

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

# **INFORME TÉCNICO**

## **DE RESIDENCIA PROFESIONAL**

### **CARRERA**

INGENIERÍA BIOQUÍMICA.

### **PRESENTA**

JANETTE ALEJANDRA MOGUEL FRICKMAN  
NUMERO DE CONTROL: 12270693

### **PROYECTO**

**“MEJORAMIENTO DEL MÉTODO DE SEPARACIÓN DE GRASAS-  
ACEITES DE AGUAS OLEOSAS DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE LASTRE DE LA TERMINAL MARÍTIMA”**

### **ASESOR EXTERNO**

ING. ROSA AURORA PÉREZ RUEDA

JEFA DEL DEPARTAMENTO DE ALMACENAMIENTO Y BOMBEO

### **ASESOR INTERNO**

DR. JOSÉ HUMBERTO CASTAÑÓN GONZÁLEZ

### **REVISORES**

DR. JUAN JOSE VILLALOBOS MALDONADO  
DRA. ROSA ISELA CRUZ RODRIGUEZ

### **PERIODO DE REALIZACIÓN**

ENERO – JUNIO 2016

# 1. ÍNDICE GENERAL

1. ÍNDICE GENERAL.....	2
2. ÍNDICE DE FIGURAS .....	4
3. ÍNDICE DE CUADROS .....	5
INTRODUCCIÓN .....	6
JUSTIFICACIÓN .....	8
OBJETIVOS .....	8
4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO.....	9
4.1 Misión.....	10
4.2 Visión .....	10
4.3 Valores.....	10
5. MARCO TEÓRICO.....	11
5.1 Buque Petrolero .....	11
5.2 Agua de lastre.....	13
5.3 Tanques de almacenamiento de hidrocarburos .....	13
5.3.1 Generalidades de los tanques verticales – techo fijo o flotante.....	14
5.3.2 Normas Aplicables.....	16
5.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	17
5.4.1 Limitaciones e interferencias. ....	18
5.5 Calhida .....	19
5.6 Sedimentación.....	20
5.7 Sedimentación de partículas floculentas .....	21
5.8 Eliminación de grasas y aceites por Biodegradación. ....	22
6. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	25
6.1 Ubicación del proyecto.....	25
6.2 Muestreo .....	25
6.3 Diseño experimental .....	26
6.4 Materiales .....	27
6.5 Procedimiento con agitación .....	27
6.6 Procedimiento con solución agua-Calhida.....	28
6.7 Determinación de grasas y aceites en aguas oleosas por el método colorimétrico de HACH. .....	29
6.8 Prueba DQO.....	31
6.8.1 Materiales. ....	32

6.8.2 Procedimiento.....	32
7. RESULTADOS .....	33
7.1 Prueba con solución agua-calhidra sin agitar.....	33
7.2 Prueba colorimétrica de HACH.....	36
7.3 Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	38
7.4 Implementación de cárcamos. ....	39
8. CONCLUSIÓN .....	42
9. RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES.....	42
10. BIBLIOGRAFÍA.....	44
11. ANEXOS .....	47
Anexo a. Ventilación de tanques de almacenamiento atmosféricos y de baja presión. No refrigerado y refrigerado.....	47
Anexo b. Especificaciones del kit DQO.....	48

## 2. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4. 1. Logotipo de Pemex.....	9
Figura 5. 1. Buque petrolero .....	12
Figura 5. 2 Tanques Verticales .....	17
Figura 6. 1 Entrada a la Terminal de Almacenamiento y Servicios Portuarios .....	25
Figura 6. 2 Planta de Lastre vía satélite .....	26
Figura 6. 3 Matraces con agitación. A., matraz con lastre; B., matraz con lastre y calhidra; C., matraz con agitación.....	28
Figura 6. 4 Procedimiento con solución agua-calhidra. A., Calhidra pesada; B., solución de calhidra; C., envase con 2 L de lastre; D., agregación de la solución al lastre; E., reacción instantánea del lastre; F., destilación de los tratamientos. ....	29
Figura 6. 5 Procedimiento de la determinación de grasas y aceites en aguas oleosas por el método colorimétrico de HACH. A, B y C lastre del tanque TV-1; D, E y F lastre del tanque TV-3.....	30
Figura 6. 6 Espectrofotómetro marca HACH .....	31
Figura 6. 7. Procedimiento de la prueba DQO. A., digestor para DQO; B., diluciones 1:100 de los tanques TV-1 y TV-3; C., termostato con las muestras.....	33
Figura 7. 1 Papel filtro con los tratamientos: A, T1B; B, T2B; C, T3B .....	34
Figura 7. 2 Grafica de medias por Método de LSD.....	35
Figura 7. 3 Grafica de medias por Método de Tukey .....	36
Figura 7. 4 Resultados de la Prueba colorimétrica HACH. A, B, C tratamientos con 24 h de reposo. D, E, F decantación de los tratamientos T1B, T2B, T3B; G, H I finalización de la decantación de los tratamientos T1B, T2B, T3B .....	37
Figura 7. 5 Fotos de la arena de Playa Abierta Salina Cruz, Oaxaca .....	40

### 3. ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 6. 1 Diseño experimental con agitación.....	26
Cuadro 6. 2 Tratamientos empleados en el diseño experimental sin agitación .....	27
Cuadro 7. 1. Absorción de grasa por la cal en los tratamientos sin agitación.....	34
Cuadro 7. 2 Resultados del análisis estadístico por método de LSD .....	35
Cuadro 7. 3 Resultados del análisis estadístico por método de Tukey .....	35
Cuadro 7. 4 Resultados de la prueba colorimétrica de HACH.....	38
Cuadro 7. 5 Concentraciones de la DQO.....	38

## INTRODUCCIÓN

Debido a que en la planta de tratamiento de lastre en la terminal marítima de Salina Cruz se presentó un problema para la separación de grasas-aceites de aguas oleosas, se evaluó el empleo de una solución de calhidra y/o un producto biológico como un método alternativo de esa operación unitaria, de tal forma que se implemente un sistema innovador en una instalación existente, valorando las implicaciones técnicas, interferencias y presupuesto.

El agua de lastre se utiliza para controlar la estabilidad y el recorte de un buque. La capacidad necesaria de aguas de lastre es proporcional al tamaño del buque y sus condiciones de carga.

El aumento de la flota petrolera mundial y la tendencia al gigantismo de la década de los 70 evidenciaron la contaminación del medio ambiente marino. En 1971, las operaciones de lavado de tanques en navegación, lastre sucio arrojado directamente al mar, accidentes, operaciones en terminales y otras, representaron alrededor de 1.400.000 toneladas (Vidal, 2003).

Desde 1967, la IMCO (*Inter-Governmental Maritime Consultative Organization*) adoptó medidas para luchar contra la contaminación. Esencialmente, se trató de frenar la carrera hacia el gigantismo y el petrolero de un solo tanque, fomentados ambos por la búsqueda de la mayor rentabilidad en la explotación y la obtención de buques más simples y baratos, suprimiendo los mamparos en la zona de carga (Vidal, 2003).

Actualmente se construyen petroleros con doble casco y con tanques de lastre separados, lo que elimina el problema de tratamiento de mezclas oleosas, que

quedan reducidas a las propias del lavado con crudo de los espacios de carga. El descubrimiento de que el propio crudo era el mejor fluido para limpiar no sólo el crudo residual, sino también las incrustaciones que se originan en los tanques de carga al cabo de un cierto tiempo de explotación, fue presentado como primicia en la conferencia MARPOL-78 (Rodrigo de Larrucea, 2009).

También es obligatorio que el petrolero disponga de equipos de gas inerte. El lastrado se realizaba llenando con agua los tanques de carga, actualmente en los buques de nueva construcción llevan tanques de lastre separados (Rodrigo de Larrucea, 2009).

El lastre que desechan los buques tanques de la industria petrolera, tienen en su contenido una mezcla con hidrocarburos, al llegar a tierra firme descargan el lastre a tanques en los cuales se les deja reposar, para una separación agua-aceite, por el método de decantación, drenando primero la grasa-aceite a otro tanque y posteriormente se drena el agua al mar.

Sin embargo, existen ocasiones en las que el agua se contamina con los residuos oleosos de los barcos, lo cual representa un problema al ser drenada al mar.

En el presente trabajo se analizaron diversos métodos de tratamiento de aguas oleosas, así como el análisis de factibilidad para aplicar estos métodos en la Terminal de almacenamiento y Servicios Portuarios Salina Cruz, en la misma Ciudad del estado de Oaxaca.

## **JUSTIFICACIÓN**

La planta de lastre de la Terminal Marítima de Salina Cruz, Oaxaca cuenta con tres tanques de almacenamiento de aguas oleosas y dos tanques de producto recuperado. Los tres tanques de aguas oleosas utilizan el método de decantación para una separación del agua con la grasa. Anteriormente contaban con una caldera, que calentaba el producto para una mejor separación, con el fallo de ésta, el sistema de separación lleva más tiempo por el reposo que se requiere para una correcta separación.

En dicha planta de lastre se suscitó un problema en el tanque TV-1, debido a que se recibió lastre contaminado con un producto desengrasante, lo cual generó que la grasa se conglomerara incrementando su peso y provocando que ésta sedimentara, impidiendo la separación agua-grasa/aceite mediante decantación. Para solucionar dicha problemática y eficientizar el proceso de separación agua-grasa se propuso una alternativa de bajo costo que permita obtener una mayor limpieza del agua para ser drenada al mar, beneficiando al medio ambiente, además de aprovechar la grasa recuperada y se pueda tener una mayor inversión.

## **OBJETIVOS**

General:

Implementar un sistema innovador que logre separar las grasas/aceites del agua de los tanques de lastre de la Terminal de Almacenamiento y Servicios Portuarios de Salina Cruz, Oaxaca.

Específicos:

Analizar el tratamiento con cal para el tanque TV-1 para su limpieza general, con sus implicaciones económicas.



Identificar productos biodegradables o bacterias que ayuden a la eliminación de la grasa del agua.

#### **4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO**

Petróleos mexicanos (PEMEX) es un organismo descentralizado de la Administración Pública Federal que goza de una arraigada identidad institucional, integrada por un símbolo-logotipo (Figura 4.1), un propósito, una visión y una serie de valores que diferencian a la empresa.



**Figura 4. 1. Logotipo de Pemex**

El símbolo petrolero está diseñado a partir de dos grafismos: una gota de petróleo como elemento representativo de la industria petrolera y el perfil de un águila real como elemento nacionalista. Ambos componentes están sobrepuestos, conformando así el Símbolo Gota-Águila.

#### **4.1 Misión**

Maximizar el valor de los activos petroleros y los hidrocarburos de la nación, satisfaciendo la demanda nacional de productos petrolíferos con la calidad requerida, de manera segura, confiable, rentable y sustentable.

#### **4.2 Visión**

Ser reconocida por los mexicanos como un organismo socialmente responsable, que permanentemente aumenta el valor de sus activos y de los hidrocarburos de la nación, que es ágil, transparente y con alto nivel de innovación en su estrategia y sus operaciones.

La economía nacional ha dado un giro gracias a que PEMEX, a través de sus alianzas con la industria, se ha posicionado como palanca del desarrollo nacional generando altos índices de empleo.

PEMEX es una empresa limpia y segura, comprometida con el medio ambiente; su alta rentabilidad y moderno régimen fiscal le han permitido seguir siendo un importante contribuyente del erario público, cuyos recursos se utilizan en beneficio del país.

#### **4.3 Valores**

En PEMEX las personas son muy importantes, por eso se busca la manera de representarlo en nuestros valores. Considerando que lo ideal es utilizar la forma concéntrica del caracol, pues este nos permite colocar a la persona como el centro e inicio del proceso, nuestros valores son:

Agilidad: es dinamismo, de mente y movimiento, es aprovechar el tiempo para dar una solución expedita al quehacer de Pemex y tener una capacidad de respuesta rápida para ser eficaz y utilizar de la mejor manera los recursos disponibles.

Innovación: es el impulso constante para encontrar una mejor manera de realizar la actividad diaria. Es atreverse al cambio.

Colaboración: implica la disposición del individuo a participar en la actividad diaria de Pemex. Es unir esfuerzos en beneficio del organismo, es contribuir para que cada organismo y filial forme parte del engranaje que constituye una gran Pemex.

Rendición de Cuentas: Implica actuar por convicción. Inspirar confianza por el desempeño personal, por la responsabilidad de las acciones realizadas y por hacer propias las metas y el compromiso operativo y social de Pemex.

Honestidad y Orgullo: es creer y actuar de acuerdo a los principios morales. Es expresar lo que se piensa con un afán propositivo en función de los intereses de Pemex. Es saberse parte de Pemex. Es honrar sus propósitos, valores y razón de ser e identificarse con ellos.

## **5. MARCO TEÓRICO**

### **5.1 Buque Petrolero**

Se define como buque cisterna de construcción especial, destinado al transporte de las diversas clases de combustibles líquidos. Las diferencias básicas entre un buque de carga corriente y un petrolero son:

Resistencia estructural: en un buque normal la carga es soportada por las cubiertas en el espacio de las bodegas; en un petrolero gravita sobre el fondo, forro exterior y mamparos. Además, en aguas agitadas se producen fuerzas de inercia que actúan sobre los costados y mamparos. La estructura del petrolero debe de ser más resistente que otros barcos.

Estanqueidad al petróleo: los tanques de carga deben ser estancos al petróleo y sobre todo a los gases producidos por él, que al mezclarse con el aire hacen una mezcla explosiva. Debe de evitarse que circuitos eléctricos pasen por los tanques o cámara de bombas (Vidal, 2003).

Variación del volumen de la carga: la carga aumenta su volumen un 1% por cada 10°C de incremento de la temperatura. Si el tanque se llena mucho, al calentarse rebosaría. Y si se llena poco, se tendrá un cargamento móvil que reduce la estabilidad y el espacio libre se llena de gases explosivos.

Sistema de bombas de carga y descarga de petróleo: la cámara de bombas suele estar a popa de los tanques de carga, para trasiego de la misma. Son bombas de gran capacidad movidas por vapor o motor eléctrico.

Ventilación: se producen vapores de petróleo en los cóferdams (compartimento estanco emplazado longitudinalmente en los costados del casco) y cámara de bombas, son más pesados que el aire y es necesario expulsarlos de estos espacios (Vidal, 2003).



Figura 5. 1. Buque petrolero

## **5.2 Agua de lastre**

Las aguas de lastre son empleadas en navegación marítima para procurar la estabilidad de un buque. La técnica consiste en la admisión o toma directa de agua del entorno en el que se encuentra el buque en ese momento, para la inundación total o parcial de unos depósitos o tanques especialmente diseñados en el interior del casco. El proceso puede invertirse y el agua es expulsada del navío, en un lugar que en general, suele estar alejado del punto original de toma.

La capacidad necesaria de aguas de lastre es proporcional al tamaño del buque y sus condiciones de carga, pudiendo transportar desde unos centenares de litros hasta 100 000 toneladas de agua (Rodrigo de Larrucea, 2009).

En los buques petroleros se considera lastre limpio aquella agua de mar que, proveniente de un tanque en el cual ha existido carga de hidrocarburos, al ser descargada no produce rastros visibles en la superficie del agua cuando esté en calma y limpia. Los estados que disponen de más medios, están provistos de estaciones que controlan y vigilan dichas descargas a la vez que obtienen una muestra del contenido líquido que queda en el tanque de lastre (Rodrigo de Larrucea, 2009).

Pues aun cuando en el mar dicha descarga pudiera ocasionar rastros visibles de hidrocarburos en la superficie, si la cantidad de hidrocarburos no excede de 15 ppm, el lastre se considera limpio.

## **5.3 Tanques de almacenamiento de hidrocarburos**

El almacenamiento constituye un elemento de sumo valor en la explotación de los servicios de hidrocarburos ya que:

- Actúa como un pulmón entre producción y transporte para absorber las variaciones de consumo.
- Permite la sedimentación de agua y barros del crudo antes de despacharlo por oleoducto o destilación.
- Brindan flexibilidad operativa a las refinerías.
- Actúan como punto de referencia en la medición de despachos de producto, y son los únicos aprobados actualmente por la aduana (Petroblogger, 2013).

### **5.3.1 Generalidades de los tanques verticales – techo fijo o flotante**

La selección del tipo y tamaño de tanque está regida por la relación producción-consumo, las condiciones ambientales, la localización del tanque y el tipo de fluido a almacenar (figura 5.2).

Los requisitos básicos de diseño son:

- Boca de sondeo: para la medición manual de nivel y temperatura, y para la extracción de muestras.
- PAT: en función del diámetro del tanque, existe un mínimo fijado por la norma.
- Pasos de hombre: son bocas de aprox. 600 mm de diámetro para el ingreso al interior del tanque. La cantidad mínima necesaria la fija la norma en función del diámetro del tanque.
- Bocas de limpieza: se colocan cuando se considera necesario. Son aberturas de 1.2 x 1.5 m aproximadamente dependiendo del diámetro del tanque y de la altura de la primer virola (serie de anillos soldados entre sí).

- Base de hormigón: se construye un aro perimetral de hormigón sobre el que debe apoyar el tanque para evitar hundimiento en el terreno y corrosión de la chapa.

- Telemedición: hay distintos sistemas, cada uno con sus ventajas y ámbito de aplicación. Entre ellos podemos mencionar para la medición de nivel: HTG, Servomecanismos, Radar, etc.

Para la medición de temperatura, se utilizan tubos con varios sensores ubicados en distintas alturas, para medirla a distintos niveles de líquido (estratificación). Precisión hasta 0.05°C

- Instalación contra incendios: debe cumplir con lo dispuesto por la ley 13660. Deben contar con 15umáis que suministren espuma dentro del recipiente, y con un anillo de incendios que sea capaz de suministrar el caudal de agua mínimo que exige la ley.

- Serpentín de calefacción: empleado en productos como el crudo (sedimentación de parafinas) y *fuel oil* (mantener viscosidad adecuada), son tubos de acero por los que circula vapor a baja presión.

- Recinto: según lo exige la ley 13660, debe existir alrededor del tanque un recinto capaz de contener hasta el 10% más de la capacidad máxima del tanque. En caso de haber más de un tanque dentro del recinto, el mismo deberá ser capaz de contener la capacidad máxima del tanque más grande, más el 50% de la capacidad total de los tanques restantes. Dicho recinto estará delimitado por un muro o por un talud de tierra. Los tanques de 10.000 m<sup>3</sup> de capacidad o mayores deberán ubicarse en recintos individuales.

- Drenajes: por seguridad, la apertura del drenaje del recinto debe poder hacerse siempre desde el exterior del muro de contención, para recuperar el producto en caso de rotura del tanque. Drenajes pluviales e industriales segregados.

- VPV (válvulas de presión y vacío): son necesarias ya que el tanque “respira” debido a: vaciado / llenado; alta TVR (Tensión del vapor) del hidrocarburo almacenado, aumento de la temperatura, exposición al fuego.

Normativa de referencia: API 2000

Presión de apertura para presión/vacío: 22 mm H<sub>g</sub>

En hidrocarburos pesados (*fuel oil*, asfaltos, lubricantes), se colocan cuellos de cigüeña con arresta llamas (Romano, 2004).

### 5.3.2 Normas Aplicables

- ASTM        *American Society for Testing Materials*
- API         *American Petroleum Institute*
- NFPA       *National Fire Protection Association*
- STI         *Steel Tank Institute*
- UL          *Underwriters Laboratories Inc. (E.U.A.)*
- ULC         *Underwriters Laboratories of Canada*

En nuestro país, comúnmente se diseña según normas API que hacen referencia a los materiales fijados por las normas ASTM, y se siguen las normas de seguridad dadas por NFPA.





Figura 5. 2 Tanques Verticales

#### **5.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro ampliamente utilizado para controlar el grado de calidad del agua, permite evaluar la cantidad de materia oxidable por medio de la oxidación de materia orgánica. Esta materia orgánica en condiciones naturales puede ser biodegradada lentamente (oxidada) a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  mediante un proceso que puede tardar desde unos pocos días hasta millones de años, dependiendo de las características de la materia orgánica presente y de las condiciones ambientales. En las pruebas de la técnica de la DQO se acelera artificialmente el proceso de biodegradación que realizan los microorganismos, mediante un proceso de oxidación forzada, utilizando oxidantes químicos y métodos debidamente estandarizados. Este parámetro se define como la cantidad de oxígeno necesario, o equivalente, para oxidar químicamente la materia orgánica susceptible de oxidación existente en un agua (Carbajal, 2016).

Las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables presentes en la muestra, se oxidan mediante reflujo cerrado en solución fuertemente ácida ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) con un exceso de dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) en presencia de sulfato de plata ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ) que actúa como agente catalizador, y de sulfato mercuríco ( $\text{HgSO}_4$ ) adicionado para eliminar la interferencia de los cloruros. Después de la digestión, el  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  remanente se titula con sulfato ferroso amoniacal para determinar la cantidad de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  consumido. La materia orgánica se calcula en términos de oxígeno equivalente (HACH, 2000).

Para muestras de un origen específico, la DQO se puede relacionar empíricamente con la DBO, el carbono orgánico o la materia orgánica.

#### **5.4.1 Limitaciones e interferencias.**

Los compuestos alifáticos volátiles de cadena lineal no se oxidan en cantidad apreciable, en parte debido a que están presentes en la fase de vapor y no entran en contacto con el líquido oxidante; tales compuestos se oxidan más efectivamente cuando se agrega  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  como catalizador. Sin embargo, éste reacciona con los iones cloruro, bromuro y yoduro produciendo precipitados que son oxidados parcialmente.

Las dificultades causadas por la presencia de los haluros pueden superarse en buena parte, aunque no completamente, por acomplejamiento antes del proceso de reflujo con sulfato de mercurio ( $\text{HgSO}_4$ ), que forma el haluro mercuríco correspondiente, muy poco soluble en medio acuoso. Si bien se especifica 1 g de  $\text{HgSO}_4$  para 50 mL de muestra, se puede usar una menor cantidad mientras se mantenga una relación  $\text{HgSO}_4:\text{Cl}^-$  de 10:1, cuando la concentración de cloruro sea menor de 2000 mg/L. La técnica no se debe usar para muestras que contengan más de 2000 mg de  $\text{Cl}^-/\text{L}$ ; existen otros procedimientos diseñados para determinar la DQO en aguas salinas (HACH, 2000).

El nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) tiene una DQO de 1,1 mg de  $\text{O}_2$ /mg de  $\text{NO}_2^-$ -N, y como las concentraciones de  $\text{NO}_2^-$  en aguas rara vez son mayores de 1 o 2 mg  $\text{NO}_2^-$ -N/L, esta interferencia es considerada insignificante y usualmente se ignora. Para evitar una interferencia significativa debida al  $\text{NO}_2^-$ , se agregan 10 mg de ácido sulfámico por cada mg de  $\text{NO}_2^-$ -N presente en el volumen de muestra usado; agregue la misma cantidad de ácido sulfámico al blanco de agua destilada (HACH, 2000).

Las especies inorgánicas reducidas, tales como ión ferroso, sulfuro, manganeso, etc., se oxidan cuantitativamente bajo las condiciones de la prueba; para concentraciones altas de estas especies, se pueden hacer las correcciones al valor de DQO obtenido, según los cálculos estequiométricos en caso de conocer su concentración inicial.

## 5.5 Calhidra

Cal: Es un término que designa todas las formas físicas en las que puede aparecer el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ). Se obtiene como resultado de la calcinación de las rocas calizas o dolomías.

La cal es, después de la sosa, la segunda base química fuerte industrial. En todos aquellos procesos en los que hay que neutralizar, precipitar y también proteger el medio ambiente, la cal aporta una solución. Siendo un producto muy antiguo, fabricado con los avances de una técnica cada vez más elaborada, la cal posee una característica muy importante: su polivalencia. Desde el punto de vista comercial, la polivalencia se traduce en la posibilidad de que la cal pueda ser utilizada en mercados muy diversificados, lo que evita que se sitúe bajo la tendencia de uno o dos sectores económicos (Grupo-Calidra, 2011).

Las aplicaciones importantes de la cal son:

- Como enmienda agrícola, a fin de neutralizar el fósforo (pH) de los suelos.
- Como material de construcción.
- Tratamiento de los minerales no ferrosos, siendo el más importante de todo el empleo de la cal en la industria del aluminio.
- Tratamientos de diversos efluentes líquidos o gaseosos: aguas fecales, ácidos industriales, desulfuración de la atmósfera, inertización de residuos urbanos e industriales, etc.
- En lo que se refiere a la cal siderúrgica, su utilización es fundamental en el proceso de producción del acero y en la fabricación de refractarios, y también como enmienda agrícola.

La cal, como producto antiguo que es, desde el punto de vista comercial, tiene un mercado bastante estabilizado; sin embargo, su gran reactividad, como base química fuerte, puede abrirle en el futuro nuevos mercados que dependerán fundamentalmente de la aplicación estricta de las medidas correctoras del medio ambiente: por ejemplo, la depuración de efluentes gaseosos en las centrales térmicas (desulfuración de la atmósfera), inertización de vertederos de residuos sólidos urbanos o industriales, tratamiento (corrección del pH o neutralización) de distintos residuos líquidos urbanos o industriales. Todas esas nuevas aplicaciones podrían ampliar el mercado tradicional de la cal y compensar en cierta medida la reducción de consumo en aplicaciones siderúrgicas como consecuencia de la mejora de los procesos, en cierta medida compensada por el aumento de producción.

## **5.6 Sedimentación**

La sedimentación es una operación unitaria dentro de los procesos de tratamiento de aguas que tiene como finalidad el remover los sólidos suspendidos que el agua pueda contener.

Los sólidos en suspensión sedimentables son aquellos que por acción de la gravedad se separan del seno del líquido y son arrastrados hacia el fondo del tanque sedimentador, donde pueden ser separados del agua a la cual se desea darle tratamiento para remoción de dichas partículas (De Vargas *et al*, 2004).

Los sólidos sedimentables son aquellos que tienen una densidad mayor a la del líquido donde se encuentran, en este caso agua, y su remoción del agua o líquido a tratar es deseable por razones estéticas y de calidad bacteriológica del agua que se pretende consumir.

Aún y cuando teóricamente deben separarse todas las partículas más densas que el líquido que contiene dichos sólidos, la eficiencia del proceso de remoción es generalmente baja ya que en el proceso de separación están involucrados otros factores como corrientes de turbulencia y de desestabilización de la cama de lodos, etc.

Casi siempre, la operación de separación de sólidos por sedimentación es el primer paso o uno de los primeros pasos en el tratamiento y acondicionamiento de las aguas potables. Aunque aparentemente es una operación sencilla, la eficiencia de la separación de los lodos por sedimentación depende de detalles muy finos que se tienen que evaluar a nivel laboratorio, a través de lo que se llama prueba de jarras. Esta eficiencia en la operación, se refleja en un agua de mayor calidad para etapas posteriores y en la obtención de lodos más compactos (De Vargas *et al*, 2004).

### **5.7 Sedimentación de partículas floculentas**

Partículas floculentas son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A

diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas (forma, tamaño, densidad) si cambian durante la caída (De Vargas *et al*, 2004).

Se denomina sedimentación floculenta o decantación al proceso de depósito de partículas floculentas. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de las aguas, como proceso intermedio entre la coagulación – floculación y la filtración rápida (De Vargas *et al*, 2004).

### **5.8 Eliminación de grasas y aceites por Biodegradación.**

Con el fin de contrarrestar los efectos nocivos causados por la presencia del petróleo en los ecosistemas marinos se han desarrollado técnicas físicas, químicas y biológicas que buscan remover el mayor porcentaje del contaminante y disminuir el impacto generado tras un derrame o acumulación progresiva. Entre las diversas técnicas, la biodegradación es considerada actualmente la alternativa menos costosa para transformar contaminantes presentes en diversos ecosistemas, teniendo en cuenta que gran variedad de bacterias cuentan con la maquinaria enzimática para transformar los compuestos xenobióticos persistentes y éstas pueden ser aisladas de lugares donde haya existido una previa exposición al contaminante (Reunamo *et al*, 2013).

Se han realizado algunos estudios que validan la eficacia de ciertos microorganismos como biodegradantes de grasas y aceites. *Burkholderia*, *Kocuria*, *Enterobacter* y *Pandoraea* tiene capacidades metabólicas versátiles que representan las principales poblaciones cultivables que degradan hidrocarburos de los desechos de las refinerías de petróleo en la India (Sarkar *et al*, 2017). El estudio proporciona evidencia sobre la capacidad intrínseca de las bacterias de residuos de refinería para facilitar la biodegradación mejorada que podría ser aprovechada durante la biorremediación de otros desechos ricos en hidrocarburos.

Bacterias como *Klebsiella sp.*, *Chromobacterium sp.*, *Flavimonas orizihabitans*, *Enterobacter cloacae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus brevis*, *B. pumillus*, *B. cereus*. *Klebsiella sp.*, *F. orizihabitans* y *Bacillus spp.* Han sido aisladas frecuentemente de suelos contaminados con compuestos petrogénicos, los cuales utilizan como única fuente de carbono y energía. De igual manera ha sido registrado por otros autores el aislamiento de estas especies en ambiente marinos (Narváes-Flores *et al*, 2008).

*Pseudomonas* es el género que con mayor frecuencia se aísla de ambientes contaminados con hidrocarburos y de la cual mayor información ha sido registrada; se conoce su capacidad para crecer sobre una amplia variedad de hidrocarburos del petróleo como benceno, naftaleno, tolueno, gasolina, kerosene y diésel (Narváez-Flórez *et al*, 2008). También se han estudiado los complejos enzimáticos y los plásmidos relacionados en la asimilación y degradación del contaminante relacionado. En su gran mayoría las bacterias degradadoras de hidrocarburos se encuentran en el grupo de gram negativas los lipopolisacáridos presentes en sus membranas ayudan a la formación y estabilización de emulsiones de hidrocarburos en sistemas acuosos y contribuyen al incremento en la superficie de ataque sobre el contaminante, para su posterior asimilación (Narváez-Flórez *et al*, 2008).

Se ha encontrado que *Serratia marcescens* es una bacteria nativa degradante de hidrocarburos (HBD), y que a su vez tiene potencial en la producción de biosurfactante. Se han estudiado ampliamente en *S. marcescens* los efectos de diferentes fuentes de carbono, fuentes de nitrógeno, salinidad, pH, temperatura y velocidades de agitación, y se encontró que la HDB *S. marcescens* muestra un buen potencial como una bacteria productora de biosurfactante que se utilizará en cualquier aplicación ambiental y como una alternativa a los tensoactivos químicos (Joy *et al*, 2016, Fadhile *et al* 2016).

Los biosurfactantes producidos por hongos y bacterias, son moléculas anfifílicas que tienen propiedades tensoactivas, emulsificantes y dispersantes. Estos compuestos están clasificados por su alto y bajo peso molecular (glucolípidos de ramnosa y trehalosa). Son capaces de reducir la tensión superficial entre la fase acuosa y oleaginosa. En la biotecnología ambiental, los biosurfactantes están ganando interés, para aplicarlos en procesos de biorremediación de ambientes contaminados con compuestos orgánicos persistentes, debido a que incrementan la biodisponibilidad y biodegradabilidad (Yañez-Ocampo, 2013).

Los biosurfactantes (BS) son compuestos producidos principalmente por hongos y bacterias. Estas moléculas tienen propiedades emulsificantes y dispersantes, disminuyen la tensión superficial del agua de 72 a 25 mN/m aproximadamente. Los microorganismos sintetizan BS cuando la fuente de carbono es parcialmente soluble o insoluble en agua, de esta manera están obligados a sintetizar moléculas con propiedades tensoactivas que favorezcan la biodegradación de los sustratos insolubles (Supaphol *et al.*, 2011).

Por ésta razón, a partir de sitios contaminados con residuos de baja solubilidad, se han aislado microorganismos productores de BS, los cuales han sido aplicados en procesos de biorremediación de sitios contaminados con metales pesados, plaguicidas organofosforados, hidrocarburos totales del petróleo y aceites sintéticos, ya que los BS incrementan su biodisponibilidad y biodegradabilidad (Banat *et al.*, 2000; Ortíz *et al.*, 2001; Yañez-Ocampo *et al.*, 2009; Yañez-Ocampo *et al.*, 2011).



## 6. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.

### 6.1 Ubicación del proyecto

El proyecto “Mejoramiento del método de separación de grasas- aceites de aguas oleosas de la planta de tratamiento de lastre de la terminal marítima” se realizó en el laboratorio del Departamento de Almacenamiento y Bombeo, de la Terminal de Almacenamiento y Servicios Portuarios de Salina Cruz, Oaxaca. Ubicado en Calzada Teniente José Azueta S/N Colonia San Pablo, de esta Ciudad (Figura 6.1).



Figura 6. 1 Entrada a la Terminal de Almacenamiento y Servicios Portuarios

### 6.2 Muestreo

Las muestras se tomaron del cuerno vertical del tanque vertical 1 (TV-1) de la Planta de Lastre, ubicada dentro de la Terminal Marítima y de Servicios Portuarios de Salina Cruz (Figura 6.2).

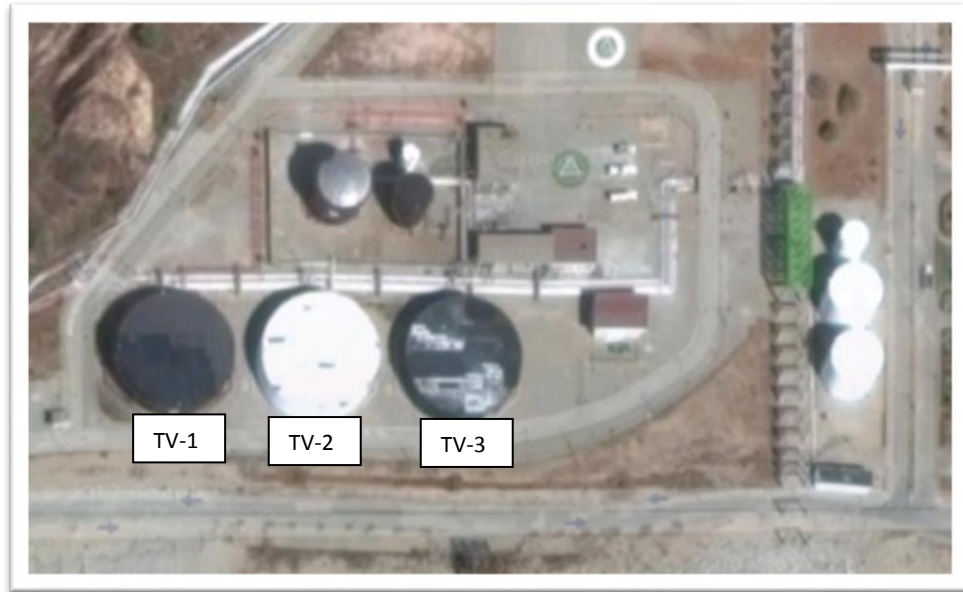


Figura 6. 2 Planta de Lastre vía satélite

### 6. 3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental con seis tratamientos variando la cantidad de cal adicionada a 1 L de lastre, el procedimiento se realizó por triplicado. El tiempo de agitación fue de 2 minutos (Cuadro 6.1)

Cuadro 6. 1 Diseño experimental con agitación

Tratamientos	Cantidad de Cal (g)
T 1	5
T 2	10
T 3	15
T 4	20
T 5	30.
T 6	40

Se utilizó un segundo diseño experimental, este se realizó tomando las características del tanque vertical, es decir sin agitación, en este ensayo el volumen de la solución fue 2L. Los tratamientos también se realizaron por triplicado (Cuadro 6.2)

Cuadro 6. 2 Tratamientos empleados en el diseño experimental sin agitación

Tratamiento	Cantidad de Cal (g)
T1B	30
T2B	40
T3B	50

#### 6.4 Materiales

- 1 Balanza Analítica
- 1 Agitador
- 1 Espátula
- 3 Frascos de vidrio de 1L
- 6 Matraces de 1000mL
- 1 Vaso de plástico de 750mL
- 12 Envases de 3 L, cortados por la boquilla

#### 6.5 Procedimiento con agitación

1. Se agregaron 1000 mL del agua de lastre en matraces Erlenmeyer (figura 6.2. A), y se les adicionó 5,10, 15, 20, 30 y 40 g de Calhidra según correspondía (figura 6.2. B). Después se agitaron durante 2 minutos y se dejó reposar (figura 6.2. C).

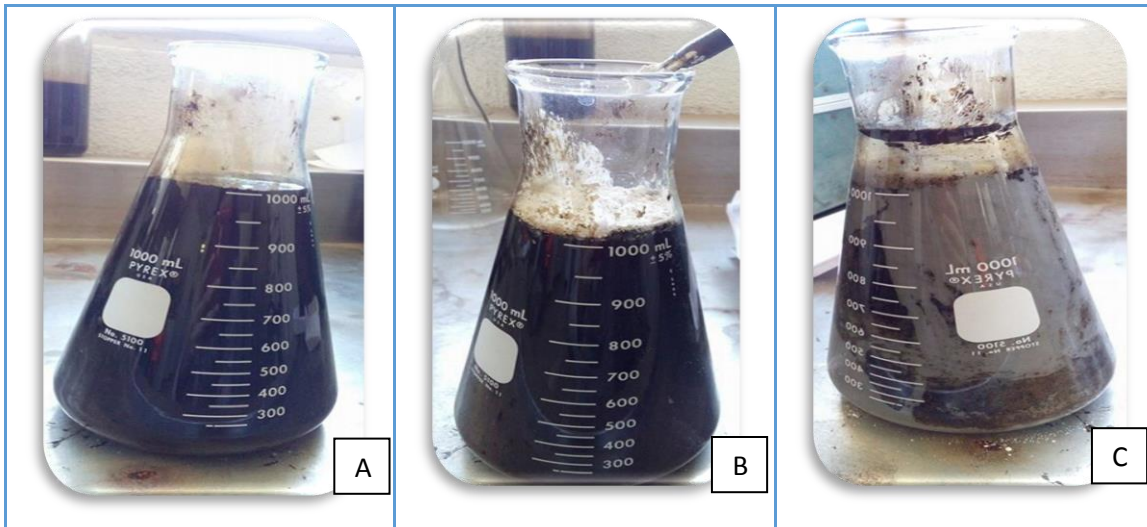


Figura 6. 3 Matraces con agitación. A., matraz con lastre; B., matraz con lastre y calhida; C., matraz con agitación.

## 6.6 Procedimiento con solución agua-Calhida

1. Se pesaron en una balanza analítica 30, 40 y 50 g de Calhida (Figura 6.3. A).
2. En vasos de plástico de 750 mL se prepararon cada una de las soluciones de Calhida en 500 mL de agua. Se agitaron hasta que la Calhida se disolviera completamente (Figura 6.3. B).
3. En un envase de 3 L que contenía 2 L de lastre (Figura 6.3. C) se vació la solución de Calhida (Figura 6.3. D), sin agitar, reaccionando al instante (Figura 6.3. E).
4. Se dejó reposando 24 horas. Después del reposo se separaron el sedimento del líquido por medio de la decantación- destilación (Figura 6.3 F).
5. Después de 48 horas se prosiguió a realizar el peso seco del sedimentado, para analizar el promedio de absorción de grasa de la Calhida.

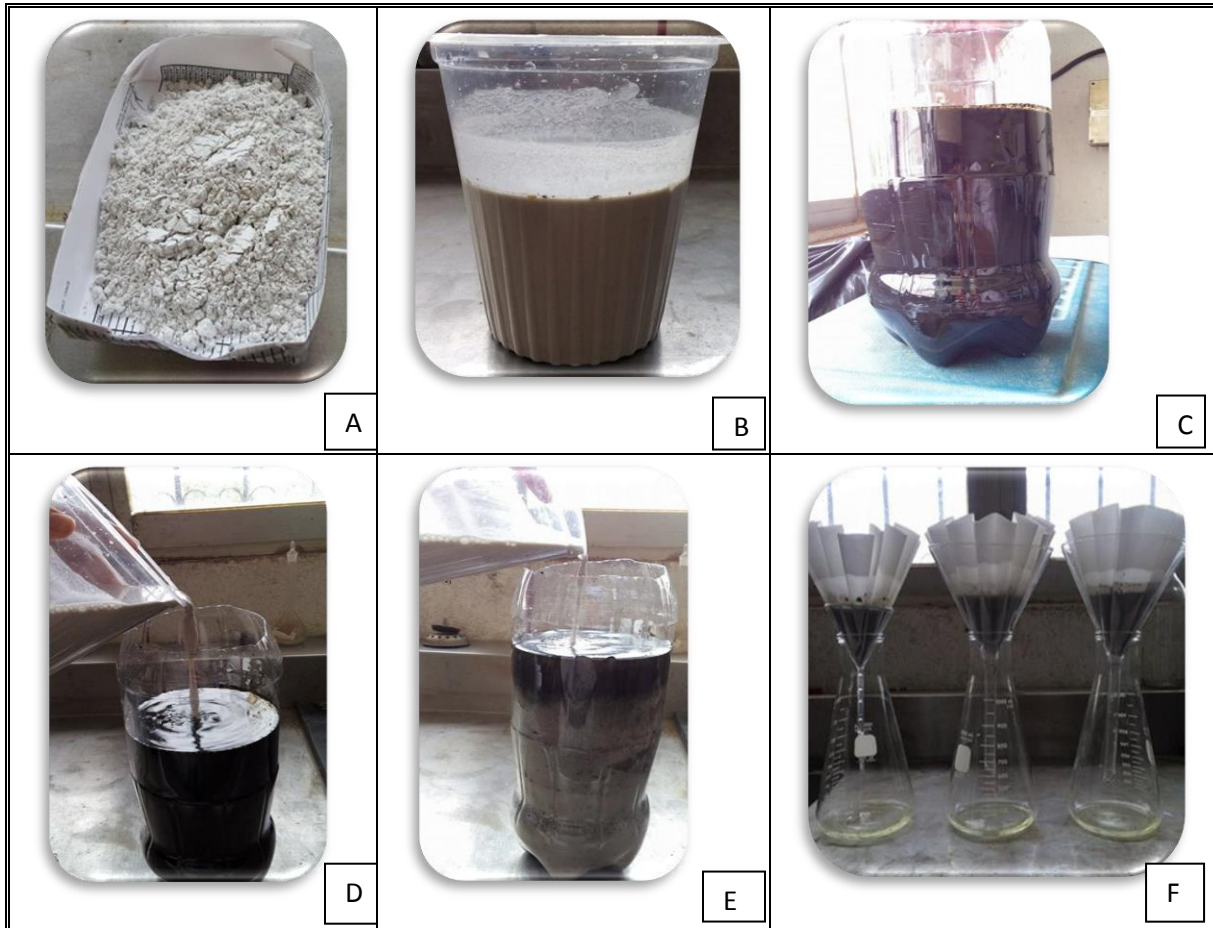


Figura 6. 4 Procedimiento con solución agua-calhidra. A., Calhidra pesada; B., solución de calhidra; C., envase con 2 L de lastre; D., agregación de la solución al lastre; E., reacción instantánea del lastre; F., destilación de los tratamientos.

### 6.7 Determinación de grasas y aceites en aguas oleosas por el método colorimétrico de HACH.

Se tomaron muestras de los tanques TV-1 y TV-3, y de los tratamientos sin agitación, después de 24 horas en reposo, para su análisis con el método colorímetro de HACH para cuantificar las partes por millón (ppm) de grasa que contiene cada muestra.



Las muestras se decantaron en los embudos de separación y se les adicionó 2.5 mL de una solución de HCl (1:1) y 35 mL de Tolueno; se agitó y desfogó, después se filtró (Figura 6.4). Finalmente se leyeron las concentraciones de las muestras utilizando el espectrofotómetro marca HACH (Figura 6.5) a una longitud de onda de 450 nm, y se registraron los valores.

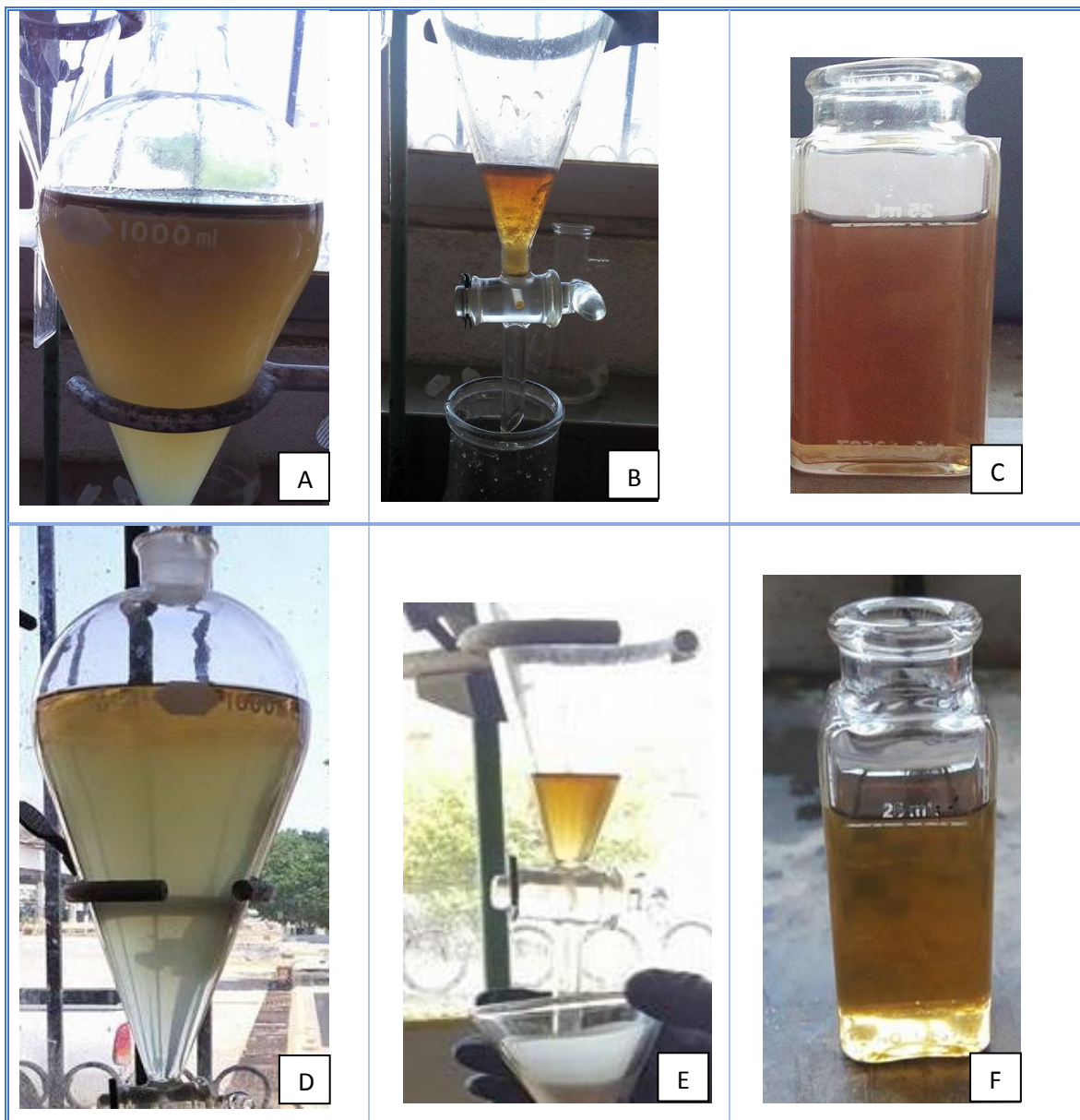


Figura 6. 5 Procedimiento de la determinación de grasas y aceites en aguas oleosas por el método colorimétrico de HACH. A, B y C lastre del tanque TV-1; D, E y F lastre del tanque TV-3.



Figura 6. 6 Espectrofotómetro marca HACH

## 6.8 Prueba DQO

La prueba de la Demanda Química de Oxígeno se llevó acabo en las instalaciones del Polo Tecnológico Nacional de Pruebas Analíticas en Biocombustibles del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Se realizó la prueba DQO por el Método de digestión de reactor, número de identificación 800. Para agua, aguas residuales y agua de mar.

Aprobado por la USEPA para realizar informes sobre análisis de aguas residuales

### **6.8.1 Materiales.**

- Termostato para DQO
- Tubos digestivos
- Probeta de 100 mL
- Matraz aforado de 100 mL
- Micropipeta de 2 mL
- Espectrofotómetro

### **6.8.2 Procedimiento.**

1. Se homogenizo 100 mL de muestra agitándolo suavemente durante 30 segundos.
2. Se conectó el termostato de DQO (demanda química de oxígeno) y se precalentó a 150°C. Se colocó el escudo plástico enfrente del reactor.
3. Se hicieron diluciones de las muestras 1 a 100.
4. De las diluciones se tomaron 2 mL y se agregaron a los tubos digestores, sosteniendo el tubo digestor en un ángulo de 45 grados. Se enjuagó la parte exterior del tubo de DQO con agua desionizada y se secó con una toalla de papel.
5. Los tubos digestores con las muestras se invirtieron suavemente varias veces para mezclar los contenidos. Se colocaron los tubos en el Reactor DQO precalentado.
6. Se preparó un blanco, colocando 2 mL de agua desionizada en lugar de la muestra diluida.
7. Se calentaron los tubos por 2 horas a 150°C en el termostato precalentado.
8. Después de las 2 horas transcurridas, se apagó el termostato y se dejaron enfriar las muestras por 30 minutos hasta que llegaran a una temperatura de 120°C o menos (Figura 6.6).



9. Se invirtieron los tubos varias veces mientras aún estaban calientes y se dejaron reposar en un estante para que se enfriaran a temperatura ambiente.
10. Se leyeron las absorbancias en el espectrofotómetro a 620 nm.

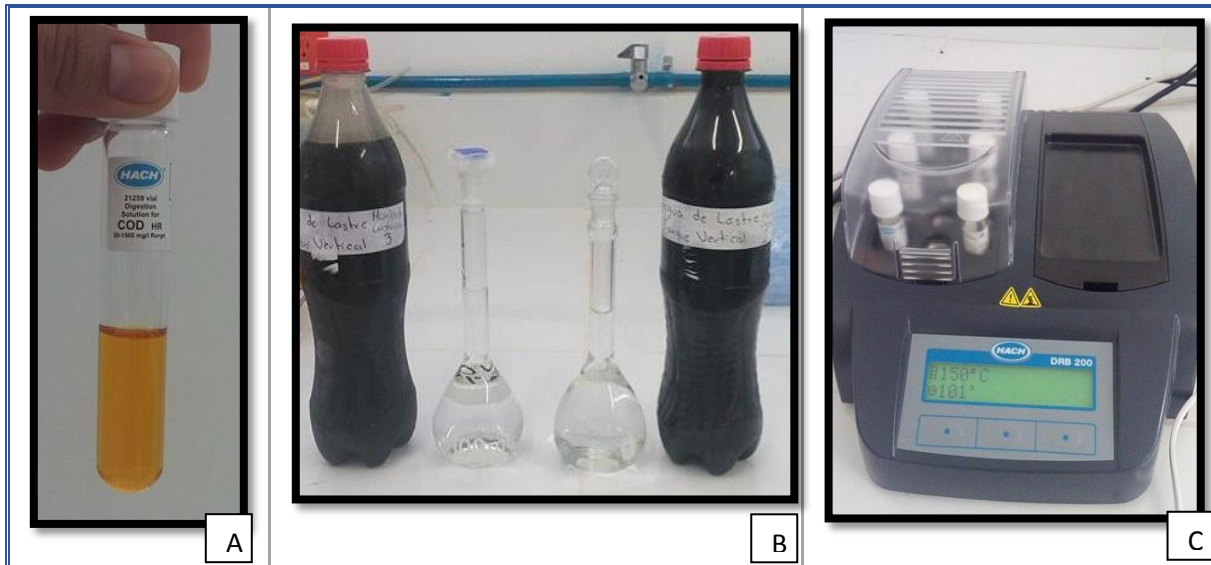


Figura 6. 7. Procedimiento de la prueba DQO. A., digestor para DQO; B., diluciones 1:100 de los tanques TV-1 y TV-3; C., termostato con las muestras.

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Prueba con solución agua-calhidra sin agitar.

La prueba con la solución agua-Calhidra dio los siguientes resultados de la absorción de grasa por la cal. (cuadro 7.1).

Cuadro 7. 1. Absorción de grasa por la cal en los tratamientos sin agitación.

Tratamientos	Peso seco (g)	Grasa total (g)
T1	73.53 $\pm$ 4.83	43.47 $\pm$ 4.74
T2	88.70 $\pm$ 5.71	48.70 $\pm$ 5.71
T3	93.42 $\pm$ 5.71	43.42 $\pm$ 5.71

Las muestras en peso seco son el resultado de la pesada de la calhidra con la grasa que absorbió la misma, el resultado que se tiene en grasas total, es la cantidad de grasa, sin contar el peso de la calhidra (cuadro 7.1)

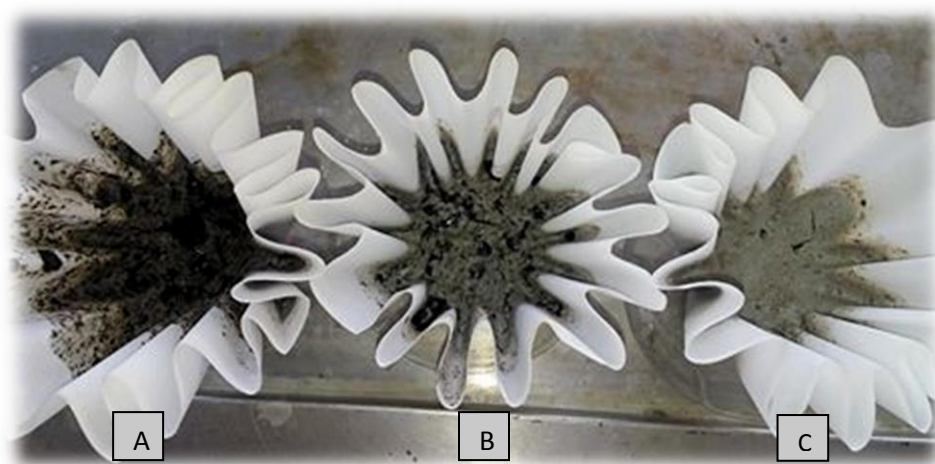


Figura 7. 1 Papel filtro con los tratamientos: A, T1B; B, T2B; C, T3B

Se logra observar en la figura 7.1 en el resultado final de las filtraciones de los tratamientos, que la apariencia de las muestras de T1B y T2B tienen más color que T3B.

Utilizando el programa Statgraphics se realizó un análisis de varianza simple y se determinó la diferencia mínima significativa por LSD y la prueba de Tukey de los tratamientos:

Cuadro 7. 2 Resultados del análisis estadístico por método de LSD

<b>Método: 95.0 porcentaje LSD</b>			
Tratamientos	Repeticiones	Media	Grupos Homogéneos
<b>T3B</b>	3	43.4233	Xa
<b>T1B</b>	3	43.4733	Xa
<b>T2B</b>	3	48.6967	Xa

Cuadro 7. 3 Resultados del análisis estadístico por método de Tukey

<b>Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD</b>			
Tratamientos	Repeticiones	Media	Grupos Homogéneos
<b>T3B</b>	3	43.4233	Xa
<b>T1B</b>	3	43.4733	Xa
<b>T2B</b>	3	48.6967	Xa

Haciendo un gráfico comparativo se obtuvieron los siguientes resultados:

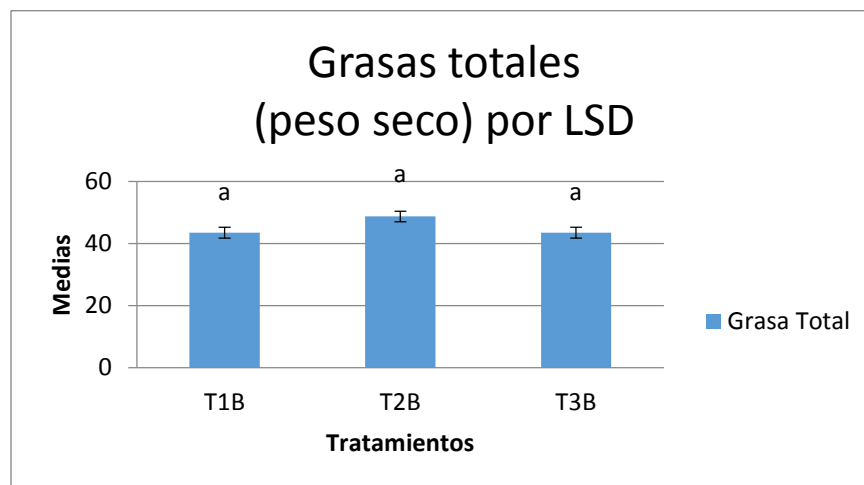


Figura 7. 2 Grafica de medias por Método de LSD

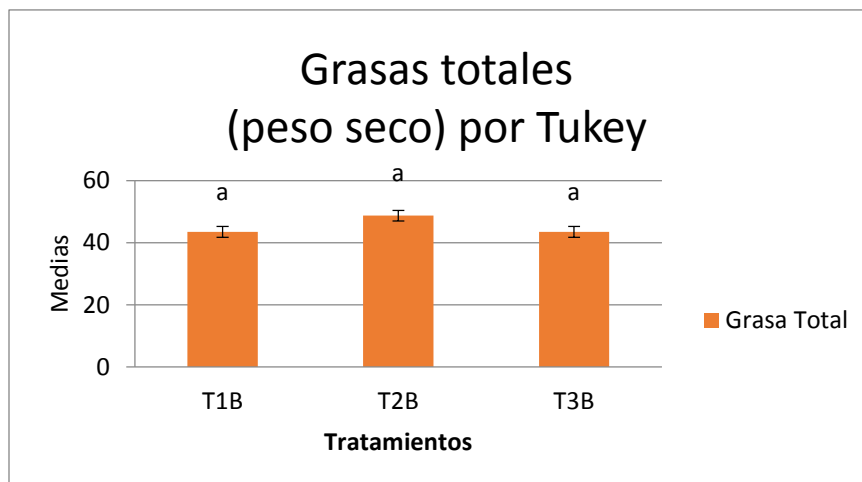


Figura 7. 3 Grafica de medias por Método de Tukey

En las gráficas 7.2 y 7.3 se demuestran que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos T1B, T2B y T3B.

Al no encontrarse una diferencia significativa entre los tratamientos, se recomienda por cuestiones de costos usar el tratamiento T1B, que es 15gr de Calhida por litro de aguas oleosas.

## 7.2 Prueba colorimétrica de HACH

El procedimiento y los resultados de la decantación de la prueba colorimétrica de los tratamientos T1B, T2B y T3B se muestran en la figura 7.2.

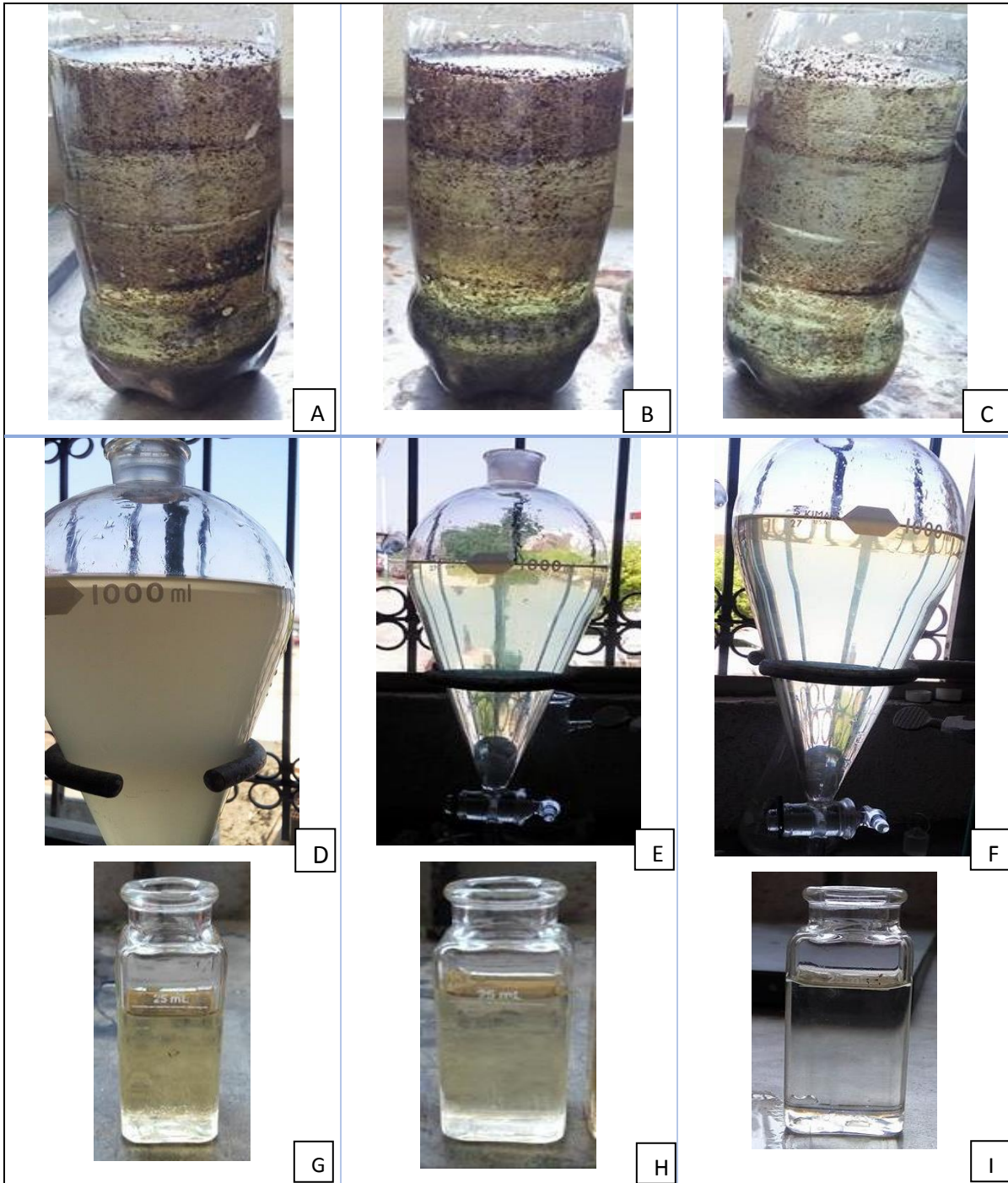


Figura 7. 4 Resultados de la Prueba colorimétrica HACH. A, B, C tratamientos con 24 h de reposo. D, E, F decantación de los tratamientos T1B, T2B, T3B; G, H I finalización de la decantación de los tratamientos T1B, T2B, T3B

Los resultados en el espectrofotómetro de HACH de los tanques y lo tratamientos se muestran en el cuadro 7.4

Cuadro 7. 4 Resultados de la prueba colorimétrica de HACH

Muestras	Partes por millón (ppm)
TV-1	25
TV-3	14
T1B	0
T2B	0
T3B	0

Según la norma mexicana NMX-AA-005 el rango para los análisis de grasas y aceites por el Método Colorimétrico es de 0 a 20 ppm.

Como se observa en la figura 7.2, los tratamientos con la solución agua-calhidra sedimentaron por completo la grasa que contiene el lastre del tanque TV-1. El agua se ve clara, y no presenta el olor característico de las aguas oleosas. En el cuadro 7.2 se puede ver que los tres tratamientos no presentaron concentraciones de grasa en las aguas, lo que nos dice que hubo una buena clarificación del agua. Los resultados de las muestras del tanque TV-3 están dentro del rango normativo, a comparación de las muestras sin tratamiento del tanque TV-1 que esta sobre el rango normativo.

### 7.3 Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Cuadro 7. 5 Concentraciones de la DQO

Muestras	Concentración real (mgO <sub>2</sub> /L)
TV-01	3.550653333
TV-03	3.550506667

$$\text{Fórmula} \\ (\text{mgO}_2/\text{L}) = (0.0004 * \text{abs} + 0.0355) * Fd$$

Las muestras al extraerse de los tanques presentan un olor muy fuerte, tipo sulfuroso y a su vez salino; fue el mismo olor que presentaron las muestras después de trasladarlas al laboratorio.

Los resultados de los tanques TV-1 y TV-3 mostraron un resultado muy bajo en la Demanda Química de Oxígeno. Al tratarse con un producto petrolífero, la interferencia se puede deber por la cantidad de iones de cloruro que puedan existir en las aguas salinas; también puede ser resultado de cantidades altas de azufre por la mezcla de hidrocarburos que estas contienen, o bien por elementos pesados que puedan haber en el mismo producto (HACH, 2000).

La interferencia más común son los cloruros, pues reaccionan con el dicromato potásico dando un error en la determinación y por otra parte también reaccionan con el sulfato de plata, perdiéndose así catalizador en la reacción (HACH, 2000).

#### **7.4 Implementación de cárcamos.**

Tomando los resultados que se obtuvieron de los tratamientos T1B, T2B y T3B se llegó a la conclusión de una implementación de dos cárcamos en la planta de lastre para tratar las aguas oleosas de los tanques TV-1, TV-2 y TV-3.

Los cárcamos estarían hechos con concreto provisionalmente, serian aproximadamente de 10 mil barriles cada uno. En estos cárcamos se drenaría el agua que sale de la operación unitaria del método de decantación, que se usa en los tres tanques para la separación agua-grasa/aceite. El cárcamo 1, estaría conectado con mangueras a los tanques TV-1, TV-2 y TV-3; y estaría conectado al



cárcamo 2. El cárcamo 2, a su vez conectaría con el primer registro de agua para drenado al mar.

Lo que se pretende con estos dos cárcamos, es la limpieza del agua que se drena al mar, ya que al hacer la separación por decantación, el agua no recibe ningún tratamiento previo antes de ser drenado, causando contaminación en el mar y playas cerca de la terminal marítima (Figura 7.3).

La cantidad a utilizar de calhidra, se basó en el tratamiento T1B, al no mostrar una diferencia significativa entre los tratamientos, se optó por el tratamiento que utilizará menor cantidad de calhidra, para reducir costos. La cantidad de calhidra que se agregaría al cárcamo 1 para los 10 mil barriles de agua oleosa sería de 1000 costales de calhidra, tomando en cuenta que las muestras del tanque TV-1, que tienen 25ppm de grasa en el agua.



Figura 7. 5 Fotos de la arena de Playa Abierta Salina Cruz, Oaxaca



Si se toma en cuenta el tanque TV-3, el cual no está contaminado como el tanque TV-1 y tiene 14 ppm de grasa en el agua, después del reposo, se usarían 500 costales de calhidra por cada 10 mil barriles de agua oleosa. La cantidad que se utilizó para cuantificar la cantidad de cal a utilizar para el tanque TV-3, fue de 15gr de calhidra para 2L del agua oleosa de ese mismo tanque.

El proceso se llevaría acabo de la siguiente manera:

Tomando como referencia las aguas oleosas del tanque TV-1 con 25 ppm, en el cárcamo 1, al momento de abrir paso por la manguera de cualquiera de los tres tanques, se le agregaría 500 costales de calhidra, el reposo que tendrían las aguas oleosas seria de 3 horas, después de ese tiempo se pasaría el agua al cárcamo 2, sin llevar el sedimento, y se realizaría el mismo procedimiento. Seguido del tiempo de reposo, se pasaría el agua a los registros de drenado al mar.

Si las aguas oleosas van de 15 ppm o menos, en vez de agregarse 500 costales de calhidra en cada cárcamo, se agregaría 250 costales de calhidra.

Al pasar de un cárcamo a otro, se procedería a volver a llenar el cárcamo 1 con las aguas oleosas del tanque que este en operación, sin agregarle más calhidra, ya que es reutilizable, y limpia de la misma manera, lo mismo para el cárcamo 2.

## **8. CONCLUSIÓN**

La Calhidra tuvo buen resultado con el tratamiento de las aguas oleosas, es un método amigable con el ambiente, que no implica gastos elevados para la empresa y los sedimentos que se obtengan pueden ser reutilizables, previamente a la realización de estudios de estabilidad.

Los resultados de la demanda química de oxígeno (DQO), no fueron los esperados, ya que hubo una posible interferencia ya sea por iones cloruro, azufre y/o metales pesados, presentes en las muestras, por lo que es recomendable realizar este tipo de determinaciones en trabajos futuros.

## **9. RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES**

Las limitaciones que se encontraron en la realización del proyecto, fue la falta de equipamientos en las instalaciones de la terminal marítima. La realización de procedimientos como densidad y viscosidad, no se realizaron por falta de materiales.

Las condiciones climatológicas también dificultaron la obtención de muestras, haciendo el procedimiento más tardado. Otra limitación a considerar son los costos para aislar e identificar las bacterias presentes en las aguas oleosas.

Es un trabajo del cual se puede obtener un buen resultado para la remediación del agua. Se recomienda seguir haciendo pruebas sobre el agua tratada, como pruebas del pH antes y después del tratamiento con calhidra, determinación de iones y metales pesados, incluir el análisis del crecimiento bacteriano en muestras

de los tanques, con el propósito de identificar los géneros de cepas que contenga; y si alguna tiene la capacidad de degradar productos petrolíferos.

Es importante realizar pruebas específicas con las bacterias que se han encontrado que son buenas degradadoras de productos petrolíferos. Se podría conseguir las cepas, posteriormente aclimatarlas; o bien realizar pruebas de crecimiento bacteriano de las muestras de los tanques, y hacer un aislamiento para identificar el tipo de bacterias que estas contengan.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Banat I.; Makkar R.; Cameotra, S. (2000). Potential commercial applications of microbial surfactants. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*
- Carbajal Palacios, Patricia. (2016). SUSTITUCIÓN DEL AGENTE OXIDANTE EN LA DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) Y TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS GENERADOS: HACIA UN ANÁLISIS SUSTENTABLE.
- De Vargas, Lidia; Víctor, Maldonado Yactayo; Barrenechea, Ada; Aurazo, Margarita. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría. Tomo I. *CEPIS/OPS*.
- Fadhile Almansooriya, Asia; Abu Hasanb, Hassimi; Mushrifah, Idrisa, Rozaimah Sheikh Abdullah, Siti; Anuarb, Nurina; Musa Tibin, El Mubarak. (2016). Biosurfactant production by the hydrocarbon-degrading bacteria (HDB) *Serratia marcescens*: Optimization using central composite design (CCD). *Elsevier*.
- Grupo Calidra. (2011). La importancia de la cal. <http://calidra.com/general/2033/>
- HACH Company. (2000). *MANUAL DE ANÁLISIS DE AGUA*
- Joy, Sam; K.S.M., Rahman, Pattanathu; Sharma, Shashi. (2016). Biosurfactant production and concomitant hydrocarbon degradation potentials of bacteria isolated from extreme and hydrocarbon contaminated environments. *Chemical Engineering Journal*.
- Manual de Inducción. Petróleos Mexicanos. (2000).
- Narváez-Flórez, Silvia; L. Gómez, Martha; M. Martínez., María (2008). SELECCIÓN DE BACTERIAS CON CAPACIDAD DEGRADADORA DE HIDROCARBUROS AISLADAS A PARTIR DE SEDIMENTOS DEL CARIBE COLOMBIANO. *SciELO*.
- Norma Mexicana. NMX-AA-030-SCFI-2001. (2001) Análisis de agua - determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.

- Ortíz, Hernández L; Monterrosas, Brisson M; Yañez, Ocampo G.; Sánchez Salinas E. (2001) Biodegradation of methyl-parathion by bacteria isolated of agricultural soil. *Revista Internacional de Contaminantes Ambientales*.
- Petroblogger. (2013). TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS.  
<http://www.ingenieriadepetroleo.com/tipo-tanques-de-petroleo/>
- Reunamo, Anna; Riemann, Lasse; Leskinen, Piia; S., Jørgensen, Kirsten (2013). Dominant petroleum hydrocarbon-degrading bacteria in the Archipelago Sea in South-West Finland (Baltic Sea) belong to different taxonomic groups than hydrocarbon degraders in the oceans. *Elsevier*.
- Rodrigo de Larrucea, Jaime. (2009). Seguridad Marítima en Buques Tanques Petroleros (Oil Tankers Safety).  
<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/3020/Seguridad%20Buques%20Petroleros.pdf>
- Romano, Daniela; Morolda, Federico; Calimá, Pablo. (2004). Tanques de Almacenamiento de Hidrocarburos Tecnicas Energeticas. Facultad de Ingenieria. Universidad de Buneos Aires.
- Sarkar, Poulomi; Roy, Ajoy; Pal, Siddhartha; Mohapatra, Balaram; K., Kazy, Sufia; Mrinal K., Maiti; Pinaki, Sar. (2017). Enrichment and Characterization of Hydrocarbon-Degrading Bacteria from Petroleum Refinery Waste as Potent Bioaugmentation Agent for In Situ Bioremediation. *Bioresource Technology*.
- STANDARD, API 2000. (1998). Venting Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks. Nonrefrigerated and Refrigerated. American Petroleum Institute. *Strategles for Today's Environmental Partnership*.
- Supaphol S, Jenkins SN, Intomo P, Waite IS & O'Donnell AG (2011) Microbial community dynamics in mesophilic anaerobic co-digestion of mixed waste. *Bioresour. Technol*.
- Vidal, Carlos Rodriguez. (2003). Los buques petroleros.  
[http://www.revistanaval.com/archivo-2001-2003/petroleros\\_i.htm](http://www.revistanaval.com/archivo-2001-2003/petroleros_i.htm)

- Yañez-Ocampo G, Sanchez-Salinas E.; Otríz-Hernandez ML. (2011). Removal of methyl parathion and tetrachlorvinphos by a bacterial consortium immobilized on tezontlepacked up-flow reactor. *Biodeg.*
- Yañez-Ocampo G.; Sanchez-Salinas E.; Jimenez-Tobon G, Penninckx M, Ortiz-Hernandez ML. (2009). Removal of two organophosphate pesticides by a bacterial consortium immobilized in alginate or tezontle. *J. Haz.*
- Yañez-Ocampo, G.; Wong-Villarreal, Arnoldo. (2013). Biosurfactantes Microbianos, Producción Potencial con Residuos Agroindustriales de Chiapas. *BioTecnología, Vol. 17.*

## 11. ANEXOS

### **Anexo a. Ventilación de tanques de almacenamiento atmosféricos y de baja presión. No refrigerado y refrigerado**

#### API STANDARD 2000

Esta norma cubre los requisitos de ventilación de vapor no normal y de emergencia para superficies aéreas tanques de almacenamiento de petróleo líquido y tanques de almacenamiento refrigerados subterráneos y subterráneos diseñados para operar a presiones desde el vacío hasta 15 libras por pulgada cuadrada (1.034 bares de calibre). En este estándar se discuten las causas de la sobrepresión o el vacío; determinación de los requisitos de ventilación; medios de ventilación; selección, instalación y mantenimiento de dispositivos de ventilación; y prueba y marcado de dispositivos de alivio.

Este estándar se ha desarrollado a partir del conocimiento acumulado y la experiencia de ingenieros calificados en la industria de procesamiento de petróleo y sus industrias relacionadas. Los requisitos de ventilación de vapor en esta norma se basan en estudios que usan hexano. Destinado a productos derivados del petróleo, esta norma se puede aplicar a otros materiales; sin embargo, se deben usar análisis y juicios de ingeniería sólidos siempre que esta norma se aplique a otros materiales.

Los estudios de ingeniería de un tanque en particular pueden indicar que la capacidad de ventilación adecuada para el tanque no es la capacidad de ventilación estimada de acuerdo con esta norma. Las muchas variables asociadas con los requisitos de ventilación del tanque hacen que sea poco práctico establecer reglas definidas y simples que sean aplicables a todas las ubicaciones y condiciones. Es posible que se requiera una mayor capacidad de ventilación en

tanques en los que se calienta líquido, en tanques que reciben líquido de pozos o trampas, y en tanques que están sujetos a sobre voltajes. También se pueden requerir mayores capacidades de ventilación en tanques que usan supresores de llamas o que tienen otras restricciones que pueden aumentar la presión bajo ciertas condiciones. Esta norma no se aplica a tanques de techo flotante externo ni a tanques de techo flotante interno con ventilación libre.

Las publicaciones API pueden ser utilizadas por cualquiera que desee hacerlo. El Instituto ha realizado todos los esfuerzos para garantizar la precisión y fiabilidad de los datos contenidos en ellos.

#### **Anexo b. Especificaciones del kit DQO**

Viales de digestión de DQO, alto rango, paq. 150

Para realizar la determinación de Demanda química de oxígeno (DQO) de alto rango mediante el método de digestión por reactor.

Aprobado por USEPA para análisis de aguas residuales mediante el método 8000 de HACH.

Rango: 20 -1500 mg/l DQO. Paquete de 150 viales.

#### **Aprobado por EPA**

Los viales de bajo rango (LR) y de alto rango (HR) son aprobados por USEPA (Agencia de protección ambiental de Estados Unidos) para informes de NPDES (Sistema nacional de eliminación de vertimiento de contaminantes) sobre concentraciones de DQO de aguas residuales.

#### **Más sencillo y seguro**

Gracias a los reactivos DQO preparados, no hace falta realizar mediciones de productos químicos corrosivos ni tóxicos. Solo agregue la muestra al vial de DQO,



permita la digestión y mida. Las mediciones fotométricas arrojan resultados precisos sin los equipos y el esfuerzo que se usan en las titulaciones.

### **Facilidad de eliminación**

Los pequeños volúmenes de reactivos que usan los viales de DQO de HACH ayudan a reducir los residuos de plata, mercurio y cromo. Los clientes en los Estados Unidos disfrutan de los beneficios del programa de reciclaje de residuos de DQO, que proporciona un período de retorno integral.

### **Especificaciones**

Cumple con "EPA"

Agencia de Medioambiente USA:	Si
Instrumento:	All except DR/820, PC II
Método:	8000
Nombre del método:	Digestión del reactor
Número de tests:	150
Parámetro:	Demanda de oxígeno químico
Rango:	20 - 1500 mg/L
Requiere digestión:	Sí
Unidades:	150 /paq.
Volumen / tamaño de embalaje:	150 /paq.