



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA
E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS**

**EL USO DE TRAMPAS DE GRASA PARA DISMINUIR LA CARGA
CONTAMINANTE DE GRASAS Y ACEITES EMITIDA A LA RED
MUNICIPAL DE DRENAJE.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL**

P R E S E N T A

JAIME IVAN SÁNCHEZ QUIROZ

ASESOR: M. en C. ALMA LILIA VÁZQUEZ DÍAZ

MÉXICO D.F., SEPTIEMBRE DE 2011





SECRETARÍA
DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS



DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO ACADÉMICO

T-109-11.

México, D. F., a 22 de agosto de 2011.

Al C. Pasante:
JAIME IVAN SÁNCHEZ QUIROZ
Privada Primera del Recreo No. 21
El Recreo
Azcapotzalco
México D, F.
C.P. 02070

Boleta:
2006320907

Carrera:
IQI

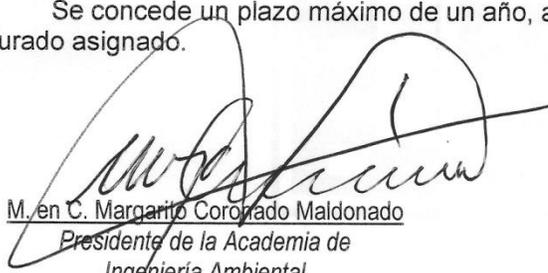
Generación:
2005-2009

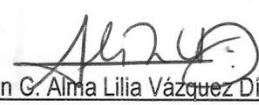
Mediante el presente se hace de su conocimiento que este Departamento acepta que la **M. en C. Alma Lilia Vázquez Díaz**, sea orientadora en el Tema que propone usted desarrollar como prueba escrita en la opción; **Tesis Individual**, con el título y contenido siguiente:

“El uso de trampas de grasa para disminuir la carga contaminante de grasas y aceites emitida a la red municipal de drenaje”

- Resumen
- Introducción
- I.- Generalidades de las grasas y los aceites.
- II.- Problemática ambiental de la contaminación del agua.
- III.- Métodos de recuperación de grasas y aceites.
- IV.- Materiales y métodos de prueba.
- V.- Resultados.
- Conclusiones.
- Bibliohemerografía.

Se concede un plazo máximo de un año, a partir de esta fecha, para presentarlo a revisión por el Jurado asignado.


M. en C. Margarito Coronado Maldonado
Presidente de la Academia de
Ingeniería Ambiental


M. en C. Alma Lilia Vázquez Díaz
Director de Tesis
Ced. Prof. 4796301


Lic. Guillermo Alberto de la Torre Arteaga
Jefe del Departamento de Evaluación y
Seguimiento Académico


Ing. Miguel Ángel Álvarez Gómez
Director



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS



DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO ACADÉMICO

T-109-11.

México, D. F., a 5 de septiembre del 2011.

Al C. Pasante:
JAIME IVAN SÁNCHEZ QUIROZ
PRESENTE

Boleta:
2006320907

Carrera:
IQI

Generación:
2005-2009

Los suscritos tenemos el agrado de informar a usted, que habiendo procedido a revisar el borrador de la modalidad de titulación correspondiente, denominado:

“El uso de trampas de grasa para disminuir la carga contaminante de grasas y aceites emitida a la red municipal de drenaje”.

encontramos que el citado trabajo de ***Tesis Individual***, reúne los requisitos para autorizar el Examen Profesional y ***PROCEDER A SU IMPRESIÓN*** según el caso, debiendo tomar en consideración las indicaciones y correcciones que al respecto se le hicieron.

Atentamente

JURADO


Ing. Juan Manuel Moreyra Mercado
Presidente


M. en C. Alma Lilia Vázquez Díaz
Vocal


Ing. Martha Elena García Ruíz
Secretario

RECONOCIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional

Por otorgarme una formación académica y profesional. Basada en un conocimiento tecnológico siempre al servicio de la patria.

A la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas

Por la calidad técnica de sus docentes, investigadores, alumnos y egresados

A los egresados de la ESIQIE

Que han logrado dar prestigio a nuestra *Alma Máter*

Al Centro de Investigación e Innovación Tecnológica

Por su cultura de innovación en los sectores productivos y de servicios que ha dado lugar a la implementación de proyectos a nivel estatal y nacional.

AGRADECIMIENTOS

A los pilares de mi vida, MIS PADRES, que siempre, a pesar de las circunstancias, han estado presentes en cada uno de los momentos más difíciles y felices de mi vida.

A todas y cada una de las personas que han sido parte de mi evolución como persona y como estudiante.

A la Maestra Alma Vázquez por su gran apoyo en la realización de este proyecto.

A Dios por brindarme el gran privilegio vivir, pero aún más por otorgarme a mi más grande tesoro, MI FAMILIA.

RESUMEN

El presente proyecto se enfocó en la problemática ambiental que existe actualmente relacionada con la descarga indiscriminada de contaminantes a la red de drenaje municipal; a pesar de que las grasas y aceites son denominados contaminantes básicos y su descarga está restringida a niveles máximos permisibles estipulados en Normas Oficiales Mexicanas, éstos se siguen vertiendo a la red de drenaje en la mayoría de los complejos habitacionales de zonas urbanas. Las grasas y aceites originan rápidamente una significativa degradación de la calidad del ambiente y a la salud de los seres vivos que conforman parte del sistema biótico, aunado a esto los taponamientos que genera la presencia de grasas y sedimentos dentro de la red de drenaje y genera altos costos de operación y deficiencias en el servicio de saneamiento y alcantarillado.

Es por esto, que el proyecto propone una alternativa que conlleve a grandes beneficios para la sociedad y el ambiente, como objetivo general se pretende llegar a la implementación de trampas de grasa con costos de fabricación, operación y mantenimiento bajos que permitan que los niveles de emisión de contaminantes se reduzcan considerablemente y aumentando la recuperación de los contaminantes grasos para su posterior revalorización en el mercado.

En el capítulo I, se determinan las características de los compuestos grasos presentes en las descargas de agua residual. El capítulo II, se enfoca en presentar los tipos de daños que efectúa la descarga indiscriminada de contaminantes grasos. En el capítulo III, se enlistan las principales tecnologías con las que se cuenta actualmente para la separación de emulsiones a partir de métodos físicos, físico-químicos y biológicos. En el capítulo IV, se describen las diferentes etapas de diseño, desde su construcción, operación y determinación de la eficiencia de remoción de grasas del sistema. Como conclusión se puede garantizar que mediante la implementación de sistemas de remoción de grasas y aceites, se puede disminuir la carga contaminante emitida a la red de drenaje.

INTRODUCCIÓN

Los contaminantes grasos forman gran parte de la carga contaminante total de las aguas de desecho de tipo doméstico, éstos contaminantes deterioran progresivamente el medio ambiente mediante la formación de películas sobre la superficie de aguas y suelos, el efecto que tienen los contaminantes grasos sobre el ecosistema acuático afecta a flora y fauna, puesto que éstos contaminantes interfieren directamente con el intercambio de oxígeno entre el aire y el cuerpo de agua. El ciclo hidrológico se ve afectado también por los contaminantes grasos, ya que éstos disminuyen la permeabilidad de la superficie de suelos, reduciendo la infiltración de agua hacia el subsuelo y los mantos acuíferos

El objetivo general de este proyecto es implementar una trampa de grasa, a bajo costo, con el fin de disminuir la carga de aceites y grasas emitidas al drenaje. El diseño y la implementación de dicha trampa de grasa tienen una fundamentación teórica basada en la investigación bibliográfica sobre las características físico-químicas de los contaminantes en cuestión, y de su interrelación con la fase continua en la que se dispersan. Las condiciones de operación a las cuales está sujeta la trampa de grasas son de tipo doméstico o de pequeña industria relacionada con el procesamiento de alimentos, dichas condiciones fueron obtenidas mediante el análisis de resultados de ensayos de grasas y aceites recuperables, realizados por el Centro de Investigación e Innovación Tecnológica del IPN. La metodología de análisis de grasas y aceites recuperables está referenciada en la NMX-AA-005-SCFI-2000, tras el análisis cuantitativo de compuestos extraíbles en hexano es posible determinar la eficiencia de remoción de éstos compuestos grasos de las aguas residuales.

En base a la investigación documental se identifican los tipos de grasas y aceites que son desechados mediante la red de drenaje municipal, determinando también los efectos que tiene el vertido de estos contaminantes sobre el equilibrio ecológico. También se determinan los principales métodos, físicos, físico-químicos y biológicos de separación de grasas y aceites del agua residual, la elección del

método más adecuado se realizó conforme a parámetros de desempeño como su eficiencia, costo de fabricación, gastos de operación, facilidad de operación y/o mantenimiento.

El método más idóneo para tratar descargas con características domésticas es un sistema de flotación por aireación a presión atmosférica, en el que se descarta la utilización de reactivos floculantes y/o energía de presurización, el resultado de la implementación de trampas de grasa es la disminución de la carga de contaminantes de tipo graso y particulados emitidos a la red de drenaje.

ÍNDICE

RECONOCIMIENTOS	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
INTRODUCCIÓN.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x

CAPÍTULO I GENERALIDADES DE LAS GRASAS Y LOS ACEITES

1.1 Definición de grasas y aceites comestibles.....	1
1.2 Propiedades físicas y químicas de los aceites y las grasas	2
1.2.1 Viscosidad	
1.2.2 Solubilidad	
1.2.3 Densidad	
1.2.4 Punto de fusión	
1.2.5 Tensión superficial e interfacial	
1.3 Clasificación de las grasas y aceites comestibles.....	3
1.3.1 Origen vegetal	
1.3.1.1 Olivo	
1.3.1.2 Algodón	
1.3.1.3 Cacahuete	
1.3.1.4 Colza	
1.3.1.5 Copra o coco	
1.3.1.6 Girasol	
1.3.1.7 Palma	
1.3.1.8 Ricino	
1.3.1.9 Sésamo	
1.3.1.10 Soya	
1.3.1.11 Germen de maíz	
1.3.2 Origen animal	
1.3.2.1 Manteca de cerdo	
1.3.2.2 Grasas de huesos	
1.3.2.3 Sebo	
1.3.2.4 Aceite de atún	
1.3.2.5 Aceite de sardinas	
1.3.2.6 Aceite de hígado de bacalao	
1.3.2.7 Mantequilla	
1.4 Consumo de aceites y grasas.....	7
1.5 Procesos de obtención de aceite	10
1.6 Refinado del aceite	11
1.6.1 Sistema de refinación alcalino	
1.6.1.1 Desgomado	
1.6.1.2 Neutralización	
1.6.1.3 Blanqueo	
1.6.1.4 Desodorización	
1.6.1.5 Winterización	
1.6.2 Sistema de refinación física	

CAPITULO II PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

2.1 Contaminación del agua	17
2.1.1 Contaminación Natural	
2.1.2 Contaminación humana	
2.1.2.1 Industria	
2.1.2.2 Vertidos urbanos	
2.1.2.3 Navegación y explotación de petrolíferos	
2.1.2.4 Agricultura y Ganadería	
2.2 Clases de aceite y grasas en aguas residuales	18
2.3 Impactos en la salud y el medio ambiente	19
2.4 Prevención de la emisión de grasas y aceites a la red de drenaje	23
2.5 Reciclado y transporte de grasas y aceites para evitar su emisión a la red drenaje	24

CAPÍTULO III MÉTODOS DE RECUPERACIÓN DE GRASAS Y ACEITES

3.1 Emulsiones aceite-agua.....	25
3.2 Tratamientos físicos.....	25
3.2.1 Flotación	
3.2.2 Flotación por aireación en sistemas a presión atmosférica	
3.2.3 Flotación a vacío	
3.2.4 Flotación por aire disuelto (FAD)	
3.3 Tratamientos físico-químicos	28
3.4 Tratamiento biológico de grasas y aceites	29
3.4.1 Bio-degradabilidad de grasas y aceites	
3.5 Elección del método	30
3.5.1 Temperatura	
3.6.2 Carga de contaminante	
3.6.3 Tiempo de residencia	
3.6.4 Ventajas del método de flotación en sistemas con aireación a presión atmosférica	

CAPÍTULO IV MATERIALES Y MÉTODOS DE PRUEBA

4.1 Diseño de la trampa de grasas y aceites	34
4.1.1 Régimen de trabajo y tipos de lavado	
4.1.1.1 Determinación de caudal de trabajo en lavado manual	
4.1.1.2 Determinación de caudal de trabajo en lavado por inmersión	
4.1.1.3 Determinación de caudal de trabajo en lavavajillas	
4.1.2 Determinación del caudal de diseño	
4.1.3 Materiales de construcción para el prototipo	
4.1.3.1 Cuerpo de la trampa de grasas	
4.1.3.2 Accesorios de interconexión	
4.1.3.3 Sistema de suministro de aire	
4.2 Construcción de trampa de grasa y aceites	38
4.2.1 Corte de paneles de polimetacrilato y pulido de cantos	
4.2.2 Maquinado de orificios de interconexión	
4.2.3 Armado de los paneles	
4.2.4 Sellado de la trampa	
4.2.5 Conexión de accesorios	
4.2.6 Conexión de suministro de aire atmosférico	
4.2.7 Prueba Hidráulica	
4.3 Plano constructivo de la trampa de grasa e imágenes renderizadas	40
4.4 Diseño experimental	44

4.5 Método de prueba PDI-G101	44
4.5.1 Condiciones de prueba	
4.5.2 Fundamento de la prueba	
4.5.3 Dimensiones del equipo de prueba	
4.5.4 Ubicación del equipo de prueba	
4.5.5 Capacidad de trabajo de la tarja	
4.5.6 Contaminación del influente	
4.5.7 Prueba de desempeño del interceptor	
4.5.8 Desnatado	
4.5.9 Determinación de la eficiencia del interceptor	
4.5.10 Ventajas del método de prueba PDI-G101	
4.5.11 Desventajas del método de prueba PDI-G101	
4.5.12 Conclusión sobre el método de prueba	
4.6 Método propuesto	47
4.6.2 Equipos, materiales y reactivos para el muestreo	
4.6.2.1 Equipos	
4.6.2.2 Materiales	
4.6.2.3 Reactivos	
4.6.3 Análisis de grasas y aceites recuperables	
4.6.3.1 Equipos	
4.6.3.2 Materiales	
4.6.3.3 Reactivos	
4.6.4 Acondicionamiento del contaminante	
4.6.5 Preparación de la emulsión	
4.6.6 Preparación de la trampa de grasa	
4.6.7 Material del recipiente de almacenamiento de muestra	
4.7 Determinación cuantitativa de grasas y aceites	52
4.7.1 Muestreo del agua residual	
4.7.2 Desarrollo de la prueba de desempeño de la trampa de grasa	
4.7.4 Acondicionamiento a peso constante inicial del material de vidrio	
4.7.4.1 Secado en estufa	
4.7.4.2 Enfriamiento en desecador	
4.7.4.3 Obtención del peso en balanza analítica	
4.7.4.4 Criterio de peso constante	
4.7.5 Filtración de muestras	
4.7.6 Extracción de grasas y aceites recuperables	
4.7.7 Control de calidad	
4.7.7.1 Análisis de blanco	
4.7.7.2 Análisis de control interno	
4.7.8 Cálculo de la concentración de grasas y aceites recuperables en agua	

CAPÍTULO V RESULTADOS

5.1 Presentación de resultados	70
5.1.1 Temperatura, potencial de hidrógeno y caudal	
5.1.2 Registro de acondicionamiento de material inicial	
5.1.3 Volúmenes de líquido permeado cuantificado en probeta	
5.1.4 Asignación de matraces para extracción de grasas y aceites recuperables	
5.1.5 Registro de acondicionamiento final de material de vidrio	
5.1.6 Concentración de grasas y aceites recuperables	
5.1.7 Evaluación de controles de calidad	
5.1.8 Cálculo del desempeño de la trampa de grasa en función de tiempo	

CONCLUSIONES	79
BIBLIOHEMEROGRAFÍA	81

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA		PAG.
1.1	DISPONIBILIDAD DE GRASAS EN PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO (1961-1990)	8
1.2	DISPONIBILIDAD DE GRASAS EN PAÍSES DESARROLLADOS (1961-1990)	8
4.1	SELECCIÓN DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	36
4.2	DIMENSIÓN DE PANELES DE CONSTRUCCIÓN	38
4.3	POSICIÓN ABSOLUTA DE CENTRO DEL CÍRCULO	39
4.4	CODIFICACIÓN DE MUESTRAS	56
5.1	PARÁMETROS DE CAMPO EN MUESTREO DE EFLUENTE	70
5.2	PESO INICIAL DE MATRACES	71
5.3	VOLÚMENES DE LÍQUIDO PERMEADO A TRAVÉS DE MEDIO FILTRANTE	72
5.4	MATRACES ASIGNADOS A MUESTRA PARA PROCESO DE EXTRACCIÓN	73
5.5	PESO FINAL DE MATRACES	74
5.6	CONCENTRACIÓN E INCERTIDUMBRE ESTIMADA DE GRASAS Y ACEITES RECUPERABLES	76
5.7	REMOCIÓN DEL CONTAMINANTE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE RESIDENCIA	77

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG.		PAG.
1.1	EJEMPLOS DE COMPUESTOS GRASOS VISIBLES	10
2.1	FORMACIÓN DE PELÍCULA DE ACEITE SOBRE LA SUPERFICIE DEL AGUA	20
2.2	OBSTRUCCIÓN DE UNA TUBERÍA POR EFECTO DE GRASAS Y ACEITES	22
4.1	PLANO VISTA CORTE, VISTA LATERAL, VISTA PLANTA Y DETALLE	41
4.2	PLANO VISTA ISOMÉTRICA, VISTA CORTE Y TABLA DE ELEMENTOS Y MATERIALES	42
4.3	IMÁGENES RENDERIZADAS	43
4.4	PREPARACIÓN DE LA EMULSIÓN	51
4.5	TRAMPA DE GRASA DESPUÉS DEL PROCESO DE LIMPIEZA	52
4.6	INICIO OPERACIÓN DE LA TRAMPA	54
4.7	INUNDACIÓN DE LA PRIMERA CÁMARA DE FLOTACIÓN	55
4.8	INUNDACIÓN DE LA SEGUNDA CÁMARA	55
4.9	TOMA DE MUESTRA DEL EFLUENTE	56
4.10	RECUPERACIÓN DE MATERIA GRASA SEPARABLE	57
4.11	MATERIA GRASA RECUPERABLE DESNATADA	57
4.12	VERIFICACIÓN DEL pH EN PRESERVACIÓN DE MUESTRAS	59
4.13	SECADO DE MATRACES EN HORNO FELISA	60
4.14	ENFRIAMIENTO EN DESECADOR DE VIDRIO	60
4 15	PESAJE EN BALANZA ANALÍTICA <i>METTLER</i> H35AR	61
4 16	MONTAJE DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN A VACÍO	61
4.17	FIJACIÓN DEL MEDIO FILTRANTE	62
4.18	ADICIÓN DE AYUDA FILTRO DE TIERRA DE DIATOMEAS	63
4.19	DRENADO DEL MATRAZ <i>KITAZATO</i>	63
4.20	FILTRACIÓN DE MUESTRA	64
4.21	INSERCIÓN DEL MEDIO FILTRANTE DENTRO DEL CARTUCHO DE EXTRACCIÓN DE CELULOSA	64
4.22	RECUPERACIÓN DE CONTAMINANTES GRASOS ADHERIDOS EN LA PARED DE EMBUDO <i>BÜCHNER</i>	65
4.23	ADICIÓN DEL VOLUMEN DEL SOLVENTE A MATRAZ BALÓN	65
4.24	INCORPORACIÓN DEL CARTUCHO DE CELULOSA A CÁMARA DE EXTRACCIÓN	66
4.25	EQUIPO DE EXTRACCIÓN <i>SOXHLET</i>	66
4.26	TREN DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS	67
4.27	CICLO DE EXTRACCIÓN CON SOLVENTE	67
4.28	RECUPERACIÓN DE HEXANO CONDENSADO	68
4 29	ADICIÓN DE GRASA DE SILICÓN A CARTUCHO DE EXTRACCIÓN CONTROL	69
5 1	DESCENSO DE LA TEMPERATURA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO	71
5 2	REMOCIÓN DEL CONTAMINANTE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE RESIDENCIA.....	78

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LAS GRASAS Y LOS ACEITES

1.1 Definición de grasas y aceites comestibles

Los aceites y las grasas comestibles son productos de origen animal, vegetal, o sus mezclas, cuyos componentes principales son glicéridos de los ácidos grasos, pudiendo contener otras sustancias en proporciones menores. La denominación de grasas y aceites se refiere únicamente al estado físico sólido o líquido de este tipo de lípidos y no tienen ninguna relación con cualquier otra propiedad, se denominan aceites a lípidos en estado líquido a una temperatura de 20°C y grasa a lípidos en estado sólido a una temperatura de 20°C. Los aceites y las grasas son solubles en solventes no polares como hexano, benceno, cloroformo y éter; y son prácticamente insolubles en agua.

Las grasas y aceites son ésteres formados por la condensación (unión) de ácidos grasos con glicerol. En general, las grasas y aceites comestibles o alimenticios están formados básicamente por triacilglicéridos (TAG)¹, que consisten en mono, di o triésteres; ya que el glicerol es un trialcohol que puede dar origen a los compuestos mencionados.

¹ COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE DE CHILE, **Las grasas, aceites y soluciones de tratamiento de efluentes aceitosos**, Recuperado de : http://www.e-seia.cl/archivos/3e4_gyaAP.pdf el 25 de Abril de 2009 p.1

1.2 Propiedades físicas y químicas de los aceites y las grasas

Las propiedades físicas de los aceites y grasas², al ser triacilglicéridos en un porcentaje comprendido entre el 90 y 99%³, están muy ligadas a las propiedades físicas y químicas de éstos y a la de los ácidos grasos que los componen.

1.2.1 Viscosidad

Una de las características de las grasas y los aceites es su capacidad para formar películas lubricantes; deben su relativa alta viscosidad a la estructura en largas cadenas de sus moléculas de glicéridos. La viscosidad de los aceites disminuye ligeramente con el aumento de su grado de insaturación; por otra parte, los que contienen ácidos grasos de bajo peso molecular son menos viscosos⁴ que aquellos cuyo grado de saturación es equivalente, pero contienen solamente ácidos de elevado peso molecular.

1.2.2 Solubilidad

La solubilidad es el parámetro experimental usado para controlar la compatibilidad de distintas sustancias o materiales. El aceite consta de miles de compuestos químicos.

Las grasas y aceites se caracterizan principalmente por su virtual inmiscibilidad en agua. La solubilidad depende de las propiedades termodinámicas del soluto y disolvente, y las fuerzas relativas de atracción entre las moléculas.

La solubilidad de las grasas y aceites varía según las proporciones de distintos tipos de moléculas que haya en él.

² *Ídem*

³ GRACIANI ENRIQUE, **Los aceites y grasas: Composición y propiedades**, 2006, p.59

⁴ BAILEY ALTON, **Aceites y grasas industriales**, p. 59, 1984

1.2.3 Densidad

Los valores de densidad para aceites en estado líquido están, generalmente, en el rango comprendido entre 0,82 a 0,92 g/mL. La densidad de los ácidos grasos y glicéridos aumenta al disminuir el peso molecular y al aumentar el grado de insaturación. La densidad se incrementa aproximadamente en forma lineal con el incremento de la temperatura. Las densidades de grasas en estado sólido son más altas, aproximadamente el valor de 1 g/mL y hasta 1,057 g/mL.

A cierta temperatura los glicéridos y/o los ácidos grasos son considerablemente más densos en el estado sólido que en el estado líquido. Esto se debe a que las grasas solidificadas constan de una mezcla de glicéridos y/o ácidos grasos en estado sólido y líquido; y la densidad de tales grasas solidificadas no es comparable con la densidad de un aceite o grasa en estado líquido, puesto que depende de las proporciones relativas de las fases líquida y sólida, que cambia rápidamente en función de la temperatura.

1.2.4 Punto de fusión

Los puntos de fusión de los ácidos grasos aumentan con la longitud de la cadena y disminuyen con un aumento de la insaturación.

1.2.5 Tensión superficial e interfacial

Estos compuestos tienden a tener más baja tensión superficial e interfacial debido a la presencia de componentes polares de superficie activa, tales como monoglicéridos, fosfolípidos y jabones. Los monoglicéridos y jabones pueden reducir la tensión interfacial entre agua y aceite.

1.3 Clasificación de las grasas y aceites comestibles

Las grasas y aceites comestibles se clasifican generalmente en sustancias de origen vegetal y animal.

1.3.1 Origen vegetal

Las de origen vegetal se obtienen de frutos o semillas oleaginosas, dentro de las cuales hoy en día a nivel mundial la población hace uso éstos aceites principalmente⁵:

1.3.1.1 Olivo.- La aceituna es el fruto de un árbol de la familia de las Oleáceas, originario de la cuenca mediterránea y que se cultiva en casi todos los países de esta zona. La aceituna es una drupa oval, de sección circular y de unos 15-30 mm de largo y 15-20 mm de diámetro⁶. El aceite se encuentra contenido fundamentalmente en la pulpa, y el porcentaje de aceite en el fruto oscila entre el 20-30%, llegando en ocasiones al 35%.

1.3.1.2 Algodón.- El contenido en grasa en las semillas descascarilladas (almendras) varía entre el 28 y el 30%. El algodón se cultiva en zonas situadas entre los paralelos de latitud 400 N y 300 S.

1.3.1.3 Cacahuate.- El cacahuate, *Arachis hypogea*, es una planta de la familia de las leguminosas. Se cultivan en las regiones tropicales y subtropicales. De esta semilla se obtiene uno de los mejores aceites comestibles. El fruto se desarrolla bajo tierra, y se compone de una vaina de 2 a 4 cm de color amarillo claro. El porcentaje de aceite en el fruto oscila entre el 38-51%

1.3.1.4 Colza.- La colza es una planta perteneciente a la familia de las Crucíferas. Existen muchas variedades de esta planta, siendo la variedad primaveral la más comúnmente cultivada; esta variedad se siembra en primavera y se recolecta en septiembre. El porcentaje de aceite se encuentra entre el 38 y el 48%. Representa alrededor del 14% de producción mundial.

⁵SEÑORÁNS JAVIER a, **Generalidades de aceites comestibles**, Recuperado de: http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/alimento/Apuntes/1CAC%2005%20Generalidades%20de%20aceites%20comestibles.pdf el 22 de Abril de 2009 pp.1-2

⁶BERNARDINI, **Tecnología de grasas y aceites**, 1986, p. 43

1.3.1.5 Copra o coco.- La copra es el producto oleaginoso que se obtiene del coco, previa desecación del mismo. El coco es el fruto de la planta *Cocos nucifera*, una variedad de palma que se encuentra en casi todas las zonas tropicales de la Tierra. Esta nuez, una vez que se le quita el estrato fibroso y la parte leñosa, se deseca hasta una humedad del 3 al 4%. Una vez desecado el producto se llama comercialmente “copra”. Su composición media de grasa se encuentra entre el 60 y 70%. De la copra se obtienen grasas alimentarias, industriales y harinas proteicas destinadas a la alimentación animal.

1.3.1.6 Girasol.- Es la semilla de la planta *Helianthus annuus*, perteneciente a la familia de las compuestas. Es una planta originaria de México, pero actualmente se cultiva en casi todos los países europeos, americanos y asiáticos de clima templado; durante algunos años fue considerada como planta ornamental, pero hoy día es una de las mejores plantas oleaginosas, ya que el aceite que de ella se extrae es de óptima calidad. El contenido medio en aceite de la semilla, como tal, es del 29 al 30% y el de la almendra es del 45 al 55%.

1.3.1.7 Palma.- La palma de aceite es un árbol de alto fuste, perteneciente a la familia de las Palmáceas. Las dimensiones del fruto varían según la procedencia de la planta. Hoy en día, el aceite de palma ha encontrado aplicación en la industria alimentaria. El aceite de palma es contenido exclusivamente en la pulpa cuya composición va del 45 al 50%.

1.3.1.8 Ricino.- La semilla de ricino se obtiene de una planta tropical y subtropical de la familia de las Euforbiáceas que se cultiva en la India, Indochina, Java, Egipto, etc. La composición media de la semilla en grasa es del 51%

1.3.1.9 Sésamo.- La semilla de sésamo es producida por la planta *Sesamum*, que pertenece a la familia de las Pedaliáceas. Existen diversas variedades de esta planta, siendo la más cultivada la *Sesamum indicum*, la *Sesamum radiatum* y la *Sesamum orientale*. El porcentaje de grasa varía del 45 al 60%.

1.3.1.10 Soya.- La semilla de soya se obtiene de las plantas *Glycine hispida*, *Soja hispida*, *Glycine soja*, variedades pertenecientes a la familia de las Leguminosas y originales del Asia Oriental. Actualmente su cultivo se está extendiendo por todo el mundo. El contenido en aceite oscila del 15,5 al 22,7%, según la variedad. Representa alrededor del 18-23% de la producción mundial

1.3.1.11 Germen de maíz.- El aceite de germen de maíz se obtiene a partir de las semillas de *Zea mays L.* (Gramineae) mediante prensado en frío o por extracción, y se refina posteriormente. La composición media del germen en estado natural de grasa, va del 15 al 20%.

1.3.2 Origen animal

Las cuales se obtienen de los depósitos adiposos de determinados animales en perfecto estado sanitario. Dentro de las cuales se encuentran:

1.3.2.1 Manteca de cerdo.- El cerdo da dos tipos comerciales de grasa: el tocino, constituido por el tejido subcutáneo y la manteca, que es la grasa obtenida por fusión de los tejidos adiposos del animal. Existen diferentes clases de mantecas, dependiendo de la parte del animal o del método de extracción. Los ácidos grasos que las componen son los mismos; sólo las características organolépticas y la acidez de cada clase son claramente representativas.

1.3.2.2 Grasas de huesos.- Los huesos contienen importantes cantidades de grasa, de modo que en bovinos y equinos recién sacrificados la cantidad varía del 8 al 15%, llegando al 20% en los huesos de las patas. Hay fundamentalmente dos tipos de grasas: grasa natural (extraída con agua hirviendo o vapor a presión de 2-3 kPa) y grasa extraída mediante solvente. Normalmente la grasa de huesos comercial se obtiene de huesos de diversas procedencias y tipos de animales.

1.3.2.3 Sebo.- Se indica con este nombre la grasa obtenida de los tejidos grasos de los bovinos, ovinos y caprinos, sin distinguir las diversas procedencias.

1.3.2.4 Aceite de atún.- Del atún se obtienen esencialmente dos tipos de aceite: el proveniente de tejidos grasos del atún y el de hígado de atún. Se puede obtener también aceite de otros órganos internos.

1.3.2.5 Aceite de sardinas.- Se obtienen del cuerpo de la *Caerulea* y *Ocelata sardinops*. El contenido en aceite en este pescado es del orden del 15%.

1.3.2.6 Aceite de hígado de bacalao.- Se obtiene del hígado del *Gadus morrhua*. La cantidad de hígado en este pez es de 2,5-2,6% sobre el peso total; el contenido de aceite en el hígado es de aproximadamente un 30%. Las hembras tienen el hígado más pesado (1,4 veces el de los machos) y mayor cantidad de aceite (2,6 veces en relación al hígado de los machos).

1.3.2.7 Mantequilla.- Se trata de una de las grasas más utilizadas en la gastronomía de todo el mundo y es obtenida mediante el proceso de desuero, lavado y amasado de los conglomerados grasos provenientes de la crema de leche desnatada de ganado vacuno, caprino u ovino.

1.4 Consumo de aceites y grasas

Los consumidores frecuentemente se ven atraídos por alimentos cuyas texturas y sabores se encuentran muy ligadas a procesos en los que se incluyen grasas y aceites. Generalmente los consumidores aumentan la proporción de grasas en su alimentación a medida de que aumentan sus ingresos, obviamente dependiendo de factores como la región, la temporada y los hábitos alimentarios. La disponibilidad de grasas y aceites comestibles aumenta en función del desarrollo económico, social y cultural de una región o un país, dicha tendencia puede observarse en las tablas 1.1 y 1.2.

“En 1990, la cantidad total de grasas alimentarias disponibles en todo el mundo se estimó en 68 gramos por persona y por día.”⁷

Los valores de disponibilidad presentados en las tablas 1.1 y 1.2, al tratarse de cifras promedio, no indican las grandes disparidades en las diversas regiones geográficas; cuando los países se clasifican en sectores conforme a su nivel de desarrollo económico, la diferencia de disponibilidad de grasas alimentarias se hace más notable.

Tabla 1.1 Disponibilidad de grasas en países en vías de desarrollo (1961-1990).

Zona geográfica	g grasa/persona al día		Aumento porcentual
	1961	1990	
África	38	43	13
Lejano Oriente	22	45	105
Cercano Oriente	46	72	56
América Latina	51	75	47

Nota. Modificada de FAO:1993

Tabla 1.2 Disponibilidad de grasas en países desarrollados (1961-1990).

Zona geográfica	g grasa/persona al día		Aumento Porcentual
	1961	1990	
Ex URSS	69	107	55
Oceanía	125	138	10

Nota. Modificada de FAO:1993

⁷ FAO, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION a, **Grasas y aceites en la nutrición humana Capítulo 4**, Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/v4700s/v4700s08.htm#TopOfPage>, el 22 de Abril de 2009.

Tabla 1.2 Continuación Disponibilidad de grasas en países desarrollados (1961-1990).

Zona geográfica	1961	1990	Aumento Porcentual
Europa	104	143	37
América del Norte	124	151	22

Nota. Modificada de FAO:1993

La urbanización está fuertemente relacionada con el consumo creciente de grasas en los países en desarrollo. Este es un fenómeno general que forma parte del cambio global en los hábitos alimentarios. El entorno ambiental, la disponibilidad local de grasas y aceites, los hábitos alimentarios y el nivel educativo son otros factores que afectan al nivel de consumo de grasas. Otros factores personales y sociológicos afectan también al consumo de grasas.

Los compuestos grasos visibles (Fig. 1.1); que son los que han sido obtenidos y en la mayoría de los casos refinados mediante procesos de separación, aportan cerca de la mitad de la grasa alimentaria disponible en el mundo⁸. Además, los aceites de origen vegetal aportan un porcentaje considerablemente mayor de grasas visibles que los compuestos grasos de origen animal.

El consumo de grasas visibles de origen animal es superior en los países desarrollados, excepto en América del Norte (Canadá y Estados Unidos de América), que a partir de 1980 han disminuido su demanda de grasas animales.

⁸ FAO, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION b, **Hoja de balance de alimentos, 1993**



(a)



(b)

Fig. 1.1 Ejemplos de compuestos grasos visibles. (a) Grasa visible de origen animal; (b) Aceite visible de origen vegetal

A nivel mundial, en 1990 las fuentes vegetales aportaron 24 gramos de aceite visible por persona y por día, mientras que los animales proporcionaron 6 gramos de grasa visible por persona y por día⁹. Si bien cada país presenta determinadas variedades de aceite, sólo algunos aceites tienen importancia mundial. Entre los principales aceites comerciales, el suministro de aceite de soya ha aumentado de 2,2 a 7 gramos por persona y por día, mientras que la disponibilidad de aceite de girasol ha aumentado de 1,3 a 3,5 gramos por persona y por día. El suministro de aceite de colza se incrementó de 0,9 a 3,4 gramos por persona y por día¹⁰.

1.5 Procesos de obtención de aceite

Las grasas y los aceites de uso comercial en alimentos provienen de diferentes fuentes, pero existen muchas materias primas de donde se pueden extraer éstos lípidos. Después de procesos para extracción de los tejidos adiposos de animales y de los granos y/o fibras de oleaginosas, por medio de prensado o por diferentes solventes se obtienen los aceites y grasas comestibles. Excepto algunos finos; como

⁹ *Ídem*
¹⁰ *Ídem*

los de oliva extra virgen, los aceites contienen impurezas que deben ser eliminadas. Es por eso que tienen que ser sometidos a diferentes procesos y serie de operaciones para eliminar las impurezas y conseguir mejores propiedades organolépticas. Es necesario someterle a dichos procesos para liberarlos de compuestos como fosfátidos, ácidos grasos libres, pigmentos y sustancias que produzcan mal olor y sabor.

En las operaciones a gran escala de obtención de aceites de origen vegetal, las semillas oleaginosas se secan hasta obtener una humedad inferior al 10 por ciento. Se pueden almacenar durante períodos prolongados de tiempo en condiciones adecuadas de aireación y humedad, tomando precauciones contra las infestaciones de insectos y roedores. Las frutas oleaginosas, como la aceituna y la palma, deben tratarse tan pronto como sea posible.

Las semillas oleaginosas generalmente se limpian de sustancias extrañas antes de ser descortezadas. El aceite puede extraerse directamente con disolventes de los productos con bajo contenido en aceite, tales como la soya, el salvado de arroz y el maíz.

En la obtención de productos grasos de origen animal, los tejidos adiposos y las materias primas se derriten durante las primeras horas haciéndolos hervir para destruir las enzimas y evitar el deterioro del aceite. Después de un tratamiento en autoclave, los tejidos residuales se prensan y la emulsión aceite/agua se centrifuga para separar el aceite.

1.6 Refinado del aceite

La principal función del refinado es producir un comestible con las características deseadas por los consumidores, como sabor y olor suaves, aspecto limpio, color

claro, estabilidad frente a la oxidación e idoneidad para freír. Los dos principales sistemas de refinado son el refinado alcalino y el refinado físico (arrastre de vapor)¹¹.

1.6.1 Sistema de refinación alcalino

El sistema de refinación alcalino enumera las siguientes etapas:

1.6.1.1 Desgomado.- El objetivo es eliminar los fosfátidos, que se extraen de las semillas disueltas con el aceite. Es importante el proceso, debido a que sin éste refinamiento la presencia de considerables cantidades de fosfolípidos puede conducir a aceites de color oscuro y pueden servir también como precursores de sabores desagradables¹². La posterior adición de pequeñas cantidades de ácido fosfórico o cítrico hace posible la conversión de fosfolípidos no hidratables (sales de Ca, Mg) en fosfolípidos hidratables. El proceso consiste en tratar el aceite con agua o vapor, para que los fosfátidos se hidraten y al hacerse insolubles en la fase grasa precipiten. Se realiza en tanques dotados de un agitador, para incorporar el agua (2% V/V) a una temperatura de 70°C. El aceite pasa a una centrifuga de gran velocidad, en la que se separan los fosfátidos, junto con el agua en exceso, del aceite desgomado.

1.6.1.2 Neutralización.- Es el proceso por el cual se eliminan ácidos grasos libres de los aceites, pero también reducen los monoacilglicéridos y fosfátidos que pudieron haber quedado después del desgomado. La neutralización puede hacerse en hervidor por cargas o en proceso continuo. Cuando el proceso es por cargas, se hace añadiendo al aceite una solución de hidróxido de sodio al 12-15%. Esta operación se lleva a cabo en un hervidor provisto de un agitador y calefacción con vapor. La solución de sosa caustica se añade lentamente y se forma una emulsión en el aceite que luego se rompe. La emulsión, conforme aumenta la temperatura, se une en forma de pasta. La mezcla pasa a los decantadores donde se separa el jabón

¹¹ FAO, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION c, **Grasas y aceites en la nutrición humana Capítulo 5**, Recuperado de: http://www.fao.org/docrep/v4700s/v4700s09.htm#capítulo_5_elaboración_y_refinado_de_aceites_comestibles, el 22 de Abril de 2009.

¹²SEÑORÁNS a, O. *Cit* pp.10-12

y el aceite. En la operación se producen pérdidas por saponificación. El aceite decantado retiene residuos de jabón que debe someterse a un lavado, cuidando que no se formen emulsiones.

En las instalaciones de proceso continuo, el aceite disuelto en hexano, entra en un reactor de neutralización con agitación, junto con hidróxido de sodio en solución acuosa y alcohol etílico. De allí pasa a un decantador donde se separan las fases y se recupera el aceite. La neutralización de aceites con más de 12% de ácidos grasos libres es complicada, porque la abundante pasta formada es difícil de separar y las pérdidas son grandes. El proceso para la neutralización es entonces una destilación a vacío elevado. El procedimiento se basa en que los ácidos grasos libres pueden destilarse a un vacío elevado. Para eliminar la totalidad de los ácidos grasos, sin deteriorar el aceite, se utiliza una presión absoluta de 0,6 kPa y una temperatura de 180-240°C. Los aceites bien neutralizados contienen menos de 0,1% de ácidos grasos libres.

1.6.1.3.- Blanqueo.- El aceite neutro y lavado se decolora añadiendo tierras adsorbentes (arcillosa o silíceas). Las arcillas son tratadas con ácido clorhídrico o sulfúrico diluidos. El aceite y la tierra se agitan, a temperaturas máximas de 90°C, con lo que se adsorben los compuestos coloreados y se descomponen los hidroperóxidos. La cantidad de tierra necesaria depende de la cantidad de color del aceite y del grado de decoloración que se quiera obtener. A veces se utilizan mezclas de tierras y carbón activado (5-10%) para obtener mejores resultados. El aceite decolorado se filtra mediante filtro prensa y la tierra usada se desecha. En las instalaciones modernas la decoloración se hace en proceso continuo y al final se utilizan dos filtros prensa, uno en uso y otro en limpieza alternativamente.

1.6.1.4 Desodorización.- El aceite decolorado se desodoriza, a vacío, en un recipiente donde se calienta a 150-160°C, mientras se la pasa una corriente de vapor directo. Las sustancias volátiles son arrastradas, dejando el aceite libre de olores y con sabor suave.

En los desodorizadores continuos el aceite cae en láminas delgadas, dentro de una torre de calefacción, a vacío y a vapor de agua a contracorriente. Durante el proceso se evita el contacto del aceite con el oxígeno, puesto que produce oxidaciones indeseables.

A veces se añaden secuestradores (ésteres de ácido cítrico) para impedir la acción catalítica de los iones metálicos. En la operación se destruyen también los peróxidos. La desodorización es fundamentalmente un proceso de destilación con vapor que se lleva a cabo a bajas presiones y elevadas temperaturas (180-220°C)¹³.

1.6.1.5 Winterización.- Los aceites con un índice de yodo aproximado a 105 miligramos de yodo por 100 gramos de muestra, contienen glicéridos de puntos de fusión lo suficientemente altos como para depositarse en forma de cristales sólidos cuando se mantienen a temperaturas moderadamente bajas. Esto perjudica las propiedades del aceite, debido a que el aceite de mesa debe mantenerse claro y brillante sin enturbiarse o solidificarse a temperaturas de refrigeración.

Para lograrlo es necesario precipitar previamente los componentes de punto de fusión altos, separándolos por filtración. La mayor dificultad del proceso reside en conseguir el crecimiento de los cristales del glicérido de forma que al separarlos, retenga la menor cantidad posible de aceite líquido. Por esto, conviene que durante el proceso se formen cristales grandes, bajando lentamente la temperatura. Algunos aceites contienen una cantidad considerable de sustancias cristalizables.

La precipitación se hace en grandes depósitos, mantenidos en cámaras refrigeradas. La cristalización se hace con la solución en hexano, y en este caso los sólidos precipitados cristalizan en forma más compacta, dura y fácil de separar. Una vez que se forma la nucleación, el aceite en cristalización se mantiene en reposo, para evitar la desintegración de los cristales. La masa separada está formada por compuestos

¹³FAO b, *Loc. Cit.*

de punto de fusión elevados como estearinas, glicéridos muy saturados, ceras y esteroides¹⁴. Los compuestos de punto de fusión alto retirados pueden utilizarse en la elaboración de otros productos.

El proceso de neutralización alcalina tiene importantes inconvenientes, el rendimiento es relativamente bajo y se producen pérdidas de aceite debido a la emulsión y saponificación de los aceites neutros.

1.6.2 Sistema de refinación física

En el refinado físico, los ácidos grasos se eliminan mediante un procedimiento de destilación al vapor (arrastre) similar a la desodorización. La baja volatilidad de los ácidos grasos (que depende de la longitud de la cadena) requiere temperaturas más elevadas que las requeridas sólo para la desodorización.

El proceso industrial de desgomado se efectúa de manera similar al sistema de refinación alcalina, posteriormente el proceso de desacidificación/desodorización¹⁵ se realiza mediante una destilación con vapor a alta temperatura y a baja presión, la cual se basa en la mayor volatilidad de los ácidos grasos libres en comparación con los triglicéridos. De esta forma también se eliminan sustancias insaponificables y otros volátiles formados por la ruptura de productos de la oxidación de lípidos.

El grado de eliminación depende de las propiedades físicas de los componentes (especialmente presión de vapor) y de la temperatura y volumen de vapor que se hace pasar a través del aceite. Algunas pérdidas físicas son muy convenientes, tales como la eliminación de los malos olores, plaguicidas y compuestos aromáticos policíclicos, si existieran. Otras pérdidas de compuestos con valor nutritivo, como tocoferoles y esteroides, son potencialmente indeseables. Durante la desodorización a alta temperatura o refinado físico, especialmente, las concentraciones de plaguicidas

¹⁴ SEÑORÁNS a, *Loc. Cit*

¹⁵SEÑORÁNS JAVIER b, **Refinación de aceites vegetales**, Recuperado de: http://www.uam.es/personal_pgdi/ciencias/alimento/Apuntes/TCAC-T5-Refinacion-aceites.pdf, el 22 de Abril de 2009

organoclorados (lindano, dicloro difenil tricloroetano, etc.), si se hallan presentes en el aceite de blanqueo, se reducen a niveles muy bajos.

El refinado físico conduce a resultados aceptables, a aceites refinados de buena calidad, siempre que se parta de aceites crudos de alta calidad.

CAPITULO II

PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

2.1 Contaminación del agua

La contaminación del agua puede proceder de fuentes naturales o de actividades humanas. En la actualidad la más importante, sin duda, es la provocada por el hombre. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso de agua y una gran generación de residuos y subproductos, muchos de los cuales son vertidos a sistemas de alcantarillado y/o bienes nacionales, que en la mayoría de las ocasiones son causa de contaminación del agua y deterioro del ecosistema acuático.

2.1.1 Contaminación Natural

La contaminación natural consiste en la presencia de determinadas sustancias en el agua sin que intervenga la acción humana, estas sustancias pueden tener procedencias muy diversas como partículas sólidas y gases atmosféricos arrastrados por las gotas de lluvia y aguas del deshielo; pólenes, esporas, hojas secas y otros residuos vegetales, y excrementos de peces y aves acuáticas.

2.1.2 Contaminación humana

Desde el punto de vista regional representan la mayor fuente de contaminación. Cuantitativamente son menores que las naturales pero sus efectos se multiplican porque sus efluentes se localizan en áreas reducidas, que a su vez son las que mayor densidad de población tienen, y además, porque sus emisiones son más intensas. Los cuatro principales focos de contaminación antropogénica son:

2.1.2.1 Industria.- Según el tipo de industria se producen distintos tipos de residuos. Normalmente en los países desarrollados las industrias poseen eficaces sistemas de

depuración de las aguas, sobre todo las que producen contaminantes más peligrosos, como metales pesados, compuestos clorados, cianuros. En algunos países en vías de desarrollo, la contaminación del agua por residuos industriales carece de regulación estricta y no se aplican parámetros particulares de descarga de contaminantes dependiendo de la actividad y giro industrial.

2.1.2.2 Vertidos urbanos.- La actividad doméstica produce principalmente residuos orgánicos, pero el alcantarillado arrastra además todo tipo de sustancias producto de emisiones de llantas de automóviles y maquinaria, lubricantes, envases plásticos y metálicos.

2.1.2.3 Navegación y explotación de petrolíferos.- Produce diferentes tipos de contaminación, especialmente con hidrocarburos. Los vertidos de petróleo o combustibles provocan importantes daños ecológicos.

2.1.2.4 Agricultura y Ganadería.- Los trabajos agrícolas producen vertidos de pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas que contaminan de una forma difusa pero muy notable las aguas.

2.2 Clases de aceite y grasas en aguas residuales

Los tipos de grasas y aceites más frecuentemente presentes en los sistemas de alcantarillado corresponden a aceites de tipo vegetal y grasas de tipo animal. También desembocan al alcantarillado, los aceites lubricantes utilizados en vehículos de combustión interna y maquinaria. En su mayoría flotan sobre el agua residual o forman emulsiones aceite-agua. Las moléculas interfieren con la actividad biológica y causan problemas de mantenimiento en redes de drenaje.

La materia grasa en aguas residuales puede ser clasificada de la siguiente forma¹⁶:

¹⁶ COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE DE CHILE, O. Cit p.4

- Materia grasa total
 - Materia grasa separable
 - Materia grasa no separable

En descargas a sistemas de alcantarillado municipal, generalmente la materia grasa separable origina problemas de bloqueo en éstos, por lo que es recomendable su separación del efluente correspondiente antes de su eventual descarga, condición que no siempre se cumple. En el caso de la materia no separable, altamente dispersada o emulsificada, los problemas no se manifiestan hidráulicamente sino a nivel de la etapa del tratamiento depurador. Los contaminantes grasos y/o aceitosos en efluentes pueden ser caracterizados por su polaridad.

Los contaminantes polares tienen usualmente un origen vegetal o animal y sus fuentes son principalmente las operaciones relacionadas con industrialización y preparación de alimentos. Los contaminantes no polares, provienen del petróleo o fuentes minerales, y la fuente principal de este tipo de contaminación es la industria petrolífera y aquellas industrias que consumen los bienes producidos por la primera y que generalmente no son biodegradables¹⁷. En ausencia de agentes surfactantes (superficie activa), ya sean naturales o sintéticos y bajas condiciones de agitación y temperatura, es muy probable que la materia grasa no será altamente dispersada y por consiguiente será fácilmente separable por gravedad o flotación. Cuando los efluentes provienen de operaciones de limpieza o de proceso, frecuentemente una mayor proporción de la materia grasa se fija en emulsiones estables y entonces su separación por medio de procesos físicos es más compleja.

2.3 Impactos en la salud y el medio ambiente

La contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan a nuestro mundo y surge cuando se produce un desequilibrio, como resultado de la

¹⁷ *Ibíd*em p.5

adición de cualquier sustancia al medio ambiente, en cantidad tal que cause efectos adversos en el hombre, en los animales, vegetales o materiales expuestos a dosis que sobrepasen los niveles aceptables en la naturaleza.

El efecto adverso de los contaminantes grasos en aguas residuales o en las aguas naturales, se debe a que interfieren con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera. Las grasas y aceites son considerados potencialmente peligrosos para el ambiente debido a su persistencia y su habilidad para esparcirse en grandes superficies de agua, fig. 2.1, formando un *film* o película que no permite el libre paso del oxígeno hacia el agua, ni la salida del CO₂ del agua hacia la atmósfera, lo que produce rápidamente una significativa degradación de la calidad del agua. En casos extremos pueden llegar a producir la acidificación del agua junto con bajos niveles de oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar.



Fig. 2.1 Formación de película de aceite sobre la superficie del agua.

El vertido de aceite en el terreno, además de contaminar el suelo, puede escurrir o ser arrastrado por el agua de lluvia y contaminar los cursos de aguas¹⁸ ya sean

¹⁸ CENTRO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIONES PARA EL DESARROLLO, **Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos**, recuperado de: http://www.idrc.ca/uploads/user-S/11437595971gr-02_04-aceites_pag35-42.pdf el 2 de Abril de 2009 pp.3-4

naturales o artificiales. La película formada por los contaminantes grasos limita de forma agresiva el desarrollo de vegetación o la inserción de organismos vegetales.

Debido a que generalmente el aceite usado es comercializado como combustible alternativo debido a su poder calorífico, el principal problema ambiental se concentra en la mala gestión del aceite al omitir recomendaciones seguras sobre su transporte, manejo y almacenamiento.

Dentro del procesamiento de alimentos se generan dos tipos de grasas y aceites:

- La Grasa amarilla¹⁹ es un tipo de grasa que puede ser reciclada. Esta grasa se genera en ollas, cacerolas, parrillas y freidoras, proviene de grasas animales, y aceites vegetales, cárnicos, nueces y cereales. Los establecimientos convertidores de grasa toman esta y la reciclan para usarla como aditivos para alimentos de animales, fabricación de jabones, aceites, cosméticos y productos de cuidado de piel y abonos vegetales.
- La Grasa marrón es el tipo de grasa que se recolecta en el fondo de un colector o trampa de grasas. Esta grasa no es reciclable y debe ser eliminada solamente en el vertedero de basura que acepte este tipo de desecho o en algún otro establecimiento diseñado para manipularla. Dicha grasa no puede someterse a algún proceso de refinación puesto que se encuentra adsorbida en partículas sólidas que se sedimentan al fondo de la trampa de grasa.

La fauna nociva, obstrucción del drenaje, contaminación del agua, malos olores y focos de infección son las consecuencias de desechar sin control grasas y aceites a la alcantarilla desde los hogares y comercios, el incorrecto manejo de éstos residuos desde el hogar o en establecimientos mercantiles, como restaurantes o fábricas, no sólo genera daños a la infraestructura hidráulica de la Ciudad sino que conlleva a

¹⁹ COMISIÓN DE SERVICIOS PUBLICOS DE SAN FRANCISCO, **Programa fog de San Francisco**, Recuperado de: http://sfwater.org/Files/FactSheets/FOG_Guide_Spanish.pdf el 25 de Marzo de 2009 pp.8-9

dificultades en el tratamiento de aguas residuales. La obstrucción de las tuberías, fig. 2.2, sean residenciales o del sistema de alcantarillado público puede afectar de manera negativa a la comunidad. Los desbordamientos del drenaje sanitario público y residencial pueden resultar en daños a la propiedad y en la contravención de las leyes de salubridad. Los desbordamientos de aguas negras ocasionan que éstas lleguen a ríos y arroyos sin pasar por las plantas de tratamiento. Como consecuencia, los canales y arroyos no son aptos para las actividades recreativas, y la vida de los animales acuáticos se ve amenazada y en muchas ocasiones el agua presenta condiciones que hacen imposible el desarrollo de cualquier tipo de organismo acuático. El incremento de las obstrucciones y los desbordamientos del drenaje sanitario obliga a los diversos órdenes de gobierno a aumentar las labores de mantenimiento y reparación del sistema.



Fig. 2.2 Obstrucción de una tubería por efecto de grasas y aceites.

En el año 2007, el gobierno de la ciudad de Indianápolis gastó cerca de 128 820 dólares²⁰ en labores preventivas de mantenimiento y tratamiento relacionado con la acumulación de grasas y aceites. Cuando los costos del gobierno de la ciudad aumentan, las tarifas que pagan los usuarios de los servicios públicos también

²⁰GOBIERNO DE LA CIUDAD DE INDIANAPOLIS Y EL CONDADO DE MARION, INDIANA, **Reducción de grasas y aceites en nuestros drenajes**, recuperado de: http://edit.indygov.org/NR/rdonlyres/09EEAE5F-DB39-4D00-9B72-81B504FFFE05/0/FactSheetFOGSpanish_f.pdf el 28 de Febrero de 2009 p.2

aumentan. La ausencia de sistemas de recuperación de grasas y aceites en tuberías de desagüe de hogares y comercios impide que se cumpla con lo establecido en la NOM-002-SEMARNAT-1996.

“Un restaurante mediano desecha, en promedio, 56 litros de aceite usado a la semana²¹”.

Los establecimientos que cuentan con una trampa de aceite y grasa evitan que al menos 16 litros de esos 56 se vayan al drenaje y se puedan reciclar.

2.4 Prevención de la emisión de grasas y aceites a la red de drenaje

La emisión de contaminantes grasos puede ser reducida de manera considerable al utilizar métodos de limpieza efectivos y reduciendo el consumo de grasas y aceites para la preparación de alimentos.

Antes de usar métodos húmedos que utilizan agua y agentes surfactantes, para eliminar compuestos grasos de las paredes de recipientes, promueva que se retiren los restos de comida usando métodos de limpieza secos, tales como raspado o barrido. Típicamente, los métodos húmedos llevan los materiales de desperdicio dentro de los drenajes, donde son eventualmente recolectados en las paredes interiores de las tuberías de drenaje provocando pérdidas de carga hidráulica al reducirse el área transversal de flujo.

Los métodos de limpieza secos toman las siguientes recomendaciones para evitar el ingreso de contaminantes básicos, compuestos grasos y partículas sólidas a la red sanitaria:

- No se debe de verter grasa dentro de la red de drenaje y los fregaderos no deberán ser utilizados para eliminar los restos sólidos de comida.

²¹ CAMPOS, **Impactan a drenaje desechos de grasas**, recuperado de: <http://www.agua.org.mx/content/view/7408/89/> el 15 de Marzo de 2009

- Usar raspadores de goma para quitar la grasa de los utensilios de cocina, aparatos y vajilla.
- Usar toallas de papel para limpiar las áreas de trabajo. Las toallas de tela van a acumular grasa y aceite que eventualmente serán emitidas a la red de drenaje, cuando se laven y enjuaguen.
- Cuando use técnicas de limpieza húmedas, mantenga la temperatura del agua por debajo de 60° C²².

2.5 Reciclado y transporte de grasas y aceites para evitar su emisión a la red drenaje

Deben de observarse las siguientes recomendaciones para gestionar su reutilización o revalorización responsablemente:

- Cubrir los recipientes de grasas y aceites que tenga al aire libre. Los recipientes de almacenaje de grasas y aceites que no están cubiertos pueden recolectar agua de lluvia y desbordarse.
- Colocar los recipientes de grasas y aceites lejos de los desagües pluviales y alcantarillas.
- Si los contenedores tienen que estar colocados cerca de un desagüe pluvial o alcantarilla, usar toallas absorbentes u otro material alrededor de los recipientes, para formar un reborde que contenga la grasa y el aceite.
- Establecer un plan de prevención de derrames.
- Vaciar los recipientes antes de que se llenen para evitar derrames.

²² COMISIÓN DE SERVICIOS PUBLICOS DE SAN FRANCISCO, O. Cit p.6

CAPÍTULO III

MÉTODOS DE RECUPERACIÓN DE GRASAS Y ACEITES

3.1 Emulsiones aceite-agua

Generalmente las aguas que contienen aguas y aceite recuperables que son emitidas a la red municipal de drenaje forman emulsiones, las cuales son pequeñas gotas en suspensión de aceite que varían desde una hasta varias centenas de micras. Los factores que hacen posible la formación de emulsiones aceite-agua son la agitación y la presencia de agentes emulsificantes, principalmente conocidos como surfactantes cuya función es reducir la tensión superficial entre las fases. Las emulsiones son mezclas de dos líquidos inmiscibles las cuales son formadas por la dispersión de un líquido en forma de pequeñas partículas conocida como fase dispersa en el seno de otro líquido o fase continua, la emulsión formada principalmente en las descargas de aguas residuales provenientes de procesos relacionados con la transformación de alimentos, es una emulsión del tipo directo en el cual la fase dispersa es de naturaleza lipofílica y la fase continua es principalmente agua.

Cuando se cuenta con acciones propias del lavado de recipientes y/o instrumentos relacionados con la preparación, consumo y almacenamiento de alimentos es inevitable la presencia de agentes surfactantes que conforman la base fundamental jabones, éstos originan que las emulsiones cuenten con una mayor estabilidad, lo que hace más complicada la separación de las fases hidrofílica y lipofílica.

3.2 Tratamientos físicos

Estos tratamientos se aplican cuando el contenido de materia grasa separable es apreciable y en ese caso es siempre deseable instalar como primera etapa un

sistema de separación de grasa-aceite y agua, esto reducirá la carga contaminante que está siendo descargada y también permitirá la recuperación de las grasas y/o aceites potencialmente útiles. A pesar de la presencia de surfactantes, es posible modificar algunas condiciones como la temperatura y la velocidad ascensional que harán que disminuya la estabilidad de la emulsión haciendo más susceptible la separación.

La eliminación de la materia grasa separable, se lleva a cabo a través de la utilización de las llamadas trampas de grasa. Para grandes flujos éstas ocupan grandes áreas de superficie, por lo que se han modificado a través de la introducción de placas paralelas, especialmente diseñadas, con lo que se ha mejorado la situación hidráulica en estas trampas y a la vez la capacidad de carga.

3.2.1 Flotación

La Flotación es un proceso de separación utilizada en la separación de fluidos inmiscibles y/o sólidos de fluidos donde los materiales en suspensión en un líquido son adheridos a burbujas de aire principalmente, disminuyendo su densidad haciéndola menor que el medio acuoso en el que se encuentran.

La resultante de las fuerzas de gravedad, de empuje y de resistencia conduce a un desplazamiento ascendente de los conjuntos partícula-aire que se concentran en la superficie del líquido.

La técnica de flotación se usa en la separación de fluidos inmiscibles. Se distinguen flotación por aireación a presión atmosférica, flotación por vacío y flotación por aire disuelto, éstos son más eficientes que las trampas convencionales para eliminar materias grasas separables de los influentes grasos procedentes de los procesos alimenticios. Para que sea factible la flotación de partículas sólidas o líquidas más densas que el agua, como es el caso de ciertas grasas, es preciso que la adherencia de las partículas grasas a las burbujas de gas sea mayor que la tendencia a establecer un contacto entre las partículas grasas y el agua.

3.2.2 Flotación por aireación en sistemas a presión atmosférica

En los sistemas de flotación a presión atmosférica las burbujas de aire se introducen directamente en la fase acuosa por medio de difusores o turbinas sumergidas, las cuales son alimentadas mediante un compresor.

Las burbujas dispersas tienen generalmente un diámetro variable entre 0,01 y 0,1 cm, para el procesamiento de volúmenes de agua residual mínimos provenientes de una sola fuente de emisión son necesarias pequeñas cantidades de aire, esto es posible mediante la administración de aire a presiones manométricas dentro del intervalo de 1,40-6,90 kipá. El proceso de flotación depende de la liberación de aire suficiente de un gas presurizado. El gas es liberado como burbuja de dimensiones razonablemente constantes y en número suficiente tal que se obtiene la capa de materia superficial que cubre el recipiente de retención. Las burbujas entonces se adhieren o son absorbidas en el material a ser eliminado y transportado a la superficie a una velocidad más grande que la que habría ocurrido en un sistema dependiente de la gravitación estática. La eficiencia del proceso mencionado depende de la razón existente entre la cantidad de materia dispersa presente, la cantidad de aire liberado y al diámetro de las burbujas de gas, mientras más pequeñas son éstas más eficiente es el proceso.

3.2.3 Flotación a vacío

Las unidades típicas de flotación a vacío airean inicialmente el volumen de agua residual a tratar mediante difusores de aire o agitadores mecánicos en un periodo de aireación corto de treinta segundos.

Al ser finalizado el proceso de aireación se procede a un periodo desaireación natural a presión atmosférica, durante dicho periodo se eliminan las burbujas con diámetro grande, las cuales ascienden hacia la superficie del líquido. El agua residual que en ese momento se encuentra casi saturada de aire disuelto, se envía a un tanque de evacuación cerrado en donde se efectúa el vacío, llegando a una presión absoluta de 30,4 kipá. Dicho vacío hace que las burbujas asciendan produciéndose

la flotación.

3.2.4 Flotación por aire disuelto (FAD)

La flotación por aire disuelto como proceso de descontaminación se realiza con microburbujas, de diámetros del orden de 15-100 micrómetros y con burbujas medianas 100-600 micrómetros. La eficiencia de la operación de separación recae en la afinidad de la unión partícula-aire, esta afinidad está dada por el diámetro de la partícula, como de la burbuja de aire, siempre se debe de cumplir la condición de que el diámetro de la burbuja debe ser mayor o equivalente que el de la partícula para aumentar la velocidad de ascensión hacia la superficie.

En los sistemas FAD, el aire se disuelve en el agua residual a una presión de varias atmósferas, y a continuación se libera la presión hasta alcanzar la atmosférica. En las instalaciones de pequeño tamaño, mediante una bomba se puede presurizar a 275-230 kipá la totalidad del caudal a tratar, añadiéndose el aire comprimido en la tubería de aspiración de la bomba. El caudal se mantiene bajo presión en un tanque durante algunos minutos, para dar tiempo a que el aire se disuelva. A continuación, el líquido presurizado se alimenta al tanque de flotación a través de una válvula reductora de presión, lo cual provoca que el aire deje de estar en disolución y que se formen diminutas burbujas distribuidas por todo el volumen de líquido.

En las instalaciones de mayor tamaño, se recircula parte del efluente del proceso de FAD (entre el 15% y el 20 %), el cual se presuriza, y se semi-satura con aire. El caudal recirculado se mezcla con la corriente principal sin presurizar, antes de la entrada al tanque de flotación, lo que provoca que el aire deje de estar en disolución y entre en contacto con las partículas sólidas a la entrada del tanque. Las principales aplicaciones de la flotación por aire disuelto se centran en el tratamiento de vertidos industriales y en el espesado de fangos.

3.3 Tratamientos físico-químicos

Este tipo de tratamiento se aplica a sistemas altamente emulsificados y dispersos, tal

que el tamaño de las partículas de materia grasa es menor que 20 μm , donde los procesos de separación por gravedad son absolutamente ineficientes. La estabilidad de los sistemas emulsificados puede ser explicado en términos de las cargas electrostáticas transportadas por las partículas. Las sustancias grasas en los efluentes de los procesos alimenticios son invariablemente cargadas negativamente, por tanto ocurre una repulsión partícula-partícula tal que inhibe la espontánea coagulación. La desestabilización de los sistemas emulsificados se alcanza a través de la neutralización de la carga por ajuste de pH, o la adición de un ión de carga opuesta. La efectividad de agregar iones se incrementa de acuerdo a la valencia que tenga el ión, tal que los iones trivalentes cargados positivamente como el hierro o el aluminio son frecuentemente empleados. Preferentemente, el sulfato de aluminio se usa en el tratamiento de sistemas emulsificados. A rangos de pH, el aluminio disociado en agua producirá complejos de aluminio cargados positivamente los cuales son usados para neutralizar las partículas de grasas y aceites cargadas negativamente.

Esta etapa involucra la desestabilización de emulsiones, condición necesaria para que éstas se puedan unir en agregados de mayor tamaño, susceptibles de ser capturadas por las microburbujas. La agregación puede ser realizada vía coagulantes, floculantes o ambos y el tiempo de residencia en esta etapa dependerá del grado de dispersión de la emulsión a remover, del tipo y concentración de reactivos y de la hidrodinámica requerida. Otros compuestos que son usados para romper las emulsiones de grasas son el cloruro férrico, sulfato ferroso, el aluminato de sodio y la caliza.

3.4 Tratamiento biológico de grasas y aceites

Muchas sustancias grasas presentes en efluentes del tipo doméstico y comercial son casi, sin excepción, biodegradables y por lo tanto estos tipos de efluentes son compatibles con un tratamiento biológico. Tradicionalmente, el tratamiento anaeróbico es privilegiado para tratar aguas residuales fuertes con alto contenido orgánico, donde las grasas y aceites son de los sustratos más comunes,

provenientes de procesos alimenticios.

3.4.1 Bio-degradabilidad de grasas y aceites

Las grasas y aceites naturales, y sus propiedades físicas y químicas, tales como longitud de la cadena, nivel de saturación y la posición de enlace de los ácidos grasos constituyentes sobre el glicerol dependen de la estructura molecular. La modificación de aceites y grasas se lleva a cabo con distintos objetivos y diferentes mecanismos, ya sean químicos, físicos o biológicos. En el caso específico de grasas y aceites presentes en aguas residuales que se descargan a la red de drenaje o cuerpos de aguas nacionales, se trata de degradar biológicamente éstos compuestos, para así obtener un efluente de aguas depuradas, que ambientalmente provoque un mínimo impacto.

El proceso de biodegradación de grasas y aceites requiere de la participación de una enzima en la etapa de hidrólisis, las enzimas son proteínas que cumplen la función de un catalizador en las reacciones que participan, pero tienen la particularidad de servir para una reacción específica y un tipo de sustrato específico, normalmente el grado de especificidad de una enzima está relacionado con el papel biológico que cumple. Las enzimas requieren de un cofactor; componente no proteico que se combina con una proteína inactiva para dar un complejo catalíticamente activo. Hay dos tipos de cofactores, los más simples son iones metálicos y los otros son complejos orgánicos. En la hidrólisis enzimática de triacilglicéridos hay presentes dos fases líquidas inmiscibles, la fase acuosa que es la que contiene la enzima y el sustrato orgánico inmiscible, los aceites y/o grasas.

3.5 Elección del método

Para efectuar la elección del método más idóneo para llevar a cabo la separación de compuestos grasos de aguas residuales es importante conocer las condiciones de operación de la descarga.

3.5.1 Temperatura

Las aguas de desecho que provienen de procesos alimenticios generalmente cuentan con una temperatura mayor a la temperatura ambiente, esto ocurre dado que para efectuar acciones de limpieza se emplea agua caliente para remover la grasa adherida a recipientes o instrumentos.

Para hacer más eficiente la separación de los compuestos grasos del agua residual debe de considerarse que durante el tratamiento se cuente con un tiempo de residencia considerable que permita el descenso de la temperatura del agua residual.

Desde el punto de vista de la transferencia de calor al existir un gradiente de temperatura se da una transferencia de calor desde el punto más caliente hacia el punto menos caliente, en las trampas de grasa convencionales el intercambio calórico se da en la superficie del líquido, el cual se da entre el agua residual y el aire que está en contacto directo con ésta.

3.6.2 Carga de contaminante

Dentro de las descargas de agua residual del tipo doméstico se emiten grasas y/o aceites de origen vegetal y animal, la mayoría de estas sustancias son desechadas en tarjas, fregaderos y lavaderos, los cuales generalmente se encuentran en las cocinas de casas habitación y pequeñas empresas relacionadas con el proceso de alimentos.

Ya que la fuente de emisión de dichos contaminantes se encuentran en cocinas es importante realizar la instalación de equipos o sistemas que colaboren con la remoción de grasas y aceites de las aguas de desecho directamente en la descarga de las cocinas, con esto se evitará el contacto con aguas grises y negras con alto contenido en sustancias activas al azul de metileno (SAAM) y con una alta demanda de oxígeno para la oxidación de la materia orgánica. El diseño debe de facilitar el proceso de instalación y su mantenimiento.

3.6.3 Tiempo de residencia

Según la comisión estatal de servicios públicos de Ensenada, se utilizan 50 litros²³ de agua por diez minutos en el lavado de platos y/o utensilios de cocina, el sistema propuesto de remoción de contaminantes grasos, debe ser capaz de tratar este caudal, la eficiencia del sistema dependerá en gran medida del tiempo de residencia que se tenga dentro de éste.

La velocidad ascensional de las moléculas de grasa y aceite depende directamente del diámetro de la molécula y su densidad, para velocidades ascensionales altas se requieren tiempos de residencia cortos, para velocidades ascensionales bajas se requieren tiempos de residencia prolongados. El diseño de la trampa de grasa deberá ser adaptable a cualquier tipo de salidas de tarjas, fregaderos o lavaderos, las cuales generalmente cuentan con diámetros comerciales de 2 pulgadas.

3.6.4 Ventajas del método de flotación en sistemas con aireación a presión atmosférica

El empleo de un sistema de aireación a presión atmosférica dota al líquido de un número grande de burbujas de aire, dado que la cantidad de calor transferido es proporcional al área de contacto entre las fases (líquida y gaseosa) en este tipo de sistemas de aireación a presión atmosférica es posible que el agua residual disminuya a temperatura ambiente de una forma más rápida.

Al emplearse un sistema de flotación con aireación a presión atmosférica se eliminan por completo costos de operación de bombas de vacío y bombas presurizadoras de alta potencia, así mismo de tanques sujetos a presiones internas. Las características de los efluentes a tratar permiten no contemplar el uso de productos químicos o enzimáticos para la separación del contaminante graso.

²³ COMISION ESTATAL DE SERVICIOS PUBLICOS DE ENSENADA, **Programa infantil cultura del agua**, Recuperado de: <http://www.cespe.gob.mx/cultura/proginfantil.html> el 20 de Octubre de 2009

Con fines experimentales se alimentará a la trampa de grasa y aceites un influente con una temperatura y una concentración determinada de grasa animal y aceite vegetal para evaluar su desempeño.

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS DE PRUEBA

4.1 Diseño de la trampa de grasas y aceites

Se optó por diseñar una trampa de grasas adecuada con las necesidades para el tratamiento de efluentes con alto contenido de contaminantes grasos, el método de separación de grasas y aceites seleccionado fue el de flotación por aireación a sistema a presión atmosférica, por lo que el sistema de separación de grasas debe de contemplar en su diseño la instalación de un sistema de aireación.

El diseño parte de un tanque sedimentador de sólidos, el cual es modificado a un sistema interconectado de doble cámara de retención, las dimensiones de la trampa deben ser las adecuadas para poder captar el volumen a tratar y a su vez permitir que sea instalado en lugares que permitan facilitar su mantenimiento.

4.1.1 Régimen de trabajo y tipos de lavado

Se propone un sistema que maneje caudales de forma intermitente, el régimen intermitente con el que funcionará el sistema permitirá al efluente a tratar un mayor tiempo de residencia, lo cual repercutirá directamente sobre la eficiencia de remoción del contaminante.

Se plantea cuantificar el caudal de trabajo de los tres principales tipos de lavado de platos e instrumentos de preparación y consumo de alimentos los cuales son:

- Lavado manual
- Lavado por inmersión
- Uso de lavavajillas

4.1.1.1 Determinación de caudal de trabajo en lavado manual.- En el capítulo anterior se plantea un sistema capaz de tratar 50 litros de agua residual provenientes de un ciclo de lavado de 10 minutos ($Q=0,0833$ L/s), para verificar este valor se cuantifico el caudal de una mezcladora de agua con difusor marca *Foset*, modelo *Basic*; el caudal promedio de agua fue de $QR=0,06373$ L/s. El caudal obtenido fue multiplicado por un factor de diseño de 1,3 obteniendo un caudal de $QD=0,0828$ L/s. y un volumen a captar de 49,7094 L.

4.1.1.2 Determinación de caudal de trabajo en lavado por inmersión.- Dicho proceso de lavado requiere de al menos dos tinas de inmersión, una de enjabonado y una de enjuague, al completarse el ciclo de lavado o al detectar que el agua se encuentra saturada de contaminantes esta es descargada hacia la red de drenaje, generalmente las tarjas de acero inoxidable comerciales ya sean de empotrar o de sobreponer tienen un volumen de cubeta de entre 18 y 20²⁴ litros. El volumen máximo fue multiplicado por dos tinas y un factor de diseño de 1,3, obteniendo un volumen a captar de 52 L.

4.1.1.3 Determinación de caudal de trabajo en lavavajillas.- Este proceso es el más eficiente en lo referente al consumo del recurso hídrico, en promedio los equipos que funcionan mediante aspersion utilizan un promedio de 12 a 18²⁵ litros por ciclo de lavado, dicho consumo fue multiplicado por un factor de diseño de 1,3 y se obtuvo un volumen de captación de diseño de 23,4 L.

4.1.2 Determinación del caudal de diseño

En base a las determinaciones anteriores se eligió el caudal máximo, el cual es de 52 L/ciclo, dicho volumen deberá ser captado en un sistema de doble cámara.

²⁴ TEKA, **Electrodomésticos, lavaplatos y grifería Catálogo**, (2011)

²⁵ LAVAPLATOS, **Mantenimiento y consumo de lavaplatos**, Recuperado de: http://www.lavaplatos.us/limpieza/comerciales/secadoras/mantenimiento_y_consumo el 26 de Julio de 2010.

4.1.3 Materiales de construcción para el prototipo

4.1.3.1 Cuerpo de la trampa de grasas.- El material de construcción de la trampa de grasas fue seleccionado de las siguientes opciones disponibles, puesto que fue descartado el uso de polietileno de alta densidad y diversos polímeros para eliminar gastos en fabricación de moldes para vaciado.

- Fibra de vidrio
- Lámina de polimetacrilato de metilo

Para la selección adecuada del material de construcción se tomaron en cuenta factores como peso, factibilidad del proceso de maquinado y observación del fenómeno físico de ascensión de moléculas aire-aceite. Dicha selección se efectuó mediante la siguiente tabla comparativa:

Tabla 4.1 Selección de material de construcción.

Factores	Fibra de vidrio	Polimetacrilato de metilo
Peso del material	++	-
Proceso de maquinado	-	++
Observación del fenómeno físico	-	+++

Debido a que la lámina de polimetacrilato de metilo cuenta con dos ventajas sobre la fibra de vidrio, fue el material de construcción seleccionado, la mayor es referente a la observación del fenómeno físico de ascensión de moléculas.

Para la construcción de la trampa se utilizó lámina de polimetacrilato de metilo de 10 mm de espesor marca Plastiglas de México de color transparente. La lámina cuenta con una dimensión de 1800mm por 1200 mm.

4.1.3.2 Accesorios de interconexión La trampa de grasas debe de permitir su interconexión con sistemas de drenaje ya existentes que por lo general se encuentran fabricados con material de policloruro de vinilo con diámetro nominal de 2 pulgadas, para permitir la adaptación con éstos sistemas de drenaje se elige el PVC

como material de los accesorios de interconexión. Debido a que dentro del catálogo de accesorios del fabricante *Spears* para red sanitaria de PVC se encuentran ausentes conectores hembra y macho roscados para adaptarse con el polimetacrilato de metilo, se propone utilizar accesorios y tubería para agua a presión de PVC, los cuales cuentan con un espesor de pared mayor que el material para red sanitaria. La lista de accesorios utilizados se muestra a continuación:

- 3 Conectores Hembra Ced. 40 de 2 pulgadas. No. Parte 435-020
- 3 Conectores Macho Ced. 40 de 2 pulgadas. No. Parte 436-020
- 8 Codos 90° Ced. 40 de 2 pulgadas. No. Parte 406-020
- 0,50 metros de tubería Ced. 40 de 2 pulgadas
- 6 Sellos *O'ring*

4.1.3.3 Sistema de suministro de aire.- Para suministrar aire a presión atmosférica a la trampa de grasa es necesario contar con un equipo que permita un suministro constante a presiones bajas de bombeo y que no signifique la instalación de compresores de tanque, por lo cual se propone un sistema de aireación basado en los siguientes equipos:

- 1 Bomba de aire marca *Hagen Mod. Elite 801*
Capacidad de bombeo 2 500 cm³/min
Consumo de energía 2,5 W/h
Presión de operación 20,68 kPa manométricos
- 4 *tee* de polietileno
Diámetro interior 5 mm
Diámetro exterior 6 mm
- 8 difusores de madera
- Divisor de flujo con válvula reguladora

4.2 Construcción de trampa de grasa y aceites

Para el proceso de maquinado de las piezas se contó con el apoyo del personal del taller mecánico y taller de carpintería del CIITEC, dicho proceso de maquinado consto de las siguientes etapas.

4.2.1 Corte de paneles de metacrilato y pulido de cantos

De la lámina de acrílico transparente de 10 mm de espesor se obtuvieron 6 paneles, el corte fue hecho en sierra de banco, para eliminar los residuos del corte presentes en los cantos del acrílico, éstos fueron pulidos con *router* y fresadora. Los paneles de acrílico obtenidos cuentan con las dimensiones reportadas en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Dimensión de paneles de construcción.

Panel	Ancho	Alto
1 (Entrada)	400 mm	400 mm
2 (Mampara)	400 mm	385 mm
3 (Salida)	400 mm	400 mm
4 (Frontal)	515 mm	400 mm
5 (Trasero)	515 mm	400 mm
6 (Inferior)	515 mm	425 mm

4.2.2 Maquinado de orificios de interconexión

Los orificios de interconexión deben de contar con el diámetro suficiente para permitir la adaptación de conector hembra y macho en paneles de entrada, mampara y salida, el diámetro adecuado es de 2,5 pulgadas (63,5 mm).

Los orificios de interconexión fueron maquinados en taladro de banco con broca sacabocados de 2,5 pulgadas. La posición absoluta del centro de cada círculo maquinado se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.3 Posición absoluta de centro del círculo.

Panel	X	Y
1 (Entrada)	200 mm	-47 mm
2 (Mampara)	200 mm	-67 mm
3 (Salida)	200 mm	-107 mm

4.2.3 Armado de los paneles

Para unir los paneles se utilizó adhesivo solvente para acrílico marca *Ad-Cryl Extra* de Plastiglas de México, para facilitar dicho proceso se requirió de dado de metal pulido que sirvió como mesa de trabajo, sargentos y escuadras metálicas, el proceso de armado requirió de un tiempo secado de 24 horas entre la unión de paneles. Para promover la adherencia entre los mismos fue necesaria que las juntas o uniones fueran lijadas para aumentar su rugosidad y a la vez su resistencia una vez pegadas.

4.2.4 Sellado de la trampa

Para la prevención de infiltraciones de agua, las juntas de la trampa de grasas fueron selladas con silicón para uso general marca *Pennsylvania*, esto a través de pistola de calafateo.

4.2.5 Conexión de accesorios

Para llevar a cabo la correcta conexión de los accesorios, éstos tuvieron que sufrir modificaciones para adecuarse al tamaño de cada una de las cámaras de retención, para lo cual fueron maquinados en tornos del taller mecánico del CIITEC. Los elementos maquinados fueron los conectores tipo hembra y macho roscados y los codos a 90°.

Una vez maquinados los elementos fueron instalados con cemento para PVC hidráulico de alta viscosidad y las conexiones macho-hembra fueron selladas con 2 *Orinas*.

4.2.6 Conexión de suministro de aire atmosférico

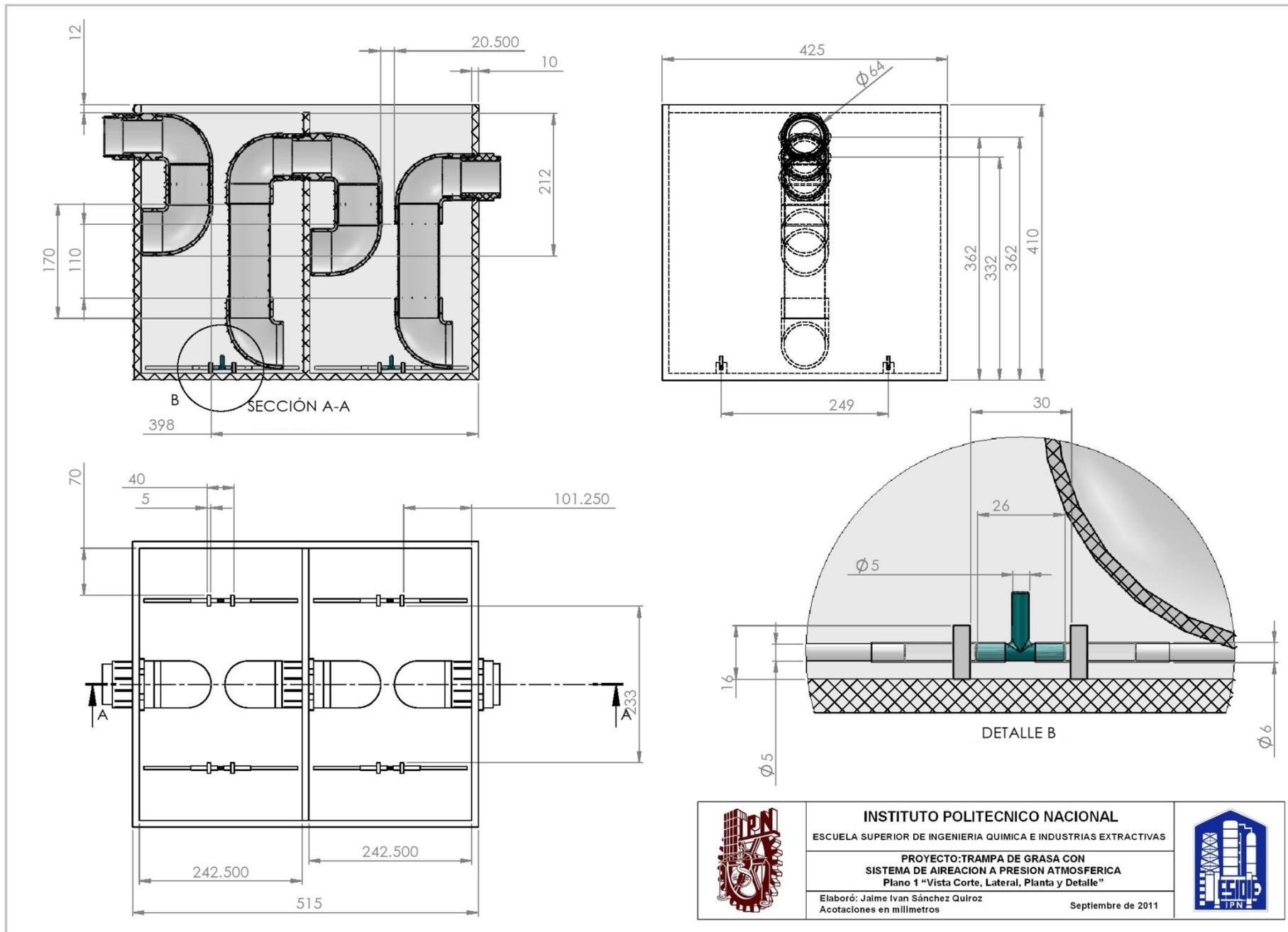
Las tees fueron montadas sobre en el fondo de la trampa de grasa en cuadros de acrílico de 16 mm de lado, con la finalidad de instalar 8 difusores en total. Los cuadros de soporte fueron adheridos al fondo con cemento *Ad-cryl*. Una vez instalados los difusores de aire, éstos fueron conectados mediante manguera al divisor y este a su vez a la salida de la bomba de aire.

4.2.7 Prueba Hidráulica

Una vez que fue concluido el proceso de construcción, la trampa de grasa sufrió una prueba hidráulica, en la cual fue alimentada agua de grifo con una temperatura de 60°C, esto con el fin de identificar posibles filtraciones y de revisar la resistencia térmica de accesorios y sellos. Al concluir el proceso de observación, la trampa de grasa fue drenada y las filtraciones se repararon con adhesivo solvente *Ad-cryl Extra*.

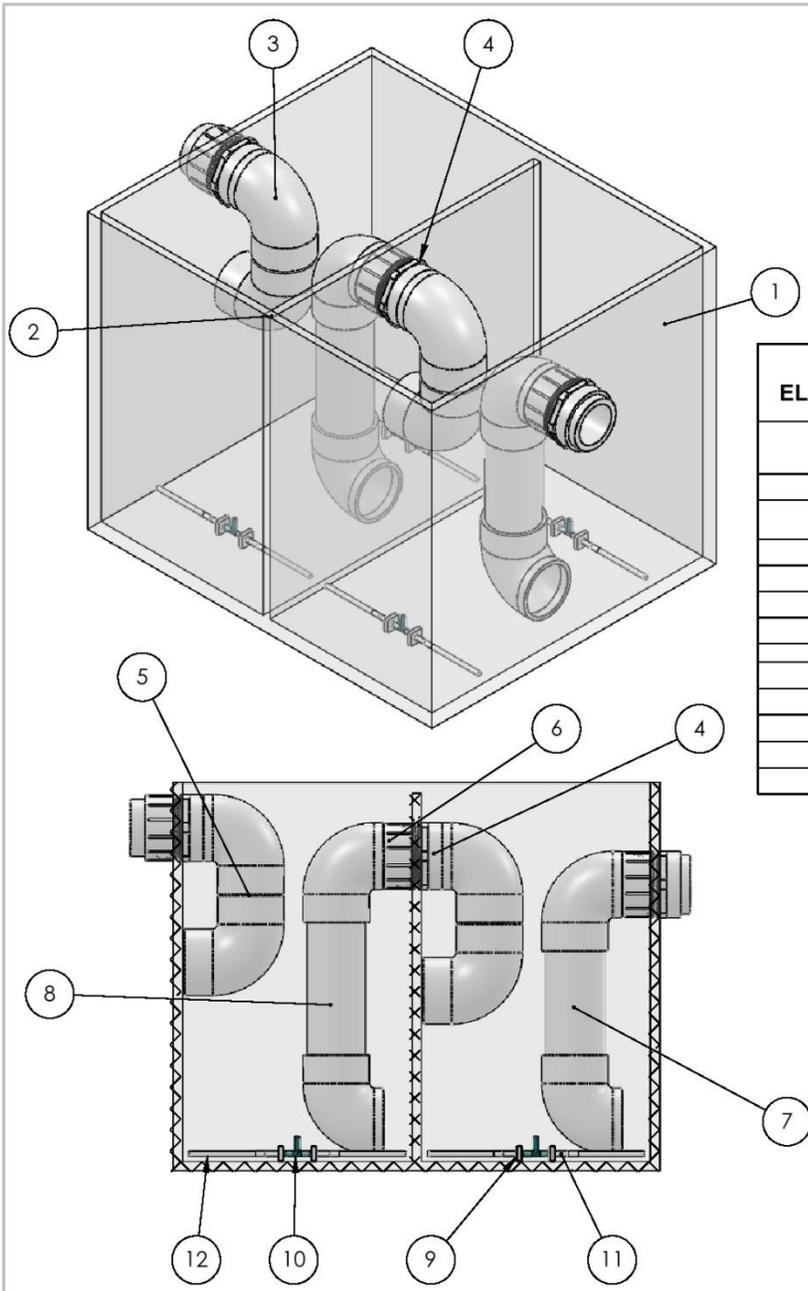
4.3 Plano constructivo de la trampa de grasa e imágenes renderizadas

Los planos, fig. 4.1 y 4.2, fueron desarrollados en paquetería de dibujo asistido por computadora *SolidWorks* 2010, las imágenes renderizadas, fig. 4.3, fueron desarrolladas bajo la misma plataforma, se utilizan cotas en milímetros y se detallan vista frontal, corte transversal, vista planta, vista isométrica, vista de detalle y tabla de materiales.



	INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS		
	PROYECTO: TRAMPA DE GRASA CON SISTEMA DE AIREACION A PRESION ATMOSFERICA Plano 1 "Vista Corte, Lateral, Planta y Detalle"		
	Elaboró: Jaime Ivan Sánchez Quiroz Acotaciones en milímetros		Septiembre de 2011

Fig. 4.1 Plano Vista Corte, Vista Lateral, Vista Planta y Detalle.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Cuerpo	10 mm de espesor Material Metacrilato de Metilo	1
2	Codo 90 x 2 in	Material PVC	2
3	Codo asimétrico 90 x 2 in	Material PVC	6
4	Conector Macho 2 in	Material PVC	3
5	Tubería 2 in	50 mm	2
6	Conector Hembra 2 in	Material PVC	3
7	Tubería 2 in	170 mm	1
8	Tubería 2 in	190 mm	1
9	Cuadro soporte Tee	Material Metacrilato de Metilo	8
10	Tee	Para manguera de 5 mm int. 6mm ext.	4
11	Manguera	D. int. 5 mm; D. ext. 6 mm	8
12	Difusor	Material Madera	8
13	Empaque	O'ring de caucho vulcanizado	6



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

PROYECTO: TRAMPA DE GRASA CON SISTEMA DE AIREACION A PRESION ATMOSFERICA
 Plano 2 "Vista Isométrica, Corte y Tabla de elementos y materiales"

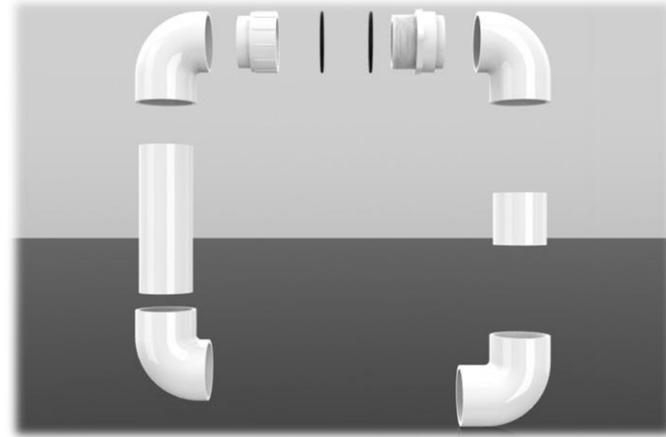
Elaboró: Jaime Ivan Sánchez Quiroz
 Acotaciones en milímetros



Fig. 4.2 Plano Vista Isométrica, Vista Corte y Tabla de elementos y materiales.



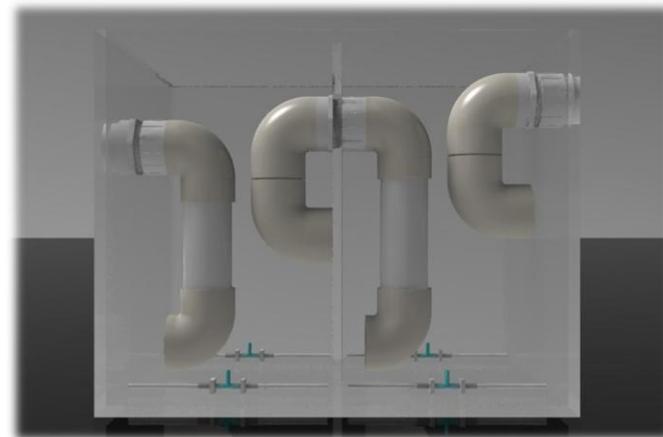
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4.3 Imágenes Renderizadas. (a) Detalle de conexión; (b) Explosión de conexión de PVC; (c) Vista Trimétrica; (d) Vista Corte

4.4 Diseño experimental

El diseño experimental debe de permitir llevar a cabo la evaluación del desempeño del sistema, bajo condiciones presentes en descargas provenientes de cocinas y procesos de manejo de alimentos. El parámetro de desempeño a evaluar en la trampa de grasa es la remoción de los contaminantes grasos, actualmente los desarrolladores de trampas de grasa y sistemas de remoción cuentan con estándares y normas técnicas para poder llevar a cabo la evaluación de sus desarrollos tecnológicos. Los estándares de certificación se muestran a continuación²⁶:

- ASME/ANSI A112.14.3 Interceptores de grasa
- ASME/ANSI A112.14.3 Dispositivos de remoción de grasa automáticos
- PDI-G101 Procedimiento de prueba y desempeño para interceptores de grasa
- CSA B481 Interceptores de grasa

De los estándares ya mencionados solo el PDI-G101 y el CSA B481 contemplan en su contenido los métodos de ensayo para determinar la eficiencia de remoción, de ambos el desarrollado por el Instituto de Plomería y Drenaje (*Plumbing Drainage Institute*, PDI) es el que cuenta con mayor número de adeptos dentro del sector industrial.

4.5 Método de prueba PDI-G101

4.5.1 Condiciones de prueba

El método de prueba está diseñado para simular una instalación de drenaje, en la que el interceptor de grasas es sometido a condiciones severas de operación.

²⁶ NSF, **NFS Grease Interceptor Testing and Certification** Programa, Recuperado de: http://www.nsf.org/business/newsroom/pdf/Grease_Interceptor_Flyer.pdf el 26 de Agosto de 2010

4.5.2 Fundamento de la prueba

La prueba se basa en el uso de una tarja de doble compartimiento instalada 3,05 m por encima del fondo del interceptor de grasa, la tarja está conectada al interceptor por medio de tubería de 2 pulgadas de diámetro, el efluente del interceptor descarga sobre un tanque de desnatado.

4.5.3 Dimensiones del equipo de prueba

El fregadero debe de ser fabricado a partir de chapa galvanizada de metal de dimensiones interiores de: 2,44 m de longitud, 0,60 m de ancho y 0,32 m de profundidad, ubicándose una división a 1,22 m de largo.

El tanque de desnatado debe de ser de geometría rectangular, de forma abierta en la parte superior y equipado con un deflector fijo situado a 0,91 m del extremo del tanque que recibe el efluente del interceptor de grasa. Las dimensiones del tanque deberán de ser de 2,44 m de longitud, 0,70 m de ancho y 0,60 m de profundidad, construido a partir de chapa de metal galvanizado.

4.5.4 Ubicación del equipo de prueba

La tarja se encuentra en un límite superior del suelo con el borde de la misma 0,91 m por encima del nivel del suelo. El interceptor de grasa se encuentra a 3,05 m por debajo del nivel del suelo.

4.5.5 Capacidad de trabajo de la tarja

Cada compartimiento de la tarja debe de ser capaz de mantener una columna hidrostática que permita alcanzar 1,2 veces el caudal de diseño del interceptor.

4.5.6 Contaminación del influente

El primer compartimiento de la tarja es alimentado con agua de grifo con una temperatura entre 65,5°C y 71°C, y es adicionada manteca de primer vapor de cerdo o equivalente a una tasa de 0,45 kg por 19 litros de agua, el segundo compartimiento

es alimentado solo con agua. Al combinar ambos se obtiene una concentración de 11,482 g/L.

4.5.7 Prueba de desempeño del interceptor

Se abren ambos compartimientos de la tarja y se alimentan al interceptor a la tasa de flujo recomendada que es función de su dimensión; se alimentará al interceptor un volumen que duplique su capacidad, una vez alcanzado éste volumen se efectuará el proceso de desnatado en el tanque.

4.5.8 Desnatado

El efluente del interceptor debe de pasar al tanque de desnatado, en el que con ayuda de los deflectores se lleva a cabo una separación de la grasa presente en el efluente, la fase acuosa es drenada, y la materia grasa es recolectada con espátulas y sometida a un proceso de calentamiento para permitir que trazas de agua sean eliminadas, cuando la materia grasa aún se encuentra en estado líquido se vierte a un embudo de separación en el que se permite su estabilización por 5 minutos, la fase acuosa es desechada del embudo de separación, y la fase orgánica se deposita en latas para después enviarse a un proceso de enfriamiento. El ciclo de calentamiento, separación y enfriamiento debe de ser repetido hasta no detectar visualmente la presencia de agua, una vez cumplido esto se deberá de cuantificar su peso en balanza granataria con aproximación de 0,50 g.

4.5.9 Determinación de la eficiencia del interceptor

La eficiencia del interceptor es calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$Eficiencia = \left(\frac{grasa\ adicionada - grasa\ desnatada}{grasa\ adicionada} \right) * 100$$

4.5.10 Ventajas del método de prueba PDI-G101

El método de prueba desarrollado por el Instituto de Drenaje y Plomería cuenta con las siguientes ventajas:

- Estándar de aplicación recurrente en fabricantes de interceptores
- Determinación continua de la tasa de flujo
- Simula instalación crítica
- Cuantifica el contaminante de forma práctica
- No contempla el uso de solventes o agentes químicos

4.5.11 Desventajas del método de prueba PDI-G101

El método de prueba desarrollado por el Instituto de Drenaje y Plomería cuenta con las siguientes desventajas:

- Complejidad en la instalación de los equipos
- Solo contempla el uso de grasa y no de aceites ni jabones
- La concentración de contaminantes es muy elevada
- Pérdidas en el proceso de desnatado

4.5.12 Conclusión sobre el método de prueba

En base al análisis de ventajas y desventajas se descarta el uso del estándar PDI-G101, puesto que ofrece limitantes en la adquisición e instalación de infraestructura y no es adecuado para probarse en el tipo de efluentes previamente considerados, por lo que se plantea un método de prueba acorde a la Normatividad Mexicana y que permita determinar el desempeño de la trampa de grasa bajo condiciones de trabajo presentes en descargas domésticas o de pequeña industria.

4.6 Método propuesto

4.6.1 Fundamento de la prueba

Se alimentará a la trampa de grasa un caudal permanente de agua con una concentración de contaminantes grasos a una temperatura determinada, para promover la formación de la emulsión se adicionará jabón líquido. El efluente será analizado según lo dispuesto en la norma mexicana NMX-005-SCFI-2000.

Para determinar el desempeño de la trampa de grasas, se propone un influente, con una carga contaminante teórica de 1 000 mg/L utilizando como contaminantes básicos aceite vegetal y grasa animal como fase dispersa y como fase continua agua de grifo con una temperatura de 50°C.

Se tomarán muestras diferenciales del efluente a los 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, y 90 minutos del arranque de operación del suministro de aire atmosférico a través de los difusores instalados en el fondo de la trampa, dichas muestras serán analizadas para determinar cuantitativamente su contenido de grasas y aceites recuperables. Para la comprobación analítica de la carga contaminante del influente se tomarán dos muestras del mismo.

4.6.2 Equipos, materiales y reactivos para el muestreo

Los equipos y materiales y reactivos necesarios para realizar el muestreo se enuncian a continuación:

4.6.2.1 Equipos.- Se enuncian los equipos requeridos para el muestreo:

- Trampa de grasa
- Bomba sumergible con entrega de caudal de 2 000 L/h
- Bomba sumergible con entrega de caudal de 1 400 L/h
- Calentador eléctrico para agua con potencia de 1 100 W
- Cronómetro
- Potenciómetro marca *Conductronic* Mod. PC-18
- Termómetro de bulbo de mercurio marca *Brannan* Resolución de 0,1°C

4.6.2.2 Materiales

- 10 envases de vidrio boro-silicato con tapa de polietileno de alta densidad y contratapa de teflón
- 1 Tanque de emulsión con capacidad de 80 L

4.6.2.3 Reactivos

- 25 g de manteca de cerdo
- 50 g de aceite vegetal marca 123
- 10 g de Jabón líquido marca *Axion*
- Acido clorhídrico marca *J.T. Baker* con ensayo de HCl de 37,20% No. de lote G25C21
- Agua desionizada con conductividad <5,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 5,0 < pH < 8,0
- Solución Buffer pH 7,00 Marca *J.T. Baker* No. de lote J09C01 Cad. 03/12
- Solución Buffer pH 10,00 Marca *J.T. Baker* No. de lote J07C10 Cad. 02/12

4.6.3 Análisis de grasas y aceites recuperables

Los equipos y materiales y reactivos necesarios para realizar el análisis cuantitativo de grasas y aceites recuperables se enuncian a continuación:

4.6.3.1 Equipos

- Estufa horno Felisa FE-292-A
- Balanza analítica *Mettler* H35 AR con precisión de 0,10 mg
- Bomba de vacío marca Felisa FE-1500
- Equipo de extracción *Soxhlet* modificado
- Parrilla de calentamiento de 12 plazas

4.6.3.2 Materiales

- Cartuchos de para extracción de celulosa marcan *Whatman* de 35 x 94 mm
- Papel filtro de poro fino cualitativo marca *Whatman* de 125 mm de diámetro.
- Embudo *Büchner* de porcelana
- Probeta de vidrio de 1 000 mL
- Desecador de vidrio
- Matraz *Kitazato* de vidrio de 2 000 mL
- Condensadores de vidrio

- Matraces balón fondo plano de vidrio boro-silicato

4.6.3.3 Reactivos

- Hexanos marca *Mallinckrodt nanograde* con ensayo de isómeros de C₆H₆ >99,9% No. de lote 4159KVMD
- Tierra de diatomeas marca *J.T. Baker* No. de lote V18C63
- Agua desionizada con conductividad <5,0 μS/cm y 5,0 < pH < 8,0
- Grasa de silicón
- Sílica gel con indicador de hidratación marca *Meyer*

4.6.4 Acondicionamiento del contaminante

La manteca de cerdo y el aceite vegetal fueron sometidos a un proceso de calentamiento en vasos de precipitados durante un periodo de 30 minutos, durante dicho proceso fue monitoreada la temperatura con termómetro de bulbo de vidrio, para la grasa animal se mantuvo una temperatura de 180°C y para el aceite vegetal de 220°C.

Dicho proceso se efectuó con la finalidad de eliminar trazas de humedad presentes en los compuestos grasos y simular un proceso de cocción de alimentos bajo condiciones críticas a la temperatura de humeo.

Posterior al calentamiento el aceite reservado fue introducido a estufa para regular su temperatura y posteriormente a un desecador de vidrio hasta alcanzar temperatura ambiente.

4.6.5 Preparación de la emulsión

Al tanque de emulsión se alimentaron 70 litros de agua de grifo; mediante sistema de calentamiento eléctrico se adicionó energía hasta que se alcanzó una temperatura de 50°C, mediante datos históricos de informes de análisis del Laboratorio de Control Ambiental del CIITEC en descargas del giro restaurante, se propuso un efluente a

tratar con la concentración de 1 000 mg/L de grasas y aceites recuperables, puesto que esta concentración fue la mayor reportada por el laboratorio.

Se adicionaron al agua 23,3 g de manteca de cerdo, 46,7 g de aceite vegetal marca 123 y 11,7 g de jabón líquido para trastes marca *Axion*, al adicionar dichos contaminantes se mantiene la proporción de 2:1 de aceite vegetal sobre grasa animal y el agente surfactante permite llevar a cabo una micro emulsión aceite-agua.

Los ya mencionados contaminantes fueron pesados en balanza granataria marca *Ohaus* con una resolución de 0,10 g. Para provocar que el contaminante se emulsione con el agua fue necesario establecer agitación mecánica, fig. 4.4, para lo cual se efectuó bombeo de recirculación a través de una bomba sumergible con capacidad de bombear 2 000 L/h, el bombeo se realizó por un periodo de 10 minutos.



Fig. 4.4 Preparación de la emulsión. (a) Agitación mecánica; (b) Detalle de la agitación

4.6.6 Preparación de la trampa de grasa

Para eliminar posibles rastros de grasa en la paredes de la trampa, y así también en sus accesorios de interconexión fue necesario efectuar limpieza con paño impregnado con hexano. En la figura 4.5 se muestra la trampa de grasas después de haber sido sometida al proceso de limpieza con hexano.



Fig. 4.5 Trampa de grasa después del proceso de limpieza.

4.6.7 Material del recipiente de almacenamiento de muestra

Los recipientes, en los que se establece almacenar la muestra de agua residual, deben ser de vidrio, debido a que el vidrio es inerte a cualquier tipo de compuesto presente en agua residual de tipo doméstico. Otro factor importante a considerar para la elección del vidrio como material de almacenaje, es la rugosidad de la pared de los recipientes, el vidrio al tener una rugosidad mínima comparada con envases de polietileno, no permite que las grasas y/o aceites recuperables se adhieran a las paredes del recipiente.

El envase en el que se debe de almacenar la muestra es un envase de vidrio de boca ancha con capacidad de 1 000 mL y con contratapa de teflón²⁷.

4.7 Determinación cuantitativa de grasas y aceites

El análisis de grasas y aceites es una de las técnicas con mayor campo de aplicación, es posible realizar análisis de grasas en agua, ya sean residuales, naturales o residuales tratadas, en alimentos, fibras y textiles.

²⁷ SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, **NMX-AA-005-1980**, Recuperado de: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Normas%20Mexicanas%20vigentes/NMX-AA-005-SCFI-2000.pdf> el 6 de Octubre de 2009 p.5

En lo que corresponde a la cuantificación de grasas y aceites recuperables en agua, actualmente existe una norma dentro de la Legislación Mexicana dicha norma es la NMX-AA-005-SCFI-2000 que establece el método de análisis.

Este método permite una estimación del contenido de grasas y aceites en aguas naturales, residuales y residuales tratadas al determinar gravimétricamente las sustancias que son extraídas con hexano de una muestra acuosa acidificada. La determinación de grasas y aceites es indicativa del grado de contaminación del agua por usos industriales y humanos. En esta determinación no se mide una sustancia específica sino un grupo de sustancias con unas mismas características fisicoquímicas (solubilidad). Entonces la determinación incluye:

- Ácidos grasos
- Jabones insolubles en agua
- Grasas
- Ceras
- Hidrocarburos, de bajo y elevado peso molecular de origen mineral que abarca desde la gasolina hasta combustibles y aceites lubricantes
- Cualquier otra sustancia miscible en hexano²⁸.

Dentro de la normatividad mexicana se establece el método de muestreo, la norma que establece la forma en que se debe de efectuar el muestreo de agua residual es la NMX-AA-003-SCFI-1980.

4.7.1 Muestreo del agua residual

El recipiente de vidrio debe de estar limpio y libre de grasas y/o aceites que puedan ser causa de interferencia en los resultados. Una vez que exista descarga de agua residual en la salida de la trampa de grasa con sistema de aireación se procederá a

²⁸ ALVARADO, O. *Cit.* p.4

efectuar la toma de la muestra, dicho procedimiento deberá hacerse en base a la siguiente recomendación:

- El frasco de vidrio se deberá llenar hasta la marca de un litro, verificando que siempre quede un espacio vacío, para permitir la fijación de la muestra y así evita que las sustancias grasas se adhieran a la tapa plástica del frasco²⁹.

4.7.2 Desarrollo de la prueba de desempeño de la trampa de grasa

Se alimenta a la trampa de grasas la emulsión, fig. 4.6, esto a través de una bomba sumergible que maneja un caudal de 1 400 L/h; para regular la tasa de flujo se instaló un *by-pass* que permite bifurcar el flujo de salida de la bomba, un ramal se alimenta a la bomba y el otro permite continuar con la agitación.



Fig. 4.6 Inicio de operación de la trampa. (a) Alimentación del influente; (b) Inicio de la alimentación

Del ramal de alimentación a la trampa de grasas se tomó una muestra de 1000 mL en envase de vidrio boro-silicato de boca ancha con tapa de polietileno de alta densidad y contratapa de teflón, dicha muestra se marca como IA (Influente A). La muestra fue tomada inmediatamente después del comienzo de la alimentación.

²⁹ ARCE Ana Luisa, **Muestreo y preservación de grasas y aceites** pp. 5-9

Cuando el agua inundó la primera cámara, fig. 4.7, y fluyó hacia la segunda cámara de flotación, fig. 4.8, de la trampa de grasas, se tomó una segunda muestra de 1 000 mL en envase de vidrio con las mismas características, dicha muestra se identificó como IB (Influente B).

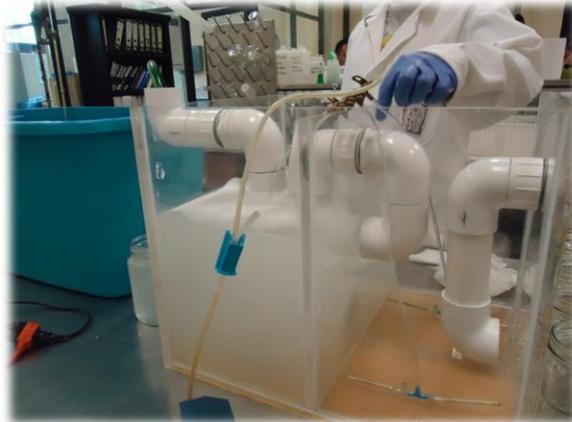


Fig. 4.7 Inundación de la primera cámara de flotación

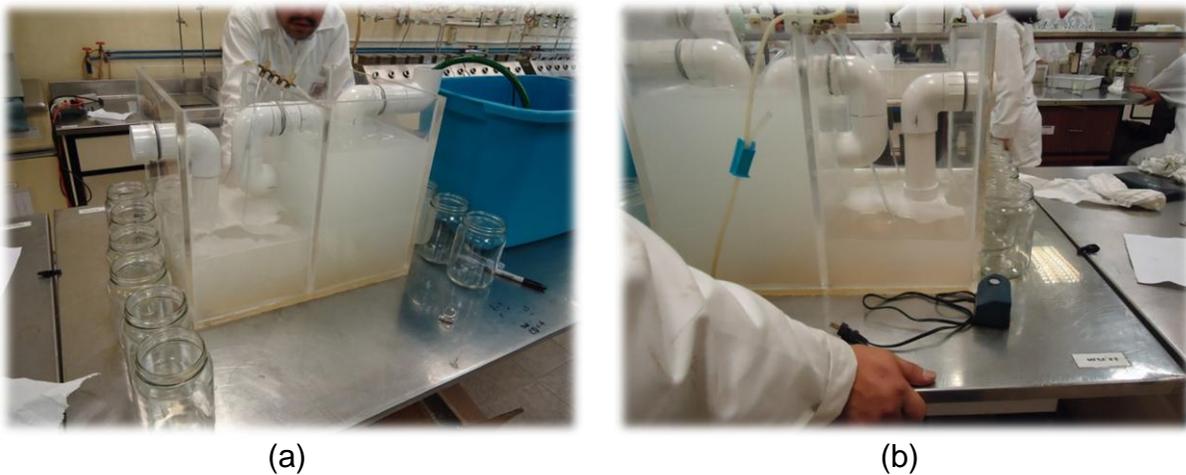


Fig. 4.8 Inundación de la segunda cámara. (a) Alimentación del influente; (b) Detalle de la inundación

Se continuó con la alimentación del influente hasta llegar a la máxima capacidad de trabajo de la trampa de grasa, en el momento en el que se percibió un efluente de la trampa de grasas, se inició el registro del tiempo y se activó el sistema de bombeo a aire a través del compresor y los ocho difusores de aire, fig. 4.9 a, la tasa de flujo de aire se ajustó a una velocidad tal que no permitía una agitación excesiva. Se tomó una muestra de agua de 1 000 mL del efluente, fig. 4.9 b, de la trampa y se identifica como E1-00 (Efluente 1-0 minutos). Una vez reservada la muestra se suspendió la

alimentación del influente, pero se mantuvo el bombeo de recirculación al interior del tanque de emulsión.

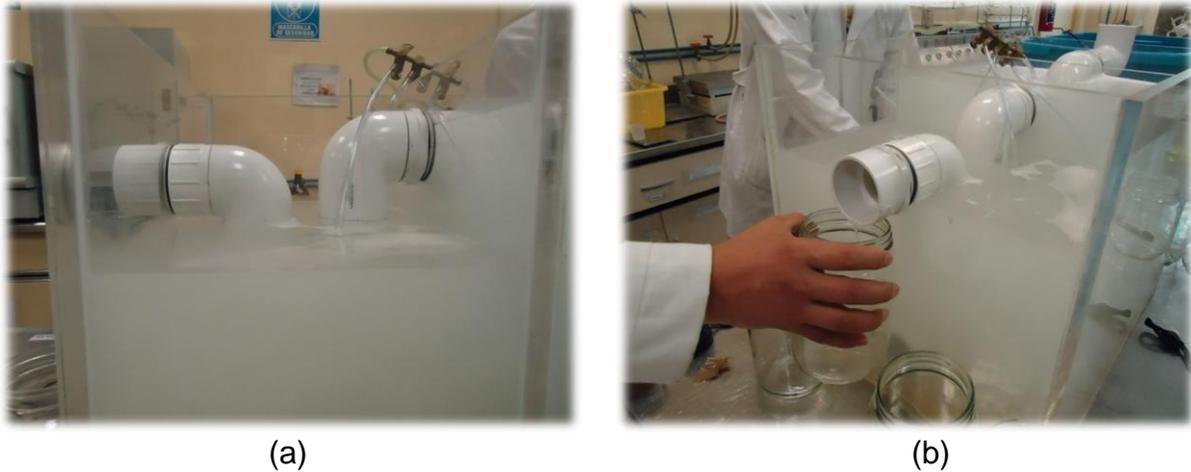


Fig. 4.9 Toma de muestra del efluente. (a) Ajuste de la tasa de aire suministrado; (b) Toma de la muestra E1-00

Cuando el registro del tiempo alcanzó 10 minutos, se volvió a alimentar la emulsión a la trampa de grasas, y se tomó una muestra de 1 000 mL del efluente, la cual fue identificada como E2-10 (Efluente 2-10 minutos), una vez concluido el muestreo, se suspendió la alimentación del influente. El proceso anterior de muestreo fue repetido a los tiempos de 20, 30, 40, 50, 60 y 90 minutos, y las muestras fueron identificadas de acuerdo a la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Codificación de muestras.

Muestra	Código
Influente A	IA
Influente B	IB
Efluente 1-0 minutos	E1-00
Efluente 2-10 minutos	E2-10
Efluente 3-20 minutos	E3-20
Efluente 4-30 minutos	E4-30
Efluente 5-40 minutos	E5-40
Efluente 6-50 minutos	E6-50
Efluente 7-60 minutos	E7-60
Efluente 8-90 minutos	E8-90

Posterior a la toma de cada una de las muestras se determinó potencial de hidrógeno y temperatura. Al concluir los muestreos, el suministro de aire fue suspendido, fig. 4.10 a, y se procedió a la recuperación del contaminante graso por desnatado, fig. 4.10 b, dicho contaminante fue reservado en envase de vidrio para su posterior gestión y tratamiento como residuo peligroso, fig. 4.11. Al finalizar el proceso de desnatado el contenido de la trampa de grasa fue drenado.

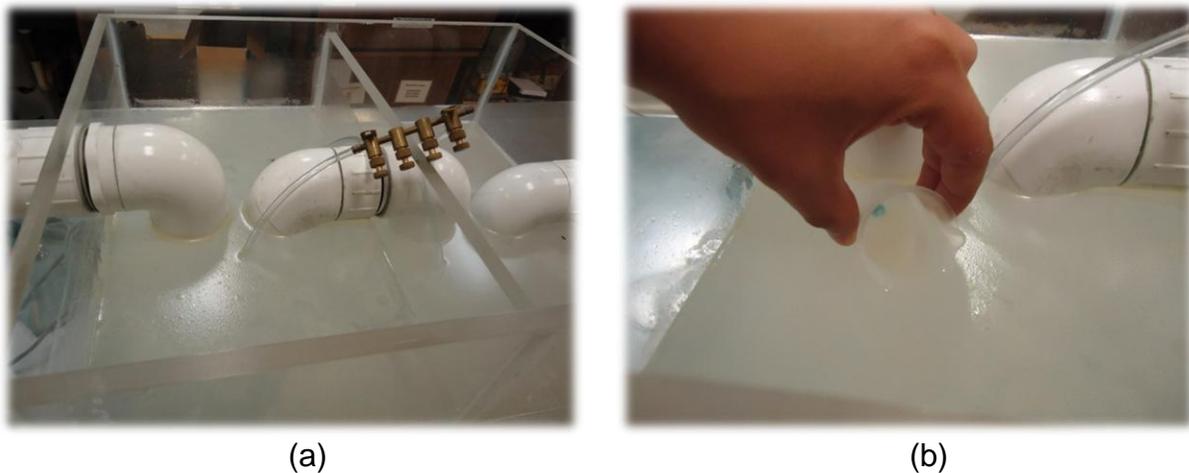


Fig. 4.10 Recuperación de materia grasa separable. (a) Suspensión de suministro de aire; (b) Recuperación por desnatado



Fig. 4.11 Materia grasa recuperable desnatada

4.7.3 Acondicionamiento de la muestra

En base a lo estipulado en la NMX-AA-005-SCFI-2000, en caso de que las muestras no cuenten con un pH menor o igual a 2,0, se debe de ajustar el pH; el ajuste se efectuó mediante la adición de una solución de ácido clorhídrico 1:1 en agua; la verificación del pH fue realizada con papel indicador, fig. 4.12, el objetivo de efectuar dicho ajuste es evitar la hidrólisis química³⁰ de los compuestos a analizar y así también retardar la acción biológica de microorganismos.

La hidrólisis química se realiza en presencia de una base o álcali, esta hidrólisis también adquiere el nombre de saponificación de grasas, los productos de la saponificación de grasas son las sales de los ácidos grasos involucrados, estas sales también reciben el nombre genérico de jabones.

La muestra fue almacenada en cámara fría a una temperatura de 4°C y a la obscuridad, el refrigerar la muestra a temperaturas bajas favorecerá la conservación de la muestra, puesto que se retarda la acción biológica de bacterias y microorganismos descomponedores.

La viscosidad de las grasas y los aceites depende de la temperatura. A temperaturas bajas los lípidos se encuentran en estado de gel cristalino³¹, donde su movilidad está restringida, esta disminución de temperatura también reduce la velocidad de colisiones entre moléculas lo que colabora con el movimiento ascensional de grasas y aceites.

³⁰ CENTRO DE GEOCIENCIAS UNAM, **Colecta, conservación y almacenamiento de muestras de agua**, Recuperado de : http://www.geociencias.unam.mx/geociencias/laboratorios/geoquimica/manual_geog_ambiental.pdf el 26 de Septiembre de 2009 p.1

³¹ DEVLIN Thomas, **Bioquímica: Libro de texto con aplicaciones clínicas**, Recuperado de: http://books.google.com.mx/books?id=p3DCb9ITLx8C&dq=fluidez+de+grasas+a+temperatura+baja&source=gbs_navlinks_s el 15 de Octubre de 2009 p.509

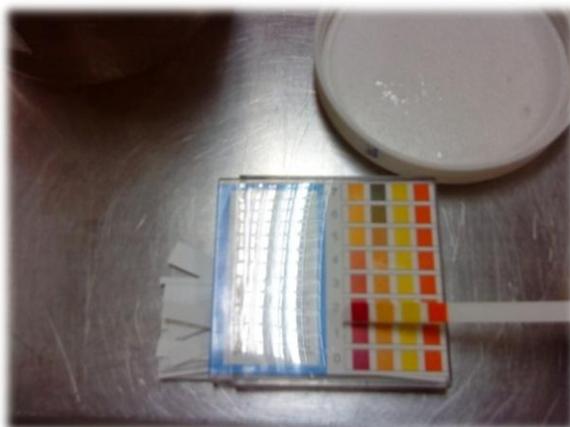


Fig. 4.12 Verificación del pH en preservación de muestras.

4.7.4 Acondicionamiento a peso constante inicial del material de vidrio

El proceso de acondicionamiento a peso constante de matraces de vidrio, es un proceso largo en el que intervienen factores físicos como la temperatura ambiente del lugar donde se encuentra la balanza analítica, la humedad relativa del mismo y las condiciones del desecador de vidrio, y factores humanos, como la habilidad del analista para manipular el material, para pesar en la balanza analítica y la verificación de la temperatura de calentamiento. Previo a efectuar el proceso de acondicionamiento los matraces fueran identificados con plumón indeleble y lavados con jabón desengrasante hasta la completa eliminación de material graso. Posterior a esto los matraces fueron ser enjuagados con agua desionizada. A partir de este momento el material de vidrio fue manejado sin excepción con guantes de nitrilo y pinzas.

El ciclo de acondicionamiento consta de los siguientes pasos:

- Secado en estufa
- Enfriamiento en desecador
- Obtención del peso en balanza analítica

4.7.4.1 Secado en estufa.- Los matraces son secados en horno Felisa, fig. 4.13 por un periodo de 4 horas a una temperatura de 103 a 105°C, dicha temperatura es verificada constantemente con termómetro de bulbo de mercurio verificado.



Fig. 4.13 Secado de matraces en horno Felisa.

4.7.4.2 Enfriamiento en desecador.- Inmediatamente al cumplirse las 4 horas del proceso de secado los matraces son introducidos al desecador de vidrio, fig. 4.14, en donde disminuirán su temperatura hasta alcanzar la del medio ambiente. El desecador debe de ubicarse dentro del área de balanzas para disminuir la variación de temperatura.



Fig. 4.14 Enfriamiento en desecador de vidrio.

4.7.4.3 Obtención del peso en balanza analítica.- Una vez alcanzada la temperatura ambiente los matraces son pesados uno a uno y por triplicado en balanza analítica *Mettler* H35 AR con una aproximación de 0,10 mg, este proceso se efectúa por triplicado para obtener fuente de incertidumbre estándar por repetibilidad en el pesaje.



Fig. 4.15 Pesaje en balanza analítica *Mettler H35AR*.

4.7.4.4 Criterio de peso constante.- El ciclo de secado, enfriamiento y pesaje debe de ser repetido hasta que la diferencia de pesos obtenidos entre dos ciclos consecutivos no represente una diferencia significativa. El conjunto de 6 pesos deberán de ser registrados como peso inicial, junto con las condiciones medioambientales de pesaje como temperatura y humedad relativa.

4.7.5 Filtración de muestras

La fase dispersa de la emulsión presente en las muestras fue segregada mediante a un proceso de separación por filtrado, mediante la siguiente metodología:

- a) Se adapta el embudo *Büchner* al matraz *Kitazato*, fig. 4.16, utilizando empaque de goma, éste es conectado a la bomba de vacío a través de *tubbing* de látex.



Fig. 4 16 Montaje del sistema de filtración a vacío.

b) Se coloca al interior del embudo una hoja de papel filtro de poro fino marca *Whatman*, el filtro es centrado y se fija mediante la adición de agua desionizada, fig. 4.17.

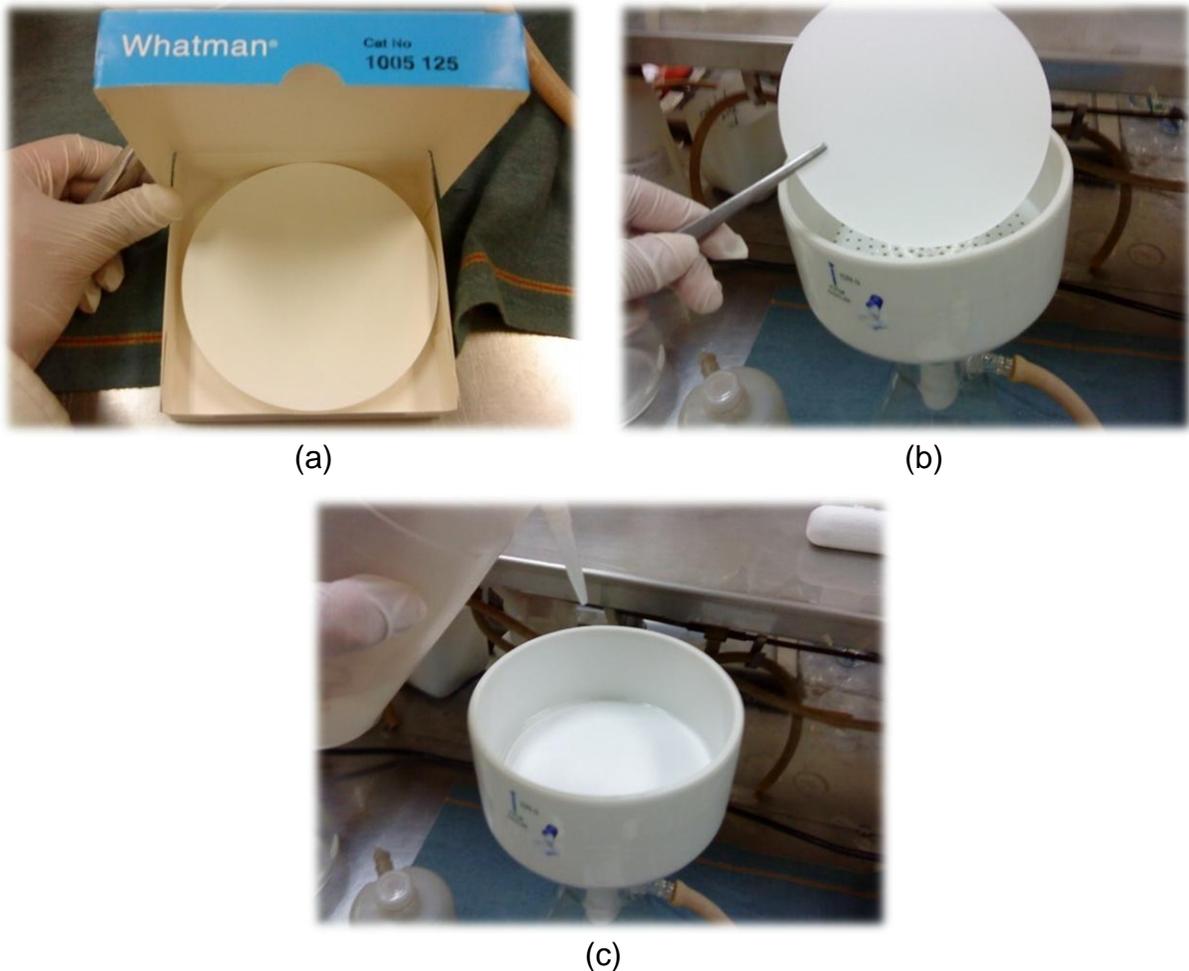


Fig. 4.17 Fijación del medio filtrante. (a) Papel filtro marca *Whatman*; (b) Manejo del papel filtro; (c) Adición de agua desionizada

c) Se enciende el sistema de succión y se añaden 100 mL de solución de tierra de diatomeas, fig. 4.18, con una concentración de 10 g/L, la tierra de diatomeas tiene la función de crear una ayuda filtro para disminuir el tamaño de poro y aumentar el *retentato* de la filtración.



Fig. 4.18 Adición de ayuda filtro de solución de tierra de diatomeas.

- d) Se desconecta el sistema de vacío y se drena el matraz *Kitazato*, fig. 4.19.



Fig. 4.19 Drenado del matraz *Kitazato*.

- e) Se destapa el frasco de la muestra y se registran características organolépticas.
- f) Se enciende la bomba de vacío y la muestra es filtrada, fig. 4.20, una vez finalizado el filtrado se desconecta el sistema de succión.



Fig. 4.20 Filtración de muestra. (a) Proceso de filtración; (b) Fin del proceso de filtrado

- g) El volumen del líquido permeado en el matraz *Kitazato* es cuantificado mediante una probeta de vidrio de 1 000 mL, y el dato es registrado.
- h) El filtro es retirado cuidadosamente del embudo con pinzas y es introducido dentro del cartucho de extracción, fig. 4.21 que debe de mantener un número de identificación.



Fig. 4.21 Inserción del medio filtrante dentro del cartucho de extracción de celulosa.

- i) Para aumentar la recuperación del contaminante graso se efectúa un barrido con papel impregnado con hexano por el interior del envase de vidrio, su tapa y por las paredes y fondo del embudo *Büchner*, fig. 4.22, el papel filtro deberá de ser colocado al interior del cartucho de extracción.



Fig. 4.22 Recuperación de contaminantes grasos adheridos en la pared de embudo *Büchner*.

- j) Al filtrarse la totalidad de las muestras los cartuchos de extracción de celulosa, éstos fueron ingresados a horno Felisa a una temperatura de 105°C durante 30 minutos para eliminar la presencia de agua.

4.7.6 Extracción de grasas y aceites recuperables

La extracción de grasas y aceites requiere el uso de hexano como solvente de los contaminantes grasos, para efectuar la extracción se hace mediante el equipo de extracción Soxhlet modificado, el cual es montado como se indica a continuación:

- a) Se toma un matraz balón del desecador y se adicionan 125 mL de hexano, fig. 4.23.



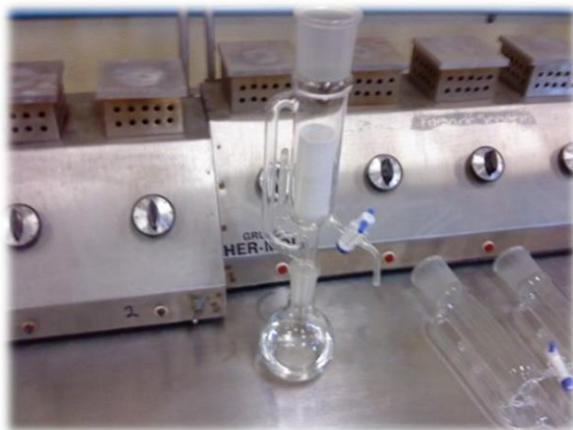
Fig. 4.23 Adición del volumen del solvente a matraz balón.

- b) Se toma un cartucho de extracción y se inserta con la ayuda de pinzas a la cámara de extracción del *Soxhlet*, fig. 4.24.



Fig. 4.24 Incorporación del cartucho de celulosa a cámara de extracción.

- c) El *Soxhlet* se monta sobre el matraz balón mediante la conexión esmerilada de vidrio, y se conecta el condensador de vidrio, fig. 4.25.



(a)



(b)

Fig. 4.25 Equipo de extracción *Soxhlet*. (a) Matraz balón y cámara de extracción; (b) Conexión del equipo *Soxhlet*

- d) Los equipos de extracción ya adaptados se colocan sobre plancha de calentamiento durante 4 horas a una velocidad de extracción de 20 ciclos por hora, fig. 4.26.



(a)



(b)

Fig. 4.26 Tren de extracción de muestras. (a) Parrilla 1; (b) Parrilla 2

En cada ciclo el hexano presente en el matraz balón al alcanzar su punto de equilibrio asciende por el brazo de vapor hasta llegar al refrigerante en el cual condensa y comienza a gotear sobre la cámara de extracción, fig. 4.27 a. Una vez que se inunda la cámara de extracción al alcanzar su punto máximo comienza el sifoneo, fig. 4.27 b, y el hexano regresa al matraz balón.



(a)



(b)

Fig. 4.27 Ciclo de extracción con solvente. (a) Comienzo del goteo de condensado; (b) Nivel máximo de solvente en cámara de extracción

Al cumplirse los 80 ciclos el hexano condensado es recuperado a través de la modificación al sistema *Soxhlet*, fig. 4.28, previo a la evaporación total del hexano del matraz balón, este se retira del calentamiento para prevenir que las grasas y aceite recuperables se quemen por acción del calor.



Fig. 4.28 Recuperación de hexano condensado.

Los matraces son ingresados a la estufa para comenzar de nuevo el ciclo de acondicionamiento de material que sirve para la obtención del peso constante final.

4.7.7 Control de calidad

Por cada lote de muestras que es sometido al proceso de extracción, se requiere el análisis de un blanco y el análisis de un control interno que sirven para determinar el desempeño de los equipos, materiales, condiciones medioambientales, así como el del analista de acuerdo a los requisitos establecidos en el mismo método de ensayo.

4.7.7.1 Análisis de blanco.- Con el análisis del blanco o testigo es posible determinar la pureza del hexano y así mismo informar al usuario sobre interferencias en el lavado y manejo del material involucrado en la extracción.

Se monta el equipo de extracción utilizando un matraz balón previamente puesto a peso constante, al cual se agregan 125 mL de hexano, en la cámara de extracción se coloca cartucho de celulosa limpio, el análisis de blanco debe de someterse al mismo periodo de extracción de 80 ciclos por 4 horas.

4.7.7.2 Análisis de control interno.- El control interno permite determinar la eficiencia de la extracción con hexano, para esto, al cartucho de extracción se le añade una cantidad conocida de grasa de silicón. Por lo cual el cartucho identificado como blanco fue contaminado con 1,0074 g de grasa de silicón, que se pesaron en balanza

analítica Mettler H35-AR, fig. 4.29. Como criterio de aceptación se recomienda un $100 \pm 10\%$ de eficiencia en la extracción para aceptar el lote de muestras.

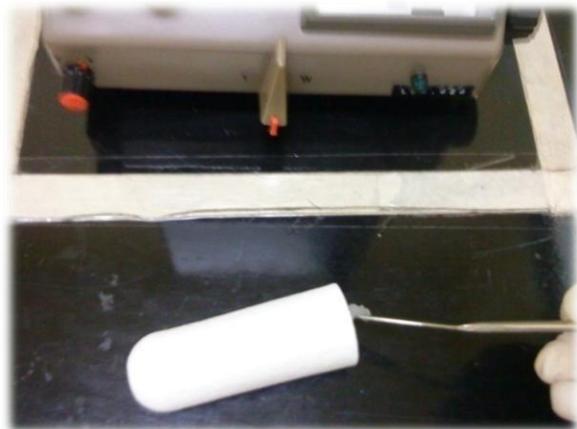


Fig. 4 29 Adición de grasa de silicón a cartucho de extracción control.

4.7.8 Cálculo de la concentración de grasas y aceites recuperables en agua

La determinación cuantitativa de grasas y aceites recuperables en agua al tratarse de un método gravimétrico, requiere como datos fundamentales el peso constante inicial del matraz (M_1), el peso constante final del matraz (M_2), el cual es obtenido posterior a la extracción con hexano y el volumen del líquido permeado a través del filtro (V).

Los datos son alimentados a la siguiente ecuación según lo indicado en la NMX-AA-005-SCFI-2000

$$\frac{mg}{L} GyA = \frac{(M_2 - M_1)}{V} * 10^6$$

Donde:

$\frac{mg}{L} GyA$	Concentración de grasas y aceites recuperables [mg/L]
M_2	Peso constante del matraz posterior a la extracción [g]
M_1	Peso constante del matraz previo a la extracción [g]
V	Volumen permeado del líquido [mL]
10^6	Factor de conversión

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Presentación de resultados

5.1.1 Temperatura, potencial de hidrógeno y caudal

En la tabla 5.1 se muestran los parámetros de campo determinados durante el muestreo. La temperatura fue medida con termómetro de bulbo de mercurio calibrado marca *Brannan* de inmersión parcial.

El potencial de hidrógeno fue analizado mediante un potenciómetro marca *Conductronic* previamente verificado a dos puntos (7,00 y 10,00) con soluciones buffer marca *J.T. Baker* vigentes.

Tabla 5.1 Parámetros de campo en muestreo de efluente.

Código de muestra	Fecha	Temperatura [°C]	Temperatura [K]	pH	Caudal [L/s]
IA	24 Jun 11	50,0	323,15	7,86	0,0323
IB	24 Jun 11	48,0	321,15	7,86	0,0323
E1-00	24 Jun 11	45,0	318,15	7,85	0,0323
E2-10	24 Jun 11	40,0	313,15	7,85	0,0323
E3-20	24 Jun 11	39,1	312,25	7,83	0,0323
E4-30	24 Jun 11	38,9	312,05	7,84	0,0323
E5-40	24 Jun 11	38,6	311,75	7,82	0,0323
E6-50	24 Jun 11	37,3	310,15	7,80	0,0323
E7-60	24 Jun 11	36,8	309,95	7,81	0,0323
E8-90	24 Jun 11	35,7	308,85	7,81	0,0323

En base a la experimentación, se construyó la gráfica de descenso de la temperatura en función del tiempo de residencia, fig. 5.1.

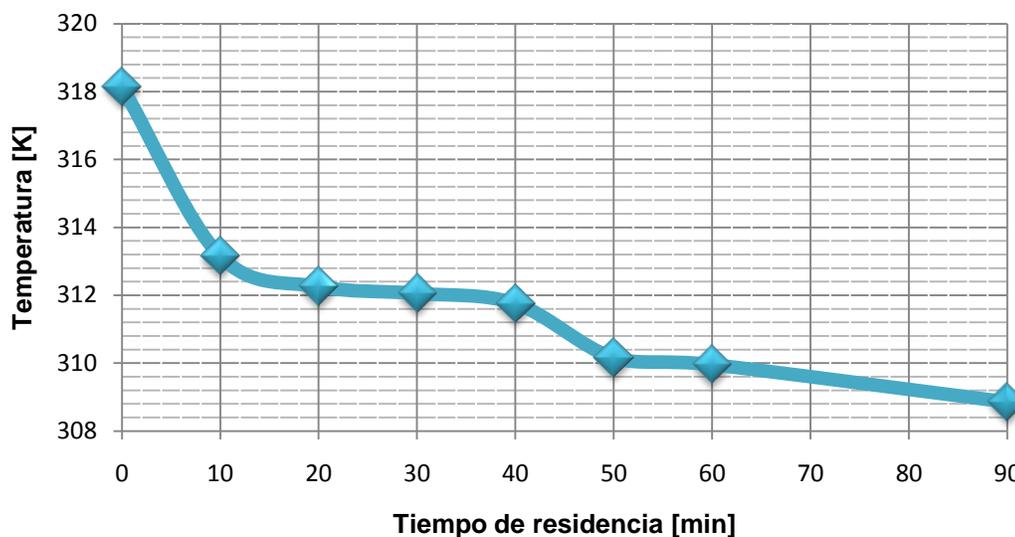


Fig. 5.1 Descenso de la temperatura en función del tiempo.

5.1.2 Registro de acondicionamiento de material inicial

El material de vidrio limpio fue sometido a dos ciclos de calentamiento, posteriormente a un enfriamiento y pesaje, con lo que se mantuvo un peso constante al eliminarse cualquier presencia de humedad. El resultado de los pesos se muestra en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Peso inicial de matraces.

# Matraz	Primer Peso	Segundo Peso
	22°C 59%HR 22 Jun 11	22°C 62%HR 23 Jun 11
3	115,4413	115,4414
	115,4413	115,4415
	115,4413	115,4415
4	115,3575	115,3576
	115,3575	115,3576
	115,3575	115,3576
6	107,7356	107,7355
	107,7356	107,7356
	107,7356	107,7356
9	104,8268	104,8268
	104,8269	104,8267
	104,8269	104,8267

Tabla 5.2 Continuación Peso inicial de matraces.

# Matraz	Primer Peso		Segundo Peso	
	22°C 59%HR		22°C 62%HR	
	22 Jun 11		23 Jun 11	
10		113,7574		113,7573
		113,7574		113,7573
		113,7574		113,7574
15		107,1643		107,1642
		107,1643		107,1642
		107,1644		107,1643
17		102,3479		102,3478
		102,3479		102,3478
		102,3479		102,3478
19		114,8493		114,8495
		114,8493		114,8495
		114,8493		114,8496
22		114,6722		114,6723
		114,6722		114,6723
		114,6723		114,6723
23		102,2397		102,2395
		102,2397		102,2395
		102,2397		102,2395
Bco		104,8327		104,8327
		104,8327		104,8325
		104,8327		104,8327
Ctrl		113,7621		113,7621
		113,7621		113,7622
		113,7620		113,7620

5.1.3 Volúmenes de líquido permeado cuantificado en probeta

Los volúmenes permeados durante la filtración de las muestras son mostrados en la tabla 5.3

Tabla 5.3 Volúmenes de líquido permeado a través de medio filtrante.

Código de muestra	Volumen permeado [mL]
IA	880
IB	910
E1-00	990
E2-10	970
E3-20	950

Tabla 5.3 Continuación Volúmenes de líquido permeado a través de medio filtrante.

Código de muestra	Volumen permeado [mL]
E4-30	940
E5-40	980
E6-50	920
E7-60	990
E8-90	1 020

5.1.4 Asignación de matraces para extracción de grasas y aceites recuperables

A cada cartucho de extracción con muestra se le asignó un matraz balón previamente puesto a peso constante. La asignación se muestra en la tabla 5.4.

Tabla 5.4 Matraces asignados a muestra para proceso de extracción.

Código de muestra	# Matraz	Volumen de hexano
IA	22	125
IB	23	125
E1-00	3	125
E2-10	4	125
E3-20	6	125
E4-30	9	125
E5-40	10	125
E6-50	15	125
E7-60	17	125
E8-90	19	125
Blanco	24	125
Control	29	125

5.1.5 Registro de acondicionamiento final de material de vidrio

El material de vidrio limpio fue sometido a dos ciclos de calentamiento, enfriamiento y pesaje, con lo que se mantuvo un peso constante al eliminarse cualquier presencia de humedad en el analito y en material de vidrio. Los resultados de los pesos se encuentran en la tabla 5.5.

Tabla 5.5 Peso final de matraces.

# Matraz	Primer Peso	Segundo Peso
	22°C 63%HR 30 Jun 11	21°C 63%HR 1 Jul 11
3	116,1078	116,1079
	116,1078	116,1078
	116,1079	116,1079
4	115,8852	115,8852
	115,8852	115,8853
	115,8852	115,8853
6	108,1865	108,1866
	108,1864	108,1865
	108,1864	108,1865
9	105,2119	105,2118
	105,2119	105,2119
	105,2119	105,2120
10	114,0947	114,0947
	114,0947	114,0947
	114,0947	114,0947
15	107,4763	107,4763
	107,4762	107,4764
	107,4762	107,4763
17	102,6146	102,6146
	102,6146	102,6146
	102,6146	102,6146
19	115,0562	115,0562
	115,0562	115,0562
	115,0562	115,0563
22	115,4311	115,4311
	115,4311	115,4311
	115,4311	115,4310
23	103,0304	103,0305
	103,0305	103,0305
	103,0305	103,0305
Bco	104,8330	104,8330
	104,8329	104,8330
	104,8330	104,8330
Ctrl	114,7402	114,7401
	114,7402	114,7402
	114,7401	114,7401

5.1.6 Concentración de grasas y aceites recuperables

A partir de la ecuación establecida en la NMX-AA-005-SCFI-2000 fue determinada la concentración de grasas y aceites recuperables. El valor de la magnitud medida (concentración de grasas y aceites recuperables) debe ser acompañado de la incertidumbre que es el parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser razonablemente atribuidos al mesurando. Dicho parámetro es indicador de la calidad de los resultados. Los resultados de la concentración de grasas y aceites recuperables y su incertidumbre expandida se encuentran en la tabla 5.6.

La estimación de la incertidumbre de la medición de la concentración de grasas y aceites recuperables es determinada de acuerdo a lo establecido en la norma NMX-CH-140:2002 IMNC Guía para la expresión de incertidumbre en las mediciones.

Utilizando como fuentes de incertidumbre estándar:

- La incertidumbre de linealidad de la balanza analítica en la determinación de M_1
- La incertidumbre de la repetibilidad del analista en la determinación de M_1
- La incertidumbre de linealidad de la balanza analítica en la determinación de M_2
- La incertidumbre de la repetibilidad del analista en la determinación de M_2
- La incertidumbre de la tolerancia de la probeta indicada por el fabricante
- La incertidumbre de la repetibilidad del llenado de la probeta
- La incertidumbre de la expansión del agua por efecto de la temperatura
- La incertidumbre de la repetibilidad en la determinación de grasas y aceites recuperables

La estimación de la incertidumbre se realiza mediante la aplicación de la ley de propagación de las incertidumbres mediante el cálculo de los coeficientes de sensibilidad a partir de derivadas parciales y es expandida con un factor de cobertura ($k=2$) obtenido de la distribución *t* de *student* para un nivel de confianza del 95%.

Tabla 5.6 Concentración e incertidumbre estimada de grasas y aceites recuperables.

Código de muestra	Concentración e incertidumbre de grasas y aceites recuperables
IA	(862,2917 ± 5,73) mg/L
IB	(869,1026 ± 5,59) mg/L
E1-00	(673,1987 ± 3,99) mg/L
E2-10	(544,0034 ± 3,29) mg/L
E3-20	(474,6316 ± 2,94) mg/L
E4-30	(409,6809 ± 2,57) mg/L
E5-40	(342,2177 ± 2,08) mg/L
E6-50	(339,1304 ± 2,19) mg/L
E7-60	(272,1717 ± 1,47) mg/L
E8-90	(202,7451 ± 1,21) mg/L

5.1.7 Evaluación de controles de calidad

Para la evaluación del blanco se notó un incremento de 0,0003 g, con respecto al promedio del peso inicial del matraz número 24, dicho resultado es indicativo de que se llevaron a cabo buenas prácticas de laboratorio en el buen lavado de material de extracción y así mismo el hexano utilizado cuenta con la calidad requerida para el análisis, es decir sin trazas de elementos grasos o partículas. Las tres decimas de miligramo de incremento son aceptadas de acuerdo a lo establecido en el método de gravimetría

Respecto a la evaluación del control interno, posterior a la extracción se registro un incremento de 0,97806 g en el matraz número 29, considerando la grasa de silicón suministrada al cartucho control de 1,0074 g se obtiene un cociente, que es parámetro de la eficiencia de la extracción del 97,09% que cumple con el criterio establecido por el laboratorio de 100±10% de eficiencia.

5.1.8 Cálculo del desempeño de la trampa de grasa en función de tiempo

Se obtiene el promedio de las muestras IA y IB para obtener la concentración de influente a la trampa el cual es $\frac{\text{mg}}{\text{l}} GyA_{\text{Influyente}} = 865,6971 \text{ mg/L}$, en base a este valor es calculado el desempeño de la trampa de grasas de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Remoción} = \left(\frac{GyA_{\text{Influyente}} - GyA_{\text{Efluyente}}}{GyA_{\text{Influyente}}} \right) * 100$$

El resultado de la eficiencia de remoción del contaminante es expresado junto con la incertidumbre estimada expandida con un factor de cobertura ($k=2$) con un nivel de confianza del 95% en la tabla 5.7 y el comportamiento está representado en la figura 5.2; utilizando como fuentes de incertidumbre estándar las estimadas en la determinación de la concentración de grasas y aceites recuperables para las muestras IA, IB y la de la muestra puntual en cuestión.

Tabla 5.7 Remoción del contaminante en función del tiempo de residencia.

Código de muestra	Tiempo de residencia	% Remoción del contaminante
E1-00	0 minutos	22,23 ± 0,59
E2-10	10 minutos	37,16 ± 0,48
E3-20	20 minutos	45,17 ± 0,42
E4-30	30 minutos	52,67 ± 0,37
E5-40	40 minutos	60,23 ± 0,3
E6-50	50 minutos	60,82 ± 0,31
E7-60	60 minutos	72,02 ± 0,22
E8-90	90 minutos	76,58 ± 0,18

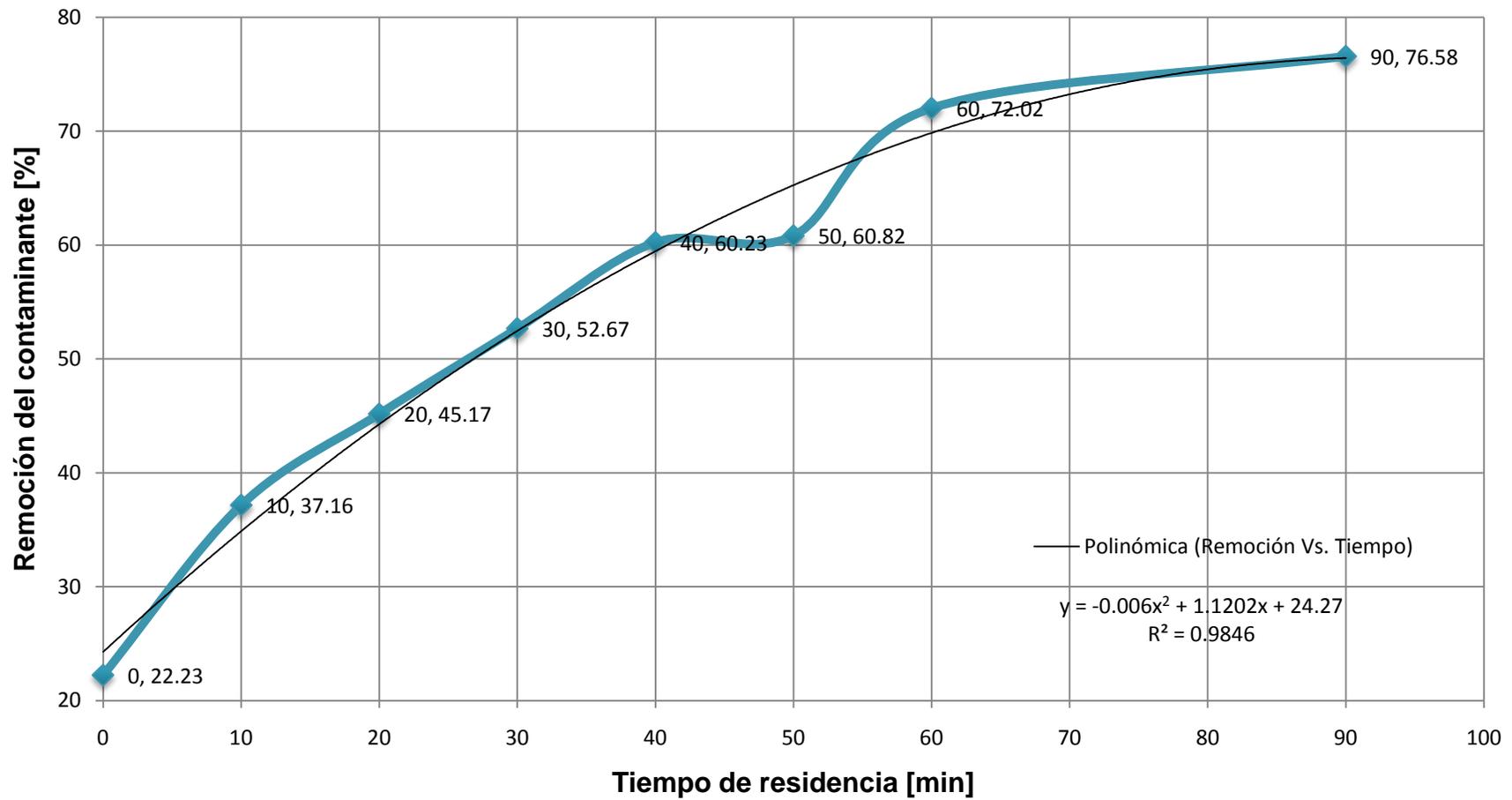


Fig. 5.2 Remoción del contaminante en función del tiempo de residencia.

CONCLUSIONES

Mediante la revisión bibliográfica de las propiedades de grasas y aceites fue posible determinar la solubilidad y densidad con la que cuentan para conocer su interacción con una fase acuosa en la que se dispersan.

La presencia de grasas y aceites en aguas residuales del tipo doméstico y pequeña empresa puede ser controlada mediante medidas de control y autorregulación, que deben ser aplicadas en el lavado de recipientes, utensilios o equipo que estuvo en contacto con grasas o aceites. A pesar de contar con equipos ya desarrollados en la actualidad pocas instituciones, empresas o personas cuentan con programas o planes que ayuden a mitigar la emisión y efecto de contaminantes grasos.

El conocimiento de las condiciones de operación permitió que el diseño conceptual y desarrollado de la trampa de grasas fuera el adecuado. Su correcto diseño permite alcanzar altos niveles de eficiencia de remoción cercanos al 80% con tiempos de residencia mayores a 90 minutos.

Respecto a los efectos de la aireación a presión atmosférica, se deduce que el perímetro de la zona de burbujeo se encuentra con un nivel más alto de material particulado flotante que las zonas en las cuales no se aprecia burbujeo, este fenómeno es indicio de que el suministro de pequeñas burbujas de gas eleva en forma considerable la velocidad ascensional de la fase dispersa.

La utilización de trampas de grasa así como de métodos de limpieza secos disminuyen notablemente la emisión de este tipo de contaminantes a la red de drenaje, lo que beneficia de manera importante al ambiente y al mantenimiento de obras de infraestructura. Aunado a la remoción de grasas y aceites separables, el sistema de trampas de grasa remueve sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables y oxigena el agua residual de tal forma que reduce su demanda química de oxígeno.

Dentro de la sección de resultados la eficiencia de remoción en el punto correspondiente a la muestra E6-50, presenta una desviación a la tendencia de todos los puntos, dicha desviación pudo ser originada debido a la presencia de un error aleatorio durante el proceso de muestreo, tal como la contaminación del envase y/o su contratapa.

BIBLIOHEMEROGRAFÍA

- ARCE Ana Luisa, **Muestreo y preservación de grasas y aceites** p.7
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, **Standar Methods for the examination of water and wastewater**, (1999), **5520 Oil and grease**
- BERNARDINI, **Tecnología de grasas y aceites**, (1986)
- BAILEY ALTON, **Aceites y grasas industriales**, 1984
- GRACIANI ENRIQUE, **Los aceites y grasas: Composición y propiedades**, (2006)
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION, (1993) **Hoja de balance de alimentos**

DOCUMENTOS EN LÍNEA

- ALVARADO DELFIN *Et al.*, **Método de análisis para la determinación de la concentración de grasas y aceites como contaminantes en aguas residuales industriales**, recuperado de www.cio.mx/3_enc_mujer/files/extensos/Sesion%204/S4-BYQ17.doc el 15 de Abril de 2009
- CAMPOS, **Impactan a drenaje desechos de grasas**, recuperado de <http://www.agua.org.mx/content/view/full/7408/89/> el 15 de Marzo de 2009
- CENTRO DE GEOCIENCIAS UNAM, **Colecta, conservación y almacenamiento de muestras de agua**, Recuperado de http://www.geociencias.unam.mx/geociencias/laboratorios/geoquimica/manual_geog_ambiental.pdf el 26 de Septiembre de 2009
- CENTRO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIONES PARA EL DESARROLLO, **Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos**, recuperado de http://www.idrc.ca/uploads/user-S/11437595971gr-02_04-aceites_pag35-42.pdf el 2 de Abril de 2009 p.3-4
- COMISIÓN DE SERVICIOS PUBLICOS DE SAN FRANCISCO, **Programa FOG de San Francisco**, Recuperado de http://sfwater.org/Files/FactSheets/FOG_Guide_Spanish.pdf el 25 de Marzo de 2009 p.8-9
- COMISION ESTATAL DE SERVICIOS PUBLICOS DE ENSENADA, **Programa infantil cultura del agua**, Recuperado de <http://www.cespe.gob.mx/cultura/proginfantil.html> el 20 de Octubre de 2009

COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE DE CHILE, **Las grasas, aceites y soluciones de tratamiento de efluentes aceitosos**, Recuperado de http://www.e-seia.cl/archivos/3e4_gyaAP.pdf el 25 de Abril de 2009 p.1

DE VARGAS, **Flotación**, recuperado de: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomoll/ocho.pdf> el 22 de Abril de 2009 p.65

DEVLYN Thomas, **Bioquímica: Libro de texto con aplicaciones clínicas**, Recuperado de http://books.google.com.mx/books?id=p3DCb9ITLx8C&dq=fluidez+de+grasas+a+temperatura+baja&source=gbs_navlinks_s el 15 de Octubre de 2009

GIRALDO, **Tanques sépticos, tanques imhoff y sistemas de remoción de grasas y aceites**, Recuperado de http://www.ellaboratorio.co.cc/documentos/ambiental/septicos_imhoff.pdf el 22 de Marzo de 2009 p.5

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE INDIANAPOLIS Y EL CONDADO DE MARION, INDIANA, **Reducción de grasas y aceites en nuestros drenajes**, recuperado de http://edit.indygov.org/NR/rdonlyres/09EEAE5F-DB39-4D00-9B72-81B504FFFE05/0/FactSheetFOGSpanish_f.pdf el 28 de Febrero de 2009 p.2

GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, **Ley de Aguas del Distrito Federal**, Recuperado de <http://www.sacm.df.gob.mx/sacm/html/transparencia/MarcoJuridico/LeyDeAguasDelDistritoFederal.htm>, el 8 de Marzo de 2009

H. CONGRESO DE LA UNIÓN, **Ley de Aguas Nacionales**, Recuperada de <http://www.sacm.df.gob.mx/sacm/html/transparencia/MarcoJuridico/LeyDeAguasNacionales.pdf>, el 8 de Marzo de 2009

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION, **Grasas y aceites en la nutrición humana Capítulo 4**, Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/v4700s/v4700s08.htm#TopOfPage>, el 22 de Abril de 2009.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION, **Grasas y aceites en la nutrición humana Capítulo 5**, Recuperado de http://www.fao.org/docrep/v4700s/v4700s09.htm#capitulo_5 elaboración y refinado de aceites comestibles, el 22 de Abril de 2009.

SECRETARIA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL, **Análisis de agua-determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, método de prueba**, recuperado de

<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%20Mexicanas%20vigentes/NMX-AA-005-SCFI-2000.pdf> el 22 de Marzo de 2009

SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, **NMX-AA-005-1980**, Recuperado de <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%20Mexicanas%20vigentes/NMX-AA-005-SCFI-2000.pdf> el 6 de Octubre de 2009

SEÑORÁNS JAVIER, **Generalidades de aceites comestibles**, Recuperado de http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/alimento/Apuntes/1CAC%2005%20Generalidades%20de%20aceites%20comestibles.pdf el 22 de Abril de 2009 p.1-2

SEÑORÁNS JAVIER, **Refinación de aceites vegetales**, Recuperado de http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/alimento/Apuntes/TCAC-T5-Refinacion-aceites.pdf, el 22 de Abril de 2009