

REMOCION DE ACEITE DE UN EFLUENTE DE
FABRICACION DE DETERGENTES

ALAN LYNN ROSAS LEVIN

TESIS

Presentada a la División de Estudios de

Posgrado de la

FACULTAD DE INGENIERIA

de la

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

como requisito para obtener

el grado de

MAESTRO EN INGENIERIA

(AMBIENTAL)

CIUDAD UNIVERSITARIA NOVIEMBRE, 1985



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



DEPFI

T. UNAM

1 9 8 5

ROS

REMOCION DE ACEITE DE UN
EFLUENTE DE FABRICACION
DE DETERGENTES.

Créditos asignados a la tesis (nueve) 9
letra y número

APROBADO POR EL JURADO:

Presidente:	<u>M EN I. GEORGINA FERNANDEZ VILLAGOMEZ</u> <i>Georgina V.</i>
Vocal:	<u>M EN I. EDGAR SIGLER ANDRADE</u> <i>Edgar</i>
Secretario:	<u>M EN I. GABRIELA MOELLER CHAVEZ</u> <i>Gabriela</i>
Suplente:	<u>DR. ALFONSO GARCIA GUTIERREZ</u> <i>Alfonso</i>
Suplente:	<u>M EN C. VICENTE FUENTES GEA</u> <i>V. Fuentes</i>

AGRADECIMIENTO ESPECIAL:

Quiero expresar un profundo agradecimiento a un --
hombre que entregó su vida a la formación profesional
de ingenieros dentro de la sección de Ingeniería ---
Ambiental de la División de Estudios de Posgrado de
Ingenieria, UNAM

Dicho hombre siempre mostró el camino de lo que -
que es un verdadero profesor y amigo. Con su entusiasmo
y, su conocimientos, siempre motivo a la gente --
alrededor de él para ser mejores ingenieros y perso-
nas. Un hombre siempre optimista, que dio todo de sí,
sacrificando muchas veces su tiempo para la solución
de problemas de sus semejantes, tanto profesionales
como de otra índole. Un hombre que inspiraba confian-
za y respeto a la vez. En pocas palabras, un verdade-
ro ser humano.

Este trabajo es un homenaje postumo al

ING. SALVADOR AYANEGUI J.

Descanse en paz.

AGRADECIMIENTOS:

Quiero agradecer primeramente, la oportunidad que me dieron en la planta productora de detergentes para desarrollar este proyecto de tesis.

El apoyo de ciertas personas fue determinante para la elaboración de dicho trabajo. Algunas de estas personas fueron:

ING. ARMANDO PATIÑO
ING. BENJAMIN DEL ARCO
ING. EDGAR SIEGLER
ING. GENARO RODRIGUEZ
ING. MAURILIO GARCIA
SR. ELIAS PEREZ
ING. ANTONIO MUNGUIA

Agradezco también al personal del Centro Cultural Benjamin Franklin, S. C., que me brindaron su apoyo - tanto físico como moral. Muy agradecido estoy con:

la SRTA. GLORIA PEREZ
el SR. ALFREDO CERECLE
la SRTA. WENDY GALAZ

que me ayudaron a revisar los diversos borradores de la tesis.

Estoy también agradecido con todas y cada una de las personas que de alguna u otra forma me brindaron su ayuda y apoyo para la realización de esta tesis.

Sea mi agradecimiento para :

el M. en I. AUGUSTO VILLARREAL que me ayudo con la -
evaluación estadística; la LIC. LUZ MARIA NIEVES que
me ayudo en la redacción de las referencias y con su
apoyo moral; el laboratorio de Ingenieria Ambiental
de la DEFFI a los SRS. MAXIMINO NAVARRETE y MIGUEL
CHAVEZ; y, a la SRTA. MARGARITA EULOGIO.

DEDICATORIA:

Esta tesis se la dedico muy especialmente a mi madre la Sra. MIRIAM ROSAS, quien siempre ha sido una inspiración y una guía en mi vida.

También se la dedico a mi padre el Sr. Ing. AGUSTIN ROSAS y a mi hermana la Dr. SILVIA ROSAS

RESUMEN

En la manufactura de detergentes, un problema que acontece es la generación de emisiones de partículas -- contaminantes líquidas y/o sólidas de tipo aceitoso, creando un problema de contaminación atmosférica. La planta productora de detergentes resolvió el problema, al instalar un sistema de control de emisiones contaminantes. Dicho sistema utiliza agua, extraída de pozos, para su funcionamiento y, tiene una eficiencia global de 99%. El -- problema que se origina es el de una contaminación del -- agua por las partículas de tipo aceitoso, generando una -- agua residual aceitosa (12,791 L/h).

El desarrollo de la tesis involucró la selección de -- un método apropiado para la separación de aceite en agua en base a pruebas de laboratorio y mediante un estudio de planta piloto y, además, una evaluación económica.

Los resultados indicaron que el uso de centrifugas de disco podría resolver el problema. Según las proyecciones que se hicieron del costo del agua indican que se podrían tratar 10,500 L/h de agua residual aceitosa, parte considerable del efluente total, generandose una ganancia neta. Por lo que, la adquisición de una máquina centrífuga además de resolver el problema, da un beneficio que implica la conservación del recurso.

<u>CONTENIDO</u>	PAGINA
CAPITULO 1 : INTRODUCCION	1
CAPITULO 2 : ANTECEDENTES	
2.1. EFECTOS DEL ACEITE EN EL AGUA	3
2.2. CATEGORIAS EN LAS QUE EL ACEITE PUE- DE EXISTIR EN EL AGUA	3
CAPITULO 3 : CLASIFICACION DE LAS TECNOLOGIAS APROPIADAS PARA LA SEPARACION DE AGUAS RESIDUALES ACEITOSAS.	
3.1 INTRODUCCION	5
3.2 SEDIMENTACION POR GRAVEDAD	5
3.3 FLOTACION	7
3.4 FILTRACION CON PRECAPA DE FLOCULOS.	8
3.5 CENTRIFUGACION	9
3.6 OTROS METODOS DE TRATAMIENTO	12
3.7 DESVENTAJAS Y VENTAJAS DE CADA METO- DO Y PARAMETROS DE DISEÑO	
3.7.1 DESVENTAJAS Y VENTAJAS DE CADA ME- TODO	13
3.7.2 PARAMETROS DE DISEÑO	15
3.8 PRUEBAS PRESUNTATIVAS	16
3.9 CRITERIOS DE SELECCION DEL METODO A EXPERIMENTAR	18

CAPITULO 4 : DEFINICION CUANTITATIVA DEL	
PROBLEMA	20
CAPITULO 5 : ESTUDIOS REALIZADOS MEDIANTE	
UNA PLANTA PILOTO CENTRIFUGADORA.	
5.1 DRESCRIPCION DE LA PLANTA PILOTO..	24
5.2 DISEÑO DEL EXPERIMENTO	24
5.3 RESULTADOS Y SU EVALUACION	
5.2.1 RESULTADOS	27
5.3.2 COMENTARIOS	28
5.3.3 EVALUACION DE LOS DATOS GENERA-	
DOS	29
5.3.3.1 PROCEDIMIENTO Y CALCULOS	33
5.3.3.2 COMPROBACION DE LAS SUPOSICIO-	
NES TOMADAS EN CUENTA	35
5.4 CONCLUSIONES TRATAMIENTO ESTADIS-	
TICO DE LOS DATOS	43
5.5 RECOMENDACIONES DISEÑO DEL EXPERI-	
MENTO	43
CAPITULO 6 : ASPECTOS ECONOMICOS	
6.1 INTRODUCCION	45
6.2 CONDICIONES Y SUPOSICIONES INVOLU-	
CRADAS	46
6.3 EVALUACION ECONOMICA	52
6.4 COMENTARIOS GENERALES	53
CAPITULO 7 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ...	55

APENDICES

APENDICE No. 1 : MANUFACTURA DE DETERGENTES	61
APENDICE No. 2 : DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS PRE- SUNTIVAS.....	56
APENDICE No. 3 : CALCULOS ESTADISTICOS	
A3.1 CALCULOS ESTADISTICOS DEL ANALI- SIS DE VARIANCIA	71
A3.2 CALCULOS ESTADISTICOS DE LA PRUE- BA DE BARTLETT.....	72
APENDICE No. 4 : METODO DE DETERMINACION DEL CON- TENIDO DE ACEITE LIBRE	75
APENDICE No. 5 : CALCULOS ECONOMICOS	
A5.1 INTRODUCCION	77
A5.2 CALCULO DE LOS DISTINTOS RUBROS INVOLUCRADOS EN LA EVALUACION - ECONOMICA	78
REFERENCIAS	81

CAPITULO 1:
INTRODUCCION

Dentro de la manufactura de detergentes en polvo (1), -- una vez formada la mezcla caliente de detergente liquido, ésta es secada en torres de secado por espreas. Esta mezcla involucra la adición de varios compuestos químicos -- que le dan la forma y presentación al detergente que se esté manufacturando. Sin embargo, el secado de dicha mezcla, además de dar el producto deseado, genera una emisión de partículas líquidas y sólidas de tipo aceitoso, -- conocidas como aceite libre, cuya composición química es desconocida. Dicha emisión provoca un serio problema de contaminación atmosférica.

Ante tal problema, la planta productora de detergentes bajo estudio decidió adquirir e instalar un sistema de control de emisiones contaminantes (2), él cual tiene -- una eficiencia global de 99%.

La utilización de agua extraída de pozos en el sistema de control es vital para su funcionamiento. Sin embargo, se observa que las partículas aceitosas contaminan el agua utilizada formándose una emulsión, al combinarse -- éstas con el agua. Por lo que, se tiene el problema de la generación de una agua residual aceitosa con pobres carac

(1) Para un mejor entendimiento de la manufactura de detergentes ver el Apendice N° 1 p. 61-65

(2) Ibid. p. 62

terísticas de separación. La cantidad total de agua residual que se tira es de $12,791^{3.54s}$ L/h, cantidad apreciable que se quisiera recuperar para un posible reprocesamiento y reuso con ahorro en el consumo de líquido preciado.

El desarrollo de esta tesis pretende dar una solución al problema de la generación del agua residual aceitosa. La base de este desarrollo se refleja en dos objetivos:

1. La selección de un método de separación de aceite en el agua residual aceitosa adecuado, que resuelva el problema en cuestión. Esta selección implica:
 - a) una breve revisión bibliográfica de los principales métodos de separación de aceite en agua; b) la definición cuantitativa del agua residual aceitosa; c) la comprobación del método seleccionado -- mediante pruebas de laboratorio y un estudio de -- planta piloto.
2. Un análisis económico que justifique la posible -- adquisición y operación del equipo necesario para el método de separación seleccionado en el objetivo anterior.

CAPITULO 2:
ANTECEDENTES

Para hablar de las consecuencias negativas que trae consigo el problema, se describirán brevemente los efectos del aceite en el agua, y, las categorías en las que éste puede existir en ella.

2.1. EFFECTOS DE ACEITE EN EL AGUA

En general el problema que trae consigo el tener agua residual aceitosa es: las descargas a cuerpos receptores que contengan peces y/u otras -- comunidades bióticas. Como en nuestro caso, el agua residual aceitosa que sale de la planta de detergentes va a la red del drenaje municipal, -- no tenemos que considerar efectos tales como: -- mortandad de la vida acuática, abatimiento del oxígeno disuelto del cuerpo receptor y situaciones concernientes a la estética del mismo, si -- éste fuera un centro recreativo (3).

2.2. CATEGORIAS EN LAS QUE EL ACEITE PUEDE EXISTIR EN EL AGUA.

- 2.2.1. Aceite libre que sube rápidamente a la superficie del agua cuando se tiene un tiempo de sedimentación o reposo no muy largo.
- 2.2.2. Aceite en forma de dispersiones mecánicas en -- que las fuerzas de unión entre las partículas aceitosas y el agua son de tipo físico.

(3) Ref. 6 p. 76-77.

2.2.3. Aceite en forma de emulsiones químicamente estables que son distribuciones parecidas a las del punto anterior, solo que las uniones ahora son de tipo químico y son usualmente muy estables -- debido a la presencia de agentes tensoactivos. - Este es nuestro caso ya que hay la presencia de concentraciones mínimas de detergente que estabilizan la emulsión.

2.2.4. Esta categoría se refiere a aceite disuelto, el cual es muy difícil de separar por métodos como: filtración, coalescencia o equipos que funcionan por gravedad.

2.2.5. Esta categoría se refiere a aceites que se adhieren a la superficie de las partículas creando un agregado más difícil de separar. (4).

Cabe mencionar que las categorías en las que el aceite coexiste con el agua implican el método de tratamiento a seleccionar.

(4) Ibid. p. 74-75

CAPITULO 3:

CLASIFICACION DE LOS METODOS APROPIADOS PARA LA SEPARACION DE AGUAS RESIDUALES ACEITOSAS.

3.1 INTRODUCCION

De las operaciones unitarias investigadas, las que tienen mayor relevancia son: sedimentación por gravedad, flotación, centrifugación y filtración con precapa de flóculos. Las tres primeras tienen como principio de operación la ley de Stokes. En el siguiente inciso discutiremos su ámbito referente a cada una de las operaciones involucradas. La filtración tiene como variable más relevante la caída de presión a través del medio filtrante. A continuación haremos una breve descripción de cada una de las operaciones.

3.2. SEDIMENTACION POR GRAVEDAD

La ley de Stokes se deriva de una igualación de fuerzas que actúan sobre las partículas sólidas y/o líquidas inmersas en un líquido, usualmente agua. Las partículas, para nuestro caso, son las partículas aceitosas generadas durante la manufactura de detergentes. Las fuerzas presentes son: la presión dinámica del líquido (agua) causada por el movimiento de una partícula (aceite), al que denominaremos P y, la fuerza de resistencia al medio, R , que la misma partícula ejerce en contraposición a la primera fuerza. Definimos la

presión dinámica P como:

$$P = \frac{\pi d^3 (\rho_w - \rho_o) g}{6} \quad (3.1)$$

donde: d= diámetro de la partícula de aceite
en metros.

g= constante de gravedad igual a 9.8
m/s².

ρ_w = densidad del agua, Kg/m³.

ρ_o = densidad de la partícula de aceite,
Kg/m³.

La fuerza de resistencia al medio, R, se define como:

$$R = 3\pi \mu d u \quad (3.2)$$

en donde μ = velocidad de ascenso o descenso
de la partículas aceitosas, m/s.

μ = viscosidad en Kg/m. sec

Al igualar las dos ecuaciones anteriores, la solución nos determina la velocidad de una partícula en el agua, u, para regimen laminar. La ecuación resultante es la siguiente:

$$u = \frac{g d^2 (\rho_w - \rho_o)}{18 \mu} \quad (3.3)$$

que se conoce como la ley de Stokes. (5).

Esta operación unitaria se descartó desde un principio ya que, tenemos la experiencia que

(5) Ref. 5 p. 46-49

el personal de la planta productora fotografió muestras del agua residual aceitosa al microscopio. El resultado fue, que no hay un tamaño uniforme de partícula. Esto implica características de separación del aceite en agua muy pobres y, se debe buscar un método más apropiado. Los equipos por gravedad que más se utilizan -- son:

1. Separador API.
2. Interceptor de placas inclinadas. (6).

3.3. FLOTACION.

El principio de operación de flotación es parecido al de sedimentación. La variante es que se hace pasar una corriente de gas, usualmente aire, en forma inducida o disuelta, en el agua residual aceitosa. Las partículas de aceite se adhieren a las burbujas de aire, formándose -- una especie de agregado partícula-gas, cuya -- densidad es menor en este caso a la del agua -- que forma la fase dispersa. La resultante de las fuerzas aplicadas causa que los agregados -- partícula-gas asciendan y se concentren en la superficie libre del agua.

El mínimo volumen de gas, V_g , de densidad ρ_g , para llevar a cabo una flotación de una partícula de masa, s , y densidad ρ_o , inmersa en un líquido (agua en este caso), que tiene una

(6) Ref. 6 p. 76-77

densidad ρ_w , esta dada por la expresión (3.4):

$$\frac{V_g}{s} = \frac{\rho_o - \rho_w}{\rho_w - \rho_g} \frac{1}{\rho_o} \quad (3.4)$$

Por lo que, la cantidad de gas está en función de las densidades y de las fuerzas que actúan sobre las partículas aceitosas. (7).

Hay dos sistemas de flotación que son utilizados:

1. Sistema de flotación por aire inducido.
2. Sistema de flotación por aire disuelto.

3.4. FILTRACION CON PRECAPA DE FLOCULOS

La remoción de partículas sólidas, que trae consigo agua residual aceitosa, puede efectuarse a través de la operación unitaria de filtración que implica, pasar el agua a través de un medio poroso, considerandose esta acción de tipo mecánico. Muchas veces esta acción no es suficiente para dar una buena remoción de las partículas, por lo que es necesaria una acción complementaria para la eliminación de las partículas más finas. Esto se logra a través de la formación de películas gelatinosas alrededor de los granos del medio filtrante o, la sobreposición de materiales que pudieran adsorber las partículas finas. Por ejemplo; tenemos el caso de flóculos preformados químicamente como es el caso de la formación de un gel de

(7) Ref. 7 p. 76-78

hidróxido de aluminio. Otras precapas que se consideran son:

Dicalite [®], carbón activado, materiales fibrosos como algodón, estopa y asbesto, materiales poliméricos como espuma de uretano.

El caso de Dicalite [®], como en el del algodón, el tipo de filtro que se usa es el de -- placas o cartuchos. (8).

Ya que la filtración es una acción mecánica, la caída de presión a través de la precapa y, el medio filtrante nos indican un buen funcionamiento de un filtro.

Para filtros normales de arena y grava a presión se observa que, al llegar a una caída de presión de 25 Kg/cm² implica la necesidad de parar la operación y retrolavar el filtro. Este es un procedimiento normal en filtración.

3.5 CENTRIFUGACION

El empleo de centrifugas para la separación de aceite en agua se hace a través de centrifugas de disco (9).

Estas se considerarán parte de las centrifugas de sedimentación. A continuación se expondrá el principio de operación.

(8) Ref. 4 p. 75-85

(9) Ref. 8 p. 69-73

Como se había dicho antes, el principio general es la ecuación (3.3), o sea, la ley de Stokes. En el caso de centrifugación podemos decir que, una partícula que se está sedimentando a través de un líquido, dentro de un campo de fuerza centrífuga, está sujeta a una fuerza que se ve incrementada constantemente conforme la partícula se aleja del eje de rotación del campo, sin poder llegar a una verdadera "velocidad terminal". Sin embargo, si la partícula se encuentra a una distancia radial, r dada, podemos decir que la velocidad de sedimentación, u , de una partícula suficientemente pequeña sigue la ley de Stokes. Con antes expuesto, el desarrollo de la teoría para este tipo de centrífugas se limita a establecer un gasto, que se considera crítico, que está en función de la velocidad de sedimentación.

Para una suspensión diluida, de partículas uniformes, dentro de un tazón tubular de radio r , en metros, el cual contiene una capa delgada de líquido de espesor s , en metros, el gasto volumétrico crítico está dado por:

$$Q_c = \frac{(\rho_w - \rho_0) D_{pc}^2 V \omega^2 r}{9 \mu s} \quad (3.5)$$

donde: Q_c = gasto volumétrico, L/s

V = volumen de líquido retenido en el tazón, L.

r = distancia radial, metros

ω = velocidad angular, radianes/s

D_{pc} = diámetro crítico o punto de corte, m.

La ecuación (3.5) nos indica que las partículas, cuyo diámetro sea mayor al diámetro D_{pc} , serán removidas por la centrífuga y las partículas menores, no podrán serlo. Si rearmamos la ecuación (3.5) tenemos que:

$$Q_c = \left[\frac{2(\rho_p - \rho_f) D_{pc}^2 g}{18\mu} \right] \left[\frac{V \omega r}{g_s} \right] = 2\mu \Sigma \quad (3.6)$$

La ecuación (3.6) nos indica que el gasto volumétrico depende de dos variables: una es la ley de Stokes y otra es Σ ; una característica de la centrífuga. Cada tipo de centrífuga puede ser definida en base a Σ . De hecho se le conoce a toda esta teoría como la teoría Sigma, -- siendo Ambler el artífice de dicha teoría. (10). Otro significado que se le da a Σ es el de una área equivalente de sedimentación si el mismo problema lo quisiéramos resolver con un tanque de sedimentación.

Siendo Σ una característica inherente de las centrífugas tenemos que para una centrífuga tu-

bular, es aproximadamente igual a:

$$\Sigma = \frac{\pi b \omega^2}{2g} (3r_2^2 + r_1^2) \quad (3.7)$$

donde r_2 es el radio de la pared interna del tazón, r_1 es el radio de la superficie del líquido y, b es el largo del tazón.

Para una centrífuga de disco, que es nuestro caso, tenemos que Σ es aproximadamente igual a:

$$\Sigma = \frac{2\pi(N-1)(r_b^3 - r_a^3)\omega^2}{3g \tan \theta} \quad (3.8)$$

donde N es el número de discos en el módulo o paquete r_a y r_b son los radios interno y externo del módulo de discos y θ es el ángulo cónico medio o ángulo en que están dispuestos -- los discos. (11).

3.6. OTROS METODOS DE TRATAMIENTO

La literatura cita una serie de métodos alternos al tratamiento de aguas residuales aceitosas. Enunciaremos el método y una referencia adecuada. Otros métodos son:

Osmosis Inversa (12), Ozonación (13), Evaporación (14), Extracción (15), Combustion (16), Coalescencia (17), Membranas de Separación

(11) Ref. Ibid. p. 19-83

(12) Ref. 5 p. 117-120

(13) Ibid. p. 120-122

(14) Ibid. p. 122

(15) Ibid. p. 123-124

(16) Ibid. p. 124-125

(17) Ref. 2 p. 21-11 -

21-12

(18), Dispositivos eléctricos (19). Muchos de éstos están en fase experimental.

3.7. DESVENTAJAS Y VENTAJAS DE CADA METODO Y PARAMETROS DE DISEÑO.

3.7.1. DESVENTAJAS Y VENTAJAS DE CADA METODO

Los 4 procesos a consideración son:

1. Equipos por Gravedad

Ventajas: Son económicos y de fácil operación.

Desventajas: 1. Su eficiencia es muy limitada.

2. Son susceptibles a cambios dinámicos en gasto alimentado.

3. Remueven poco o nada de aceite soluble.

4. Remueven en forma limitada el aceite emulsificado.

2. Flotación

Ventajas: 1. Se pueden manejar altas concentraciones de sólidos.

2. Es un proceso confiable desde el punto de vista operativo ya que puede manejar altas cargas puntuales.

(18) Ibid. p. 21-12 - 21-13

(19) Ibid. p. 21-13

- Desventajas: 1. Si tenemos un sistema de -
flotación de aire disuelto
con coagulación, se necesita
pensar en una manera adecua-
da de disponer de lodos ge-
nerados.
2. Requiere de reactivos quími-
cos.

3. Filtración con precapa de flóculos.

- Ventajas: 1. Presenta una gran flexibili-
dad para poder manejar varias
condiciones impuestas por el
proceso de generación del --
agua residual aceitosa.
2. Produce efluentes muy clari-
ficados.
3. Puede remover sólidos con --
partículas que están en el
intervalo de submicrones.
4. Puede remover trazas de acei-
te por medio de adsorción en
el medio filtrante.
5. Usualmente requiere de menos
espacio que otros equipos.
6. Puede automatizarse.

- Desventajas: 1. Se crea un problema de dis-
posición de sólidos.
2. La inversión inicial es alta
si se manejan altos gastos -

volumétricos.

3. Tiene costos de operación - muy altos.

4. Centrifugación

- Ventajas:
1. Es un proceso limpio en el sentido de que no se generan desperdicios sólidos.
 2. El único servicio auxiliar que necesita es el suministro de electricidad.
 3. Es un proceso que conserva las propiedades físicas y químicas del agua.
 4. Para la operación no necesita de reactivos adicionales.

- Desventajas:
1. El costo de una centrífuga que maneje altos gastos volumétricos sería casi prohibitivo. Sería mejor hacer un pretratamiento con equipos por gravedad.
 2. Puede haber problemas de mantenimiento si hay la presencia de materiales corrosivos.

3.7.2. PARAMETROS DE DISEÑO

Para los procesos por gravedad, flotación y centrifugación, la ecuación (3.3) rige su --

comportamiento. Para el caso de filtración, la caída de presión es la variable fundamental. Sin embargo, otras variables juegan un papel muy importante en esta operación. En la tabla 3.1. tenemos resumidas las variables importantes de cada proceso.

Tabla 3.1 Parámetros de diseño.

Operaciones	Variables												
	μ	d	$\rho_w - \rho_s$	T	μ	v	v_g	h_f	D	Q	SS	ρ	w
Equipos por Gravedad	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓		
Flotación	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓		
Filtración				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Centrifugación	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓		

De la tabla 3.1, las variables que no han sido identificadas son:

- T : temperatura, °C
- h_f : pérdida de presión total a través de un filtro de precapa de flóculos, m.
- D : espesor de la torta formada al haber una precapa, mm.
- Q : gasto volumétrico, L/h
- SS : concentración de sólidos suspendidos, mg/L.
- ρ : densidad de la precapa formada, g/cm³
- w : peso de la torta de precapa formada por unidad de área, Kg/mm²

3.8. PRUEBAS PRESUNTATIVAS

De los métodos de tratamiento antes mencionados se plantearon una serie de pruebas a nivel laboratorio. Estas pruebas -- solo fuerón del tipo especulativo para -- poder llegar a una selección de un proceso a experimentar que involucra un estudio de plantas piloto. Las pruebas fue-- rón las siguientes:

- a) Filtración con precapa de :
 - 1. Hidróxido de aluminio
 - 2. Dicalite®
 - 3. Carbón activado grueso y fino
 - 4. Estopa
 - 5. Algodón
 - 6. Espuma de uretano
 - 7. Asbesto
- b) Flotacion
 - 1. Flotación sin agente coagulante
 - 2. Flotación con agente coagulante
- c) Centrifugación.

En el apéndice N° 2 se describen los procedimientos y material necesario para la elaboración de las pruebas.

Los resultados de las pruebas están resumidos en la tabla 3.2, utilizándose como parámetro de detección, el de turbiedad, midiéndose en unidades de turbiedad, NTU. El turbidímetro que se usó fué el modelo 2100 de la compañía Hach.

Tabla 3.2. Resumen de resultados obtenidos en las pruebas presuntativas.

Prueba	Turbiedad, NTU
Agua Destilada	0.55
Filtración con precapa de:	
Carbón activado fino	4.20
Carbón activado grueso	4.20
Dicalite®	4.90
Hidróxido de aluminio	6.60

Tabla 3.2. (cont)	
Prueba	Turbiedad, NTU
Algodón	10.00
Centrifugación	12.00 (20)
Agua residual aceitosa cruda	15.00
Filtración con precapa de espuma de uretano	18.00

Comentarios.

1. Es obvio al examinar los resultados que, tanto las pruebas de filtración como, las pruebas de centrifugación fueron las que resultaron positivas.
2. Las pruebas de flotación, a simple vista, resultaron negativas, por lo que se tomaron en cuenta.
3. Aunque sólo se están reportando estos resultados, las pruebas se realizaron durante varios días a diferentes horas y, se observaron las mismas tendencias. Por lo que, podemos tomar los resultados de la tabla 3.2 como resultados prototipo.

3.9. CRITERIOS DE SELECCION DEL METRODO A EXPERIMENTAR

Una vez efectuadas las pruebas presuntivas, los dos procesos variables para separar el aceite del agua son:

filtración con precapa de flóculos y centrifugación.

- (20) En realidad el valor obtenido es mucho más bajo de lo que se esta reportando. El problema fué que hubo una recontaminación de las muestras tratadas.

El primero tiene el inconveniente que necesita de la adición de reactivos y presenta problemas de disposición de los residuos sólidos generados. El uso de estos reactivos también se ve reflejado en el costo y mantenimiento del equipo.

El segundo, es un método más fácil de operar y, sobre todo no necesita reactivos ni provoca un problema de disposición de residuos sólidos.

Por lo antes expuesto, el método de tratamiento que se seleccionó para llegar a una experimentación que incluyó una planta piloto fué él de Centrifugación.

CAPITULO 4:

DEFINICION CUANTITATIVA DEL PROBLEMA

Para la definición cuantitativa del problema, se seleccionaron las siguientes variables para la caracterización del agua residual aceitosa: pH, temperatura, sólidos suspendidos totales (SST), contenido de aceite libre y turbiedad. Se realizó un muestreo durante los meses de noviembre de 1984 a enero de 1985. Los puntos de muestreo (ver figura 4.1) fueron:

1. A la salida del condensador de la planta A.
2. A la salida del precipitador electrostático de la planta A.
3. En la línea general de salida del agua residual aceitosa al drenaje municipal. A esta línea, se le unen las dos líneas de salida de las dos plantas, tanto la A como la B.

En la tabla 4.1 tenemos resumidos los datos del muestreo.

En la figura 4.1 tenemos un diagrama de bloques de la planta productora de detergentes. El diagrama es válido tanto para la planta A, como para la planta B. Entre las dos plantas se sabe que se tiran 12,791 L/h de agua residual aceitosa.

Tabla 4.1. Muestreo realizado durante los meses de noviembre de 1984 y enero de 1985

Muestra	Día	Hora	pH	T °C	SST mg/L	Contenido de Aceite Libre %	Turbiedad NTU
1-C	14 Nov.	7:15	7.9	44	692	-----	----
2-C	15 Nov.	8:30	7.0	43	60	0.04618	----
3-C	16 Nov.	7:15	6.6	44	112	0.0768	160
4-C	17 Nov.	7:45	7.0	45	136	0.0559	89
5-P	21 Nov.	8:30	6.6	42	1580	0.9669	580
6-P	23 Nov.	7:30	6.7	41	880	3.7377	820
7-P	26 Nov.	7:40	6.5	42	1272	1.0840	440
8-P	27 Nov.	8:30	6.5	42	1720	0.0986	700
9-C	29 Nov.	8:10	6.6	42	8	0.0153	450
10-U	11 Ene.	9:40	7.1	41	348	0.2310	460
11-U	14 Ene.	9:40	6.3	39	84	0.0579	65
12-U	14 Ene.	11:30	6.5	40	196	0.2509	150
13-U	16 Ene.	7:00	6.8	45	244	0.1704	70
14-U	16 Ene.	8:30	6.8	45	276	0.2803	93
15-U	16 Ene.	9:45	6.7	45	140	0.1468	100
16-U	17 Ene.	7:15	6.3	35	240	0.2539	94
17-U	17 Ene.	8:25	6.9	36	156	0.1248	112
18-U	18 Ene.	7:15	6.7	40	168	0.1097	70
19-U	21 Ene.	7:25	5.8	38	68	0.0715	59
20-U	21 Ene.	8:45	6.3	32	340	-----	120

En donde:

C= Muestra a la salida del condensador de la planta A.

P= Muestra a la salida del precipitador electrostático de la planta A.

U= Línea general de salida de agua residual aceitosa que va al drenaje.

pH= Potencial de hidrógeno.

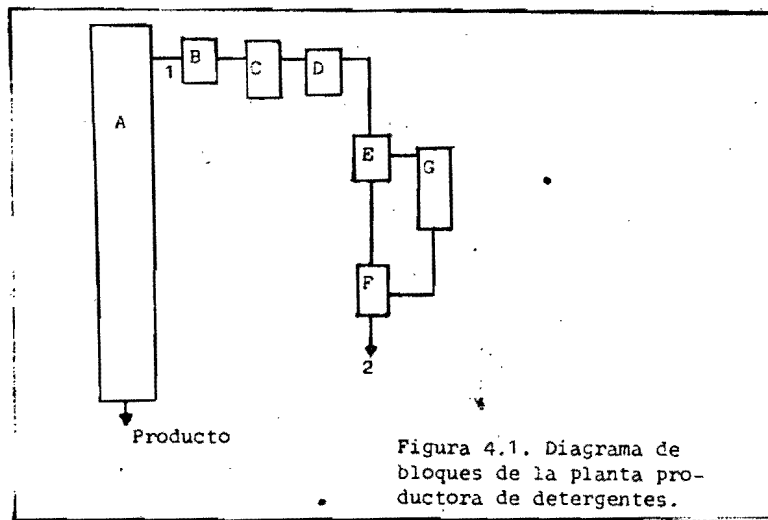
T= Temperatura en °C.

SST= Sólidos Suspendedos Totales medidos en mg/L

Turbiedad= Medida como unidades de turbiedad, NTU.

Contenido= Porcentaje en peso del contenido de aceite libre de las muestras.

Libre



En donde:	
A:	Torre de secado de detergentes.
B:	Ciclón.
C:	Lavadores Ducon.
D:	Demister (Desnebulizador)
E:	Condensador.
F:	Resnataadores.
G:	Precipitador electrostático.
1:	Meccha de agua residual aceitosa.
2:	Punto de descarga al drenaje.

Al revisar los datos de la tabla 4.1, referentes a la línea general de salida de agua residual aceitosa - que va al drenaje, se pueden establecer los siguientes intervalos para las variables involucradas.

Tabla 4.2 Intervalos de las variables de muestreo

Variable	Intervalo
p ^H	5.8 - 7.1
Temperatura	32 - 45 °C
Sólidos Suspendidos Totales	84 - 348 mg/L
Contenido del Aceite Libre	0.0579 - 0.2810% peso
Turbiedad	59 - 460 NTU

Observaciones:

1. Los valores de p^H oscilan alrededor de la neutralidad.
2. Casi todos los valores de temperatura oscilan dentro de un rango de 10°C (de 35 a 45°C)
3. Un valor promedio de los sólidos suspendidos totales sería de 200 mg/L.
4. Los valores del aceite libre - muestran que, las cantidades son muy pequeñas, y menos del 1% un peso.

CAPITULO 5:

ESTUDIOS REALIZADOS MEDIANTE UNA PLANTA PILOTO CENTRIFUGADORA

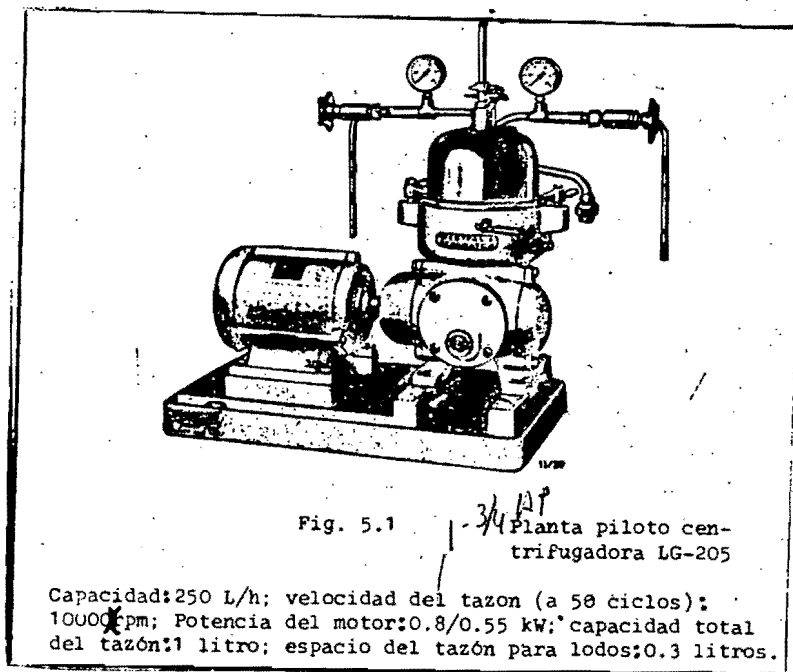
5.1 DESCRIPCION DE LA PLANTA PILOTO

Para la evaluación experimental del método seleccionado, se utilizó la planta piloto centrifugadora LG-205 de la compañía Westfalia Separator. Esta centrífuga sirve para separar mezclas de líquidos, con una remoción simultánea de los sólidos contenidos en los líquidos. Los líquidos separados son descargados bajo presión por medio de una bomba doble centrípeta. La figura 5.1 muestra el modelo de planta piloto utilizada y, en la figura 5.2 -- tenemos un diagrama de localización de la centrífuga -- dentro de la planta productora de detergentes.

5.2 DISEÑO DE EXPERIMENTO

Para un buen funcionamiento de una centrífuga, las variables independientes que se toman en cuenta son: la temperatura de la mezcla líquida, o en este caso, la del agua residual aceitosa y, el gasto volumétrico de la misma, variables que se seleccionaron para el diseño del experimento.

Como variables de respuesta al planteamiento del diseño del experimento, se designaron: la turbiedad y el contenido de aceite libre, en la forma de eficiencias de remoción \mathcal{D}_T y \mathcal{D}_O respectivamente. Esto es, se tomarón los valores de la turbiedad y del contenido de aceite libre del agua residual aceitosa cruda, restádoles los valores de la turbiedad y del contenido de aceite libre del agua residual tratada. La diferencia dividida entre los va-



lores de la turbiedad y del contenido de aceite libre - del agua residual aceitosa cruda, restándoles los valores de la turbiedad y del contenido de aceite libre del agua residual tratada. La diferencia dividida entre los valores iniciales multiplicados por cien, nos dio las eficiencias de remoción. La máquina centrífuga LG-205, fué usada los días 20 y 21 de febrero de 1985, miércoles y jueves respectivamente. Cada día, se generaron 15 parejas de datos, que incluían el dato del agua residual cruda y el del agua residual tratada. Se consideró como una corrida de datos, la generación de 5 pares de ellos a diferentes gastos, pero a una temperatura constante. De tal manera que se hicieron 3 corridas el día miércoles - y 3 del día jueves. En la tabla 5.1 tenemos la simbología del diseño de experimentos efectuado.

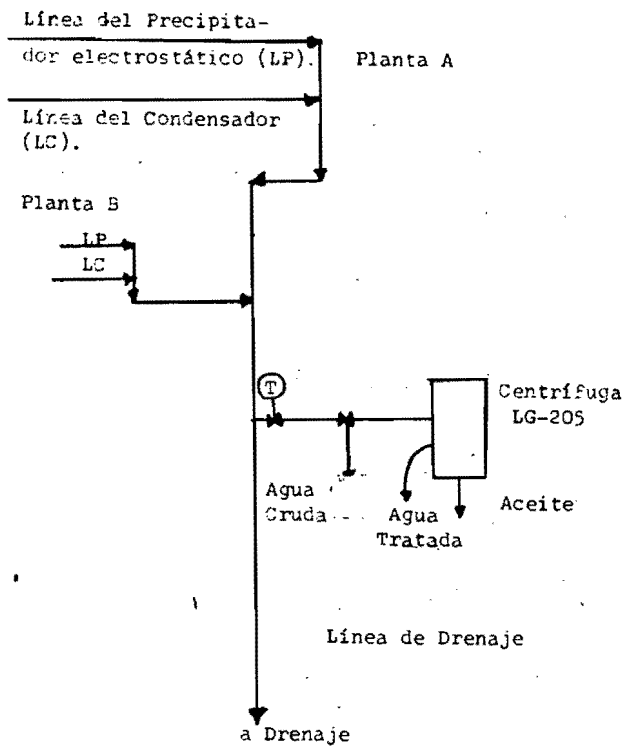


Figura 5.2. Diagrama de localización de la planta piloto centrifugadora LG-205.

5.3 Resultados y su evaluación

5.3.1. Resultados

Los datos generados el día miércoles fueron:

Tabla 5.2.

Q	Día	A.L.i	A.L.f	D _o	Tur _i	Tur _f	D _r
41	M1	0.0139	0.0044	68.34	80	18	77.5
60	M1	0.0214	0.0059	72.42	88	16	81.8
82	M1	0.0358	0.0201	43.85	90	22	75.5
124	M1	0.0217	0.0225	-----	72	24	66.6
180	M1	0.0103	0.0123	-----	77	20	74.0
167	M2	0.0181	0.0197	-----	98	23	76.5
184	M2	0.0190	0.0470	-----	120	24	80.0
200	M2	0.0113	0.0057	49.55	102	25	75.4
225	M2	0.0196	0.0429	-----	101	29	71.2
257	M2	0.0673	0.1341	-----	81	28	65.4
36	M3	0.0357	0.0430	-----	85	20	76.4
45	M3	0.1223	0.0825	32.54	100	20	80.0
52	M3	0.0283	0.0687	-----	95	23	75.7
57	M3	0.0296	0.0308	-----	100	23	77.0
62	M3	0.0720	0.0563	21.80	78	21	73.0

Los datos generados el día jueves fueron:

Tabla 5.3.

Q	Día	A.L.i	A.L.f	D _o	Tur _i	Tur _f	D _r
24	J1	0.0285	0.0749	-----	97	20	79.3
44	J1	0.0110	0.0084	23.63	75	25	66.6
47	J1	0.0057	0.0052	8.77	76	20	73.6
49	J1	0.0096	0.0056	41.66	78	21	73.0
53	J1	0.0102	0.0060	41.17	82	20	75.6
97	J2	0.0081	0.0206	-----	69	25	63.7
171	J2	0.0040	0.0214	-----	72	30	58.3
189	J2	0.0526	0.0211	59.88	62	29	53.2
225	J2	0.0574	0.0350	39.02	65	32	50.7
288	J2	0.0162	0.0537	-----	76	32	57.3
47	J3	0.0621	0.0421	32.06	68	21	69.1
51	J3	0.0101	0.0100	0.99	61	20	67.2
84	J3	0.0456	0.0408	10.52	64	27	57.8
90	J3	0.0627	0.0151	75.90	66	26	60.6
107	J3	0.0192	0.0504	-----	70	26	62.8

En donde:

Q = gasto de agua residual aceitosa que pasó a través de la centrifuga para ser tratada en L/h.

$A.L.i$ = porcentaje en peso del contenido de aceite libre del agua residual aceitosa cruda.

$A.L.f$ = porcentaje en peso del contenido de aceite libre del agua residual aceitosa tratada.

η_o = Porcentaje de remoción del contenido de aceite libre.

Tur_i = turbiedad del agua residual aceitosa cruda.

Tur_f = turbiedad del agua residual aceitosa tratada.

η_T = porcentaje de remoción de la turbiedad.

5.3.2. COMENTARIOS

1. Las remociones, en cuanto a la turbiedad, todas fueron aceptables. Hay que precisar que la turbiedad en este caso tiene dos componentes. Un componente es la cantidad de aceite libre y el otro es un sólido de tipo orgánico desconocido que proviene de la gran cantidad de componentes utilizados en la manufactura de detergentes. Por lo tanto, para la evaluación estadística de este experimento se usará como variable de respuesta la eficiencia de remoción de turbiedad (η_T).
2. Una de las razones por la cual η_o no se consideró como variable de respuesta, fué que la cantidad del contenido de aceite era muy pequeña. Esto implica que, aunque el método de determinación (expuesto en el Apéndice No.4) del contenido de aceite libre sea un eficiente método, para este caso en especial, las cantidades utilizadas para la extracción no fueron suficientes para evitar un error sistemático. Probablemente se hubieran necesitado cantidades mayores de medio litro de

muestra para cada una de las extracciones.

3. Otra circunstancia fué que durante el desarrollo del experimento se observó que nunca hubo una - descarga de aceite, por lo qué, el aceite separado quedó atrapado en el tazón de la centrifuga y, seguramente recontaminó el agua residual tratada. Para la determinación del contenido de aceite libre "real" de la agua residual tratada sería necesario esperar a que el tazón de la centrifuga se llene de aceite en su compartimiento correspondiente a la fase ligera y, empiece a descargar - aceite en forma continúa.

En la figura 5.3 tenemos graficados los datos de la tabla 5.2 en la forma de porcentaje de remoción de turbiedad contra gasto. De igual manera en, la figura 5.4 tenemos graficados los datos de la tabla 5.3.

5.3.3. EVALUACION DE LOS DATOS GENERADOS

Para la evaluación de los datos, se hizo un análisis de variancia hecho de acuerdo a un diseño de bloques completos al azar. (21). Las suposiciones que se tomarón en cuenta fueron:

1. Los datos generados están distribuidos normalmente.
2. Las variancias para cada nivel de tratamiento - son homogéneas.
3. No existen interacciones entre tratamientos y - bloques.

(21) Ref. 1 p. 123-163

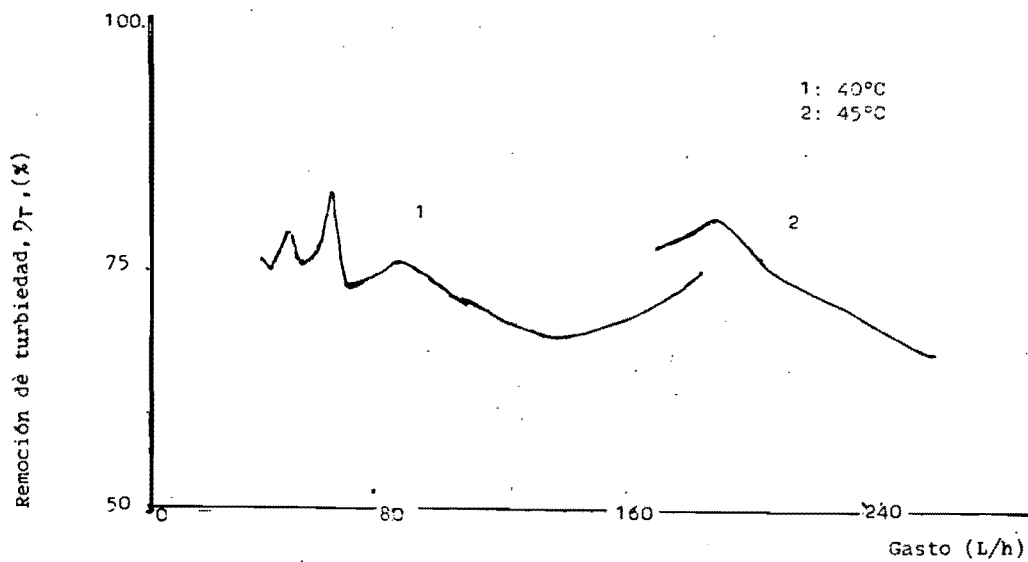


Figura 5.3 Porcentaje de remoción de turbiedad (D_T) contra gasto de los datos generados el día miércoles.

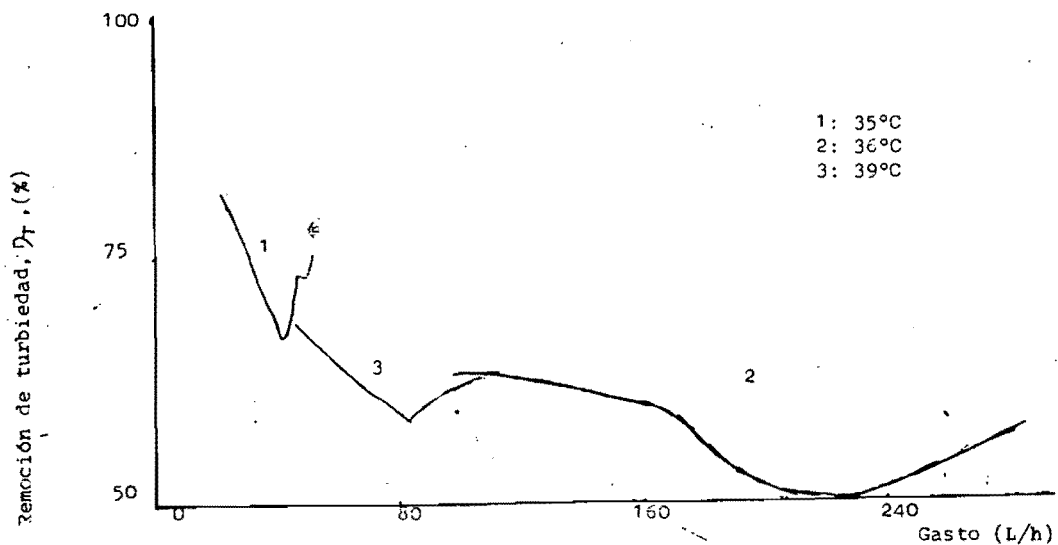


Figura 5.4 Porcentaje de remoción de turbiedad contra gasto de los datos generados el día jueves.

En la table 5.4 tenemos un resúmen de ecuaciones del análisis de variancia.

Tabla 5.4 Resúmen de ecuaciones del análisis de variancia.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Medias cuadráticas	F
Tratamientos	$\sum y_{i.}^2/b - y^2/N$ <i>SS_{Tr}</i>	a-1	$MS_{Tr} = \frac{SS_{Tr}}{a-1}$	$F_0 = \frac{MS_{Tr}}{MSE}$
Bloques	$\sum y_{.j}^2/a - y^2/N$ <i>SS_{BL}</i>	b-1	$MS_{BL} = \frac{SS_{BL}}{b-1}$	$F_1 = \frac{MS_{BL}}{MSE}$
Error	<i>SS_E</i> (porcenta)	(a-1)(b-1)	$MSE = \frac{SS_E}{(a-1)(b-1)}$	
Total	$\sum \sum y_{ij}^2 - y^2/N$ <i>SS_T</i>	N-1		

Para nuestro caso en particular, tenemos que los bloques van a ser las temperaturas relacionadas con las -- aguas residuales aceitosas y los gastos los consideramos los tratamientos. De esta manera la primera aproximación del manejo de datos fué la del planteamiento de 5x5. Esto se ilustra en la tabla 5.5.

Tabla 5.5. Primera aproximación del manejo de datos como diseño de bloques al azar.

TRATAMIENTOS NIVELES DE GASTOS, L/H	BLOQUES (TEMPERATURAS, ° C)				
	1 35	2 36	3 39	4 40	5 45
1 24-45	79.3 66.6	—	—	77.5 80.0 76.4	—
2 46-62	73.0 73.6 75.6	—	69.1 67.2	81.8 75.7 77.0 73.0	—
3 63-124	—	63.7	57.8 62.8 60.6	< 75.5 66.6	—
4 125-200	—	58.3 53.2	—	74.0	76.5 75.4 80.0
5 200-288	—	50.7 57.8	—	—	71.2 65.4

En la tabla 5.5 se ve que no tenemos datos para todas las celdas, e inclusive muchas de las celdas tienen más de uno. Una alternativa para este manejo, sería proponer un diseño de bloques incompletos balanceados (22), pero no se tienen suficientes datos para poder llevarlo a cabo; por lo tanto, se ajustaron los datos a un diseño de bloques al azar pero perdiendo la forma de cuadrado.

(22) Ref. 1 p. 165-172

5.3.3.1. PROCEDIMIENTO Y CALCULOS

Para ajustar los datos de la tabla a un diseño de bloques al azar, completos, debe dejarse un valor en cada una de las celdas. Por lo tanto, en las celdas que se tienen más de un valor, se tomó la media aritmética de los valores requeridos. Si conservamos los mismos 5 niveles de tratamiento, pero reducimos el número de niveles de bloques (a dos, llegamos aun diseño de bloques completos al azar. En las tablas 5.6 y 5.7 tenemos resumidos los datos con estas modificaciones. Solo hay que notar que el nivel del bloque número 1 corresponde al intervalo de temperaturas de 35 a 39° C, datos generados el día jueves. El segundo nivel de bloque fué el intervalo de temperaturas de 40 a 45° C, o sea, los datos generados el día miércoles.

Tabla 5.6 Datos presentados en un diseño de bloques completos al azar.

TRATAMIENTOS (GASTOS)	BLOQUES (TEMPERATURAS)					
	1		2			
1	79.3	68.6	73.4	80.0	77.5	
2	73.5	73.9	67.2	75.7	73.9	77.0
	69.1	75.6		81.8		
3	57.3	63.7	60.6	75.5	66.5	
	62.8					
4	58.3	53.2		74.0	75.4	
				76.5	80.0	
5	50.7	57.8		71.2	65.4	

Tabla 5.7 Diseño de bloques completos al azar representativo del experimento.

TRATAMIENTOS (GASTOS)	BLOQUES (TEMPERATURAS)		$y_i.$
	1	2	
1	72.95	77.97	150.92
2	71.70	76.88	148.58
3	61.23	71.05	132.28
4	55.75	76.3	132.13
5	54.25	68.30	122.55
$y_{.j}$	315.88	370.58	686.46
			$y_{..}$

donde $y_{.j} = \sum_{i=1}^a y_{ij}$
 $y_{i.} = \sum_{j=1}^b y_{ij}$
 $y_{..} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}$
 $i = 1, 2, \dots, a$
 $j = 1, 2, \dots, b$

Los cálculos del análisis de variancia se pueden ver en el Apéndice No. 3.

En la tabla 5.8 tenemos los resultados del análisis de variancia.

Tabla 5.3. Resultados del análisis de variancia

Puente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Valor Medio Cuadrático	F calc.	F tab.
Tratamientos	242.13	4	60.55	1.788	6.33
Bloques	299.21	1	299.21	8.834	7.71
Error	135.46	4	27.09		
Total	675.85	9			

$F_{tab.}$ es igual a F de tablas.

F_0 de tablas es $F_{\alpha, a-1, (a-1)(b-1)}$, o sea, el estadístico F calculado del análisis de variancia se compara, para este caso en particular con $F_{0,05,4,4}$ que se reportó en la tabla 5.8. α es el intervalo de confianza. F_1 se compara con un F_1 de tablas que es igual para este caso a $F_{0,05,1,4}$. Para poder concluir que no existen efectos de los factores o los bloques sobre los datos extraídos, los valores calculados del estadístico F deben ser menores a los valores de tablas. Por lo tanto, tenemos que F_0 calculado es menor a F_0 de tablas, - ésto es, no existe efecto debido a los gastos alimentados sobre las temperaturas observadas. Desgraciadamente no podemos decir lo mismo del estadístico F_1 , ya que el valor calculado rebasa el valor de tablas, ésto es, hay una fuerte dependencia de los datos con respecto a la temperatura.

5.5.3.2. Comprobación de las suposiciones tomadas en cuenta.

Antes de plantear alguna conclusión o recomendación tenemos que verificar si el modelo, en base a las supo-

siciones antes expuestas, es el adecuado.

a) Normalidad

Para ver si los datos se ajustan a una función de -- distribución normal, en la figura 5.5 se muestra un his tograma de los valores. En la tabla 5.9 se tienen resu- midos los valores.

El total de valores de respuesta es de 30 datos -- (juntando los 2 días)

Tabla 5.9 Datos resumidos para la realización de un his tograma

Valores de Respuesta	Clase	Marca de clase	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
53.2 50.7	50.0-54.9	52.45	6.6	6.6
58.3 57.8 57.8	55.0-59.9	57.45	10.0	16.6
63.7 60.6 62.8	60.0-64.9	62.45	10.0	26.6
66.6 69.1 65.4 67.2 66.6	65.0-69.9	67.45	16.6	43.2
73.0 73.6 74.0 73.9 71.2	70.0-74.9	72.45	16.6	59.8
79.3 75.6 76.4 77.5 75.7 77.0 75.5 76.5	75.0-79.9	77.45	30.0	89.8

Tabla 5.9 (cont)

Valores de Respuesta	Clase	Marca de clase	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa - Acumulada
81.8 80.0 80.0	80.0-84.9	82.45	10.0	99.8

Debido a que en el histograma de la figura 5.5 se ve un sesgamiento, proponemos otra manera de asumir la normalidad.

En la figura 5.6 tenemos una gráfica de frecuencia relativa acumulada contra marca de clase. En dicha gráfica podemos ver que los valores se ajustan a una línea recta aproximadamente y por lo tanto su distribución se considera normal.

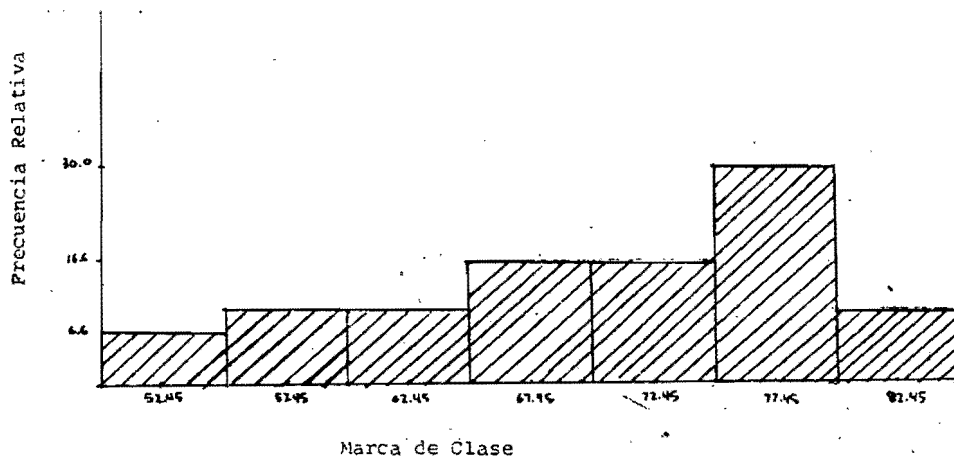


Figura 5.5 Histograma de los datos generados

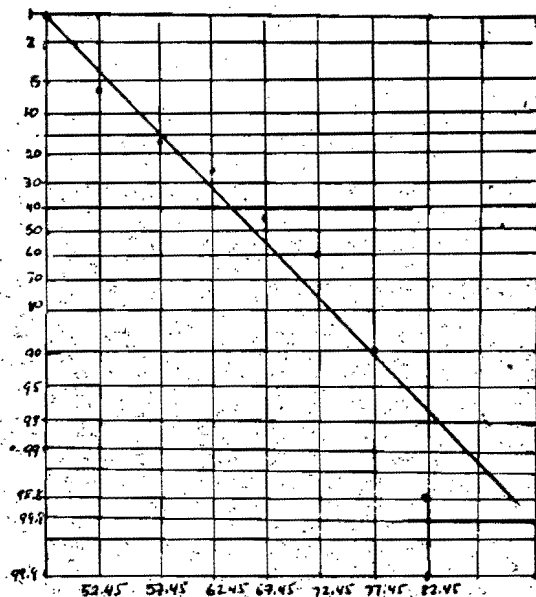


Figura 5.6. Gráfica de frecuencia relativa acumulada contra marca de clase.

b) Prueba Estadística para la igualdad de variancias.

Para el propósito de este inciso se usó la prueba de Bartlett (23). El procedimiento involucra el cálculo de un estadístico cuya distribución de muestreo se aproxima a una distribución chi-cuadrada con $a-1$ grados de libertad cuando las muestras aleatorias se suponen corresponden a poblaciones normales independientes. El estadístico es :

$$\chi^2 = 2.3026 q/c$$

donde $q = (N-a) \log_{10} S_p^2 - \sum_{i=1}^a (n_i - 1) \log_{10} S_i^2$

$$c = 1 + \frac{1}{3(a-1)} \left[\sum_{i=1}^a (n_i - 1)^{-1} - (N-a)^{-1} \right]$$

$$S_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^a (n_i - 1) S_i^2}{N-a}$$

donde S_i^2 es la variancia de la muestra de la i-ésima población. Se debe rechazar una hipótesis nula H_0 :

$\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_a^2$ con H_1 : por lo menos una variancia no es igual. Se compara χ_0^2 con $\chi_{\alpha, a-1}^2$ que, para este caso es igual a $\chi_{0.05, 4}^2$. Se manejaron los datos de la tabla 5.7 y χ_0^2 resultó igual a 1.98 (ver Apéndice No. 3), por lo que, $\chi_0^2 < \chi_{\alpha, a-1}^2$, ya que $\chi_{\alpha, a-1}^2$ es igual a 2.132. La desigualdad implicó que la prueba de Bartlett fué positiva y se acepta la hipótesis nula H_0 . La prueba es muy sensible a la suposición de normalidad, por lo que, ésta es otra manera de comprobar la normalidad de los datos.

c) Análisis de residuales (errores inherentes)

Los residuales para un diseño de bloques al azar son

$$e_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_{ij} \quad \text{donde} \quad \hat{y}_{ij} = \bar{y}_{i.} + \bar{y}_{.j} - \bar{y}_{..}$$

por lo que $e_{ij} = y_{ij} - \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{.j} + \bar{y}_{..}$

Para hacer un análisis de esta índole, se codificaron los valores de la tabla 5.7. Para este caso vamos a restar 70.0 a todos los valores. Por lo que tenemos los valores resumidos en la tabla 5.10 y en la tabla 5.11 tenemos los errores inherentes calculados.

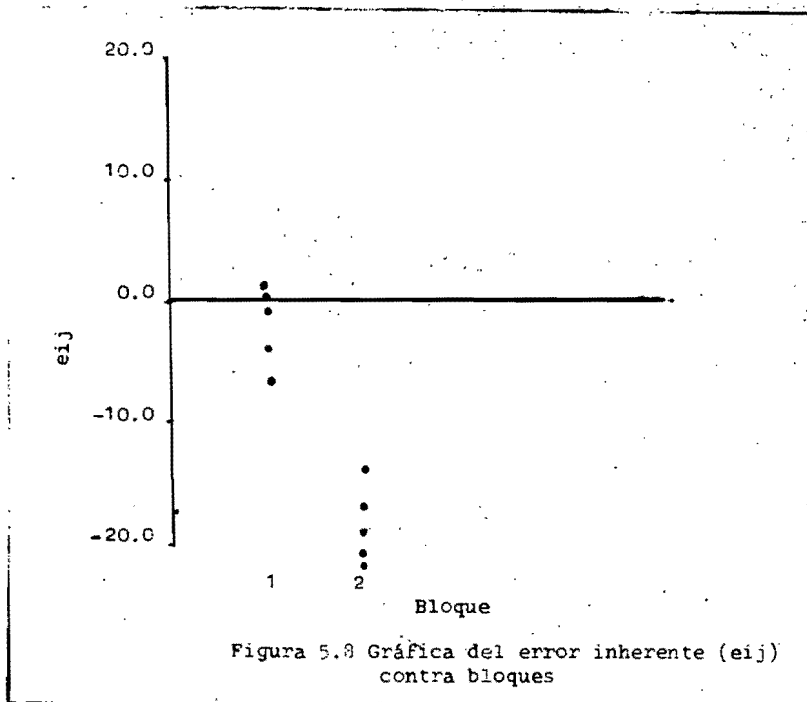
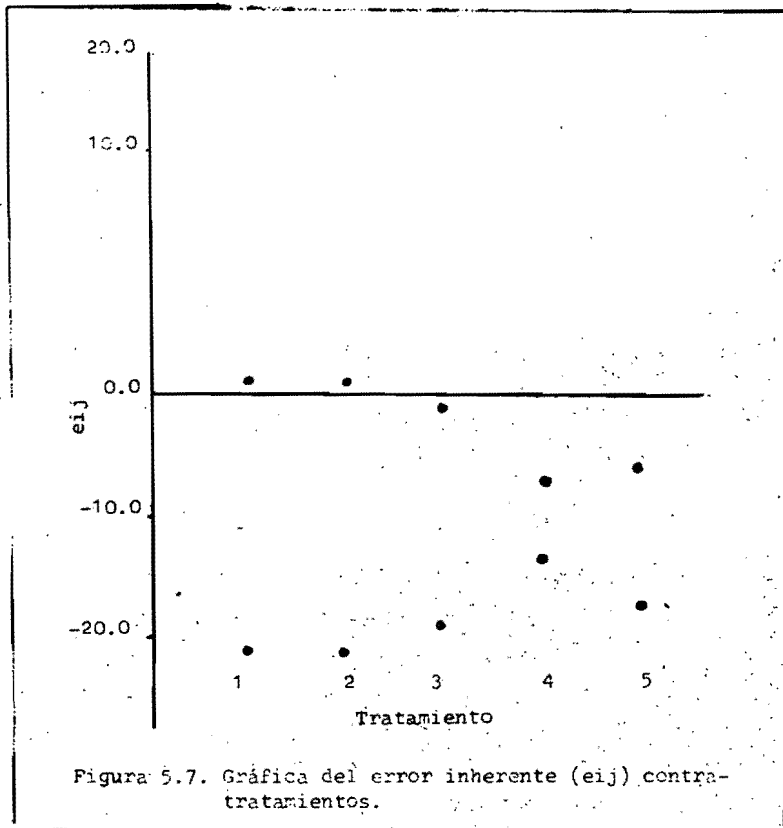
Tabla 5.10 Datos de la tabla 5.7 codificados

Bloque			
Tratamiento	1	2	Yi
1	2.95	7.97	10.92
2	1.7	6.88	8.58
3	-8.77	1.05	-8.78
4	-14.25	6.38	-7.87
5	-15.75	-1.7	-17.45
Y.j	-34.12	20.58	Y.. = -13.54

Tabla 5.11 Tabla de preparación para realizar el análisis de residuales

y_{ij}	\bar{y}_i	\bar{y}_j	$\bar{y}_{..}$	\hat{y}_{ij}	e_{ij}
2.95	5.46	-17.06	-13.54	1.94	1.01
7.97	5.46	10.29	-13.54	29.29	-21.32
1.70	4.29	-17.06	-13.54	0.77	0.93
6.88	4.29	10.29	-13.54	28.12	-21.24
-8.77	-3.86	-17.06	-13.54	-7.38	-1.39
1.05	-3.86	10.29	-13.54	19.97	-18.92
-14.25	-3.95	-17.06	-13.54	-7.455	-6.795
6.38	-3.935	-10.29	-13.54	19.895	-13.515
-15.75	-8.275	-17.06	-13.54	-11.795	-3.955
-1.7	-8.275	10.29	-13.54	15.555	-17.255

En la figura 5.7 se tiene una gráfica del error inherente (e_{ij}) contra tratamientos. En la figura 5.8, una gráfica del error inherente (e_{ij}) contra bloques. En la figura 5.9, una gráfica del error inherente (e_{ij}) los valores estimados de los datos (\hat{y}_{ij})



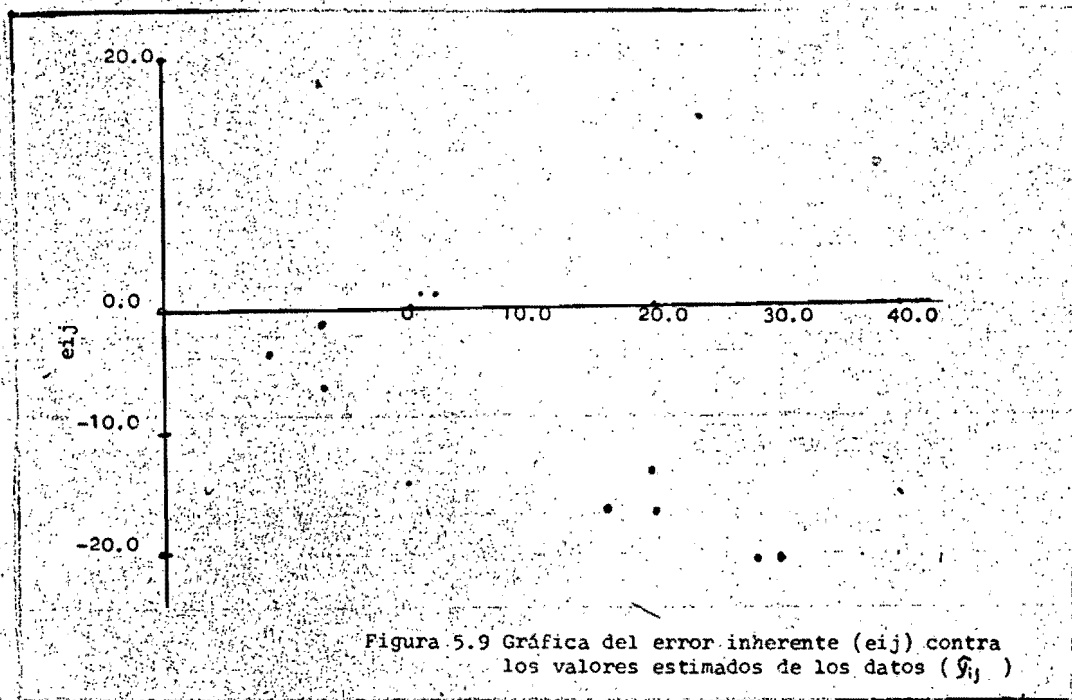


Figura 5.9 Gráfica del error inherente (e_{ij}) contra los valores estimados de los datos (\hat{y}_{ij})

5.4 Conclusiones del tratamiento estadístico de los datos.

- 1) La primera suposición que se tomó en cuenta fué que los datos estaban distribuidos normalmente. Esto se viene a corroborar en la figura 5.6
- 2) La prueba de Bartlett fué positiva, indicándonos que las variancias para cada nivel de tratamiento son homogéneas.
- 3) La figura 5.9 (e_{ij} vs \hat{y}_{ij}) nos indica que aunque no tuvimos muchos datos, los datos muestran una independencia entre ellos. Esto implica que el muestreo aunque no fue excelente, si fué bueno.
- 4) Las figuras 5.7 (e_{ij} vs tratamiento) y 5.8 (e_{ij} vs bloque) pudieran indicar la posibilidad de juzgar interacciones entre tratamientos y bloques.

5.5 Recomendaciones sobre el diseño del experimento

- 1) Para el desarrollo de un experimento más formal que dé más información sobre el comportamiento y tratamiento del agua residual aceitosa se tienen que regular en forma física los factores involucrados: gasto y temperatura. (En este caso no se reguló la temperatura). También sería conveniente que se controlara el experimento de tal manera que no fallará la variable de respuesta D_o (en términos de remoción de aceite libre). Sería -- bueno también plantear una nueva variable de -- respuesta, D_{ss} , que sería la remoción en términos de sólidos suspendidos totales.
- 2) La información que se extrajo indica una posible

interacción entre los tratamientos (gastos) y - los bloques (temperatura), por lo que sería recomendable plantear un diseño de experimentos, - en él cual se considerarán como factores tanto las temperaturas, como los gastos, pudiéndose explorar un tercer factor que sería el tipo de detergente procesado en ese momento. Para realizar - esto se debe plantear un diseño de experimentos adecuado. (24)

(24) Ref. 1 p. 223-228

CAPITULO 6:
ASPECTOS ECONOMICOS

6.1 INTRODUCCION

Después de llevarse a cabo el análisis estadístico, en este capítulo se procedió a formular, y desarrollar un análisis de tipo económico, que tuviera como objetivo principal, la justificación de la adquisición de una máquina centrífuga que resolviera, aunque en forma parcial, el problema de contaminación del efluente de las torres de detergentes. Cuatro alternativas se establecieron:

A: La adquisición de una máquina centrífuga de 5,500 L/h.

B: La adquisición de una máquina centrífuga de 10,500 L/h.

C: La no adquisición de una máquina centrífuga de 5,500 L/h

D: La no adquisición de una máquina centrífuga de 10,500 L/h

Hay que recordar que el caudal del efluente en consideración es de 12,791 L/h ($9,209.45 \text{ m}^3/\text{mes}$), por lo que, las centrífugas que se consideraron en esta evaluación, solo tratan parte del agua residual problema. Un estudio más profundo implicaría la compra de más de una centrífuga, pero dicha evaluación estaría sujeta a una compra posterior, cuando experiencias en planta recomendarían tal compra.

Los caudales están en función de las centrífugas disponibles que se pudieran adquirir de la compañía Westfalia Separator. Se hace referencia a las máquinas centrí-

fugas OTA 18-00-066 (5,500 L/h), y OTA 30-00-066 (10,500 L/h). Teniendo costos de 5,865,000 y, 9,430,000 pesos respectivamente.

6.2 Condiciones y Suposiciones Involucradas

1. INICIO

La evaluación del proyecto tendrá un principio el día 1° de julio de 1985 y como plazo de evaluación se seleccionó 3 años. (25)

2. INVERSION TOTAL

La inversión total será la suma del costo del -- equipo más el costo de instalación, siendo este -- último 18% del primero (26). En el caso de la no adquisición de equipo, el dinero disponible corresponderá a la inversión total del equipo requerido. En la tabla 6.1 tenemos las cantidades correspondientes a las inversiones totales.

Tabla 6.1 Inversion total, pesos

Capacidad	Costo del equipo	Costos de Instalación	Inversion total
5,500 L/h	5,865,000	1,055,700	6,920,700
10,500 L/h	9,430,000	2,121,750	11,127,400

3. DEPRECIACION

Para el cálculo de la depreciación del equipo, se (25) Dadas las condiciones económicas que imperan en el país, el hecho de justificar un proyecto a un plazo mayor de 3 años, conduce a la no realización de éste.

(26) Ref. 3 p. 109

tomó el método de la línea recta, con una vida -
 útil de las máquinas de 10 años (27). Por lo que,
 para la máquina de 5,500 L/h tenemos una deprecia-
 ción de 692,070 \$/año y, para la de 10,500 L/h -
 tenemos 1,112,740 \$/año.

4. VALOR EN LIBROS

El valor en libros fue el siguiente rubro que se
 tomó en cuenta. La fórmula empleada fue:

$$V_a = V - ad \quad (6.1)$$

donde:

V_a = valor en libros al año a

V = valor original del equipo

d = depreciación

a = número de años en servicio considera-
 dos (28).

La tabla 6.2 muestra los valores en libros de ambas
 máquinas.

Tabla 6.2 Valor en libros, pesos

Capacidad	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
5,500 L/h	6,228,630	5,536,560	4,844,490
10,500 L/h	10,014,660	8,901,920	7,789,180

(27) Ref. 3 p. 135

(28) Ibid. p. 218-220

5. Los primeros 2 meses (Julio y Agosto de 1985) el precio del agua es de 54 \$/m³; los siguientes 4 meses el precio del agua se incrementaría en un 25% (29). Del 1° de enero de 1986 - en adelante, se supondrá un aumento del 25% - semestral en el costo de agua extraída de pozos; por lo que en la tabla 6.3 tenemos los costos unitarios correspondientes.

Tabla 6.3 Costos del Agua

Período	Costo (\$/m ³)
1er Semestre 1986	84.40
2° Semestre 1986	105.50
1° Semestre 1987	131.90
2° Semestre 1987	164.80
1° Semestre 1988	206.00

6. De las tablas 6.4 y 6.5 se desprenden los ahorros mensuales por concepto de uso de agua -- tratada. En la tabla 6.4 se tienen las cantidades que se pueden ahorrar si se tratan --- 5,500 L/h. Esto equivale a ahorrar 3,960 m³/mes.

(29) Segun se observa; este año habrá un aumento del 25% en el costo del agua por lo que, se sugiere aumentos semestrales del 25%; ya que cada vez será más caro este recurso.

Tabla 6.4 Ahorro mensual por concepto de reutilización del agua tratada.

Período	Ahorro Mensual
Julio y Agosto de 1985	213,840
El último cuadrimestre de 1985	267,300
1° Semestre de 1986	334,224
2° Semestre de 1986	417,780
1° Semestre de 1987	522,324
2° Semestre de 1987	652,608
1° Semestre de 1988	815,760

Si se tratan 10,500 L/h, esto equivale a ahorrar -- 7,560 m³/mes.

Tabla 6.5 Ahorro mensual por concepto de reutilización del agua tratada.

Período	Ahorro Mensual
Julio y Agosto de 1985	408,240
El último cuadrimestre de 1985	510,300
1° Semestre de 1986	638,064
2° Semestre de 1986	797,580
1° Semestre de 1987	997,164
2° Semestre de 1987	1,245,888
1° Semestre de 1988	1,557,360

7. Por concepto de pago por consumo de agua, - esto es, en el caso en que no se adquiriera - alguna de las 2 máquinas centrífugas, el total de la descarga es de 9,209.45 m³/mes; - por lo que, en la tabla 6.6 tenemos los pagos mensuales que necesitan realizarse.

Tabla 6.6. Pagos mensuales por concepto del consumo del agua extraída de pozos.

Período	Pago Mensual
Julio y Agosto de 1985	497,310
El último cuadrimestre de 1985	621,638
1° Semestre de 1986	777,278
2° Semestre de 1986	971,597
1° Semestre de 1987	1,214,726
2° Semestre de 1987	1,517,717
1° Semestre de 1988	1,897,147

8. Los costos de operación y mantenimiento se estimarán en base a los costos de mano de obra. Para esto, tenemos 25% como dato de salario de un empleado por máquina centrífuga de cualquier capacidad (30). Ya que se presentan 3 turnos se toma como 75% de un salario mínimo. El salario mínimo vigente -

(30) Ref. 3 p. 130

es de \$37,500 mensuales. Debido a la situación actual, se supondrán incrementos del 20% semestral en el salario mínimo, de tal manera que en la tabla 6.7 se muestran los costos relacionados con este rubro.

Tabla 6.7 Costos de Operación y Mantenimiento Mensuales.

Período	Costo Mensual
2º Semestre de 1985	28,125
1º Semestre de 1986	33,750
2º Semestre de 1986	40,500
1º Semestre de 1987	48,600
2º Semestre de 1987	58,320
1º Semestre de 1988	69,984

9. Para el caso de adquirir una mpaquina los rubros involucrados, pasados a valor presente -- son: Inversion total (IT) Depreciación (D) y costos de operación y mantenimiento (COM) que son negativos; Valor en libros (VL) y Ahorro en consumo (A) de agua son positivos. Por lo tanto, se establece una ecuación económica, en la que se busca una situación, en que los rubros positivos balancean a los negativos. Esto se logra al sacar una tasa de retorno. La tasa de retorno (i) nos indicara, en un período de tiempo dado, cuando los ingresos son iguales a los egresos: ésta sera mensual.

10. Para la alternativa de no adquirir una máquina centrífuga los rubros serán: Dinero - disponible (DD) (el que se emplearía para - invertir en una centrífuga) que sería posi- tivo; contra, los pagos mensuales por consu- mo de agua. (P). Otra vez volveremos a sacar una tasa de retorno (i), que se compara con la tasa de retorno correspondiente a el año y adquisición de la máquina centrífugadora. La tasa de retorno que resulte mayor es la que determinará la selección económica.

6.3 EVALUACION ECONOMICA

Una vez establecidas las suposiciones y con- diciones de trabajo, se desarrollaron las - ecuaciones económicas relacionadas a cada - alternativa y, procediendo a encontrar los - valores presente neto para cada alternativa, para cada uno de los años implícitos en la evaluación. La tasa mensual que se utilizó - fue de 3.72% mensual que equivale al 55% --- anual (tasa de interes bancaria para evalua- ción de proyectos). También se sacaron las tasas de retorno correspondientes a cada año y cada alternativa.

En el Apendice N° 5 se tienen las ecuaciones económicas utilizadas y en las tablas 6.8 y 6.9 se puede observar los valores obtenidos tanto de valor presente (tabla 6.8), como las tasas de retorno (tabla 6.9).

Tabla 6.8 Tabla de Valores Presentes Neto de cada una de las alternativas elegidas.

AÑO			
ALTERNATIVA	1	2	3
A	(908,188)	(35,704)	1,485,912
B	(327,990)	1,637,566	4,990,239
C	564,979	6,080,937	(12,777,751)
D	4,771,679	(1,874,237)	(8,571,051)

Tabla 6.9 Tabla de tasas de retorno de cada una de las alternativas elegidas.

AÑO			
ALTERNATIVA	1	2	3
A	2.27	3.44	4.49
B	3.27	4.60	5.68
C	2.41	9.66	11.20
C	(26)	5.04	7.30

6.4 Comentarios Generales

1. De la tabla 6.8 podemos concluir que la alternativa más atractiva fué la alternativa B lo que significa la adquisición de una máquina centrífuga de 10,500 L/h.
2. Con referencia a la tabla 6.9 podemos apreciar que la mejor tasa de retorno al término de los 3 años es la tasa de retorno de la alternativa C, y que, las

alternativas de no adquisición (C y D) son mayores a las de adquisición de las máquinas centrífugas (A,B). Sin embargo, dado que el proyecto es restable, ya que el valor presente neto de la alternativa B es él único positivo al término del segundo año podemos decir, que además del beneficio de lograr separar el aceite del agua residual aceitosa, produce un beneficio de tipo económico.

CAPITULO 7:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El primer objetivo fué el de la selección de un método apropiado para la separación del agua residual -- aceitosa. El resultado de las pruebas presuntativas de la tabla 3.1 y, el estudio de planta piloto, concretamente las tablas 5.2 y 5.3, muestran a la centrifugación como un probable método que pudiera solucionar el problema planteado. Esto viene a corroborarse con el análisis estadístico efectuado y, con la justificación económica realizada.
2. En la selección del método, se presentaron algunos problemas e incongruencias como a continuación se explican:

La naturaleza química y las diversas interacciones -- que pueden estar involucradas entre el agua, el aceite y el detergente, que se estaban produciendo en el momento del estudio, hicieron que la selección fuera un poco más difícil de confirmar.

Si se compara el valor de turbiedad del agua residual aceitosa de la tabla 3.2 que fué de 15 NTU, contra los valores de turbiedad de la tabla 4.1 para el -- agua residual aceitosa que sale de la planta, se puede observar que los segundos valores son varias veces mayores que el dato de la tabla 3.1. No solo la turbiedad esta involucrada, sino que se han observado fluctuaciones bruscas de la temperatura en períodos de tiempo muy cortos (30 minutos).

En la tabla 4.2, se muestran los intervalos de variaria

ción de las variables involucradas en el muestreo; sin embargo, se considerará que para una mayor definición cuantitativa del agua residual acéitosa se deberían realizar muestreos que abarcaran un período de tiempo mayor, digamos el de un año de producción, puesto que también se observó que si se realizan muestreos al principio del año, los valores de turbiedad no son muy altos. Si esos mismos muestreos se realizan hacia el final del año, los valores de turbiedad suben considerablemente. La explicación de estos valores depende de varias circunstancias: el hecho del continuo uso de las torres de secado por espumas y el consecuente ensuciamiento de las mismas debido a la producción continua de detergentes en polvo. El mantenimiento de toda la planta, el cual causa que los valores se abatan. Otra circunstancia importante sería la manera en que está programada la producción de detergentes para un año de producción dado. Esto es, no solo la secuencia de variación de producción de los detergentes en esta planta, sino las cantidades producidas ya sea, por lote o por turno de jornada establecida. Todos estas incongruencias y puntos de vista se deben incluir en un trabajo de investigación más amplio posterior.

3. También, el tratamiento estadístico realizado -- mostro la necesidad de realizar un trabajo de investigación más completo. El manejo de datos fué el adecuado, sin embargo, dada la no homogeneidad

de esta agua residual aceitosa, se propone la realización de un estudio que involucre la descripción cuantitativa de la misma, tanto desde el punto de vista químico - el conocer la composición química del aceite libre; como estadístico, sugiriéndose utilizar la planta piloto LG-205 ó la máquina OTA 7-00-066, (2,500 L/h) para la elaboración de un diseño de experimentos más completo, que arroje un mayor cúmulo de información y sobre todo que esta información sea la adecuada para introducirla en un modelo estadístico - confiable. Lo anterior involucraría, por ejemplo, explorar un tercer factor que sería el tipo de detergente, que aunado a los otros dos factores: gasto volumétrico y temperatura, nos podrían, dar una explicación más concisa del fenómeno. Es muy probable que se presentaran interacciones entre los factores y, también se podría llegar a plantear correlaciones que ayudarían al conocimiento del proceso.

4. La validez del análisis estadístico efectuado quedó definida al comprobarse las suposiciones impuestas para la realización de este. La suposición de normalidad quedó demostrada en la figura 5.6, la prueba de Bartlett fué positiva y, la más importante, la figura 5.9, nos muestra que hay independencia entre los datos experimentales extraídos al no formarse un patrón definido que hubiera inutilizado todo el análisis estadístico.

5. Normalmente lo deseado en un trabajo de investigación es que la variable de respuesta seleccionada sea la que defina completamente el fenómeno que se está investigando. Desgraciadamente este no fué el caso, ya que por el mismo funcionamiento físico de la planta piloto centrifugadora, en la cual se observó una recontaminación por parte del aceite libre al efluente tratado, impidió que se seleccionará la remoción de aceite libre (η_o) como variable de respuesta. Para futuras evaluaciones e investigaciones, se tendría que tomar en cuenta lo que aconteció y resolver el problema. Esto tal vez se logre, si se emplea la máquina OTA 7-00-066 (2,500 L/h) en vez de la LG-205, ya que, se estaría utilizando en forma continua y el aceite no se acumularía. La variable de respuesta indirecta que se utilizó fue la remoción en términos de turbiedad (η_T).
6. Se sugiere la adquisición de un turbidímetro, ya que dicho aparato podría ser utilizado para medir la turbiedad, que fué la variable de respuesta - que se seleccionó; además, que se requerirá para futuras investigaciones o como aparato de medición de una de las variables involucradas en el proceso.
7. Se propone llevar un registro gráfico diario de la temperatura, ya que se observó que dicha variable fluctúa bruscamente. El registro podría ayudarnos a la definición cuantitativa del problema.

8. En relación con el segundo objetivo de la tesis, si observamos la tabla 6.8 podemos concluir que la alternativa B, es decir, la adquisición de una máquina centrífuga de 10,500 L/h resultó ser la más atractiva; y al término del período de evaluación (3 años) nos da una ganancia neta en dinero a valor presente, por lo que además de probarse que técnicamente es posible separar el aceite del agua, también produce un beneficio económico.
9. De la tabla 6.9 podemos concluir que las mejores tasas de retorno están dadas en las alternativas que implican la no adquisición de las máquinas centrífugas, sin embargo se puede observar que el adquirir una máquina centrífuga de 10,500 L/h, ésta produce una ganancia neta en menos de 2 años cosa que no acontece con el resto de las alternativas que al término de -- 2 años son negativas.
10. Todo el análisis económico está basado en el precio actual del agua extraída de pozos. Si hay cambios posteriores en relación a lo supuesto de los precios, se deberán hacer los ajustes necesarios para la justificación económica de la implementación del método seleccionado.
11. Dentro de la evaluación económica no se tomó en cuenta algo que es muy importante al usar una máquina centrífuga y es el hecho de que el

agua tratada por centrifugación conserva las --
propiedades originales del agua antes de ser --
tratada. Esto quiere decir que tenemos un efluente
que sale a una temperatura de 40°C. Es moti-
vo de un estudio complementario, él hacer un aná-
lisis del agua tratada para ver una posibilidad
de reuso de dicha agua en otras secciones de la
planta, pudiendonos dar un beneficio económico
adicional.

APENDICE No. 1:

MANUFACTURA DE DETERGENTES

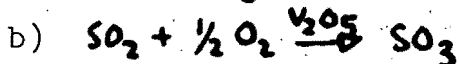
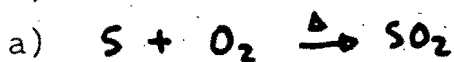
Los jabones y detergentes son compuestos que tienen dos componentes: una parte hidrofóbica, que consta de grupos de hidrocarburos grandes que son solubles en -- grasas y aceites y, una parte hidrofílica, que contiene uno o más grupos polares.

El uso de jabones y detergentes para limpiar y desmanchar objetos o ropa depende de su habilidad para formar emulsiones con materiales que sean solubles en grasas.

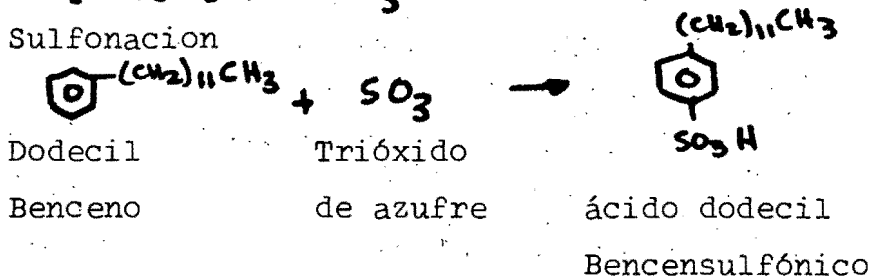
La principal ventaja de los detergentes sobre los -- jabones convencionales es que, no producen granos insolubles, aún en el caso que se utilicen aguas duras.

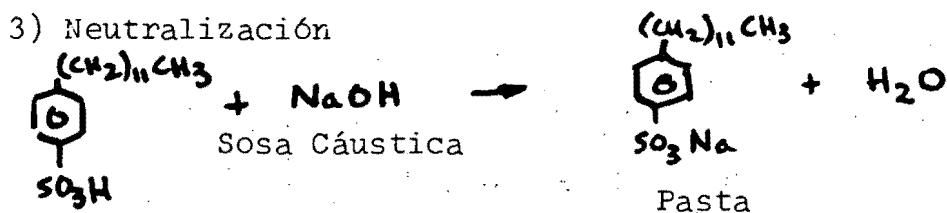
El ácido dodecil bencen sulfónico es el punto de partida de la manufactura de detergentes en polvo. Este se forma al hacer reaccionar el dodecil benceno con el trióxido de azufre y luego se neutraliza con sosa cáustica para formar la sal, que se conoce como pasta. A continuación se muestran las reacciones químicas involucradas:

1) Formación del trióxido de azufre:



2) Sulfonación





Los equipos necesarios para efectura tales reacciones se pueden apreciar en la figura A1.1.

La pasta se combina con otros productos, entre otros colorantes, fortificadores y, agentes que impiden la redeposición, formándose una mezcla de detergente líquido caliente que pasa a las torres de secado por espreas, para ser secada y depositarse en el fondo de dichas torres el detergente en polvo. Esto se logra al poner en contra corriente la mezcla con aire caliente (ver la figura A1.2)

SISTEMA DE CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES

Del domo de las torres sale una corriente de aire - compuesta por vapor de agua, aire caliente y, partículas líquidas y sólidas de tipo aceitoso conocidas como aceite libre. Estas partículas, de las cuales se desconoce su composición y comportamiento químico, debido a la cantidad de sustancias empleadas en la producción de detergentes en polvo, se forman cuando la mezcla de detergente líquido caliente se seca. Estas partículas provocan un serio problema de contaminación atmosférica, ya que, al salir del domo de las torres de secado, están en forma de emisiones de partículas contaminantes. Para solucionar el problema, la planta productora de detergentes instaló un sistema de control de emisiones a la atmósfera que se muestra en la figura A1.3,

él cual solucionó el problema de contaminación atmosférica.

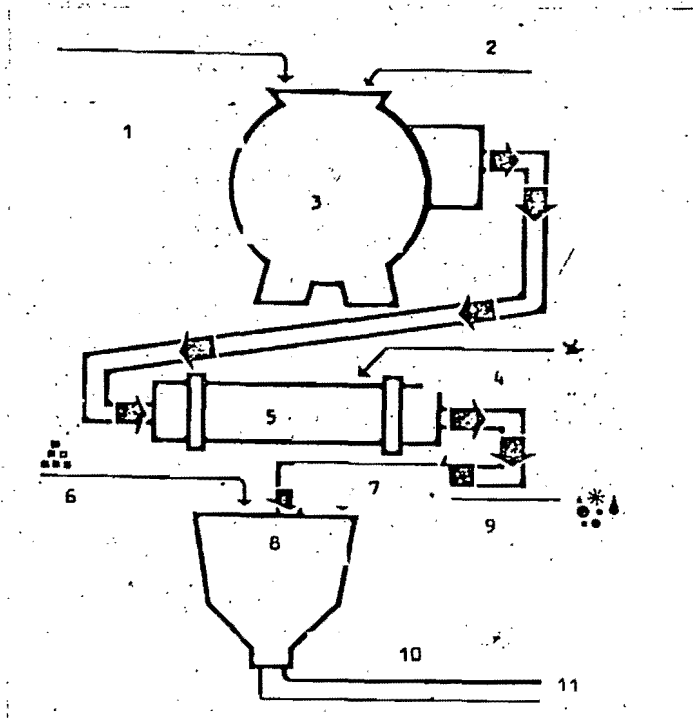


Fig. A1.1

Elaboración de la mezcla de detergente para la formación de gránulos, tabletas o detergentes en forma líquida.

En donde:

1. Substancias orgánicas intermedias.
2. Agente sulfonante.
3. Reacciones químicas de sulfonación o sulfatación .
4. Agente neutralizante.
5. Neutralización.
6. Fortificadores.
7. Pasta surfactante.
8. Mezclador.
9. Otros ingredientes.
10. Mezcla de detergente para la formación de granulos, tabletas ó productos líquidos.
11. A la torre de secado por espreas.

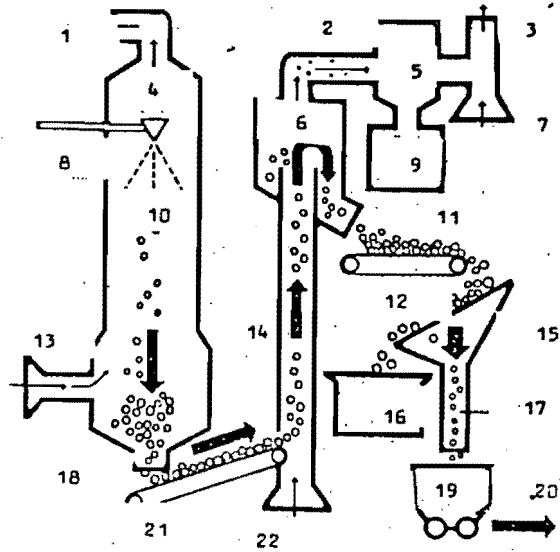


Fig. A1.2

Secado y Empaque de detergentes en polvo.

En donde:

1. Salida de aire caliente.
2. Aire acarreado partículas finas.
3. Salida de aire.
4. Torre de secado por espreas.
5. Filtro.
6. Separador.
7. Ventilador.
8. Mezcla líquida de detergente caliente.
9. Colector de partículas finas.
10. Espreado caliente.
11. Granulos
12. Banda de transporte.
13. Entrada de aire caliente.
14. Elevador de aire.
15. Malla.
16. Colector de partículas gruesas.
17. Granulos de detergente.
18. Granulos.
19. Carro transportador.
20. A empackado.
21. Banda de transporte.
22. Entrada de aire.

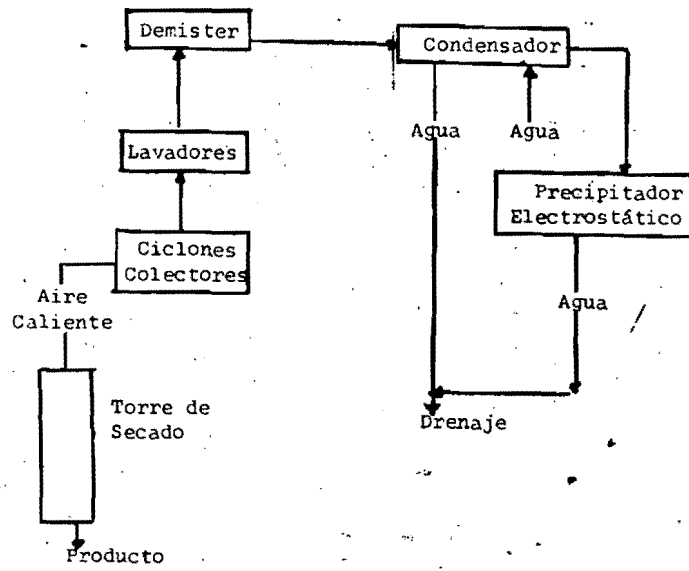


Fig. A1.3. Diagrama de bloques del sistema de control de emisiones contaminantes a la atmósfera.

APENDICE No. 2

DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS PRESUNTATIVAS

a) Filtración con precapa de flóculos.

1. Filtración con precapa de hidróxido de aluminio.

Procedimiento:

1. Se prepara el equipo de vacío al conectarse un matraz kitazato con su embudo Büchner a una bomba de vacío. Dentro del embudo Büchner se coloca un papel filtro Whatman procurando que éste esté húmedo durante la realización de la prueba.
2. Se prepara una solución madre de sulfato de aluminio. Esto se logra con 5 g de sulfato de aluminio que se mezclan con 100 ml de agua de la llave.
3. De la solución madre se toman 5 ml y se diluyen en 100 ml de agua de la llave. Esta solución es la que se va a emplear para la formación del gel de hidróxido de aluminio.
4. El siguiente paso es la preparación de una lechada de cal. Esto se hace con 10 g de cal y agua de la llave.
5. Para la formación del gel de hidróxido de aluminio es necesario neutralizar la solución de sulfato de aluminio. Esto se logra agregando a tal solución, gota a gota, la lechada de cal. Para asegurarse que hay neutralidad, se utiliza un potenciómetro.

6. Una vez neutralizada la solución de sulfato de aluminio y formado el gel de hidróxido de aluminio, éste, se vacía en el embudo Büchner y se aplica vacío. De esta manera tenemos la formación de la precapa de hidróxido de aluminio.
7. Se pasa una cierta cantidad de líquido hasta que se note que la filtración se hace muy lenta.
8. Se mide el tiempo de carrera de filtración.

2. Filtración con precapa de Dicalite.

Procedimiento:

1. Se prepara el equipo de vacío como se explicó anteriormente.
2. Se mezcla un poco de Dicalite con agua de la llave, preparándose una suspensión.
3. Se vacía en el embudo Büchner, la suspensión previamente preparada, formándose la precapa al aplicarse vacío.
4. Se repiten los pasos 7 y 8 de la prueba anterior.

El material necesario para elaborar las primeras dos pruebas es:

1. Embudo Büchner, Papel Filtro Whatman; 1 espátula; 1 Potenciómetro; 1 Goteador; 1 Probeta de 100 ml; 1 Cronómetro; 1 Agitador de vidrio; 1 Matraz kitazato de 2 L; 1 Pizeta; 1 Pipeta de 10 ml; 2 Vasos precipitado de 250 ml; 1 Vaso precipitado de 100 ml; 1 Bomba de vacío.

Los reactivos requeridos son:

Solución buffer; Sulfato de aluminio grade industrial; Dicalite; cal viva.

Las filtraciones con precapa son:

3. Carbón activado grueso y fino.
4. Estopa.
5. Algodón.
6. Espuma de uretano.

No necesitan la preparación de reactivos químicos. Simplemente se coloca el material que va a servir como precapa en el embudo Büchner o se pasa una solución como en el caso de carbón activado y se hace vacío. Se repiten los pasos 7 y 8 de la primera prueba.

Material necesario:

Equipo para hacer vacío y material que se va a utilizar como precapa.

7. Filtración con precapa de Asbesto.

Procedimiento:

1. Se prepara el equipo necesario para soportar un crisol Gooch y se conecta el equipo a una bomba de vacío. El crisol deberá tener una porción de asbesto que sirva como precapa.
2. Se repiten los pasos 7 y 8 de la primera prueba. Para este procedimiento se necesita 1 crisol Gooch con tapón de asbesto y, su soporte correspondiente; además del equipo descrito anteriormente para otras filtraciones.

b) Flotación

1. Flotación sin agente coagulante.

Procedimiento:

1. Llenar parcialmente el cilindro graduado, con agua residual aceitosa. Se pasa ésta a la cámara de presión del sistema de flotación experimental.
2. Se introduce aire comprimido a dicha cámara. La presión del aire debe estar entre 40 y 60 psig (275.8 KPa y 413.7 KPa).
3. Una vez que tengamos la mezcla aire-líquido, el sistema de flotación se agita por espacio de 1 minuto manteniéndose una presión constante no menor a 40 psig. (275.8 KPa).
4. Los pasos anteriores implicarán la presurización del sistema. Un volúmen de muestra de agua residual aceitosa se mezcla con un volúmen determinado de agua residual aceitosa previamente presurizada como se explicó anteriormente. Los volúmenes están en función del tamaño del sistema de flotación.
5. Después de 20 minutos se mide el aumento de la interfase y se ve si hubo o no separación.

El material necesario para la operación es el siguiente:

Equipo de flotación de laboratorio y 1 cronómetro.

2. Flotación con agente coagulante.

Procedimiento:

La única diferencia con la prueba anterior es que el agua residual aceitosa presurizada

debe llevar una solución con un coagulante -- adecuado. El coagulante que se utilizó fué el sulfato de aluminio. Debe prepararse una solución de éste como se explicó anteriormente. El material necesario es el mismo de la prueba anterior.

Los reactivos son los mismos para la preparación de una solución de sulfato de aluminio - descrita con anterioridad.

C) Centrifugación

Procedimiento:

1. Si se desea realizar las pruebas a varias temperaturas, será necesario elevar la temperatura del agua residual aceitosa o enfriarla, según sea el caso. Habiéndose realizado cualquiera de estas operaciones, simplemente se llenan los tubos de la centrifuga de laboratorio que se vaya a emplear.
2. Se centrifuga a un tiempo determinado. Por ejemplo 5 minutos y se observa si hay o no separación.

El material requerido es:

Una centrifuga de laboratorio con sus tubos correspondientes y el material requerido para realizar un Baño María.

APENDICE No. 3:

CALCULOS ESTADISTICOS

A3. 1 CALCULOS ESTADISTICOS DEL ANALISIS DE VARIANCIA

Tenemos que:

$$a = 5$$

$$b = 2$$

$$N = a \times b = 10$$

$$Y_i^2 = 94,729.821$$

$$Y_{.j}^2 = 237,109.71$$

$$Y_{..}^2 = 471,227.33$$

$$\frac{Y_{..}^2}{N} = 47,122.733$$

La doble suma de cuadrados $\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2$ es

igual a 47,799.583, por lo que:

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - Y_{..}^2/N$$

$$SS_T = 47,799.583 - 47,122.733$$

$$SS_T = 676.85$$

$$SS_{Tr} = \sum y_i^2/b - Y_{..}^2/N$$

$$SS_{Tr} = 94,729.821/2 - 47,122.733$$

$$SS_{Tr} = 242.18$$

$$SS_{B1} = \sum y_{ij}^2/a - Y_{..}^2/N$$

$$SS_{B1} = 237,109.71/5 - 47,122.733$$

$$SS_{B1} = 299.21$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Tr}$$

$$SS_E = 676.85 - 242.18$$

$$SS_E = 135.46$$

$$MS_{Tr} = SS_{Tr} / a - 1$$

$$MS_{Tr} = 242.18 / 4 = 60.55$$

$$MS_{B1} = SS_{B1} / b - 1$$

$$MS_{B1} = 299.21 / 1 = 299.21$$

$$MS_E = SS_E / (a - 1) (b - 1)$$

$$MS_E = 135.46 / (4) (1) = 33.87$$

$$F_0 = MS_{Tr} / MS_E$$

$$F_0 = 60.55 / 33.87 = 1.7877$$

$$F_1 = MS_{B1} / MS_E$$

$$F_1 = 299.21 / 33.87 = 8.8340$$

A3.2 CALCULOS ESTADISTICOS DE LA PRUEBA DE

BARTLETT

$$S_i^2 = \frac{1}{n-1} \sum_i^2 (y_i - \bar{y})^2$$

como $n=2$

$$S_i^2 = \sum_i^2 (y_i - \bar{y})^2 \quad \text{donde } i=1, 2, \dots, 5$$

$$i = 1 \quad \bar{y} = 75.46$$

$$S_i^2 = (72.95 - 75.46)^2 + (77.97 - 75.46)^2$$

$$S_i^2 = 12.6$$

$$\text{Log } S_i^2 = 1.100$$

$$i = 2 \quad \bar{y} = 74.29$$

$$S_2^2 = (71.7 - 74.29)^2 + (76.88 - 74.29)^2$$

$$S_2^2 = 13.146 \quad \log S_2^2 = 1.127$$

$$i=3$$

$$\bar{y} = 66.14$$

$$S_3^2 = (61.23 - 66.14)^2 + (71.05 - 66.14)^2$$

$$S_3^2 = 48.216$$

$$\log S_3^2 = 1.683$$

$$i=4 \quad \bar{y} = 66.065$$

$$S_4^2 = (55.75 - 66.065)^2 + (76.38 - 66.065)^2$$

$$S_4^2 = 271.798$$

$$\log S_4^2 = 2.328$$

$$i=5 \quad \bar{y} = 61.275$$

$$S_5^2 = (54.25 - 61.275)^2 + (68.3 - 61.275)^2$$

$$S_5^2 = 98.701$$

$$\log S_5^2 = 1.994$$

$$\sum_{i=1}^a (n_i - 1) S_i^2 = \sum_{i=1}^5 S_i^2 = 385.731 \text{ dado que } n_i = 2$$

$$S_p^2 = 385.731/5 = 77.146$$

$$(N-a) \log_{10} S_p^2 = (5) \log_{10} (77.146) = 9.436$$

$$\sum_{i=1}^a (n_i - 1) \log S_i^2 = \sum_{i=1}^5 \log_{10} S_i^2 = 8.232$$

$$q = 9.436 - 8.232 = 1.204$$

$$c = 1 + 1/3 \cdot (a-1) \left(\sum_{i=1}^a (n_i - 1)^{-1} - (N-a)^{-1} \right)$$

$$c = 1 + \frac{1}{3} (4) \left(\frac{5}{1} - \frac{1}{5} \right) = 1.40$$

$$\chi^2 = \frac{2.3026 - 1.204}{1.4} = 1.98$$

APENDICE No. 4:

MATODO DE DETERMINACION DEL CONTENIDO
DE ACEITE LIBRE

1. Ambito:

Este método es aplicable a sulfonatos alquílicos - arílicos y sulfonatos de alcoholes grasos que contienen alcoholes no sulfonables de bajo punto de fusión. No es aplicable a detergentes que contienen aditivos orgánicos solubles en éter. Este método es empírico y es parte de los métodos de laboratorio utilizados por la planta productora de detergentes.

2. Reactivos requeridos

Eter de petróleo; alcohol neutro y acetona.

3. Procedimiento.

Observación.

El procedimiento habitual empleado por la planta productora se tuvo que alterar por las cantidades tan pequeñas de contenido de aceite. El procedimiento habitual maneja cantidades de 50 ml. de muestra. Se manejaron 200 ml. de muestra.

a) Se toman 200 ml de muestra y se vierten en un cilindro de extracción de 500 ml, anotándose previamente el peso correspondiente a dicha muestra.
(peso de la muestra-1)

b) Se agregan 200 ml de alcohol neutro y se deja el cilindro en reposo para que la muestra logre enfriarse. El problema que se presenta es que la muestra está a una temperatura parecida a la temperatura de ebullición del éter de petróleo.

c) Para poder diferenciar entre las dos fases que se van a formar (agua-alcohol y éter de petróleo aceite) se agregan unas gotas de fenolftaleína y unas gotas de sosa cáustica.

d) Se procede a hacer la extracción agregándose 50 ml de éter de petróleo. Después de ser agregado el éter, se tapa el cilindro y se agita vigorosamente. Si se nota que no hay una formación "clara" de las dos fases se puede agregar un poco de cloruro de sodio.

e) Se sifonea la fase orgánica a un matraz Erlenmeyer de 250 ml, previamente puesto a peso constante. Se debe tener cuidado de no sifonear nada de la fase inorgánica.

f) Se repiten los pasos (d) y (e) hasta que se hayan realizado 5 extracciones.

g) El matraz Erlenmeyer con la fase orgánica se lleva a baño María para que se evapore el medio extractor y quede únicamente el contenido de aceite.

h) Se deja enfriar el matraz colocándose en un desecador y luego se pesa.

4. Calculos

Al peso encontrado en el inciso (h) se le resta el peso del matraz Erlenmeyer del inciso (e). La diferencia nos da el peso del residuo. Este peso multiplicado por 100 y dividido entre el peso de la muestra-1 nos da el porcentaje del contenido de aceite libre de la muestra en cuestión.

A5. 1 Introducción

Para pasar las cantidades a valor presente se requirieron dos fórmulas económicas.

$$PA_{i-n} = (1+i)^{n-1} / (1+i)^{ni} \quad (A5.1) \quad (31)$$

en donde PA_{i-n} es valor presente a partir de pagos o - entradas periódicas, iguales a una tasa de interes, i , durante n períodos.

$$PF_{i-n} = 1 / (1+i)^n \quad (A5.2) \quad (32)$$

en donde PF_{i-n} es un factor de cantidad presente a partir de un valor futuro o de una cantidad acumulada -- previamente, que se quiera pasar a valor presente. Durante el desarrollo de la evaluación económica, se requirió muchas veces la incorporación de ambos factores, pudiendo ser el caso, por ejemplo, de una cantidad semestral al 18 meses de distancia del comienzo del proyecto. La cantidad semestral se vió afectada por PA_{i-6} , acumulándose primero las 6 cantidades iguales correspondientes a los seis meses, y, luego, para pasar la cantidad original, la volvemos a afectar usando PF_{i-12} -- que nos pasa la cantidad al comienzo del proyecto, por lo que la cantidad queda transformada por el factor -- $(PA_{i-6}) (PF_{i-12})$.

A continuación presentaremos el cálculo de los distintos rubros para los 3 años de duración del proyecto.

(31) Ref. 3 p. 170

(32) Ibid. p. 169

A5.2 Calculo de los distintos rubros involucrados en la evaluación económica

A5.2.1. Las inversiones totales están reportadas en la tabla 6.1 tanto para una máquina centrífuga como para la otra.

A5.2.2 Depreciación

A5.2.2.1 Para la máquina de 5,500 L/h :

AÑO 1: 692,070 (PF_{i-12})

AÑO 2: AÑO 1 + 692,070 (PF_{i-24})

AÑO 3: AÑO 2 + 692,070 (PF_{i-36})

A5.2.2.2 Para la máquina de 10,500 L/h :

AÑO 1: 1,112,740 (PF_{i-12})

AÑO 2: AÑO 1 + 1,112,740 (PF_{i-24})

AÑO 3: AÑO 2 + 1,112,740 (PF_{i-36})

A5.2.2.3 Valor en libros

A5.2.3.1 Para la máquina de 5,500 L/h de los valores de la tabla 6.2

AÑO 1: 6,228,630 (PF_{i-12})

AÑO 2: 5,536,560 (PF_{i-24})

AÑO 3: 4,844,490 (PF_{i-36})

A5.2.3.2 Para la máquina de 10,500 L/h y usando los valores de la tabla 6.2

AÑO 1: 10,014,660 (PF_{i-12})

AÑO 2: 8,901,920 (PF_{i-24})

AÑO 3: 7,789,180 (PF_{i-36})

A5.2.4 Ahorro en el consumo de agua

Para este rubro usaremos los valores de las tablas 6.4 y 6.5

A5.2.4.1 Para la máquina centrífuga de 5,500 L/h usaremos los valores de la tabla 6.4:

$$\text{AÑO 1: } 213,840 (PA_{i-2}) + 267,300 (PA_{i-4}) \\ (PF_{i-2}) + 334,224 (PA_{i-6}) (PF_{i-6})$$

$$\text{AÑO 2: } \text{AÑO 1} + 417,780 (PA_{i-6}) (PF_{i-12}) + \\ + 522,324 (PA_{i-6}) (PF_{i-18})$$

$$\text{AÑO 3: } \text{AÑO 2} + 652,608 (PA_{i-6}) (PF_{i-24}) + \\ + 815,760 (PA_{i-6}) (PF_{i-30})$$

A5.2.4.2 Para la máquina de 10,500 L/h usaremos los valores de la tabla 6.5

$$\text{AÑO 1: } 408,240 (PA_{i-2}) + 510,300 (PA_{i-14}) \\ (PF_{i-2}) + 638,064 (PA_{i-6}) (PF_{i-6})$$

$$\text{AÑO 2: } \text{AÑO 1} + 797,580 (PA_{i-6}) (PF_{i-12}) + \\ + 997,164 (PA_{i-6}) (PF_{i-48})$$

$$\text{AÑO 3: } \text{AÑO 2} + 1,254,888 (PA_{i-6}) (PF_{i-24}) + \\ + 1,557,360 (PA_{i-6}) (PF_{i-30})$$

A5.2.5 Costos de Operación y Mantenimiento:

Estos son iguales para las dos máquinas centrífugas y se usó los valores de la tabla 6.7

$$\text{AÑO 1: } 28,125 (PA_{i-6}) + 33,750 (PA_{i-6}) (PF_{i-6})$$

$$\text{AÑO 2: } \text{AÑO 1} + 40,500 (PA_{i-6}) (PF_{i-12}) + \\ + 69,984 (PA_{i-6}) (PF_{i-30})$$



DEPTO. DE INVESTIGACION Y DESARROLLO

$$\begin{aligned} \text{AÑO 3: AÑO 2:} &+ 58,320 (PA_{i-6}) (PF_{i-24}) + \\ &+ 69,984 (PA_{i-6}) (PF_{i-30}) \end{aligned}$$

A.5.2.6 Pago por Consumo de Agua

Para este rubro se usaron los valores de la tabla 6.6

$$\begin{aligned} \text{AÑO 1:} &497,310 (PA_{i-2}) + 621,638 (PA_{i-4}) \\ &(PF_{i-2}) + 777,278 (PA_{i-6}) (PF_{i-6}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{AÑO 2: AÑO 1} &+ 971,597 (PA_{i-6}) (PF_{i-12}) + \\ &+ 1,214,726 (PA_{i-6}) (PF_{i-18}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{AÑO 3: AÑO 2} &+ 1,517,717 (PA_{i-6}) (PF_{i-24}) + \\ &+ 1,897,147 (PA_{i-6}) (PF_{i-30}) \end{aligned}$$

REFERENCIAS:

- (1) MONTGOMERY, Douglas C. Design and analysis of experiments. 2nd. ed. New York Wiley, 1984.
- (2) PERRY, Robert H. and Cecil H. Hilton eds. Chemical engineering handbook 5th. ed. Tokyo : McGraw-Hill Kogakusha, LTD, 1973
- (3) PETERS, Max S. and Klaus D. Timmerhaus Plant Design and Economics for Chemical Engineers Tokyo : McGraw-Hill Kogakusha, LTD, 1968.
- (4) POWELL, Sheppard T. Acondicionamiento de aguas para la industria. México : Limusa, 1981
- (5) PUSHKAREV, V.V... (et.al) Treatment of oil-containing wastewater. New York: Allerton Press, 1983
- (6) TABAKIN, R.B... (et.al). "Oil/water separation technology : the Options available, part 1" En Water and sewage works. Chicago: Water and sewage works, 1978 . v.25, n.7, (Julio, 1978) p.74-78
- (7) Water treatment handbook. Degremont ed. New York: Wiley, 1979
- (8) WEST, James "Disc-bowl centrifuges" En Chemical engineering New York : McGraw-Hill, 1985 v. 92, n.1 (Jan, 1985) p.69-73