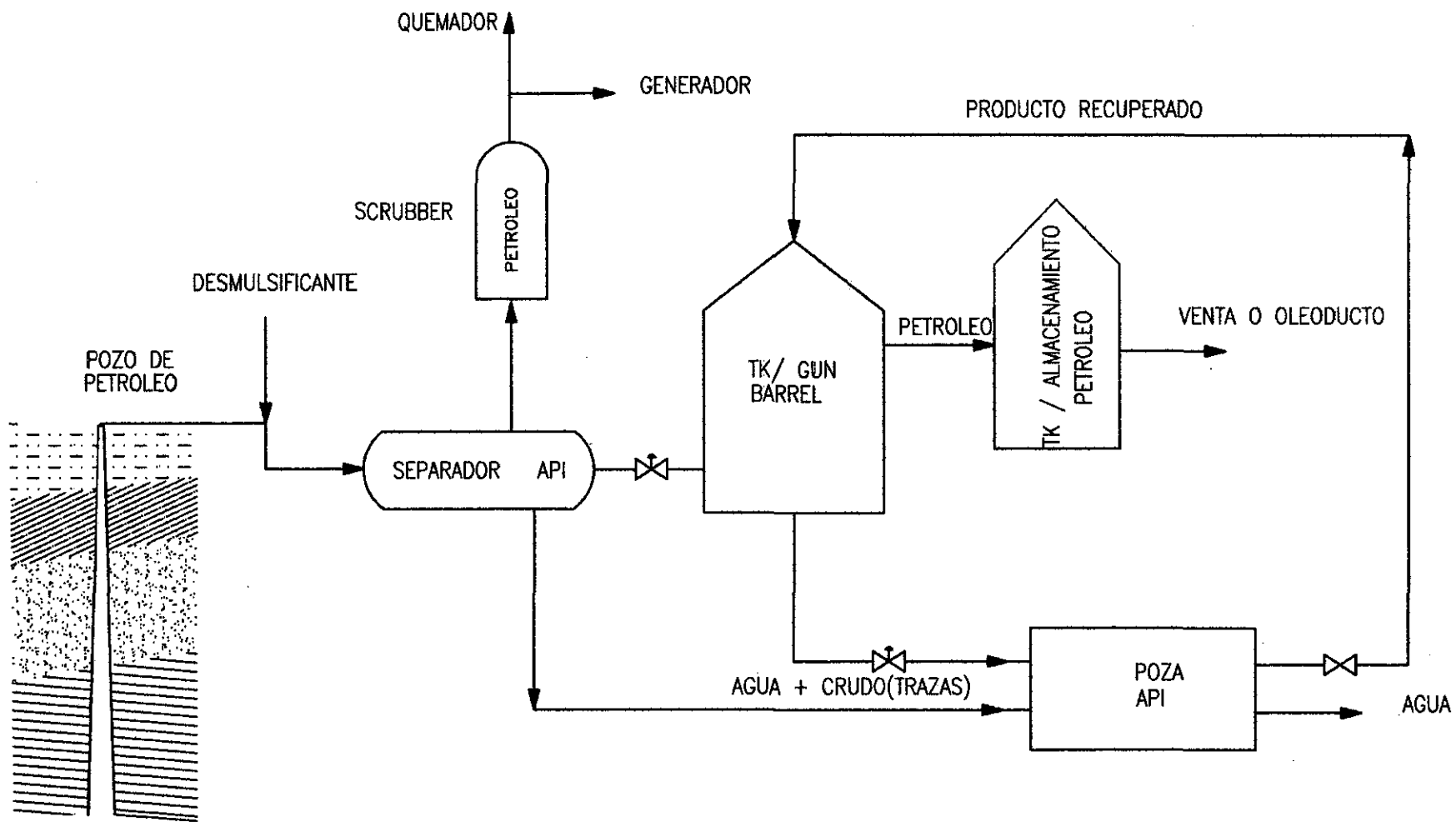


FIGURA 3.- SISTEMA DE LAVADO DE PETROLEO CRUDO

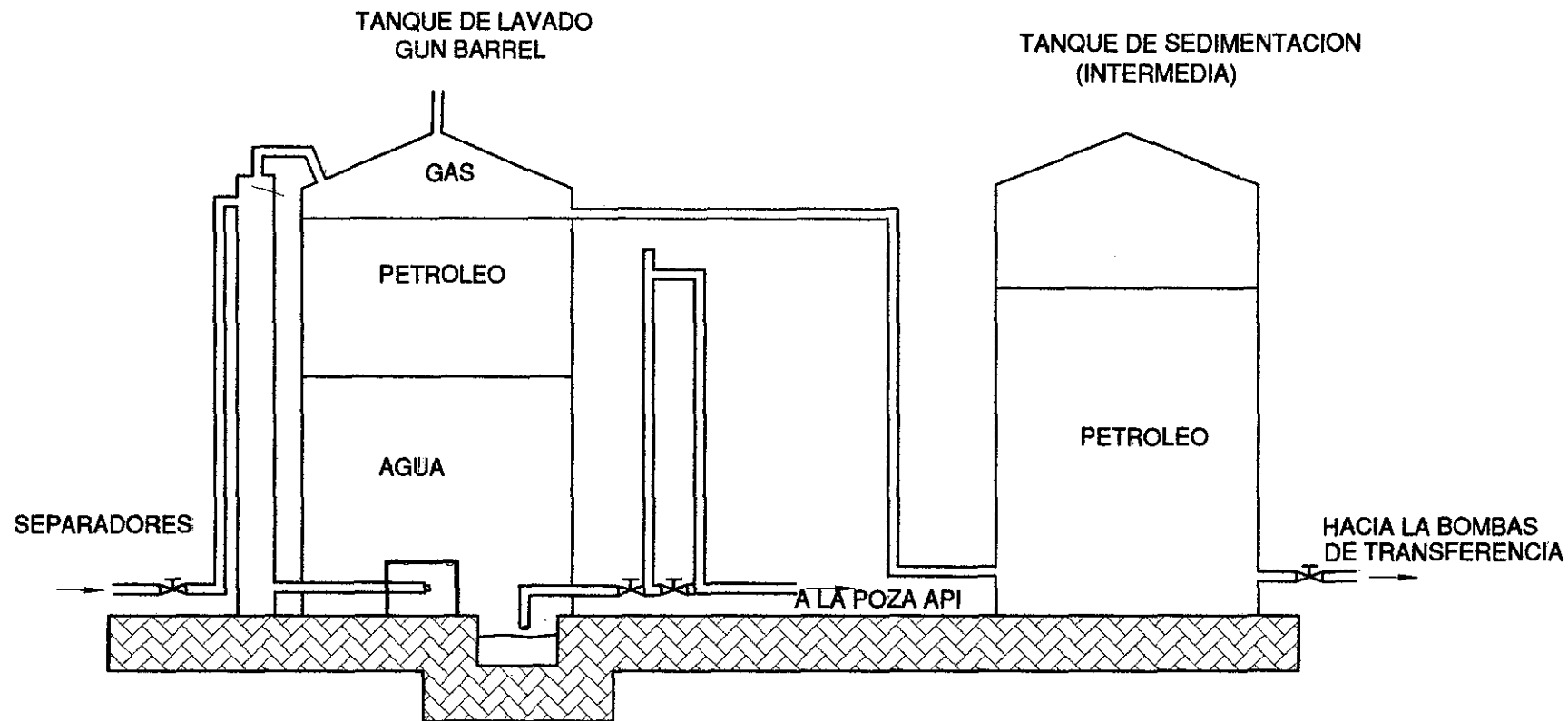
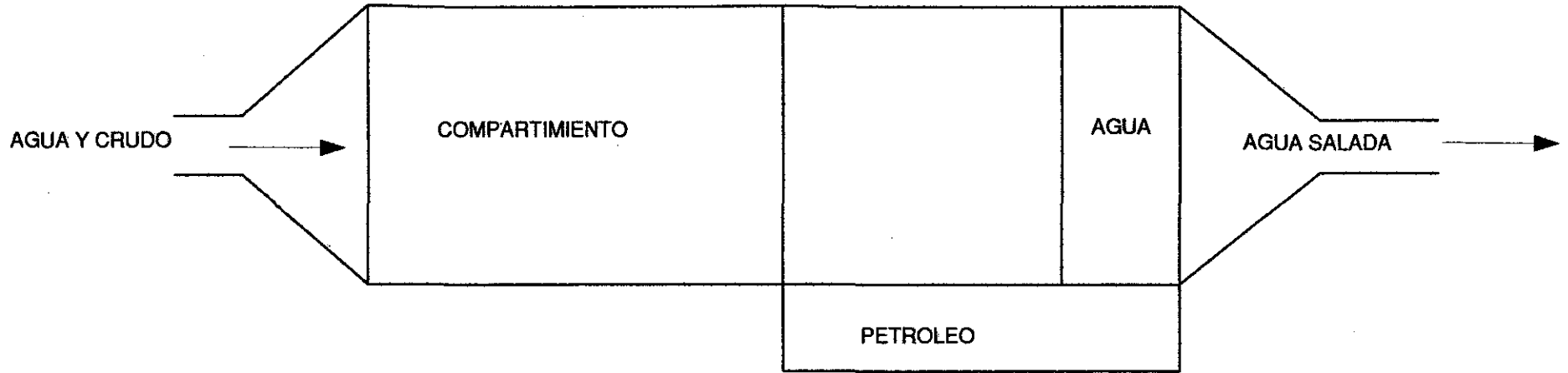


FIGURA 4.- P O Z A A P I

PLANTA



FRONTAL

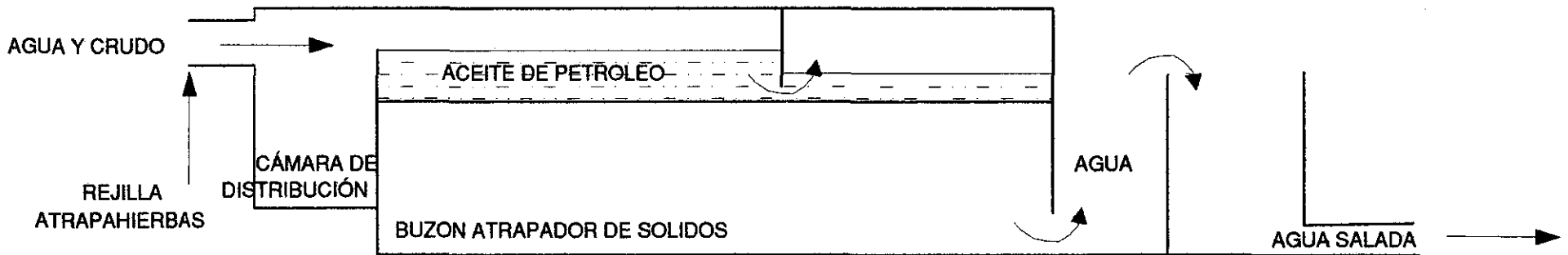


FIGURA 5.- CORTE LONGITUDINAL DE UNA POZA API

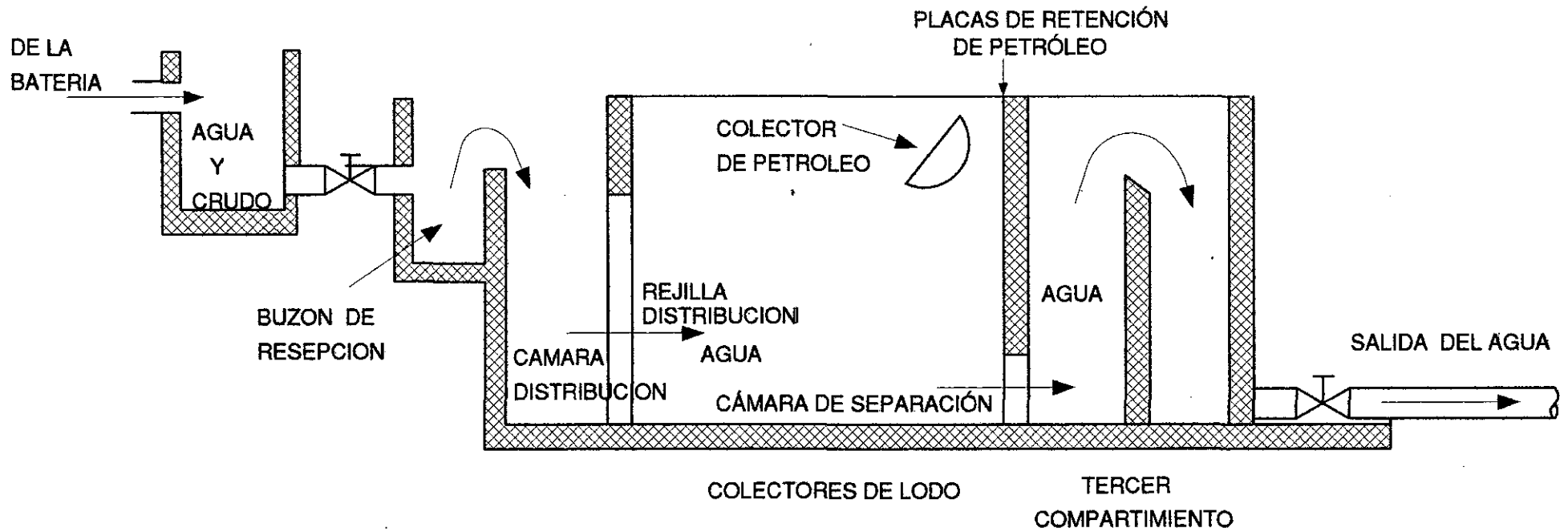


FIGURA 6.- SEPARADORA API (2 UNIDADES EN PARALELO)

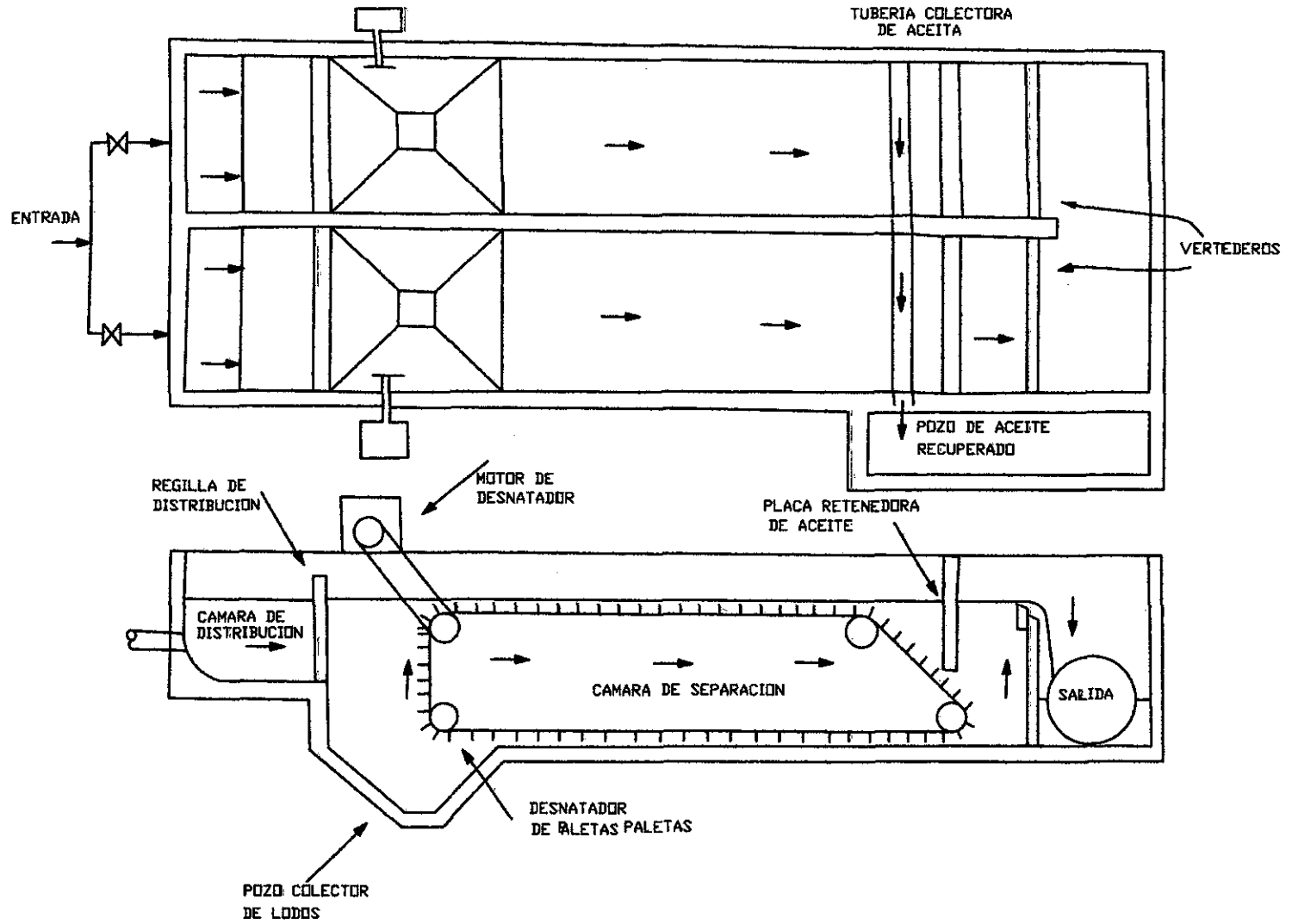


FIGURA 7.- SEPARADORES CPI

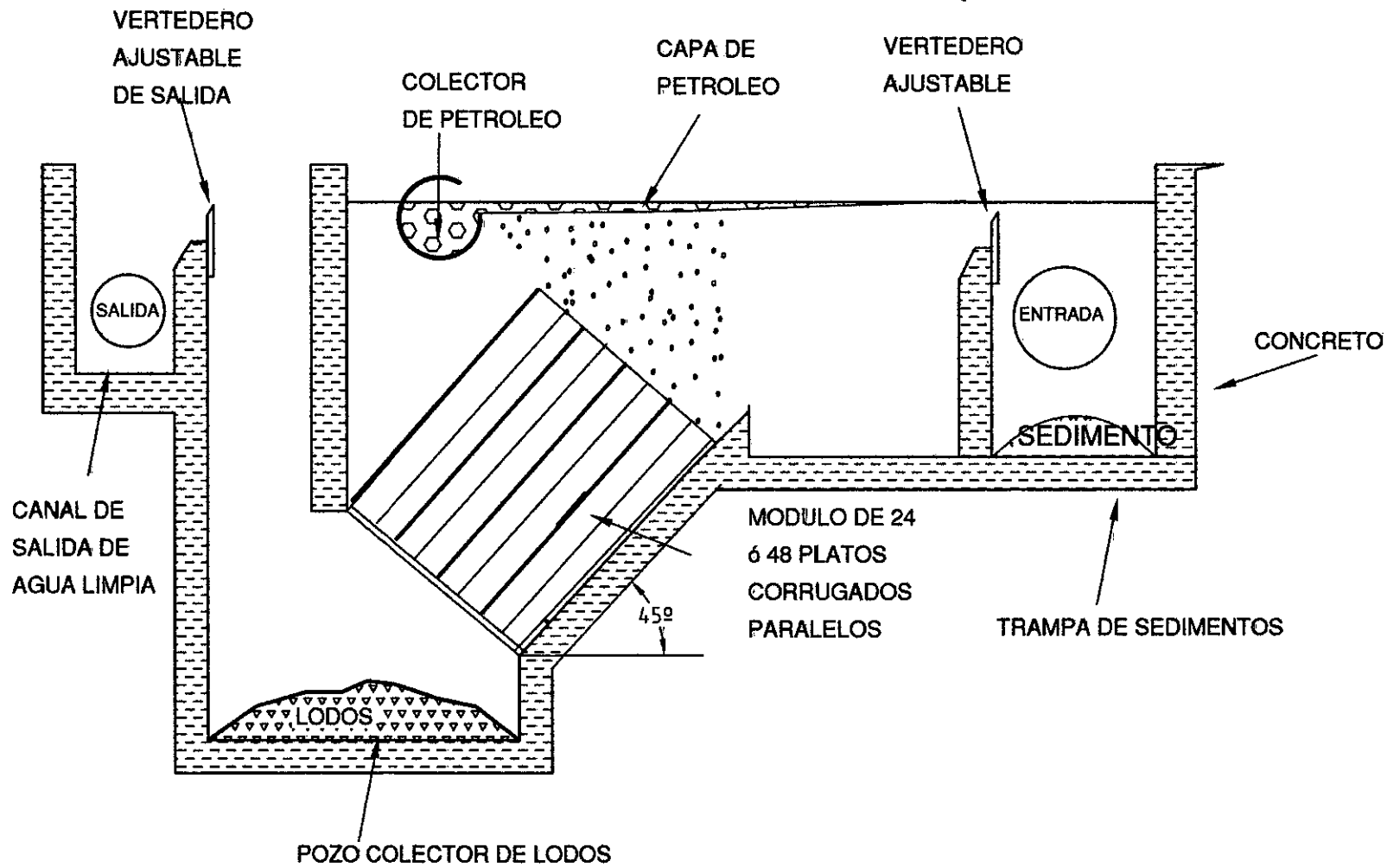


FIGURA 8.- MODULO DE SEPARADOR CPI
Y
MECANISMO DE SEPARACION

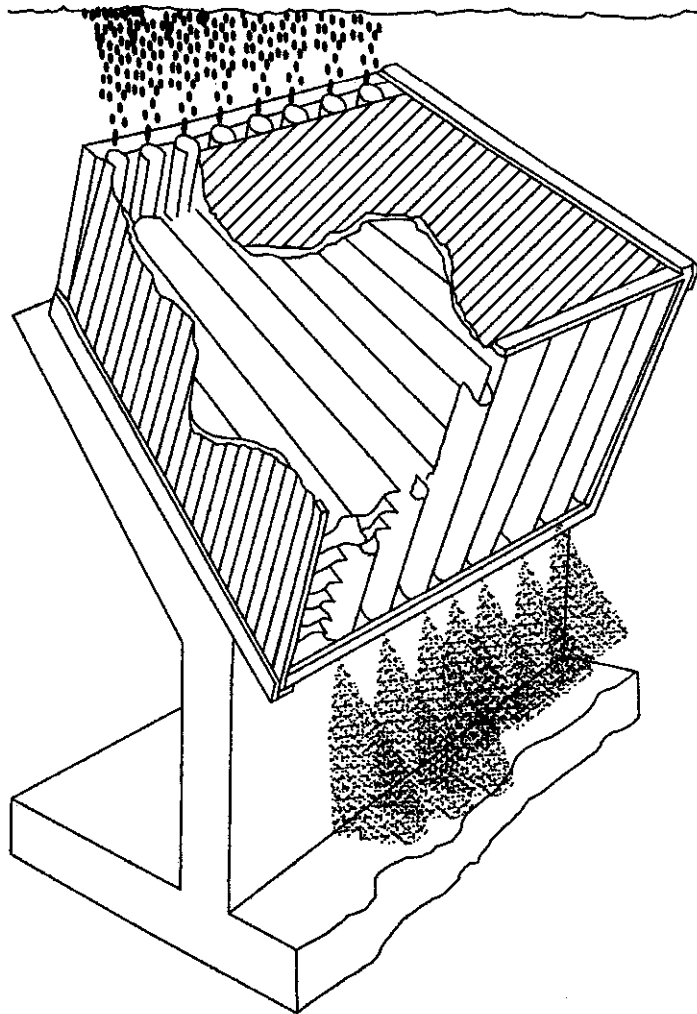


FIGURA 9.- SEPARADOR PPI

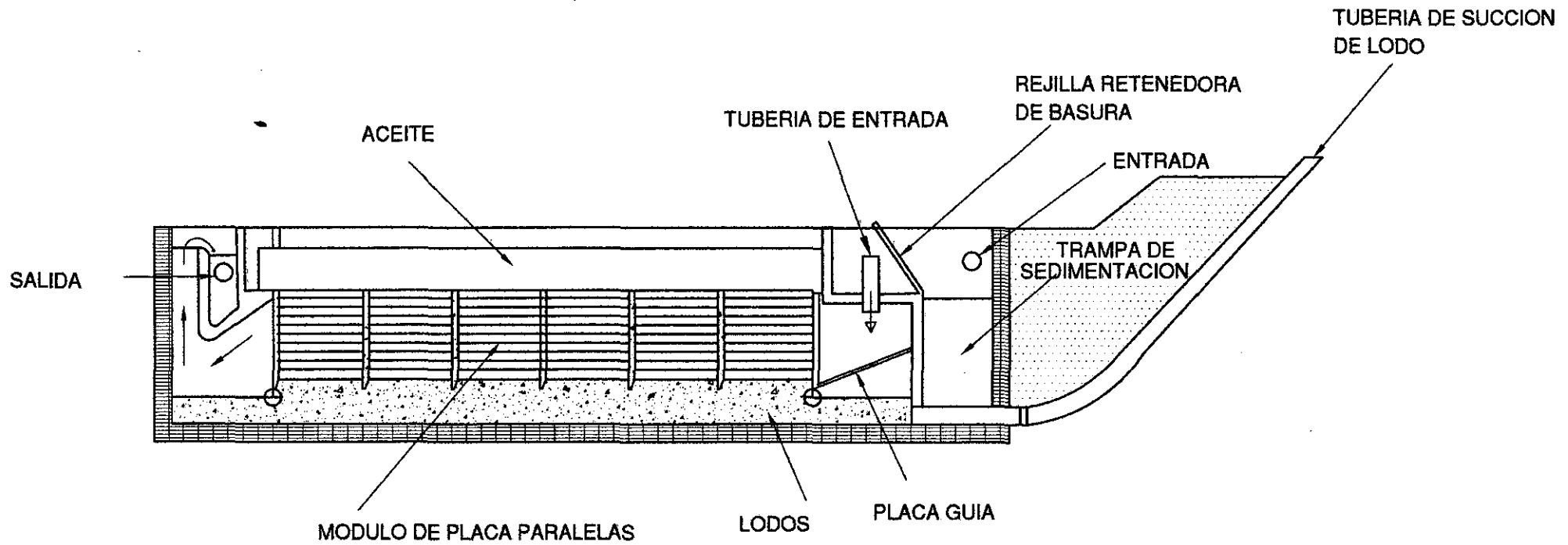


FIGURA 10.- DETALLE DE MODULO DE PLACAS PARALELAS

SEPARADOR PPI

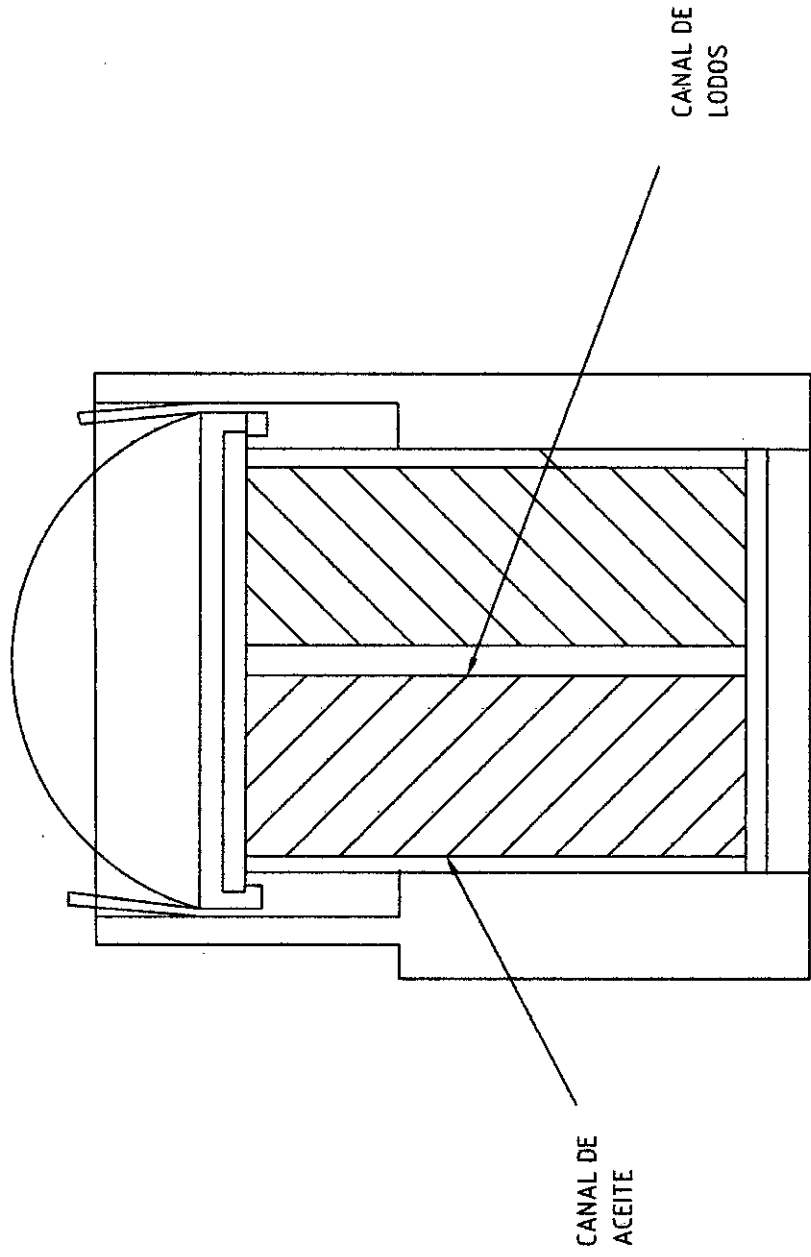


FIGURA 11.- FLOTACION CON GAS POR PRESURIZACION

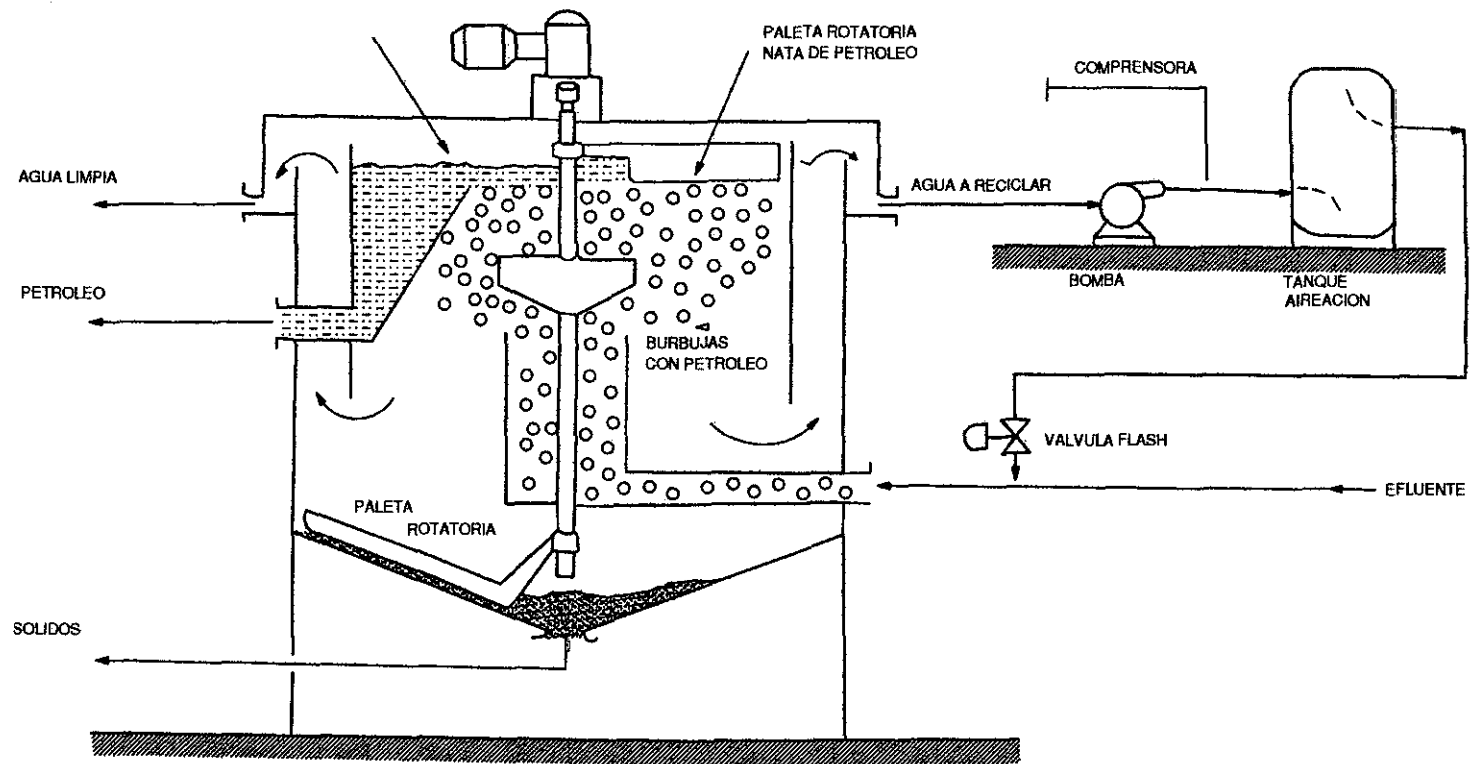


FIGURA 12.- SISTEMA DE FLOTACION CON AIRE - PRESURIZACION TOTAL DEL EFLUENTE

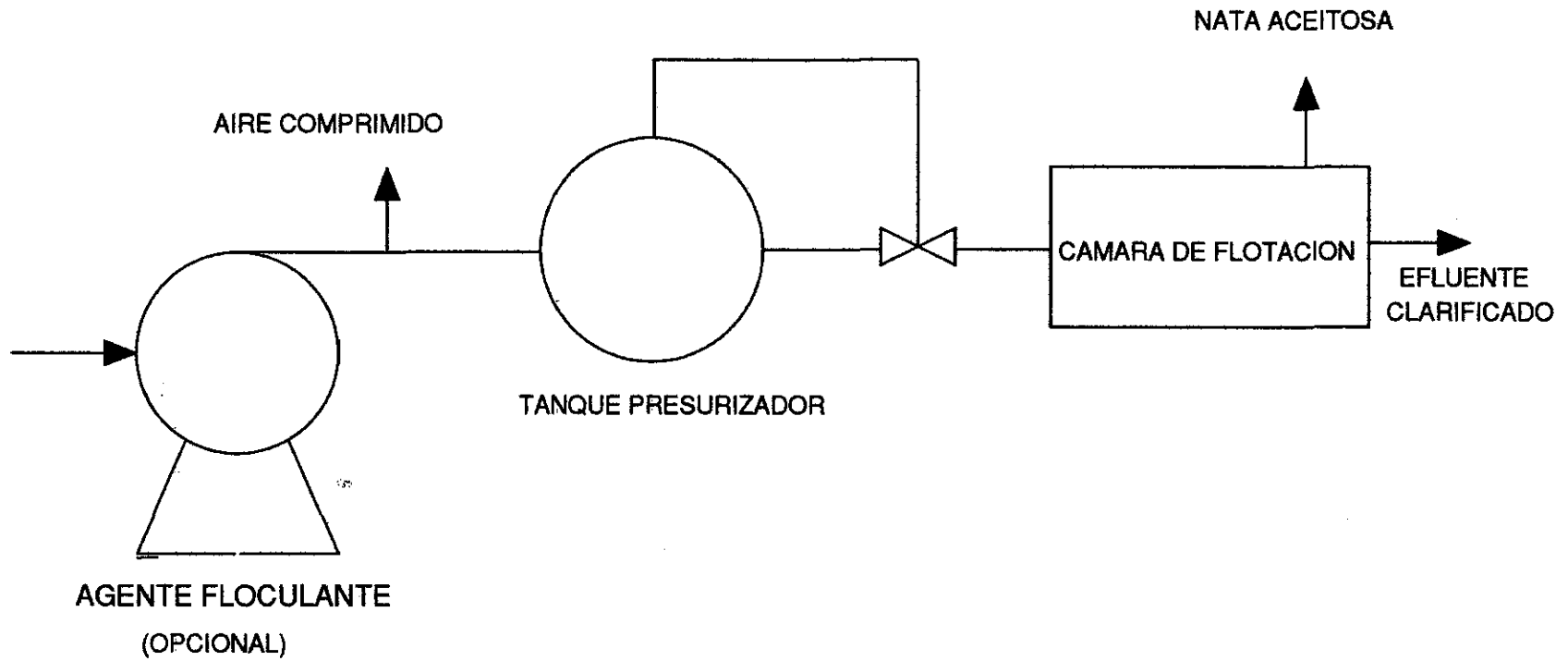


FIGURA 13.- SISTEMA DE FLOTACION
CON AIRE - PRESURIZACION PARCIAL DEL EFLUENTE

