

172
2el.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA



“PREPARACION DE UNA EMULSION DE
COMBUSTOLEO EN AGUA PARA LA ELIMINACION
DE AZUFRE EN COMBUSTOLEO POR VIA BIOLOGICA”.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

EDMUNDO RACIEL ZAMORA RAVELO

MEXICO, D. F.

1997.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO :

Presidente	Prof. López Torres Arturo
Vocal	Prof. Castro Acuña Carlos Mauricio
Secretario	Prof. Torres Bustillos Luis Gilberto
1er. suplente	Prof. García Charreton Alma Rosa
2do. Suplente	Prof. Torres Barrera Rodolfo

Síto donde se desarrolló la tesis : Instituto de Ingeniería, Edificio 5, Departamento de Ingeniería Ambiental

ASESOR


M. en C. Luis Gilberto Torres B.

SUSTENTANTE


Edmundo R. Zamora Ravelo

A DIOS

Por permitirme llevar una vida plena y por concederme el honor de contar con una familia excelente, gracias Dios por iluminarme en el camino de la verdad, de la enseñanza y de la lealtad.

A MI MAMÁ

Por haberme enseñado que hay mucho por que luchar en la vida y que la felicidad se puede alcanzar haciendo las cosas con amor, gracias por mostrarme que las cosas que realmente valen la pena son las que cuestan más trabajo pero las que más se disfrutan y perduran dentro del corazón.
Gracias por guiarme por el camino de la verdad y la sencillez, la constancia y el esfuerzo, por ello te dedico hoy éste "nuestro logro".

A MIS HERMANOS

De quienes han sido suyas mis vivencias, gracias por su cariño y apoyo incondicional, por su paciencia y comprensión que desde siempre me han brindado, espero que nuestro pasado y presente nos mantenga siempre unidos como hasta ahora.

A MI NOVIA

Por tu confianza y comprensión, por darme tu tiempo, y por mostrarme siempre una sonrisa en los tiempos difíciles, gracias por brindarme tu amor incondicional.

A MIS AMIGOS

Por ser más que mis amigos, por haber compartido momentos que siempre estarán presentes; gracias por creer en mí, por su apoyo, sus consejos y por enseñarme el verdadero significado de la amistad.

El amor expresado en acciones de gentileza, comprensión y apoyo resulta ser, el arma que bate todo obstáculo o barrera, el cimiento para lograr un propósito y el muro para sostenerlo.

Agradecimientos

A LA DRA. BLANCA JIMENEZ

Por darme la oportunidad de pertenecer a su excelente equipo de trabajo, y por las facilidades brindadas en el Instituto de Ingeniería, Coordinación de Ingeniería Ambiental.

AL M. En C. LUIS GILBERTO TORRES B.

Por su amistad, tiempo, asesoría y valiosa colaboración para la realización de esta tesis.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Por su noble labor que enaltece y llena de orgullo a la patria.

A LA FACULTAD DE QUÍMICA

Por habernos permitido tener una formación profesional de la que todos estamos orgullosos.

AL INSTITUTO DE INGENIERÍA , COORDINACION AMBIENTAL

Por las facilidades y el uso de sus instalaciones.

Gracias a todos aquellos que intervinieron en la realización de este trabajo.

INDICE GENERAL

RESUMEN	1
INTRODUCCION	3
CAPÍTULO 1	
ANTECEDENTES	5
1.1 Proceso biológico	
1.2 Emulsiones	8
1.2.1 Concepto	8
1.2.2 Terminología de emulsiones	9
1.2.3 Clasificación de las emulsiones	11
1.3 Tipos de combustóleo	12
1.4 Emulsificantes	13
1.4.1 Eficacia del emulsificante	14
1.4.2 El método HLB	17
1.5 Mezclado	18
1.5.1 Números adimensionales en mezclado	
1.6 Tipos de impulsores	20
OBJETIVOS	24
CAPITULO 2	
MATERIALES Y MÉTODOS	25
2.1 Materiales	25
2.1.1 Lista de Material	25
2.1.2 Reactivos	26
2.1.3 Lista de Equipo	27

2.2 Métodos y Técnicas	28
2.2.1 Preparación de Medios	28
2.2.2 Preparación de la emulsión	29
2.2.2.1 Caracterización del diesel y el combustóleo	30
2.2.3 Medición de Potencia y números adimensionales	33
2.2.4 Medición de la conductividad eléctrica	33
2.2.5 Medición de la Viscosidad	34
2.2.5.1 Índices reológicos y viscosidad aparente	34
2.2.6 Esterilización de las emulsiones	36
2.2.7 Pruebas de estabilidad de emulsiones	37
2.2.8 Pruebas de repetibilidad en la preparación de las emulsiones	38

CAPITULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Elección del sistema adecuado para la preparación de la emulsión, así como las condiciones de operación adecuadas	39
3.1.1 Determinación de la velocidad adecuada	39
3.1.2 Selección del mejor emulsificante	40
3.1.2.1 Determinación de la mejor concentración de emulsificante a emplear	40
3.1.2.2 Parámetros utilizados en la selección del emulsificante	43
3.1.2.3 Determinación de la tensión superficial de las soluciones de emulsificantes comerciales	45
3.1.3 Efecto del uso de los deflectores en la preparación de las emulsiones.	45
3.1.4 Pruebas con diferentes relaciones de combustóleo/agua en la preparación de emulsiones	47
3.2. Estabilidad de las emulsiones a diferentes temperaturas	48
3.2.1 Relación de viscosidades y estabilidad de las emulsiones	48
3.2.2 Relación de conductividades y estabilidad de las emulsiones	48
3.2.3 Observación visual y estabilidad de las emulsiones	51
3.3 Esterilización de las Emulsiones	51
3.4 Efecto de la salinidad en la preparación de emulsiones	55
3.4.1 Relación entre la salinidad y la conductividad de las soluciones utilizadas	55
3.4.2 Efecto de la salinidad en la conductividad de las emulsiones	55
3.4.3 Efecto de la salinidad en la relación de viscosidades	57
3.4.4 Efecto de la salinidad en la apariencia física de las emulsiones (Observación Visual)	57
3.5 Elección del tipo de impulsor adecuado	57
3.5.1 Potencia requerida para la preparación de emulsiones, empleando 3 configuraciones diferentes de impulsores	57
3.5.1.1 Consumo de potencia en la preparación de emulsiones con/sin deflectores	61
3.5.2 Reproducibilidad del Proceso	61
3.5.3 Determinación del consumo de potencia para crear emulsiones utilizando 3 configuraciones distintas de impulsores.	61
3.5.3.1 Influencia del diámetro del impulsor en el consumo de potencia (Po)	65
3.5.3.2 Constantes reológicas apartir del Po	72
3.5.4 Relación entre la potencia consumida y el Re	73
3.5.5 Energía total consumida en la preparación de las emulsiones.	73
3.5.6 Capacidad de bombeo para las emulsiones preparadas.	73

3.6 Otras variables importantes en la preparación de las emulsiones	76
3.6.1 Pruebas con o sin estabilizante	76
3.6.2 Pruebas con medio B	79
3.6.2.1 Diferencias con las pruebas convencionales	79
3.6.2.2 Efectos producidos en cuanto a consumo de potencia	80
3.6.2.3 Esterilización de las emulsiones	80
3.6.2.4 Pruebas con agua	80
CAPITULO 4	
CONCLUSIONES	85
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	87
APENDICE A	
MEDICION DE LA TENSION SUPERFICIAL	90
APENDICE B	
CALCULOS EFECTUADOS CON EL IMPULSOR PROPELA MARINA OPERANDO A 5 DIFERENTES VELOCIDADES	93
CALCULOS EFECTUADOS CON EL IMPULSOR TURBINA RUSHTON OPERANDO A 5 DIFERENTES VELOCIDADES	98
CALCULOS EFECTUADOS CON EL IMPULSOR TURBINA LIGHTNIN OPERANDO A 5 DIFERENTES VELOCIDADES	103
APENDICE C	
PRUEBA CON DEFLECTORES (P.M., 1350 RPM)	109
PRUEBA SIN DEFLECTORES (P.M., 1350 RPM)	110
PRUEBAS CON ESTABILIZANTE	111
PRUEBA CON MEDIO B	113

INDICE DE FIGURAS

Fig 1.1 Diagrama de flujo de proceso de la biodesulfuración del combustóleo	7
Fig 1.2 Patrones de flujo	20
Fig 1.3 Impulsores mas comunmente usados	22
Fig 1.4 Consumo de potencia de varios impulsores	23
Fig 2.1 Características de los impulsores empleados	27
Fig 2.2 Vaso de precipitados con los impulsores colocados	32
Fig 3.1 RPM vs. observación visual	41
Fig 3.2 Concentración de emulsificante vs. Observación visual	42
Fig 3.3 HLB vs. Rel viscosidades, conductividades y observación visual	46
Fig 3.4 HLB vs. Tensión superficial	49
Fig 3.5 Volúmen de combustóleo vs. Relación de conductividades viscosidades y observación visual	50
Fig 3.6 Tiempo de estabilidad vs. relación de viscosidades	52
Fig 3.7 Tiempo de estabilidad vs. relación de conductividades	53
Fig 3.8 Tiempo de estabilidad vs. Observación visual	54
Fig 3.9 Molaridad de Kcl vs. Conductividad	56
Fig 3.10 Molaridad de la solución vs. Relación de conductividades viscosidades y observación visual	58
Fig 3.11 Tiempo de preparación vs. potencia para distintos impulsores	59
Fig 3.12 Tiempo vs. Po para distintos impulsores	60
Fig 3.13 Tiempo vs. Potencia con/sin deflectores	62
Fig 3.14 Tiempo vs. Po (Prueba con/sin deflectores)	63
Fig.3.15 Tiempo vs. Potencia pruebas de repetibilidad	64
Fig 3.16 Tiempo vs. Potencia Propela Marina	65
Fig 3.17 Tiempo vs. Potencia Turbina Rushton	66
Fig 3.18 Tiempo vs. Potencia Turbina Lightnin	67
Fig 3.19 Tiempo vs. Po Propela Marina	68
Fig 3.20 Tiempo vs. Po Turbina Rushton	69
Fig 3.21 Tiempo vs. Po turbina Lightnin	71
Fig 3.22 Re vs. Po para distintos impulsores	74
Fig 3.23 Energía total vs. Observación visual	75
Fig 3.24 Capacidad de bombeo vs. Observación Visual	77
Fig 3.25 Tiempo vs. Po para distintas concentraciones de estabilizante en las emulsiones	78
Fig 3.26 Tiempo vs. Po con/sin medio salino como fase continua	81
Fig 3.27 Tiempo vs. Potencia consumida Propela Marina	82
Fig 3.28 Tiempo vs. Potencia consumida Turbina Rushton	83
Fig 3.29 Tiempo vs. Potencia consumida Turbina Lightnin	84

INDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1.1 Principales usos de algunos emulsificantes comerciales	15
Tabla 1.2 Características de algunos emulsificantes comerciales	16
Tabla 1.3 Funciones de los emulsificantes por su HLB	17
Tabla 2.1 Resultados del análisis de una muestra de combustóleo proveniente de la Refinería de Tula, Hidalgo	31
Tabla 2.2 Resultados del análisis de una muestra de diesel proveniente de una gasolinera de la Cd. de México, D.F.	32
Tabla 3.1 Costos unitarios de algunos emulsificantes comerciales, cortesía de Canamex, S.A.	40
Tabla 3.2 Factores que se analizaron para distintos emulsificantes a una misma concentración	44
Tabla 3.3 Tensión superficial de los emulsificantes empleados	45
Tabla 3.4 Constantes reológicas obtenidas para la Propela Marina	72
Tabla 3.5 Constantes reológicas obtenidas para la Turbina Rushton	72
Tabla 3.6 Constantes reológicas obtenidas para la Turbina Lightnin	72
Tabla 3.7 Capacidades de bombeo (L/min) para distintos impulsores	76
Tabla 3.8 Características reológicas de las emulsiones preparadas utilizando distintas concentraciones de goma algarrobo (estabilizante)	76
Tabla 3.9 Características reológicas obtenidas utilizando Medio B como fase continua	79

RESUMEN

En el presente trabajo se estudia la factibilidad de la preparación de emulsiones de combustible en agua para su desulfuración por vía biológica, la cuál incluye la selección del tipo y concentración de emulsificante empleado para tal propósito, así como la velocidad óptima de agitación, el efecto de los deflectores, el tipo de impulsor empleado, el efecto de la salinidad y la estabilidad de las emulsiones a diferentes temperaturas.

Para tal efecto se probaron 16 emulsificantes comerciales, con valores de HLB (Balance Hidrofílo-Lipófilo) entre 1.8 y 18.1, destacándose el tween 20, el crisanol 900 y el canasol sc 3070. De éstos se utilizó el emulsificante tween 20 en la mayoría de las pruebas realizadas debido a que ayudó a la formación de muy buenas emulsiones, además de que presenta una mayor facilidad en su adquisición y manejo.

Para encontrar la velocidad de agitación óptima para la formación de las emulsiones, se probaron las siguientes velocidades: 950, 1150, 1350, 1550 y 1750 rpm, se obtuvieron mejores resultados cuando se operó a una velocidad de 1350 rpm, produciendo muy buenas emulsiones.

Se estudiaron tres diferentes configuraciones de impulsores, preparando 1000 mL de cada emulsión en vasos de precipitados de 2000 mL con deflectores para asegurar una mejor agitación del sistema. Los impulsores utilizados fueron la propela marina, turbina Rushton y el impulsor Ligthnin A-310; con una relación (Diámetro del impulsor / diámetro del tanque agitado) $D/T = 0.55$ para la propela marina, una $D/T = 0.51$ para el impulsor Ligthnin A-310 y una $D/T = 0.4$ para la turbina Rushton.

Las emulsiones fueron preparadas en la mayor parte de los casos en agua destilada, salvo cuando se emplearon los medios salinos Postgate B ó API.

Adicionalmente, se estudió la estabilidad de las emulsiones a diferentes temperaturas (10, 20 y 35°C), manteniéndose estables hasta por 90 horas a temperatura ambiente y 35 ° C, y hasta por 48 horas a temperatura de 10 °C.

La presencia de los deflectores tuvo un efecto muy importante sobre el consumo de potencia en la preparación de las emulsiones (cuadruplicando la potencia en la preparación de las emulsiones).

En cuanto al consumo de potencia, los impulsores que permitieron preparar emulsiones excelentes a los más bajos consumos de potencia son la turbina Rushton (a 1350 rpm) y la propela marina (1150 y 1350 rpm). Finalmente el impulsor Lightnin A-310 a 1350 rpm y la turbina Rushton trabajando a 950 rpm, lograron buenas emulsiones.

INTRODUCCION

El combustóleo producido en nuestro país está constituido principalmente por carbón (84 a 87%), hidrógeno (10 a 14%), oxígeno y nitrógeno (2.6%), azufre (2.5 a 4%) y pequeñas cantidades de metales como vanadio, níquel y sodio (partes por millón).

De una manera general, su poder calorífico por unidad de peso disminuye con el aumento de su densidad, mientras que, en razón de su precio en volumen, el costo unitario de la energía que proporciona disminuye con el cambio.

El combustóleo se obtiene como subproducto de la refinación del petróleo y la evolución histórica de su rendimiento, en Petróleos Mexicanos, muestra una disminución consistente, pasando de aproximadamente 60% en 1940 a 35% en la actualidad.

Las ventajas y desventajas del uso del combustóleo se derivan de sus características, composición y precio, con relación a otros productos.

Así, podemos decir que es más fácil de manejar y transportar que el carbón y mucho más difícil que el gas y otros hidrocarburos menos viscosos. Lo mismo ocurre con el control de la combustión y su contenido de componentes químicos desfavorables, motivos ambos que dan lugar a niveles indeseables de contaminación atmosférica.

Por otra parte, los escurrimientos no controlados, la contaminación del suelo y el agua durante su manejo y el contenido de metales como el vanadio y el sodio, que causan serios problemas de corrosión en los calentadores, resultan ser desventajas comparativas en relación al gas natural.

Otra fuerte desventaja es su alto costo de transporte por ducto e inclusive la imposibilidad práctica de transportarlo, por este medio, a largas distancias, por lo que generalmente se aconseja transportarlo por rueda o por barco.

Por lo anterior, podemos decir que la viscosidad y su composición son las causas que dan origen a sus desventajas y su costo el principal móvil de su uso.

La dificultad en el transporte y su participación en la demanda, han dado lugar a que los principales centros productores y el consumidor más importante, la C.F.E., sean vecinos desde el punto de vista geográfico, razón por la cual el 64% del combustóleo se consume en los lugares donde se produce, con los consecuentes problemas de contaminación ambiental.

Debido a estos problemas y a la necesidad de que en un futuro tengamos que procesar mayores cantidades de crudos pesados, lo cual repercutirá en los rendimientos y en la calidad del combustóleo. Aunque el problema de los bajos rendimientos puede solucionarse por medio de la inversión en instalaciones que, en la mayoría de los casos, son muy costosas, para el mejoramiento de la calidad debemos enfocarnos principalmente en la cuestión ambiental, como es nuestro caso, para después enfrentarnos a otros problemas como son el alcanzar una mayor eficiencia energética, así como también una mejor combustión y disminuir los daños producidos en los calentadores por la presencia de vanadio y sodio presentes en el combustóleo.

Gracias a la gran disponibilidad del combustóleo, debido a su alta capacidad calorífica y principalmente a su bajo costo el combustóleo se ha convertido en uno de los principales abastecedores para la generación de energía en nuestro país, pero ésto ha traído consigo un serio problema de contaminación ambiental, ya que el azufre que se encuentra presente cuando el combustóleo es quemado, es liberado a la atmósfera en forma de SO_2 y SO_3 , principalmente.

Debido a éste problema, ha surgido la necesidad de trabajar muy fuerte para tratar de solucionar este problema con métodos ya existentes o probando otras alternativas.

Capítulo 1

ANTECEDENTES

1.1 Proceso biológico

Existe un método químico bastante efectivo para la eliminación del exceso de azufre presente en el combustóleo : la desulfurización catalítica. El problema que presenta este proceso, es que consume una gran cantidad de energía, materia prima y mano de obra.

Una alternativa al proceso de hidrosulfuración catalítica, aplicado ya en algunas refinerías al combustóleo y a otras fracciones del petróleo, es la eliminación por vía biológica. El proceso de biodesulfuración de petróleo o sus derivados, comprende las siguientes etapas:

Etapas I : Preparación de la emulsión

Debido a la alta viscosidad del combustóleo y a la dificultad de su manejo como subproducto directo de la refinación del crudo, se propone manejarlo en forma de emulsión (combustóleo en agua) facilitando así su manejo.

En un tanque agitado se disuelven las sales minerales del medio de cultivo y se adiciona el emulsificante. El combustóleo se agrega caliente, formando un hilo sobre las aspas del agitador. Con agitación energética se prepara la emulsión y se mantiene lista para la etapa III:

Etapas II : Inóculos

Se desarrollan los inóculos de la cepa I anaerobia (utilizando aislados marinos proporcionados por el Instituto de Ciencias del Mar) desde el stock de almacenamiento hasta el tanque semilla. Una vez alcanzada la densidad óptica máxima, se mantiene listo el inóculo para la etapa III:

Etapas III : Desulfuración

Se carga el bio-reactor con la emulsión preparada en I. Se adiciona el inóculo preparado en II. Se lleva a cabo el proceso de bio-desulfuración. El ácido sulfhídrico producido se burbuja en una solución de sulfato férrico.

Etapas IV : Esterilización

Al finalizar el proceso de biodesulfuración, se esteriliza el contenido del reactor con dos fines: destruir los microorganismos y romper la emulsión de combustóleo. La mezcla combustóleo-medio salino-biomasa se drena a un tanque de separación.

Etapa V : Separación del combustóleo

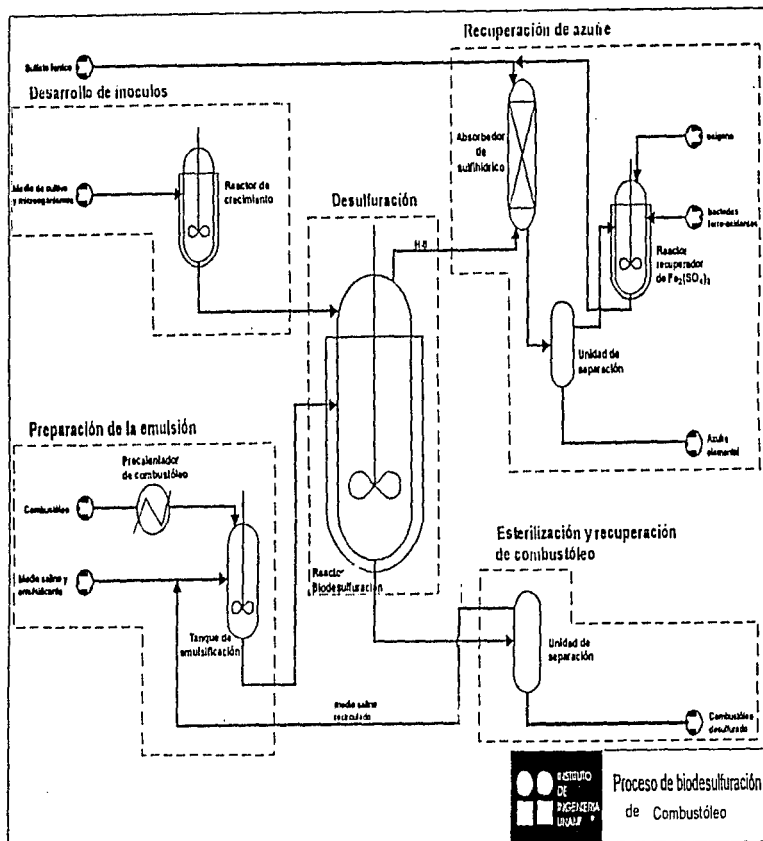
Se recupera el combustóleo y se eleva la temperatura para su mejor manejo. La mezcla de medio salino y detritos celulares se envía a filtración. La solución salina agotada se enriquece con las sales faltantes y se recircula a preparación de emulsiones.

Etapa VI : Recuperación de azufre

El ácido sulfhídrico generado se burbujea en una solución de sulfato férrico. Dicha solución se satura de sulfhídrico y se reduce a sulfato ferroso. La solución agotada se envía a otro bioreactor en donde se adicionan sales minerales y se inocula con una cepa II aerobia (*thiobacillus ferrooxidans*) que transforma el sulfato ferroso a férrico. La solución recuperada se esteriliza y se recircula para burbujear el sulfhídrico generado en la biodesulfuración.

Como se desprende de lo anterior, el primer paso del proceso de desulfuración es la preparación de una emulsión de combustóleo en agua, para la posterior eliminación de azufre en combustóleo por vía biológica. Esto es, el desarrollar una emulsión de combustóleo en agua con la ayuda de uno, ó varios emulsificantes, determinando una serie de características (concentración del emulsificante, caracterización reológica, conductividad eléctrica, apariencia física), así como las condiciones óptimas para obtener una emulsión adecuada (tipo de impulsor, vel. de agitación, temperatura, D/T, etc.), para crear un medio propicio, en el cuál se pueda llevar a cabo la máxima remoción de azufre por vía biológica.

En la figura 1.1 se presenta un diagrama de flujo de proceso de la biodesulfuración de combustóleo.



En los procesos de formación y rompimiento de emulsiones es muy importante considerar, además de las variables que afectan el comportamiento físico-químico del sistema, aquellas relacionadas con sus propiedades desde el punto de vista de la mecánica de los fluidos.

Una de las opciones más promisorias para el transporte no convencional de crudos pesados y extrapesados es el método de emulsificación de crudo en agua (O/W), mediante el cual se logra una disminución de hasta cuatro órdenes de magnitud en la viscosidad del crudo a una temperatura de 25°C.

Para el estudio de emulsiones de crudo en agua es fundamental conocer su formulación, es decir, los parámetros de composición (porcentaje de crudo, salinidad del agua, surfactante, etc.), de los cuales depende el comportamiento físico-químico de los sistemas surfactante-crudo-agua (Salager et al., 1985).

La producción exitosa de emulsiones está relacionada no sólo con la formulación, sino también con la forma de mezclar y agitar los líquidos inmiscibles. Ello se debe a que el tamaño y distribución de las partículas afectan tanto a la estabilidad de la emulsión como sus propiedades reológicas.

1.2 EMULSIONES

1.2.1 Concepto

En una discusión de algunos aspectos de la formulación de emulsiones, (Salager et al., 1983) ha señalado el gran número de definiciones del término "emulsión", y ha ilustrado esto con una serie de definiciones sacadas al azar. Adaptando y extendiendo la lista de Sutherland vale la pena estudiar la siguiente lista de definiciones:

- 1.- Una emulsión es una dispersión muy fina de un líquido en otro con el que es inmiscible.
- 2.- Una emulsión es un sistema que contiene dos fases líquidas, una de las cuales se dispersa en forma de glóbulos en la otra.
- 3.- Las emulsiones son mezclas mecánicas de líquidos que son inmiscibles en condiciones ordinarias, las cuales pueden ser separadas en capas mediante reposo, calentamiento, enfriamiento, por agitación o por adición de otros productos químicos.

4.- Una emulsión es un sistema líquido de dos fases que consiste en dispersiones medianamente groseras de un líquido en otro con el que no es miscible.

5.- Las emulsiones son mezclas íntimas de dos líquidos inmiscibles, uno de ellos se dispersa en el otro en forma de finas gotitas.

6.- ...las emulsiones son líquidos finamente divididos en sustancias semi-sólidas...

7.- Las emulsiones... son gotas visibles al microscopio de un líquido... suspendido en otro.

8.- Las emulsiones son mezclas estables e íntimas de aceite o material oleoso con agua.

9.- Una emulsión... consiste en una dispersión estable de un líquido en otro líquido.

Todas estas definiciones tienen su valor. Sin embargo, llama la atención que sólo dos hacen referencia a la estabilidad (8 y 9), mientras que sólo una hace referencia a la inestabilidad (3), sólo una (7) tiende a limitar el tamaño de la fase dispersa, esto es, si hemos de entender literalmente las palabras de McBain "visibles al microscopio", significan visibles al microscopio óptico. También es sorprendente encontrar que cinco de las definiciones no hacen referencia a la no miscibilidad (2,6,7, 8 y 9). La definición (6) prácticamente no tiene sentido.

Resumiendo, podemos concluir que una emulsión es un sistema heterogéneo, que está formado por lo menos de un líquido inmiscible íntimamente disperso en otro en forma de gotitas, cuyos diámetros, en general, no exceden de 0.1μ . Tal sistema posee una estabilidad mínima, que puede ser acentuada por aditivos tales como productos tensoactivos sólidos finamente divididos.

1.2.2 Terminología de las emulsiones

Al hablar de emulsiones, es necesario poder distinguir claramente cada una de las dos fases presentes. La fase que está presente en forma de gotitas finamente divididas se llama la fase dispersa o interna, la fase que forma la matriz en que se suspenden estas gotas se llama fase continua o externa. La fase dispersa también puede ser conocida como fase discontinua o interna.

La existencia de dos tipos distintos de emulsión fue señalada primeramente por Wo. Ostwald (Ostwald et al., 1983) La distinción consiste en notar qué componente es el continuo y cuál la fase dispersa. Así, tomando el caso clásico de una emulsión de aceite y agua, pueden existir una emulsión aceite en agua (aceite es la fase dispersa) o una emulsión agua en aceite (agua es la fase dispersa). Estos tipos de emulsión se abrevian convenientemente como o/w y w/o, respectivamente. Esta terminología puede aplicarse con frecuencia a emulsiones en las que las fases no son, estrictamente hablando, aceite y/o agua (ejemplo: emulsiones metálicas).

Los agentes tensoactivos u otros agentes que se añaden a una emulsión para aumentar su estabilidad por acción interfacial, son conocidos como agentes emulsificadores o emulsionantes. La estabilidad se aumenta también por la acción de medios mecánicos, como simples agitadores, homogeneizadores o molinos coloidales. A estos tres tipos de equipos se les conoce a menudo genéricamente como "emulsificadores".

Una emulsión es una solución íntima de dos productos insolubles uno dentro de otro, los cuales constituyen dos fases separadas:

- una parte, la fase dispersa o discontinua que puede ser un líquido más o menos viscoso
- la otra parte, la fase dispersante o continua es un líquido

Para hacer una emulsión se necesita:

- una energía de dispersión
- un emulsificante (que facilita la emulsificación ya que baja la tensión interfacial, y estabiliza el producto fijándose en la periferia de los glóbulos dispersos previniendo así la fusión de los glóbulos).

La mayor parte del tiempo se elige como agente emulsificante, uno capaz de llevar a cabo las siguientes funciones:

- un agente hipotenso tenso-activo (capaz de disminuir considerablemente la tensión interfacial para una concentración débil).
- un agente con constitución polar-apolar (de complejos formados de dos partes). Estas moléculas se concentrarán en la interfase y se orientarán para formar una capa protectora.

Se pueden tomar en cuenta tres elementos para encontrar el emulsificante más adecuado o la mezcla de ellos, a la concentración mínima para lograr la estabilidad de la emulsión requerida:

- 1.- La teoría del balance hidrófilo-lipófilo (HLB) y la teoría de la temperatura de inversión de fase.
- 2.- Estudios reológicos como herramienta en la evaluación de la calidad y estabilidad de las emulsiones.
- 3.- Técnicas directas de medición conductancia/impedancia, ó potencial Z como una medida indirecta de la estabilidad de cargas presentes en la emulsión.

La producción exitosa de las emulsiones está relacionada no sólo con la formulación de la emulsión, sino también con su concentración, la salinidad y con la forma de mezclar y agitar los líquidos inmiscibles; ello se debe a que el tamaño y distribución de las partículas, afectan tanto la estabilidad de la emulsión como sus propiedades reológicas (Salager et al., 1985).

1.2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS EMULSIONES

Es posible clasificar las emulsiones aceite en agua (O/W) en :

- a) Emulsiones aniónicas
- b) Emulsiones catiónicas
- c) Emulsiones especiales

Emulsiones Aniónicas

Toman su nombre del hecho de que si dos electrodos se sumergen dentro de las emulsiones, los glóbulos se dirigen hacia el ánodo. Así se conoce la naturaleza del emulsificante utilizado. Este emulsificante es generalmente un electrólito, esto quiere decir que es un cuerpo ionizable que se disocia en el agua en dos fracciones electrizadas, el anión y el catión.

Emulsiones Catiónicas

Se llaman así porque a la inversa de lo que pasa en las emulsiones aniónicas, los glóbulos de combustible se dirigen hacia el cátodo cuando se introducen dos electrodos dentro de las emulsiones. Los emulsificantes que se usan aquí son generalmente un electrólito, también se trata de una sal de amonio cuaternaria o de una sal de aminas.

Emulsiones Especiales

Las emulsiones especiales se caracterizan por :

- la naturaleza del ligando de la base
- la naturaleza del emulsificante utilizado

Una clasificación general del tipo de emulsión es propuesta con respecto a la formulación óptima y a las líneas de la fase de inversión, las alteraciones de la inversión se basan en el tipo de surfactante, viscosidad del crudo y condiciones de emulsificación (Salager et al., 1983).

Es conocido que las emulsiones son sistemas termodinámicamente inestables en razón de la gran área interfacial que se crea cuando un fluido inmiscible es dispersado en otro. Sin embargo, las propiedades de la película de agente emulsificante presente en la interfase inhiben o retardan la coalescencia de las pequeñas gotas formadas. De este modo, el rompimiento de la emulsión puede ser atribuido a un proceso cinético, que depende del tamaño y cantidad de gotas presentes en la emulsión. La acción simultánea de estos efectos opuestos es la razón por la cual se requiere de unas 125,000 gotas de 10 micras para que se pueda formar una gota de 500 micras.

El área interfacial crudo-agua creada por el método de mezcla seleccionado (continuo o cerrado) depende, entre otras cosas, de la geometría del recipiente, tipo de impulsor, número de revoluciones, patrones de flujos generados (axiales, radiales y mixtos) y tipo de régimen.

La conductividad electrolytica de una emulsión depende esencialmente de la conductividad de la fase externa y del volumen de la fracción (Miñana et al., 1986).

En los procesos de formación y rompimiento de emulsiones es muy importante considerar además de las variables que afectan el comportamiento fisico-químico del sistema, aquellas relacionadas con sus propiedades desde el punto de vista de la mecánica de los fluidos, estudiándose la influencia de los parámetros fluido-mecánicos tales como tipo de agitador, velocidad de rotación y el uso de deflectores en la formación de las emulsiones mediante un diseño de experimentos de tipo factorial (Grosso et al., 1985).

1.3 Tipos de combustóleo

Los combustóleos están clasificados en 2 grandes tipos : destilados y residuales

Los destilados son más volátiles y menos viscosos que los residuales (generalmente menos del 0-3 % de azufre en peso).

Los residuales se clasifican por grados de acuerdo al tipo de uso que se les da; los de grado 1,2 y 3 se usan principalmente para aplicaciones domésticas.

Los residuales de grado 4, 5 y 6 tienen aplicaciones en grandes compañías industriales y comerciales.

Los combustóleos residuales de grado 6, los llamados Bunker C (como es el caso del combustóleo que empleamos durante el desarrollo de esta tesis, proveniente de la Refinería de Tula) que son los que tienen mayor importancia para la generación de energía eléctrica en el país. (Morales et al., 1993)

1.4 Emulsificantes

La teoría de las emulsiones ha llegado hasta un punto donde es posible dar un tipo de interpretación teórica del comportamiento de la emulsión; la predicción del comportamiento de la emulsión es todavía una materia de arte más que de ciencia. (Schwartz y Perry et al., 1986) han indicado que una teoría propia de emulsiones, sería capaz de explicar las siguientes importantes características de comportamiento:

1. Formación
2. Estabilidad
3. Rotura e inversión
4. El papel de los emulsificantes y otros factores químicos tales como pH e iones no tensoactivos
5. La influencia de los factores físicos

Las emulsiones son esencialmente sistemas heterogéneos inestables; son en parte dispersiones, en parte coloides. Las propiedades de una emulsión frecuentemente dependen en gran parte de su composición y de su modo de preparación. Estas propiedades físicas son también las verdaderas consideraciones que rigen la estabilidad del sistema .

La emulsificación de sistemas surfactante-aceite-agua se observa que exhibe un cambio notable en la viscosidad cerca de la formulación óptima para el comportamiento de las fases trifásicas. Cuando la formulación es seguida através de la transición de las 3 fases cambiando alternativamente salinidad, EACN del aceite (número equivalente de Carbonos Alcalinos) , HLB del surfactante y la concentración de alcohol, la viscosidad pasa através de un mínimo para emulsiones trifásicas (Salager et al., 1983).

Un emulsificante es un agente tensoactivo que se usa primeramente para aumentar la estabilidad de un sistema de emulsión. También es evidente que el emulsificante juega un papel importante en cualquier consideración de la estabilidad de la emulsión

En la tabla 1.1 se presentan algunos emulsificantes comerciales y sus principales usos.

1.4.1 Eficacia del emulsificante

El concepto de la eficacia del emulsificante puede ser abordado por dos caminos diferentes. El primero es el económico (Cantidad vs. Precio) determinante para cualquier proceso y el segundo, el camino cantidad-vs.-calidad que lamentablemente no es muy considerado por el formulador comercial e industrial.

La cantidad de emulsificante empleada normalmente varía de 1 a 10 % (en algunos casos hasta 15), dependiendo de la formulación específica. Por razones económicas se debe formular con el emulsificante más barato o con la cantidad mínima compatible con la estabilidad deseada. Puesto que un emulsificante dado puede estabilizar satisfactoriamente un sistema de emulsión dado a mucha más baja concentración que otro (de aquí que sea más eficiente), puede ser mejor emplear un producto relativamente costoso cuando es eficaz a concentraciones más bajas que uno más barato.

También puede hacerse uso de algunos estabilizantes para mejorar las condiciones de las emulsiones formadas. La influencia de la goma Xantana, y el alginato del propileno glicol en la estabilización de un modelo de Aceite/Agua salada para la formación de las emulsiones se ha estudiado usando mediciones reológicas, analizando tamaño de partícula y tensión superficial (Yilmazer et al., 1991).

El segundo modo de mirar el concepto de eficacia del emulsificante, es puramente químico, se debe incluir el problema de la elección de emulsificante adecuado para un sistema dado y cómo pueden tender a modificar la elección las condiciones externas.

TABLA DE LOS PRINCIPALES USOS PARA ALGUNOS EMULSIFICANTES COMERCIALES

PRODUCTO	HLB	ALIMENTOS	AGRICOLA	COSMÉTICOS	DETERGENTES	TEXTIL	FARMACIA	POLÍMEROS	PLÁSTICOS	IND. GRAL.	PINTURAS
Span 20	8.6	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Span 40	6.7	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Span 60	4.7	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Span 80	4.3	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Span 85	1.8	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Tween 20	16.7	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Tween 40	15.6	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Tween 60	14.9	X		X	X	X	X	X	X	X	
Tween 61	9.6	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Tween 80	15	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Atlox 3069	11.5		X								
Atlox 3080	12.3		X								
Atlox 3409	11.9		X								
Canasol nf 900	13			X	X	X		X	X	X	X
Canasol nf 3070	17.1			X	X	X		X	X	X	X

TABLA 1.2 CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS EMULSIFICANTES COMERCIALES

NOMBRE	C.F.	VISCOSIDAD DE FLUIDO	COMPOSICIÓN QUÍMICA	COLOR	APARIEN- CIA	S	O	L	U	B	L	D	A	D
						AGUA LEST	ETANOL	TRIE- SO	SINER- GIA	ACTIL MNS	ACTIL MIG	ACTE PARAF		
Mos 115	85	100-150	Monoglicérido de Sorbitan	ambar	líquido	D	S	S	NS	S	NS	NS	S	S
N. 2	85	120-150	Monoglicérido de Sorbitan	transparente	gelatinoso	G	SI	S	SI	SI	SI	SI	SI	SI
			Monoglicérido de Sorbitan	transparente	gelatinoso	L	SI	S	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Mos 101	85	100-120	Monoglicérido de Sorbitan	ambar	líquido	L	SI	S	S	S	S	NS	S	S
Spe 177	100	120-150	Diglicérido de Sorbitan	ambar	líquido	L	SI	S	S	S	S	S	S	S
Emul 20	100	150-200	Monoglicérido de Sorbitan por	ambar	líquido	S	S	S	L	L	L	L	L	L
Emul 104	100	200-300	Monoglicérido de Sorbitan por	ambar	líquido	S	S	S	L	L	L	L	L	L
Emul 105	100	30-150	Monoglicérido de Sorbitan por	transparente	gelatinoso	S	S	SI	L	L	L	L	L	L
Emul 107	100	30-150	Monoglicérido de Sorbitan por	transparente	gelatinoso	SI	SI	L	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Emul 108	100	110-150	Monoglicérido de Sorbitan por	ambar	líquido	S	S	S	L	L	L	L	L	L
M. N. 100	110	15-100	Emulsificantes sintéticos	transparente	líquido	S	S	L	L	L	L	L	L	L
M. N. 101	110	15-100	Emulsificantes sintéticos	transparente	líquido	SI	S	S	L	L	NS	NS	L	L
M. N. 102	110	15-100	Emulsificantes sintéticos	transparente	líquido	S	NS	S	L	NS	S	NS	S	NS
Carbox 10	110	250-350	Non-ionic por	transparente	gelatinoso	S	S	S	L	L	M	L	L	L
Carbox 10	110	200-300	Non-ionic por	transparente	líquido	S	S	S	L	L	L	L	L	L

C: Agua de Solubilidad; D: Capacidad de Espuma a 40°C; S: Capacidad de Estabilización de Emulsión; L: Emulsión de Tipo Agua en Aceite; SI: Solubilidad en Alcohol; NS: No Soluble; SI: Solubilidad en Alcohol; SI: Solubilidad en Alcohol; SI: Solubilidad en Alcohol.

1.4.2 El método HLB

El método HLB cuyas siglas en inglés significan "Balance Hidrófilo Lipófilo", permite asignar un número al ingrediente o combinación de ingredientes que se quieren emulsificar y entonces seleccionar un emulsificante o mezcla de emulsificantes que tengan este mismo número.

Antes de poder usar el sistema HLB, se debe establecer algún sistema de evaluación para una emulsión satisfactoria. ¿Se necesita una emulsión de aceite en agua (O/W) o agua en aceite (W/O)?, ¿Que estabilidad de la emulsión se desea durante el almacenamiento en uso?, ¿Cuates son sus límites de costo?, ¿Debe el emulsificante ser estable hacia álcalis, sales o electrolitos?, ¿Deberá ser no-tóxico o no-irritante para la piel y su equipo de fabricación o el equipo usado para aplicar su producto emulsionado?, ¿La facilidad en la preparación o aplicación afectará la selección de los emulsificantes?

Todos estos factores permiten descartar inmediatamente ciertos tipos o grupos de emulsificantes. El HLB de un emulsificante es una expresión de su Balance Hidrófilo-Lipófilo, es decir el balance del tamaño y fuerza de los grupos hidrófilos (afinidad hacia el agua o polares) y los lipófilos (afinidad hacia el aceite o no-polares) del emulsificante. Todos los emulsificantes consisten de una molécula que combina ambos grupos hidrófilos y lipófilos.

A un emulsificante que tiene carácter lipófilo, se le asigna un número HLB bajo (menor de 9), y uno que es hidrófilo se le asigna un número HLB alto (mayor de 11.0). Aquellos con valores entre 9-11 son intermedios.

Entonces es correcto decir que las funciones de los emulsificantes pueden muy bien ser clasificadas por el HLB. La tabla 1.3 muestra algunas correlaciones generales interesantes.

HLB	FUNCIONES
4-6	Emulsificantes W/O
7-9	Agentes penetrantes
8-18	Emulsificantes O/W
13-15	Detergentes
10-18	Solubilizantes

Tabla 1.3 Funciones de los emulsificantes por su HLB

1.5 MEZCLADO

En forma general, el mezclado puede ser definido como "la incorporación de dos o más porciones disímiles de un material, con el que se logra un nivel deseado de uniformidad, ya sea físico o químico, en el producto final". La agitación está incluida en esta definición, pero además "crea un estado de actividad tal como flujo o turbulencia (Holland y Chapman, 1966).

Las operaciones de mezclado son en ocasiones llevadas a cabo en un nivel muy grande de empirismo. Esta situación, se debe en parte a que los ingenieros no están suficientemente capacitados en los fundamentos de las operaciones de mezclado como para que les permita, al menos, seleccionar adecuadamente un tipo de impulsor para determinada aplicación. Adicionalmente, no existen códigos de diseños de equipos de mezclado que sean ampliamente aceptados (Nienow et al., 1985) .

El estudio de mezclado involucra algunos aspectos básicos relacionados con el efecto de la geometría, de las dimensiones y estructura del tanque, así como del impulsor o impulsores que serán utilizados en un proceso determinado (Oldshue et al., 1983).

Generalmente, los tanques con agitación son preferidos para la mezcla química, si no se cuenta con un tanque por separado, entonces el coagulante, debe ser adicionado en un punto donde exista la mayor agitación y tiempo de mezclado. La parte de succión de la bomba y líneas de descarga han sido usados para este proceso (Wastewater Treatment Plant Design, 1982).

Desde el punto de vista ingenieril, el mezclado puede ser definido como la operación unitaria empleada con el propósito de conglomerar o combinar los químicos de la coagulación u otros materiales con agua o agua residual para crear un sistema cercano al homogéneo, ya sea en una o varias fases. La mezcla rápida es por consiguiente una operación breve que está diseñada para crear una muy rápida respuesta (Wastewater Treatment Plant Design, 1982) .

La dispersión electrostática se ha usado extensamente en varios campos, incluyendo pintado electrostático, pintura en aerosol y procesos químicos, y es otra técnica para preparar emulsiones, en donde se hace pasar el fluido no-conductivo a flujo constante a través de una capilaridad de metal donde se aplica un campo eléctrico, y que forma un menisco en la extremidad del capilar, en donde se dan cambios periódicos. El menisco crece con el tiempo, cuando se junta con la extremidad del electrodo, entonces se rompe en una gota, y el fenómeno se repite con un nuevo y creciente menisco (Tsouris et al., 1994).

1.5.1 NÚMEROS ADIMENSIONALES EN MEZCLADO

En Ingeniería Química, es común el presentar las correlaciones en términos de números adimensionales. Para éste caso, las relaciones de potencia se han reportado en función del número de Potencia y del número de Reynolds.

NUMERO DE REYNOLDS

El número de Reynolds para fluidos Newtonianos se calcula a partir de la siguiente ecuación :

$$Re = \frac{N D^2 \rho}{\mu}$$

Donde :

Re número de Reynolds (adimensional)

N velocidad de agitación (1/s)

D diámetro del impulsor (m)

μ viscosidad dinámica ((m kg)/s)

ρ densidad del líquido (kg/m³)

NUMERO DE POTENCIA

CALCULO DEL CONSUMO DE POTENCIA POR AGITACIÓN

La potencia suministrada a un tanque agitado es información muy útil, ya que de ello depende la capacidad de un sistema de agitación para mezclar el fluido y transferir oxígeno.

Para calcular la potencia suministrada (P) por cada impulsor, esta se despeja de la siguiente ecuación :

$$Po = \frac{P}{\rho N^3 D^5}$$

Donde :

Po número de potencia (adimensional)

P potencia suministrada por el impulsor (W)

1.6 TIPOS DE IMPULSORES

El movimiento del fluido en un tanque agitado es producido por uno o por varios impulsores. Este movimiento se describe mediante patrones de flujo primario y secundario. El movimiento primario es el flujo rotacional o tangencial del fluido. La mayor parte de la energía transferida del impulsor al fluido es consumida por este movimiento, aún cuando este movimiento es de menor importancia en procesos relacionados con el mezclado.

Por otra parte, el movimiento secundario está asociado a componentes axiales o radiales. En procesos de mezclado, el movimiento secundario es la parte más importante del patrón de flujo (figura 1.2) y sólo una pequeña fracción de la energía transferida al fluido está relacionada a este movimiento (Brauer, 1979).

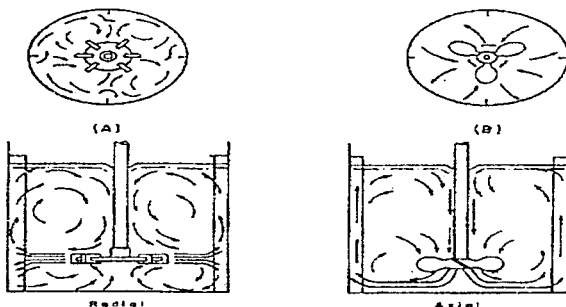


Figura 1.2 Patrones de Flujo

La variedad de impulsores para la agitación de fluidos es muy amplia. En la figura 1.3 se muestran los impulsores más comúnmente usados. De forma general, los impulsores se pueden clasificar como aquellos que generan predominantemente flujo radial (esto es, perpendicular a la flecha) y los que generan patrones de flujo en la dirección axial (paralelo a la flecha) (Oldshue, 1983).

En la figura 1.4 se presenta el consumo de potencia de varios impulsores, asumiendo características de mezclado iguales, en función de la viscosidad del fluido. Como puede observarse, los agitadores "abiertos" (propelas y turbinas) son los que consumen mayor cantidad de potencia. Por ello es que su función principal se encuentra en las aplicaciones donde se requieren altas velocidades de deformación. Los impulsores de ancla y helicoidales son especialmente adecuados para la homogeneización de fluidos de muy alta viscosidad, pero consecuentemente su capacidad de generación de velocidad de deformación es mínima.

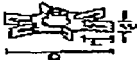





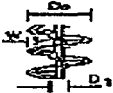
FIGURA		NOMBRE	DESCRIPCIÓN
	$L=1/4D$ $W=1/5D$ $D=2/3D$	Paletas planas	6 paletas verticales soportadas en el disco
	$L=1/4D$ $W=1/20D$ $T=1/20D$ $D=2/3D$	Turbina de barras	6 paletas unidas abajo y arriba del disco
	$W=1/10D$	Anchor	2 paletas con o sin brazo transversal
	1.5 radio del pico	Propela de tres	pico constante, paleta posterior torcida
	$W=1/5D$ $=45^\circ$	Flujo axial cuatro paletas	ángulo constante de 45°
		Flujo axial tres paletas	ángulo de la punta variable
	$Do=(ext.)$ $D1=1/3Do$ $W=1/6Do$	Espiral doble	dos vuelos helicoidal, punta = $1/2Do$

Figura 1.3 Impulsores más comúnmente usados

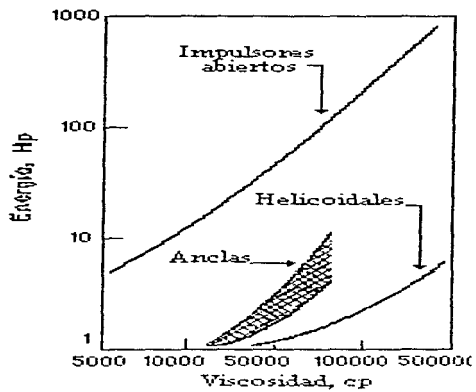


Figura 1.4 Consumo de potencia de varios impulsores

Objetivo General

- **Desarrollar una emulsión de combustóleo en agua con la ayuda de un emulsificante, o con mezcla de éstos con la finalidad de reunir las características necesarias y adecuadas para que puedan desarrollarse los microorganismos degradadores de azufre en la siguiente etapa del proceso de biodesulfuración.**

Objetivos Específicos

- **Desarrollar una emulsión de combustóleo en agua con la ayuda de un emulsificante o con una mezcla de éstos, determinando la concentración óptima de emulsificante requerido, así como las condiciones óptimas para obtener una emulsión (tipo de impulsor, vel. de agitación, temperaturas, D/T, etc).**
- **Caracterizar el consumo de potencia requerido para preparar las emulsiones**
- **Analizar la estabilidad de las emulsiones formadas a diferentes temperaturas (caracterización reológica, conductividad eléctrica, apariencia física, etc).**

Capítulo 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES

2.1.1 Lista de Material

MATERIAL	PROCEDENCIA
vasos pp. de 2000 mL.	Pyrex
vasos pp. de 600 mL.	Pyrex
vasos pp. de 400 mL.	Pyrex
vasos pp. de 250 mL.	Pyrex
probeta de 100 mL.	Pyrex
probeta de 25 mL.	Pyrex
pipetas graduadas de 10 mL.	Pyrex
frascos de plástico para muestreo	Demsa
papel aluminio	Reynolds Wrap
cinta maskin tape	Scotch
matraz volumétrico de 1000 mL.	Pyrex
matraces volumétricos de 500 mL.	Pyrex
termómetro de -10° C a 100 ° C	Brannan
envase de acero inoxidable	inoxrom
mamparas para los vasos de 2000 mL. distribuidas a 90°	Laboratorio de Ingeniería, Facultad de Química
guantes de asbesto gruesos	3 M
guantes de laboratorio	Mapa

2.1.2 Reactivos

A continuación se enlistan los productos químicos utilizados en el desarrollo del presente trabajo.

NOMBRE	PROVEEDOR
span 20	Droguería Cosmopolita
span 40	Droguería Cosmopolita
span 60	Droguería Cosmopolita
span 80	Droguería Cosmopolita
span 85	Droguería Cosmopolita
tween 20	Droguería Cosmopolita
tween 40	Droguería Cosmopolita
tween 60	Droguería Cosmopolita
tween 61	Droguería Cosmopolita
tween 80	Droguería Cosmopolita
crisanol nf 900	Canamex
crisanol nf 3070	Canamex
atlox 3069	Canamex
atlox 3080	Canamex
atlox 3409	Canamex
canasol sc 1300	Canamex
H ₂ O destilada	Instituto de Ingeniería
soln. KCl 0.05 M	Baker
soln. KCl 0.1 M	Baker
soln. KCl 0.2 M	Baker
K ₂ HPO ₄	Baker
MgSO ₄ · H ₂ O	Baker
FeSO ₄ (NH ₄) ₂ SO ₄ · 6 H ₂ O	Aldrich
NaCl	Baker
Acetato de Sodio	Baker
Extracto de Levadura	Bioxon
Acido Ascórbico	Sigma
Lactato de Sodio (50% soln.)	Baker
CaSO ₄	Baker
NH ₄ Cl	Baker
MgSO ₄ · 7 H ₂ O	Baker
KH ₂ PO ₄	Baker
Gasolina	Gasolinera (Cd. de México)
Diesel	Gasolinera (Cd. de México)
Algarrobo (estabilizante)	Droguería Cosmopolita
Combustóleo	Refinería de Tula

2.1.3 Lista de Equipo

EQUIPO	PROCEDENCIA Y/O MODELO
Viscosímetro Digital	Brookfield LVT (8 vel.)
Conductímetro	HI 8033 Hanna Instruments
Mezclador	Lightnin Labmaster SI Mod. L1U08
Parrilla de Calentamiento	Thermolyne
Balanza Granatoria	Ohaus Mod. E4000D
Autoclave	AESA Mod. CV 300
Tensiómetro	Cenco Dunouy Cat. No. 705
Anillo para Tensiómetro	fabricado de Platino-Iridio
Mascarilla	Easy-Air 73005 doble cartucho

2.1.3.1 Impulsores

Se utilizaron 3 geometrías de impulsores, con las siguientes características :




Figura	Diámetro	Descripción	Flujo
	D=0.051 m	6 paletas planas	radial
Turbina Rushton R-100			
	D=0.064 m	3 hojas inclinadas	axial-radial
Impulsor Lightnin A-310			
	D= 0.069 m	3 hojas inclinadas	axial
Propela Marina A-100			

Figura 2.1 Características de los impulsores empleados

2.2 Métodos y Técnicas

2.2.1 Preparación de Medios

Para la realización de este trabajo, fue necesario preparar algunos medios en los cuales se cultivan las bacterias degradadoras de azufre. El procedimiento que se siguió, se enuncia a continuación :

- 1.- Pesar por separado cada una de nuestras sustancias y (o) reactivos que se utilizaron.
- 2.- Agregar una por una las sustancias a un matraz aforado de 1 L.
- 3.- Agregar agua destilada y suavemente agitar hasta que la fase se vuelva homogénea (aproximadamente en 2/3 partes del volumen del matraz).
- 4.- Aforar a la capacidad total del matraz

Los medios que se utilizaron fueron API y Postgate B, cuyas composiciones se enlistan enseguida.

Medio API

K_2HPO_4	0.01 g
$MgSO_4 \cdot H_2O$	0.20 g
$FeSO_4(NH_4)_2SO_4 \cdot 6 H_2O$	0.10 g
NaCl	10.00 g
CH_3COONa	4.00 g
Extracto de Lavadura	1.00 g
Acido Ascórbico	0.10 g

Herbert Gilbert (1984) 15.41 g

Medio Postgate B

Lactato de Sodio (soln. al 50%)	7.0 g (5.5 mL.)
CaSO ₄	1.0 g
NH ₄ Cl	1.0 g
MgSO ₄ · 7 H ₂ O	2.0 g
NaCl (sólo para muestras marinas)	25 g
Extracto de Levadura	1.0 g
KH ₂ PO ₄	0.5 g

1 L. de Solución.

2.2.2 Preparación de la emulsión

Una emulsión es un sistema que consta de dos líquidos miscibles de forma no completa, siendo dispersado uno como glóbulos finitos en el otro. Una cantidad pequeña de una tercera sustancia (emulsificante) puede suministrar la dispersión estable, es por eso que se puso especial atención en la forma de preparar las emulsiones, siguiendo al pie de la letra el siguiente procedimiento :

- 1.- Poner a calentar el combustible en un recipiente de acero inoxidable
- 2.- En un vaso de precipitados de 2000 mL, con los deflectores colocados a 90 ° (como se muestra en la figura 2.2) se agrega la cantidad de agua destilada (con medio salino) que se necesita para formar la emulsión.
- 3.- Agregar la cantidad determinada de emulsificante.

- 4.- Agitar suavemente la mezcla hasta que se vuelva homogénea, procurando que se forme la menor cantidad de espuma.
- 5.- Colocar el impulsor en la punta de la flecha del mezclador, apretándola bien.
- 6.- Colocar el impulsor centrado dentro del vaso de precipitados y a una distancia aproximada de 4/10 con respecto al volumen total de la solución.
- 7.- Prender el mezclador, y ajustar la velocidad.
- 8.- Cuando el combustóleo esté a una temperatura de entre 55 y 65° C se vierte en el vaso de precipitados la cantidad requerida.
- 9.- Comenzar a verter el combustóleo al mismo tiempo que comienza la agitación, cuidando que éste caiga lentamente y de manera constante sobre la solución acuosa, hasta su completa incorporación (2-3 min, según la cantidad).
- 10.- Dejar que el mezclador siga trabajando hasta completar 5 minutos de mezclado total.
- 11.- Detener la agitación.
- 12.- Retirar el impulsor del vaso de precipitados.
- 13.-Retirar el vaso con la emulsión.
- 14.- Apagar el mezclador.
- 15.- Retirar el impulsor y la flecha del mezclador para su limpieza

2.2.2.1 Caracterización del diesel y el combustóleo

Es muy importante conocer las condiciones óptimas para preparar una emulsión de combustóleo-agua, ya que para el proceso biológico, la fracción acuosa deberá contener las sales inorgánicas para el crecimiento de los microorganismos desulfurantes. Se caracterizó una muestra de combustóleo proveniente de la refinería de Tula, Hidalgo. Los

análisis se realizaron de acuerdo a las normas ASTM, en el Laboratorio de Análisis de Combustibles del Instituto de Investigaciones Eléctricas (Cuernavaca, Morelos).

Los resultados de este análisis se muestran en la tabla 2.1. Es interesante destacar el altísimo contenido de azufre que presentó la muestra (4.33% en peso) , además de su muy alta viscosidad (2110 S.S.F. a 37.8 oC) .

El valor calorífico y valor calorífico neto, son valores de comparación en la capacidad calorífica de una muestra antes y después del proceso de desulfuración.

DETERMINACIÓN	RESULTADO
Cenizas	0.247 % peso
Viscosidad a 37.8 ° C	2110 S.S.F.
Viscosidad a 50 ° C	700.4 S.S.F.
Viscosidad a 60 ° C	306.1 S.S.F.
Viscosidad a 82.2 ° C	78.36 S.S.F.
Viscosidad a 98.9 ° C	40.59 S.S.F.
Azufre	4.33 % peso
Valor Calorífico	10.151 Kcal/g
Valor Calorífico Neto	9.632 Kcal/g
Peso Específico	0.999
Temp. de Ignición C.O.C.	197 ° C
Carbono	84.91 % peso
Hidrógeno	10.25 % peso
Nitrógeno	0.37 % peso
Oxígeno	0.14 % peso

Tabla 2.1 Resultados del análisis de una muestra de combustible oleo proveniente de la refinería de Tula, Hidalgo. Extraída de Longoria, 1995.

Adicionalmente se analizó una muestra de Diesel, el cual se consiguió en una gasolinera a las afueras de la Cd. de México, y que se muestra en la Tabla 2.2 .

DETERMINACIÓN	RESULTADO
Cenizas	No detectadas en 500 ml.
Azufre	0.07 % peso
Valor Calorífico	10.862 Kcal/g
Valor Calorífico neto	10.196 Kcal/g
Densidad a 60/60° F	0.8436
Temp. de Inflamación P. M.	82° C
Agua por destilar	menos de 0.05 % en volumen
Carbono	86.09 % peso
Hidrógeno	13.15 % peso
Nitrógeno	0.17 % peso
Oxígeno	0.45 % peso

Tabla 2.2 Resultados del Análisis de una muestra de Diesel proveniente de una gasolinera de la Cd. de México. Extraída de : Longoria, 1995.

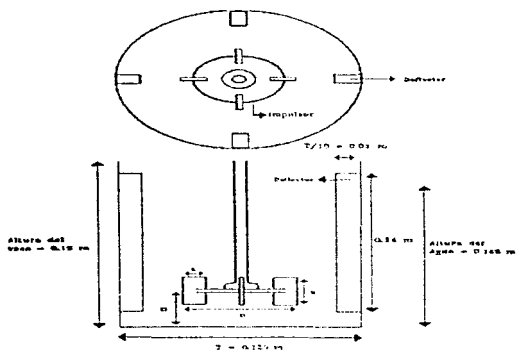


Figura 2.2 Vaso de precipitados con los impulsores colocados

2.2.3 Medición de Potencia y números adimensionales

2.2.3.1 Medición del Consumo de Potencia

En cuanto a la medición del consumo de potencia para crear la emulsión, ésta se efectuó con el aparato Lightin Labmaster SI Mixer, el cual automáticamente da la lectura de consumo de potencia en Watts, además de que también proporciona el tiempo de proceso, la temperatura y la capacidad de bombeo.

2.2.4 Medición de la conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es una propiedad que usada de forma apropiada, puede proporcionar un modo conveniente de distinguir entre las emulsiones de o/w y w/o y las interfaces correspondientes.

Se puede esperar que las emulsiones en las que el agua es el medio continuo muestren una alta conductividad; así como se espera que muestren poca o ninguna conductividad las emulsiones en las que la fase aceite es el medio continuo.

El procedimiento que se siguió para la medición de la conductividad eléctrica fue el siguiente:

- 1.- Prender el conductímetro.
- 2.- Ajustar a la escala apropiada a utilizar para efectuar la medición.
- 3.- Sumergir el electrodo en la solución hasta que éste toque el fondo del recipiente.
- 4.- Tomar la lectura correspondiente, esperando a que ésta se estabilice
- 5.- Retirar el electrodo.
- 6.- Limpiar el electrodo.
- 7.- Apagar el conductímetro.

2.2.5 Medición de la Viscosidad

A todas las emulsiones se les midió la viscosidad aparente en el viscosímetro Brookfield, a la mayoría de ellas se les midió la viscosidad a la velocidad de 60 rpm, mientras que a otras se las midió en todo el rango de velocidades disponibles (0.3, 0.6, 1.5, 3, 6, 12, 30 y 60 r.p.m.) a una temperatura ambiente de 22 ° C. El procedimiento fue el siguiente :

- 1.- Encender el viscosímetro.
- 2.- Colocar la aguja a utilizar sobre la flecha del viscosímetro.
- 3.- Ajustar la velocidad a utilizar moviendo la perilla que se encuentra en un costado del viscosímetro.
- 4.- Colocar la muestra y sumergir la flecha.
- 5.- Ya establecida la escala, encender el motor.
- 6.- Esperar a que se establezca la lectura y tomarla.
- 7.- Apagar el motor.
- 8.- Retirar la aguja de la muestra.
- 9.- Apagar el viscosímetro.
- 10.- Retirar la aguja del viscosímetro para su limpieza.

2.2.5.1 Índices reológicos y viscosidad aparente

En base al modelo de la ley de potencia ($\tau = K \dot{\gamma}^n$) donde : τ = esfuerzo de corte, K = índice de consistencia, $\dot{\gamma}$ = velocidad de deformación y n = índice de flujo. Además de tomar en cuenta que el viscosímetro Brookfield de agujas LVT fue diseñado para fluidos Newtonianos, se empleó el procedimiento que a continuación se describe para calcular los parámetros n (índice de flujo) y K (índice de consistencia) para fluidos no-Newtonianos.

Para el caso de flujo entre cilindros concéntricos, es sabido que τ es una función del radio y de la longitud de la aguja con que se hacen las determinaciones (Charles, 1978):

$$\tau = \frac{M \times (\text{lectura}/100)}{2 \pi R_b^2 L_b \times 10^7} \quad (2.3)$$

donde:

- τ esfuerzo de corte (Pa)
- M torque aplicado por el instrumento (673.7 dinas cm)
- R_b radio de la aguja (0.001588 m)
- L_b longitud efectiva de la aguja (0.03396 m)
- 10^7 factor de conversión de dinas cm^2 a Pa

Se ha demostrado (Charles, 1978) que para el caso exclusivo de fluidos que obedecen la ley de potencia, en un flujo entre dos cilindros, uno de los cuales de un radio "infinito" está girando, (situación a la que se asemeja el Brookfield cuando se utiliza sin protector) la velocidad de deformación está dada por:

$$\dot{\gamma} = 2 \omega / n \quad (2.4)$$

donde, ω es la velocidad angular ($2\pi N$) en s^{-1} .

Por consiguiente, el esfuerzo de corte para éste tipo de fluidos, puede ser calculado sustituyendo en la ecuación de la ley de potencia la ecuación (2.4), quedando entonces:

$$\tau = K (2 \omega / n)^n \quad (2.5)$$

y reordenando,

$$\tau = K (2/n)^n \omega^n \quad (2.6)$$

Linearizando la ecuación (2.6) se llega a :

$$\log \tau = \log [K (2/n)^n] + n \log \omega \quad (2.7)$$

Si se construye un gráfico logaritmico de τ vs. ω , la pendiente corresponde a n . Conociendo n y el valor de la ordenada al origen (b), es posible conocer el valor de K :

$$K = \frac{10^{10 \log b}}{(2/n)^n} \quad (2.8)$$

Una vez encontrados los valores de n y K , éstos se utilizan en el cálculo de la curva de flujo (τ vs. γ), utilizando las ecuaciones antes descritas.

Finalmente, la viscosidad aparente del fluido se determina mediante la relación :

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma} \quad (2.9)$$

2.2.6 Esterilización de las emulsiones

Una vez preparada la emulsión y después de haber medido algunas de sus propiedades reológicas se procedió en algunos casos a efectuar la prueba de esterilización.

1.- Después de preparar la emulsión, se distribuye en 2 ó 3 matraces, ocupando cuando mucho 1/3 parte del volumen total del matraz, por razones de seguridad.

2.- Cubrir el matraz con papel manila y después con papel aluminio y maskin-tape.

- 3.- Colocar los matraces dentro del autoclave, verificando el nivel de agua necesario.
- 4.- Cerrar, sellando herméticamente la tapa del autoclave.
- 5.- Arrancar el autoclave a su máxima capacidad.
- 6.- Al escuchar un bip prolongado, bajar de potencia máxima, a potencia media por un intervalo de 15 min.
- 7.- Después de transcurrido este tiempo apagar el autoclave.
- 8.- Dejar enfriar el autoclave hasta que baje considerablemente tanto su temperatura como su presión.
- 9.- Se abre la válvula para despresurizarlo por completo
- 10.- Cuando se alcanza una temperatura cercana a la ambiente, se procede a destapar el autoclave.
- 11.- Realizar las observaciones correspondientes

2.2.7 Pruebas de estabilidad de emulsiones

Este tipo de pruebas consistieron en después de haber preparado la emulsión, separarla en 3 recipientes iguales, llámense matraces volumétricos o vasos de precipitados, colocando en cada uno de ellos una cantidad igual de la emulsión para después someterlos a distintas condiciones de temperatura.

- El primer matraz se sometió a una temperatura de 10° C, realizando mediciones de conductividad, viscosidad y observación visual por 24, 48, 72, 96 y 120 horas, hasta que se determine que la emulsión ya no es estable.
- El segundo matraz se sometió a una temperatura de 35° C, realizando mediciones de conductividad, viscosidad y observación visual hasta que se determina que la emulsión ya no es estable.

- El tercero permaneció a temperatura ambiente, realizando mediciones de conductividad, viscosidad y observación visual hasta que se determina que la emulsión ya no es estable.

2.2.8 Pruebas de repetibilidad en la preparación de las emulsiones

Estas pruebas consistieron en realizar 3 o más veces el mismo experimento, bajo las mismas condiciones, determinando en cada caso la conductividad, viscosidad y observación visual de las emulsiones, para así conocer la repetibilidad del proceso y su desviación porcentual.

CAPITULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ELECCIÓN DEL SISTEMA ADECUADO PARA LA PREPARACIÓN DE LA EMULSIÓN, ASÍ COMO LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN ADECUADAS

3.1.1 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD ADECUADA

La velocidad de agitación en la preparación de una emulsión está relacionada directamente con la potencia consumida.

En la figura 3.1 se muestran los resultados obtenidos después de variar la velocidad de agitación en un rango de entre 500 y 1500 RPM utilizando arbitrariamente la propela marina A-100 y manteniendo fija la relación $O/W=0.1$ y la cantidad de emulsificante empleado (tween 20, 10 % en peso con respecto a la fase oleosa). Cabe mencionar que no se midieron conductividades ni viscosidades en las emulsiones preparadas, ya que el análisis sólo se enfocó en la observación visual de la apariencia física de éstas emulsiones, para lo cual se estableció una escala arbitraria de 0 a 2 de la calidad y apariencia física, donde 0=mala emulsificación, 1=emulsificación regular, 2= buena emulsificación y 3= excelente emulsificación.

Como puede observarse, la mejor emulsión se logra con una velocidad de agitación de 1350 rpm.

3.1.2 SELECCIÓN DEL MEJOR EMULSIFICANTE

Existen muchas factores a tomar en cuenta para la selección de un buen emulsificante, nosotros nos enfocamos principalmente en parámetros de medición tales como la relación de conductividades, la relación de viscosidades y la apariencia física de las emulsiones preparadas. Así como algunos parámetros reológicos tales como n , k y r .

La tabla 3.1 muestra los costos unitarios de los emulsificantes con los que se trabajó.

EMULSIFICANTE	HLB	PRECIO UNITARIO
SPAN 85	1.8	\$20.90/kg
SPAN 80	4.3	\$15.50/kg
SPAN 60	4.7	\$13.90/kg
SPAN 40	6.7	\$17.40/kg
SPAN 20	8.6	\$15.30/kg
TWEEN 61	9.5	\$18.00/kg
ATLOX 3069	11.5	\$25.00/kg
ATLOX 3409	11.9	\$22.80/kg
ATLOX 3080	12.3	\$12.50/kg
CRISANOL NF 900	13	\$8.50/kg
TWEEN 60	14.9	\$13.60/kg
TWEEN 80	15	\$13.60/kg
TWEEN 40	15.6	\$15.00/kg
TWEEN 20	16.7	\$13.00/kg
CANASOL NF 3070	17.1	\$9.60/kg

Tabla 3.1 Costos unitarios de algunos emulsificantes comerciales. Cortesía de CANAMEX, S.A. Diciembre de 1995.

3.1.2.1 DETERMINACIÓN DE LA MEJOR CONCENTRACIÓN DE EMULSIFICANTE A EMPLEAR

En cuanto a las pruebas de la concentración de emulsificante empleado (con tween 20), se abarcó un rango de concentraciones de entre 2.5 y 15 % en volumen, con respecto a la fase oleosa. Se observó que al emplear una concentración de 10% de emulsificante la emulsión alcanzó su mejor apariencia física, tomando en cuenta color, viscosidad y la cantidad de espuma generada.

También se observó que conforme aumenta la concentración de emulsificante empleado, aumenta la conductividad de la emulsión preparada.

La figura 3.2 muestra los resultados obtenidos de la variación en la concentración de el emulsificante empleado, valuándolos con una escala arbitraria de 0 a 4 con respecto a su apariencia física, donde 0= emulsificación fallida, 1=mala emulsificación, 2=emulsificación regular, 3=buena emulsificación y 4=excelente emulsificación.

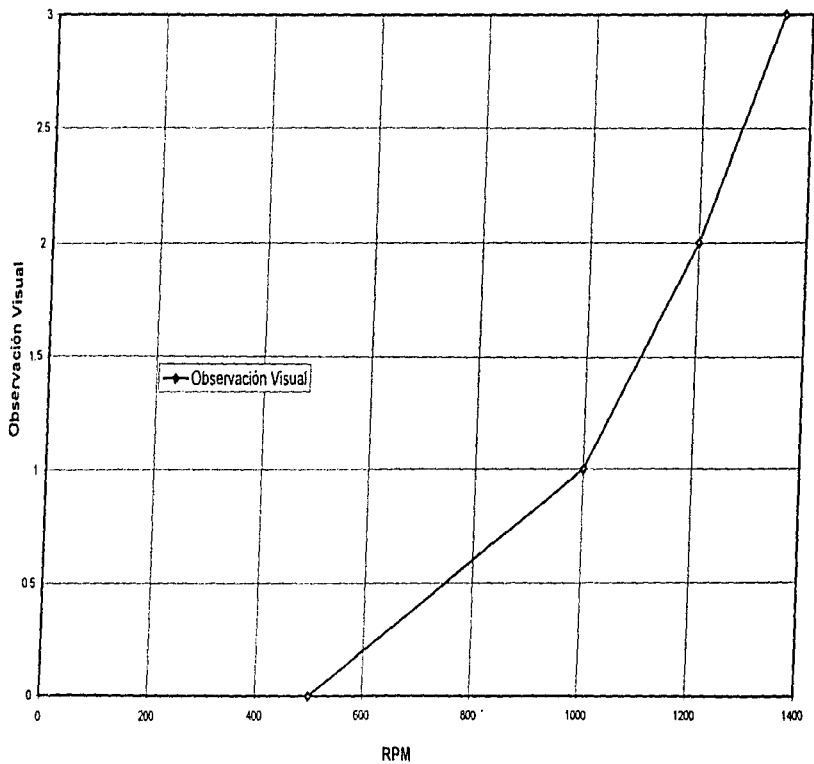


Figura 3.1 RPM vs. Observación visual

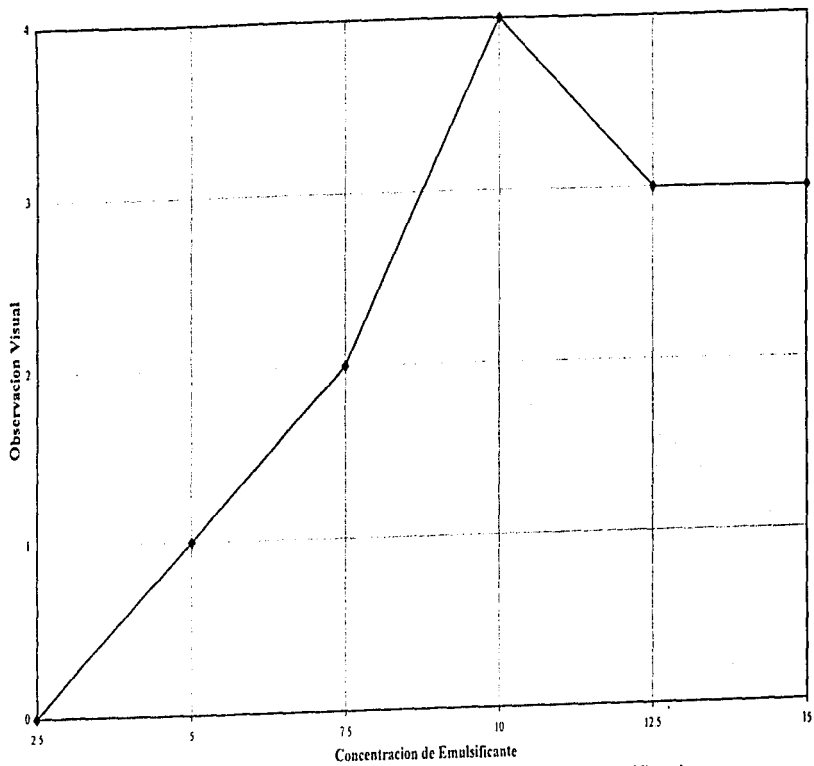


Fig 3.2 Concentración de emulsificante vs. Observación Visual

3.1.2.2 PARÁMETROS UTILIZADOS EN LA SELECCIÓN DEL EMULSIFICANTE

La tabla 3.2 muestra una serie de factores que se analizaron, para distintos emulsificantes (empleados a una misma concentración), clasificados de acuerdo a su HLB, así como también en la figura 3.3 se muestran los valores de relación de viscosidades, relación de conductividad y observación visual, para cada uno de los emulsificantes con los que se trabajó.

De acuerdo a las características físicas que presentaron las emulsiones, el crisanol 900 (13), tween 20 (16.7), crisanol 3070 (17.1) y el canasol sc 1300 (18.1), resultaron los emulsificantes más apropiados para la preparación de la emulsión.

En cuanto al parámetro de relación de conductividades (conductividad de la emulsión/conductividad inicial del agua + emulsificante), se observa que el crisanol 900 (HLB 13) y el tween 20 (HLB 16.7) y el span 80 (HLB 4.3) presentan las relaciones más altas, mientras que el tween 60 (HLB 14.7) y el crisanol 3070 (HLB 17.1) fueron los que presentaron los valores de relación más bajos.

En cuanto a la observación visual de las emulsiones, el crisanol 900, el canasol sc 1300, el crisanol 3070 y el tween 20 presentaron los mejores apariencias.

Finalmente, los menores valores de relación de viscosidades se obtuvieron empleando tween 20 y crisanol 900, mientras que los más altos valores se obtuvieron con tween 60, tween 80 y canasol sc 1300.

En la tabla 3.3 se muestran los resultados de las pruebas de tensión superficial para cada uno de los emulsificantes con los que se trabajó, empleando la técnica del anillo, y observando que prácticamente la tensión superficial de los emulsificantes que empleamos aumenta conforme aumenta su HLB (Anexo A1).

Este parámetro nos auxilió para la elección del emulsificante, los resultados y la técnica se describen en el Apéndice A.

OW	Producto	HLH	Concentración	Viscosidad producto (cp)	Visc. H2O + producto (cp)	Conc. H2O + producto	Viscosidad emulsión (cp)	Conductividad emulsión (ms)	Consumo de potencia (w)	Observación visual	Relación de Viscosidades	Relación de conductividades
0.1	span 83	1.8	10%	n d	3.7	23.2	n d	n d	3-5.8	0	n d	n d
0.1	span 80	4.3	10%	n d	7	28.7	2.5	52.8	2-5.0	2	0.35	1.83
0.1	span 60	4.7	10%	n d	n d	n d	n d	n d	2.0-3.0	0	n d	n d
0.1	twem 61	9.5	10%	n d	10	37.3	13	26.2	2.5-5.3	1	1.3	0.7
0.1	atlox 389	11.5	10%	140	10	95	30	62.7	3.5-7.0	2	3	0.66
0.1	atlox 100	12.3	10%	370	10	76.1	4.1	78	4.3-6.3	2	0.41	1.02
0.1	citranol 260	13	10%	670	450	112.1	120	142	4.3-6.4	4	0.266	1.266
0.1	twem 60	14.9	10%	n d	20	38.4	60.5	18	2.0-6.0	1	3.025	0.468
0.1	twem 20	15	10%	n d	20	32.2	45.3	21	2.0-12	1	2.26	0.652
0.1	twem 21	16.7	10%	290	60	15.7	7.9	19.5	4.0-7	3	0.131	1.24
0.1	citranol 3070	17.1	10%	93	5	330	2.8	108.1	5.8-8.1	3	2.8	0.3275
0.1	atlox 119	18.1	10%	n d	100	58.9	3.2	38.9	4.6-6.5	3	3.2	0.66

Tabla 3.2 Factores que se analizaron para distintos emulsificantes a una misma concentración

EMULSIFICANTE	HLB	TENSIÓN
span 85	1.8	32.6 D/cm
span 80	4.3	31.4 D/cm
span 60	4.7	35 D/cm
tween 61	9.5	40 D/cm
atlox 3069	11.5	33.4 D/cm
atlox 3409	11.9	32.2 D/cm
atlox 3080	12.3	34.1 D/cm
tween 60	14.9	40.1 D/cm
tween 80	15	43.4 D/cm
tween 20	16.7	39.4 D/cm
crisanol 3060	17.1	45.3 D/cm
canasol sc 1300	18.1	44.5 D/cm

Tabla 3.3 Tensión Superficial de los emulsificantes empleados

3.1.2.3 DETERMINACION DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DE LAS SOLUCIONES DE EMULSIFICANTES COMERCIALES

En la figura 3.4 se muestran los valores de Tensión superficial determinados para una solución al 10 % de los productos comerciales utilizados en este trabajo, contra el valor de HLB.

Como puede observarse, existe una tendencia lineal entre ambos parámetros, por ello, cuando hablamos de un valor de HLB mayor o menor, nos estamos refiriendo a valores de tensión superficial mayores o menores.

El mayor valor de tensión superficial lo presentó el crisanol 3060, seguido del canasol sc 1300, tween 60, tween 61, tween 80 y tween 20.

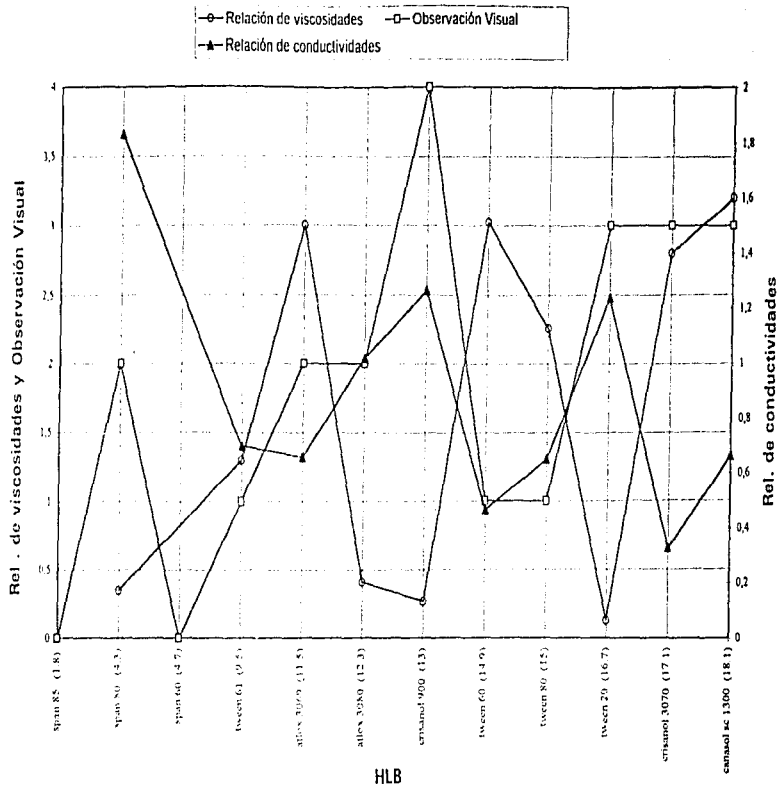


Figura 3.3 HLB vs. Rel. de viscosidades, conductividades y observación visual

3.1.3 EFECTO DEL USO DE LOS DEFLECTORES EN LA PREPARACIÓN DE LAS EMULSIONES.

Las pruebas se realizaron con la propela marina A-100, a 1350 rpm, bajo las mismas condiciones con y sin la presencia de deflectores. Se pudo observar que con el uso de deflectores, la potencia necesaria para preparar la emulsión, fue prácticamente 4 veces mayor a la potencia consumida sin deflectores. En cuanto a eficiencia del proceso podemos argumentar que el uso de deflectores estimula la formación de la emulsión de manera muy significativa, y aunque la generación de espuma también fue mayor, la calidad y estabilidad de las emulsiones preparadas fueron mucho mayores que cuando no se emplearon los deflectores.

Por otra parte, en cuanto a la relación de viscosidades se encontró que el aumento en la viscosidad de la emulsión preparada sin el uso de deflectores resultó ser casi dos veces mayor que la viscosidad de la otra emulsión preparada usando los deflectores.

3.1.4 Pruebas con diferentes relaciones de combustible/agua en la preparación de emulsiones

Resulta muy interesante determinar cuál es la máxima cantidad de combustible que se puede emulsionar, obteniendo una buena emulsión. Se probaron cantidades desde 10 % en vol./total hasta 50 % , y cada una, a su vez con un 10 % de emulsificante (vol./vol.) de combustible agregado.

Se obtuvo que, con respecto a la relación de viscosidades, ésta aumenta como se esperaba, conforme aumenta la cantidad de combustible adicionado.

Con respecto a la observación visual podemos decir que entre menor fue la cantidad de combustible adicionado, mejores fueron las características físicas que presentaron las emulsiones, ya que cuando se adicionó un volumen de 50 % con respecto al volumen total , ésta no parecía propiamente una emulsión, sino más bien una mezcla no homogénea de combustible y agua.

Con lo que respecta a la relación de conductividades, ésta no presentó variaciones muy importantes, pero si presentó una tendencia a disminuir conforme aumentó la cantidad de combustible agregado, aunque siempre se agregó un 10 % de emulsificante con respecto al volumen de combustible agregado. Estos resultados se pueden observar en la figura 3.5.

3.2. ESTABILIDAD DE LAS EMULSIONES A DIFERENTES TEMPERATURAS

Para poder determinar la estabilidad de las emulsiones se decidió trabajar a 3 distintas temperaturas: 10 ° C, 35 ° C y la temperatura ambiente a la cual se realizaron todos los experimentos (25 ° C).

A cada emulsión que se preparó se le determinaron la relación de viscosidades, conductividades y observación visual, para posteriormente dividirla en 3 partes, cada una de las cuales fue almacenada a distinta temperatura y cada 24 hrs. se hicieron las mediciones correspondientes durante una semana.

3.2.1 RELACIÓN DE VISCOSIDADES Y ESTABILIDAD DE LAS EMULSIONES

Con lo que respecta a la relación existente entre la viscosidad de la mezcla agua-emulsificante y la resultante de la emulsión agua-emulsificante-combustóleo se observó que entre mayor es la temperatura a la cual se conservan las emulsiones es mejor el comportamiento que presentan, es decir, la viscosidad que se tomó de la muestra es menor a la viscosidad que se tomó antes de preparar la emulsión. Este comportamiento también se presentó a temperatura ambiente, pero en menor escala; mientras que a la temperatura de 10 ° C, la viscosidad que se leyó siempre fue mayor a la viscosidad inicial, hasta que se rompió la emulsión.

Es importante señalar que hay más de un agente emulsificante adecuado para preparar cada emulsión, entre los cuáles es posible citar al crisanol 900, y al tween 20. Este comportamiento se puede observar en la figura 3.6.

3.2.2 RELACIÓN DE CONDUCTIVIDADES Y ESTABILIDAD DE LAS EMULSIONES

En cuanto a la relación existente entre la conductividad de la mezcla agua-emulsificante y la resultante de la emulsión agua-emulsificante-combustóleo, se puede decir que las temperaturas que presentaron la mejor relación, fueron a 35 ° C, ya que su conductividad final aumentó casi al doble en un intervalo de tiempo de 1 día y se mantuvo más o menos

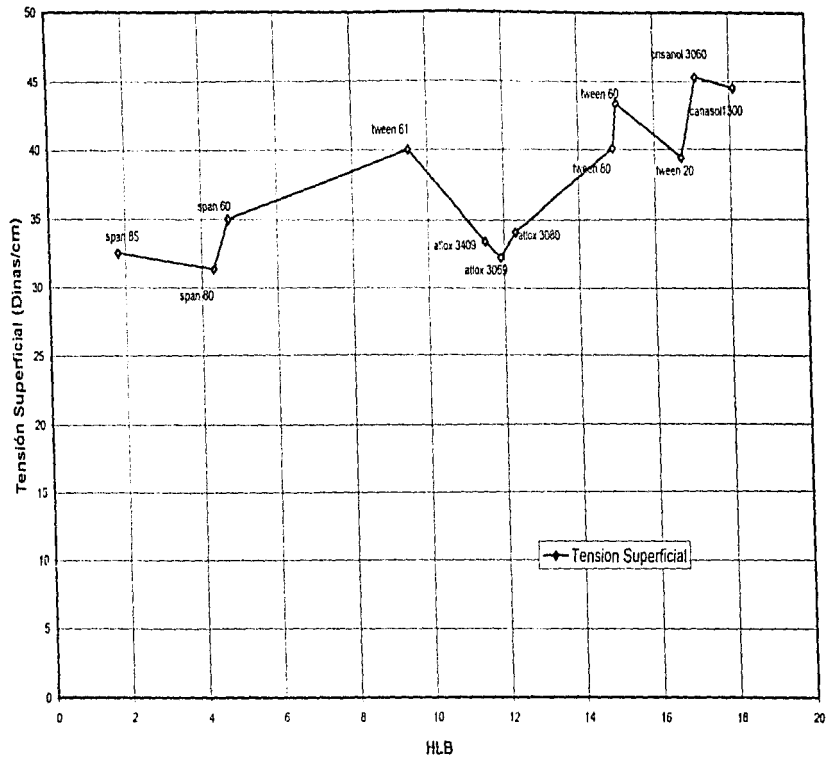


Figura 3.4 HLB vs. Tensión superficial

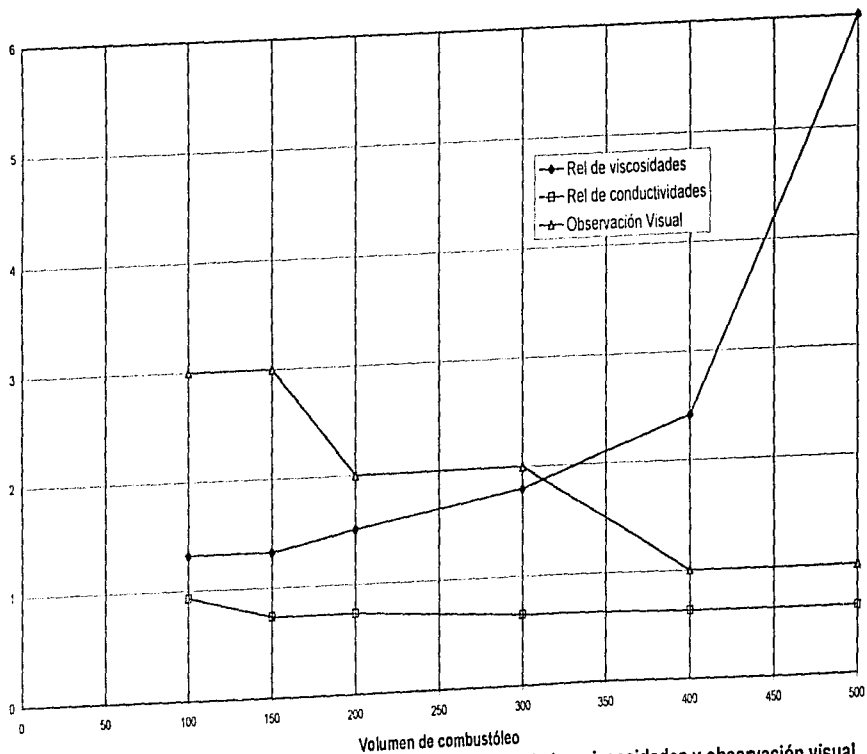


Figura 3.5 Volumen de combustóleo vs. Relación de conductividades, viscosidades y observación visual

constante hasta que la emulsión se rompió. A temperatura ambiente, presentó un comportamiento parecido pero ésta solo aumentó 1.5 veces con respecto a su conductividad inicial y también se mantuvo en ese rango, mientras que para la temperatura de 10 °C , su conductividad se mantuvo ligeramente por debajo de la inicial , hasta que se rompió la emulsión .

Es importante señalar que son varios los agentes emulsificantes con los que podemos obtener buenas relaciones de conductividades, entre los cuales se encuentran el tween 20, el crisanol 3070 y el canasol sc 1300. Estos resultados se muestran en la figura 3.7.

3.2.3 OBSERVACIÓN VISUAL Y ESTABILIDAD DE LAS EMULSIONES

En cuanto a la observación visual de la mezcla agua-emulsificante y la resultante de la emulsión agua-emulsificante-combustóleo, la temperatura con la que se observaron mejores características de apariencia física , fue la temperatura ambiente, de características visuales muy parecidas a las observadas a temperatura 35 ° C, además de que 8 días después de su preparación todavía no presentaba el rompimiento de la emulsión, la cual a temperatura de 10 ° C fue alcanzada antes del sexto día. Estos resultados se anexan en la figura 3.8.

En cuanto a la estabilidad de las emulsiones formadas, se obtuvo que las emulsiones se mantuvieron estables a temperatura ambiente por más de 90 horas, mientras que a 10 y 35 ° C, resultaron ser estables por 48 y 89 horas, respectivamente.

3.3 Esterilización de las Emulsiones

Para la prueba de esterilización se preparó una emulsión utilizando la propela marina y la velocidad que se consideró como la óptima, es decir 1350 rpm, con 100 mL de combustóleo y 10 % en volumen emulsificante. Después de preparar la emulsión se le midieron sus propiedades reológicas. En un matraz Erlenmeyer de 500 ml se agregaron 150 ml de la emulsión, se selló perfectamente el matraz con papel aluminio y se puso en el autoclave, hasta que éste alcanzó la temperatura de 120 ° C y una presión de 1.7 atm, se dejaron pasar 15 minutos y se apagó. Se esperó a que se

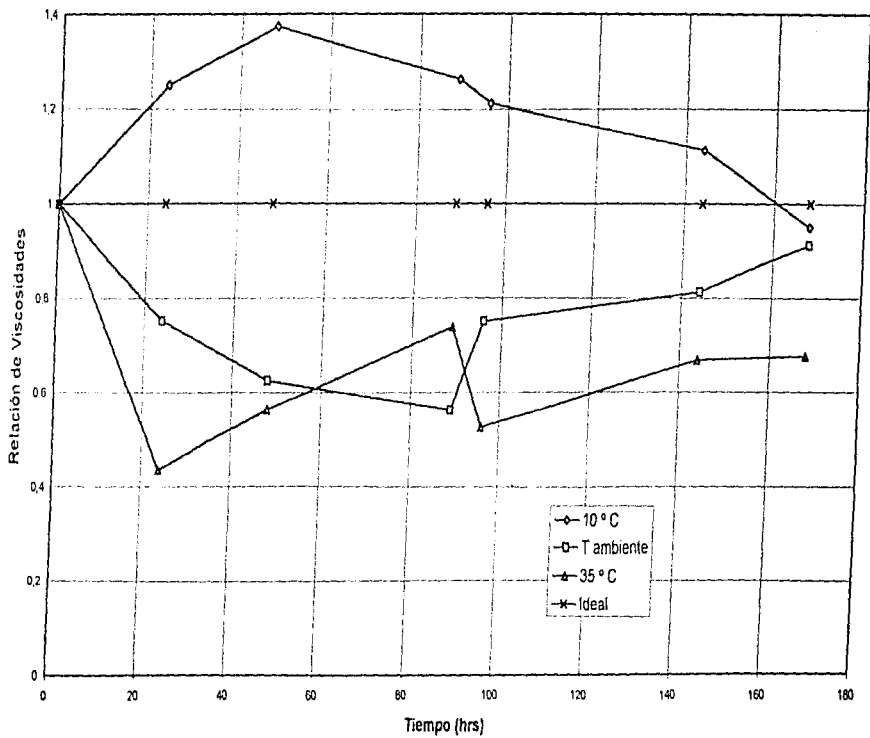


Figura 3.6 Tiempo de estabilidad vs. Relación de viscosidades

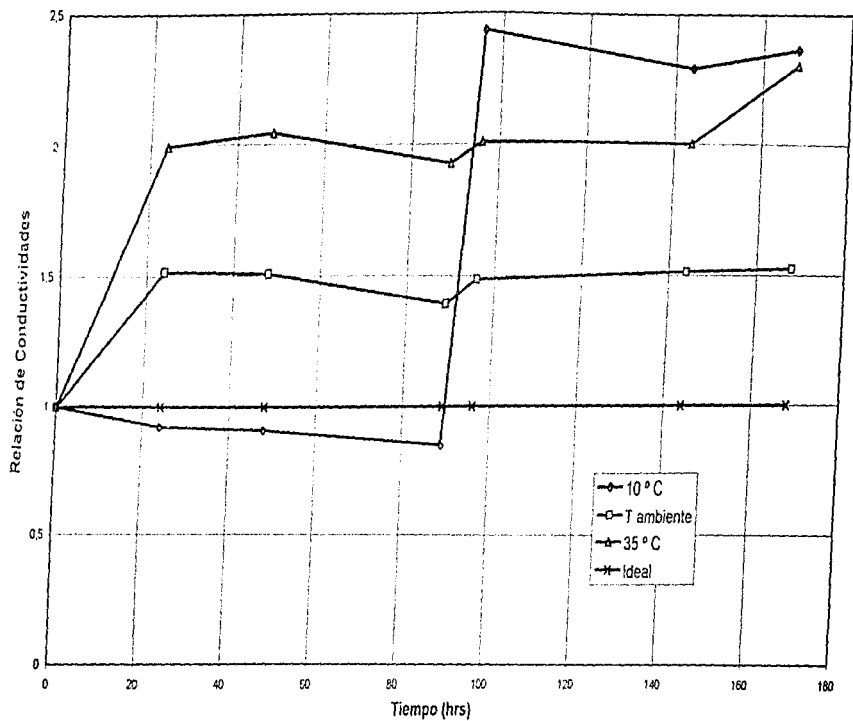


Figura 3.7 Tiempo de estabilidad vs. Relación de conductividades

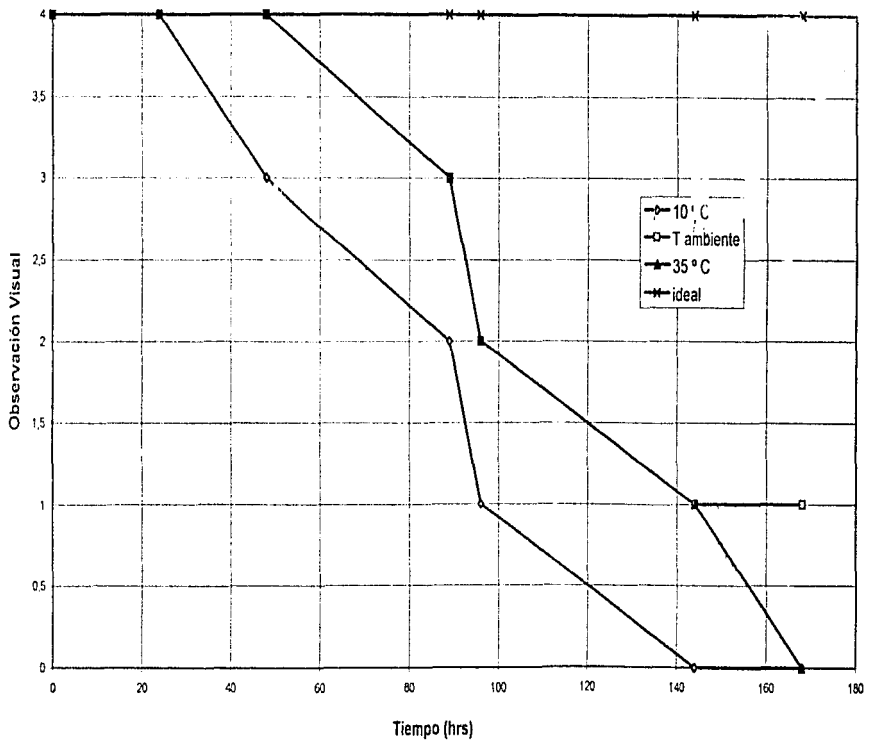


Figura 3.8 Tiempo de estabilidad vs. Observación Visual

enfriara y desperesurizara para destapar el autoclave, y se observó que quedó algo de combustóleo alrededor de las paredes del Erlenmeyer, pero lo demás parecía una solución bastante homogénea, color negruzco, a la cual notamos que le aumentó su conductividad en un 90 % y disminuyó ligeramente en su viscosidad, por lo cuál se puede argumentar que la emulsión se rompió..

En cuanto a la apariencia del experimento si tuviéramos que asignarle una calificación le otorgaríamos 3 siendo 4 la máxima.

3.4 Efecto de la salinidad en la preparación de emulsiones

3.4.1 Relación entre la salinidad y la conductividad de las soluciones utilizadas

Se prepararon soluciones de KCl a concentraciones molares de 0, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2 y 0.25, y se midió la conductividad eléctrica. Con respecto a este parámetro, se observó como se esperaba que conforme aumenta la salinidad (moles/litro) de la solución, aumenta su conductividad. Los resultados se muestran en la figura 3.9.

3.4.2 Efecto de la salinidad en la conductividad de las emulsiones

En cuanto a la conductividad de la mezcla agua-emulsificante, con respecto a la de la emulsión solución salina-emulsificante combustóleo, se puede argumentar que al preparar emulsiones empleando soluciones salinas, ésta casi permanece constante, con una muy ligera variación, destacando que hasta con valores de 0.05 M (como KCl) lograron prepararse excelentes emulsiones. También hay que mencionar la dificultad para medir la conductividad a soluciones demasiado salinas, soluciones molares mayores a 0.1, ya que el conductímetro del cual se disponía sólo registra conductividades de hasta 20,000 μ S. Los resultados se muestran en la figura 3.10.

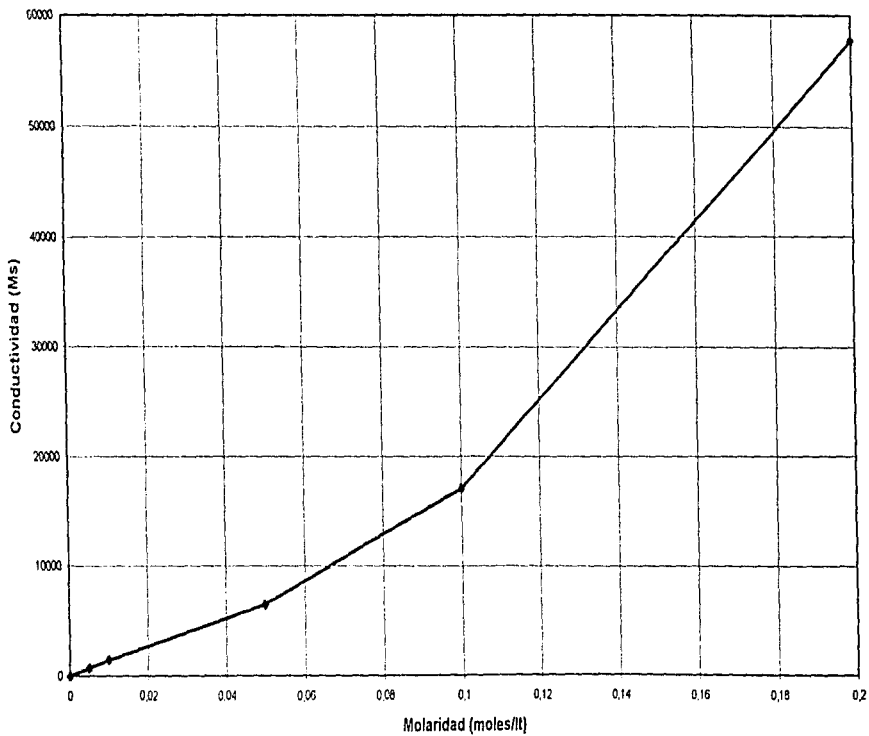


Figura 3.9 Molaridad de KCl vs. Conductividad de la emulsión

3.4.3 Efecto de la salinidad en la relación de viscosidades

En cuanto a la evaluación de este parámetro se observó que conforme aumenta la concentración de sales en las soluciones disminuye la relación de viscosidades, utilizando una misma concentración de emulsificante (10%) y una misma proporción O/W (0.1). Esta tendencia puede observarse en la figura 3.10

3.4.4 Efecto de la salinidad en la apariencia física de las emulsiones (Observación Visual)

En cuanto a la medición de este parámetro se observó que conforme aumentó la concentración de sales en las emulsiones, disminuyó también el valor de la observación visual en las mismas. Entre mayor es la salinidad, mayor es el volumen de espuma que se genera (coalescencia), y también mayor es la cantidad de combustible que se queda en las paredes del vaso de precipitados, tanto en los deflectores como en los impulsores. Estos resultados se muestran en la figura 3.10

3.5 Elección del tipo de impulsor adecuado

3.5.1 Potencia requerida para la preparación de emulsiones, empleando tres configuraciones diferentes de impulsores

En la figura 3.11 se muestran los diferentes consumos de potencia para los impulsores que se utilizaron (propela marina, turbina Lightnin A-310 y turbina rushton R-100) vs. el tiempo de preparación.

En esta figura se puede observar que el mayor consumo de potencia fue para la propela marina, seguida por la turbina Rushton y la turbina lightnin A-310. Cabe señalar que esta prueba se llevó a cabo a 1350 rpm y con una relación O/W de 10 % para todos los casos.

En la figura 3.12 se muestran los valores del número de potencia obtenidos para los impulsores utilizados, todo esto para una misma velocidad de agitación (1350 RPM). Se puede observar que los menores números de potencia se obtienen con la turbina Lightnin A-310 ($Re=2633.14$). Otros valores también bajos fueron los que se obtuvieron utilizando la propela marina A-100 ($Re=3060.6$). La turbina Rushton fue la que requirió de mayor potencia para preparar la emulsión, obteniéndose con ésta los valores más altos de Po ($Re=1672.07$), de lo cual se concluye que resultaron ser mejores la propela marina y la turbina Lightnin, en cuanto al consumo de potencia y preparación de la emulsión.

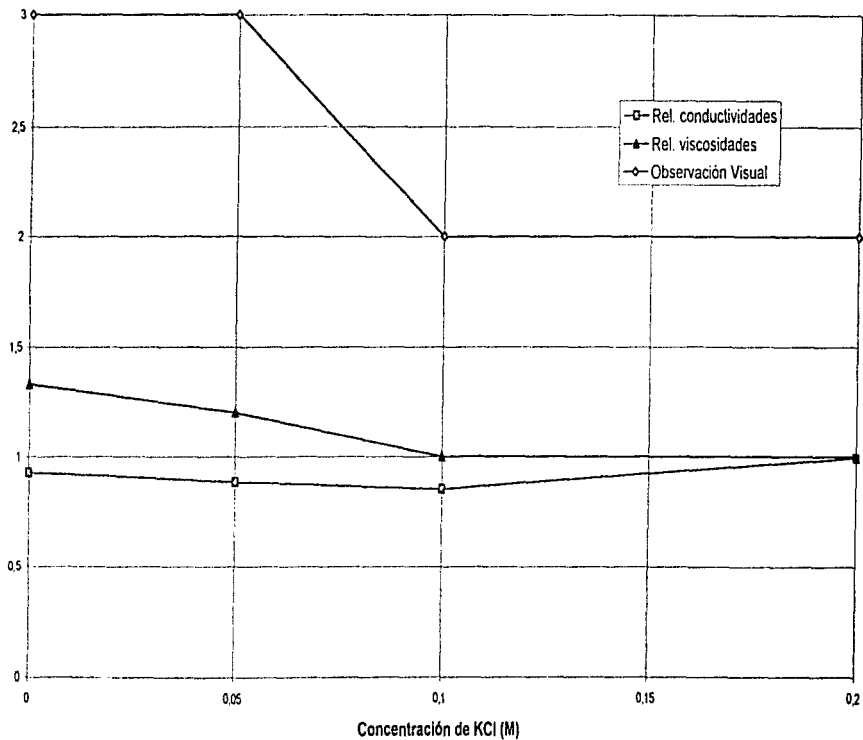


Figura 3.10 Molaridad de la solución vs. Relación de Conductividades, viscosidades y observación visual

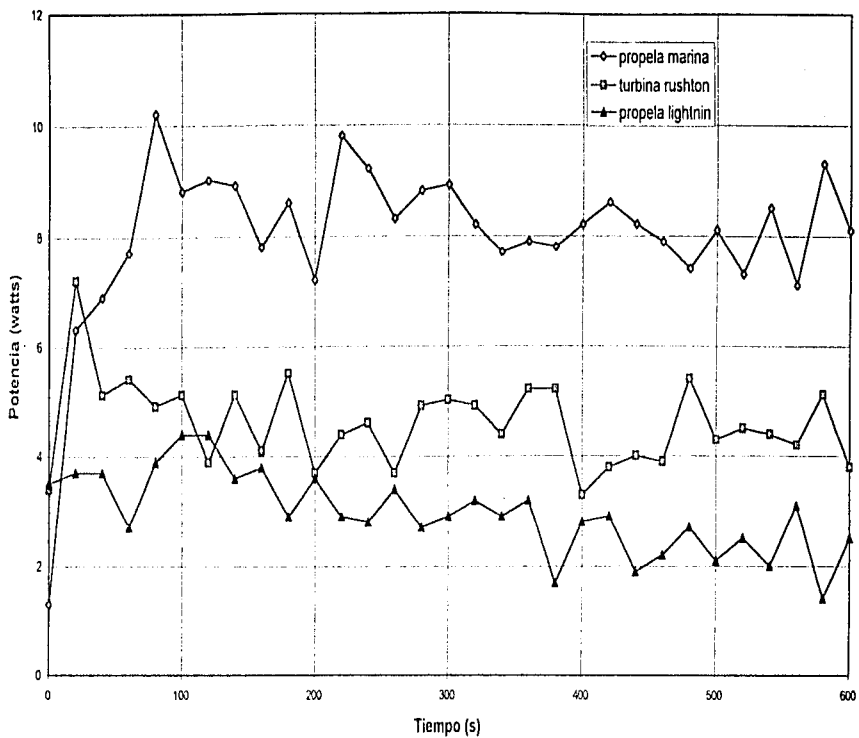


Figura 3.11 Tiempo de preparación vs. potencia para distintos impulsores

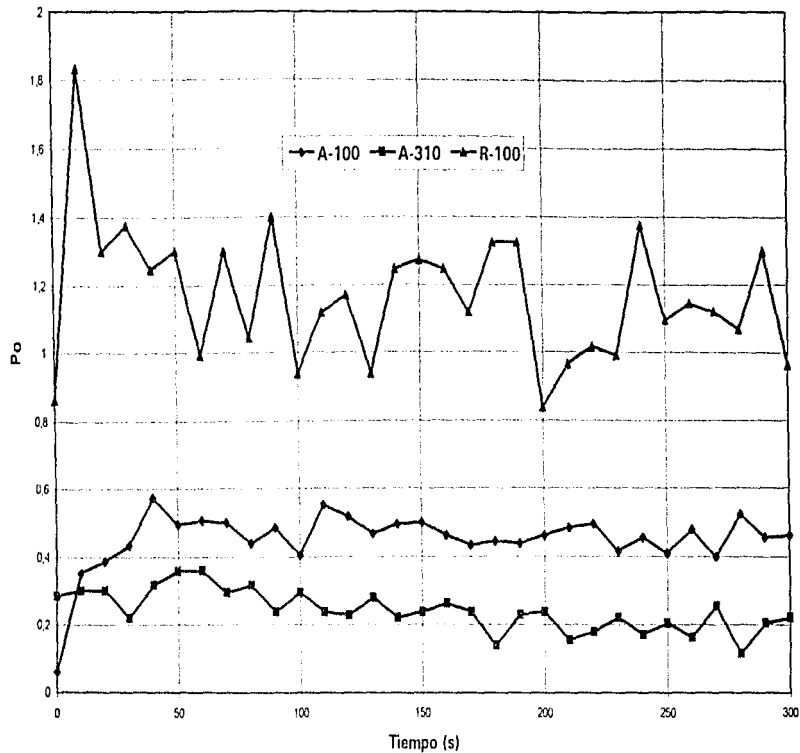


Figura 3.12 Tiempo vs P_o para distintos impulsores

3.5.1.1 Consumo de potencia en la preparación de emulsiones con/sin deflectores

Se realizaron algunas pruebas para determinar la potencia necesaria para preparar una emulsión, con el mismo impulsor (Propela Marina), a la misma velocidad de agitación (1350 RPM), usando o no deflectores. Los resultados que se obtuvieron se muestran en la figura 3.13.

En esta figura se observa que el consumo de potencia es casi 4 veces mayor cuando se usan deflectores, que cuando no se usan, pero las emulsiones que se formaron sin el uso de los deflectores, fueron en general malas, en comparación con las que se obtuvieron cuando se emplearon los deflectores. Es por eso que se decidió emplearlos en todos los experimentos. La figura 3.14 (Po vs. tiempo) ilustra la variación en el consumo de potencia requerida para preparar las emulsiones con/sin el uso de deflectores. Las Tablas que contienen éstos resultados se presentan en el Apéndice C.

3.5.2 Reproducibilidad del Proceso

Para evaluar la reproducibilidad del proceso, se realizaron una serie de experimentos bajo las mismas condiciones de operación en diferentes ocasiones; para analizar éste parámetro se escogió uno de los mejores experimentos (se empleó la propela marina, con una velocidad de agitación de 1350 RPM y 10 % de emulsificante). Los resultados que se obtuvieron, se muestran en la figura 3.15, en donde se observa que los experimentos no tuvieron diferencias muy significativas, aunque el valor que se obtuvo de desviación estándar es de 1.76, éstos presentan una semejanza notoria en el comportamiento que presentaron a lo largo de los 5 minutos de agitación que se emplearon para la preparación de las emulsiones.

3.5.3 Determinación del consumo de potencia para crear emulsiones utilizando tres configuraciones distintas de impulsores a diferentes velocidades de agitación.

Como anteriormente se mencionó, para cada impulsor, se utilizaron 5 diferentes velocidades de agitación (950, 1150, 1350, 1550 y 1750 RPM).

La propela marina A-100, es el impulsor que más potencia necesita para poder preparar una emulsión, y como se esperaba, conforme se aumentó la velocidad de agitación, también aumentó la potencia necesaria para poder

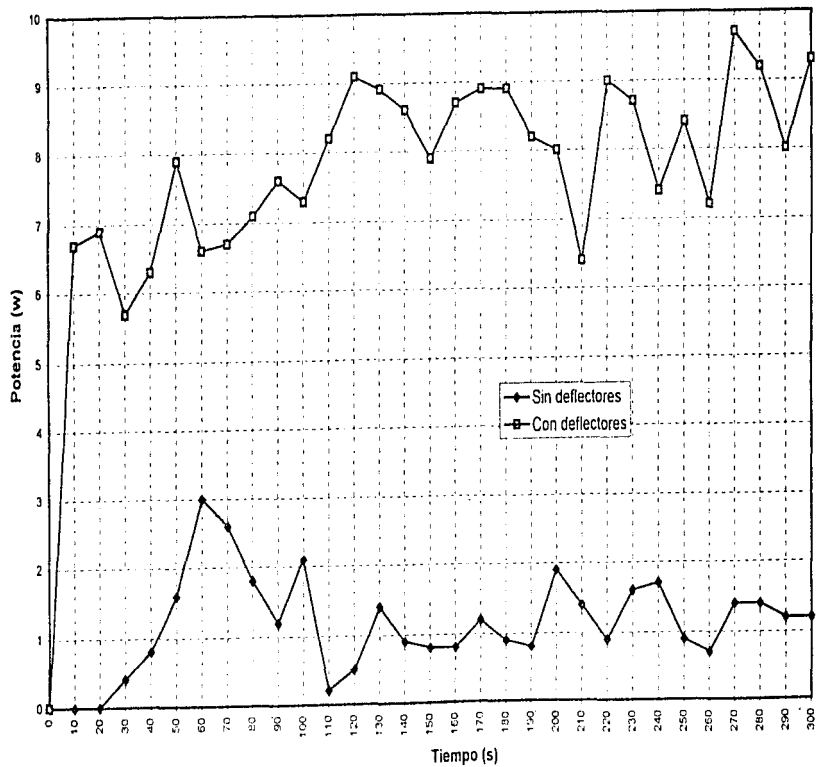


Fig 3.13 Tiempo vs. Potencia (con/sin) deflectores

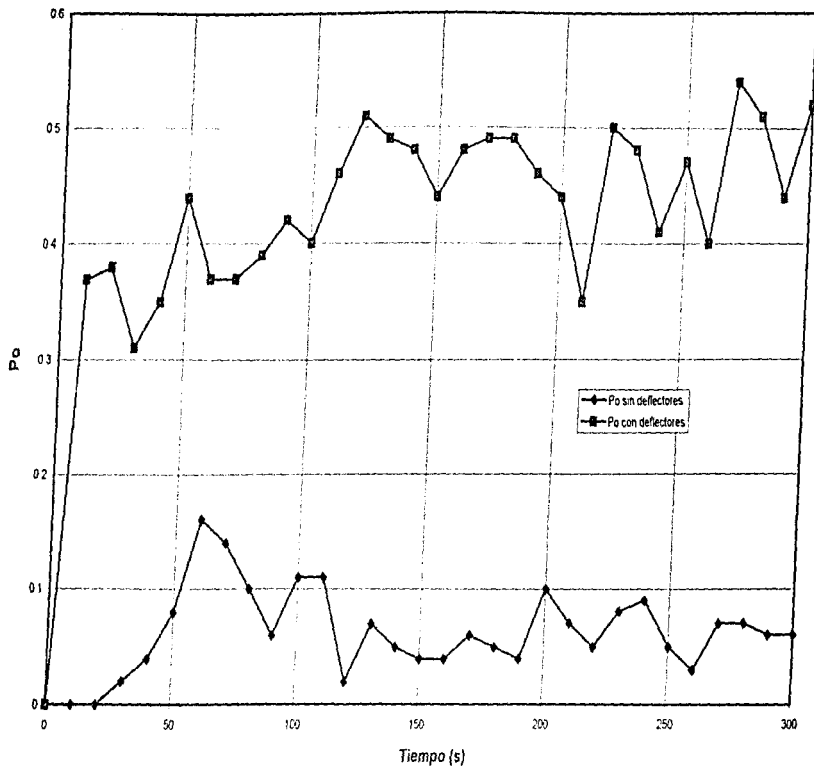


Figura 3.14 Tiempo vs. Po (Prueba con/sin deflectores)

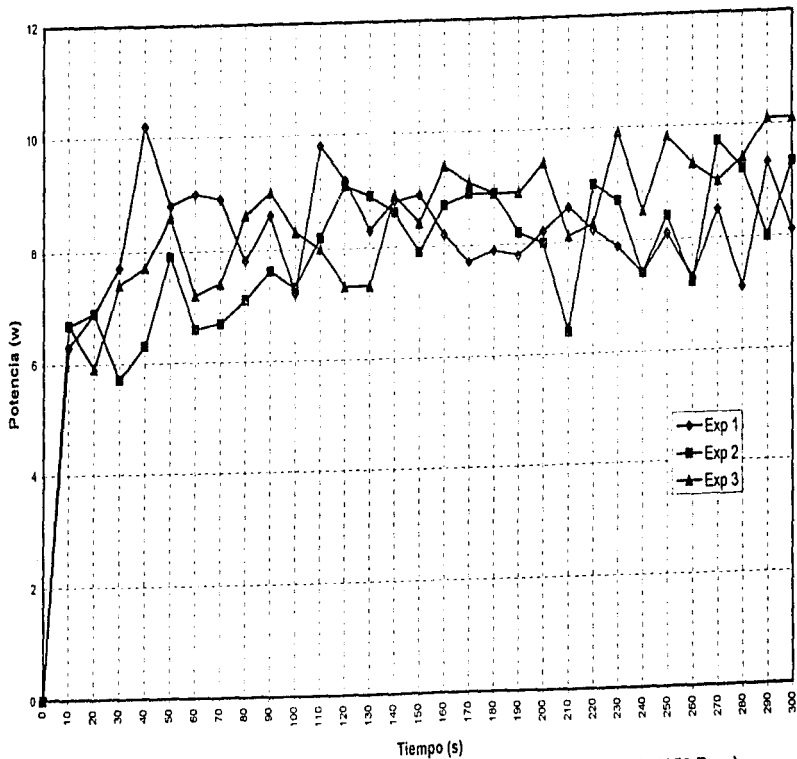


Figura 3.15 Tiempo vs Potencia en Pruebas de Repetibilidad (A-100, 1350 Rpm)

preparar la emulsión, aunque cabe destacar que a 1550 y 1750 RPM la potencia aumentó en una mayor proporción que con las otras tres velocidades de agitación, este comportamiento se puede observar en la figura 3.16.

La turbina Rushton R-100 es el segundo impulsor en cuanto a consumo de potencia se refiere, y el comportamiento que presenta a cinco diferentes velocidades se puede observar en la figura 3.17. En comparación la propela marina tan solo requirió de poco más de la mitad de la potencia consumida.

La turbina Lighthnin A-310 es el impulsor que requiere menos potencia para la preparación de la emulsión, poco más de 1/3 de la potencia que registró la propela marina. Este comportamiento se puede observar en la figura 3.18.

Cabe destacar que para la evaluación de este parámetro, se hace la comparación sólo con la potencia que registró el mezclador Labmaster I, más no se empleó otro criterio como el diámetro del impulsor, la relación D/T, etc.

3.5.3.1 Influencia del diámetro del impulsor en el consumo de potencia (P_o)

El impulsor que presenta los menores números de potencia es la turbina lighthnin A-310, muy semejantes a los que presenta la Propela marina A-100, a diferencia de la Turbina Rushton que presenta los números de potencia más altos, y por consecuencia es la turbina que requiere más energía para la preparación de las emulsiones, estos resultados se presentaron en las figuras 3.19, 3.20 y 3.21.

Las tablas que presentan los resultados puntuales para cada uno de los impulsores, a cada una de las velocidades de agitación, se anexan en el Apéndice B.

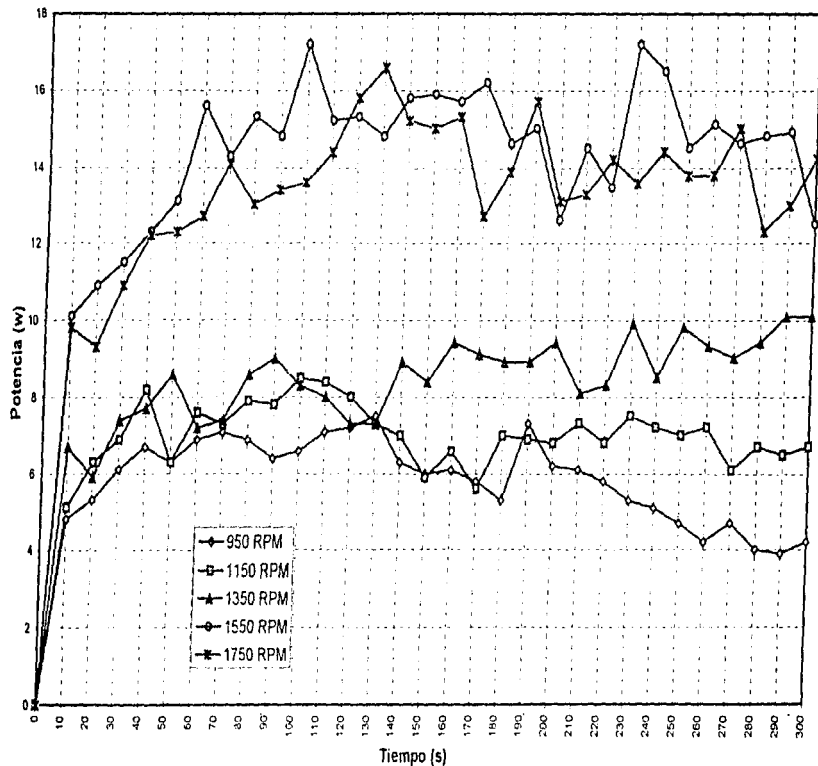


Figura 3.16 Tiempo vs. Potencia (Propela Marina A-100)

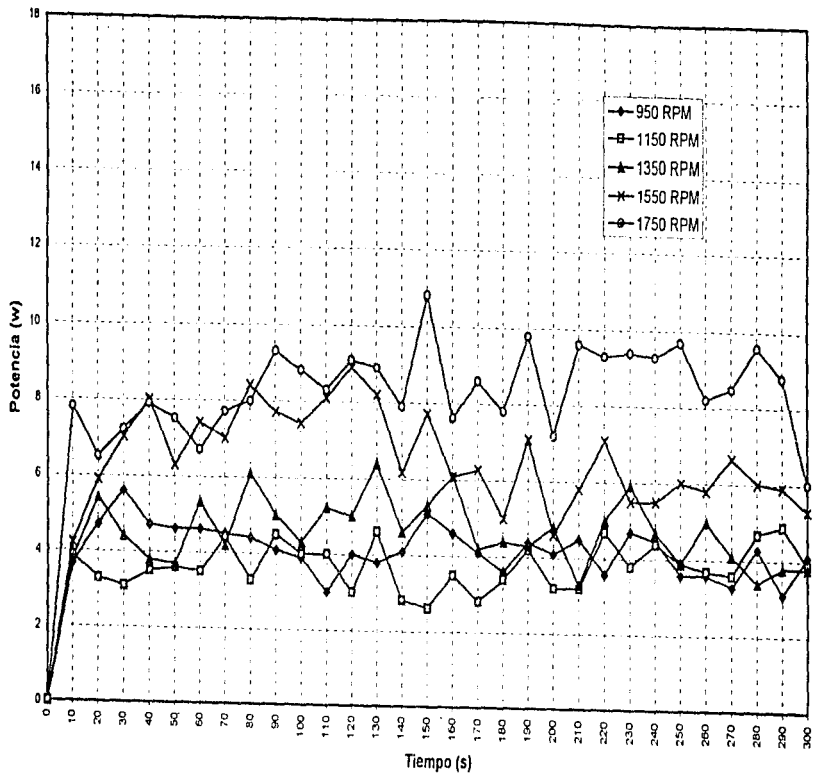


Figura 3.17 Tiempo vs. Potencia (Turbina Rushton R-100)

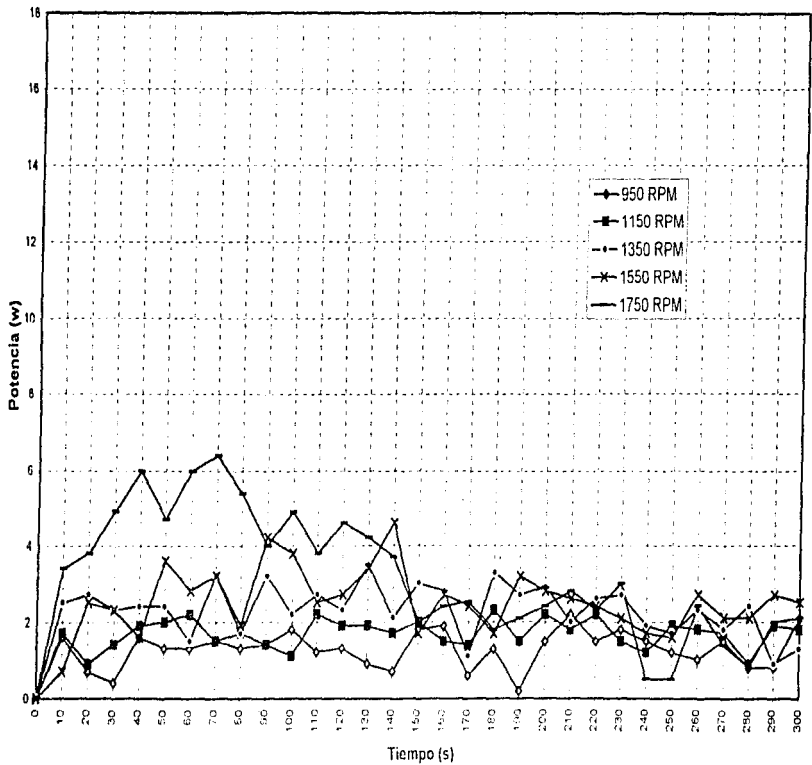


Figura 3.18 Tiempo vs. Potencia (Propela Lightnin A-310)

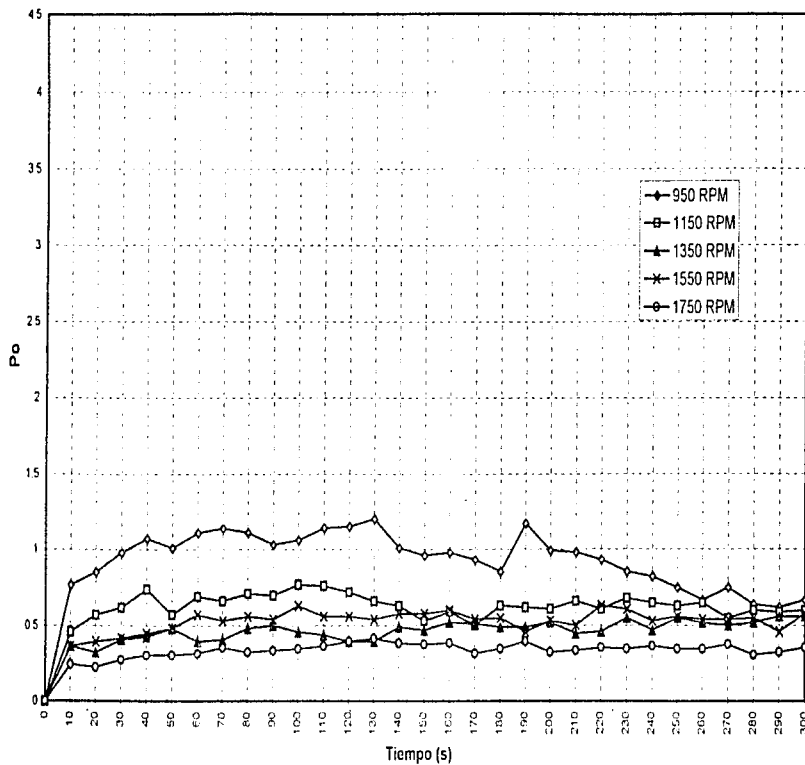


Figura 3.19 Tiempo vs. P_o (Propela Marina A-100)

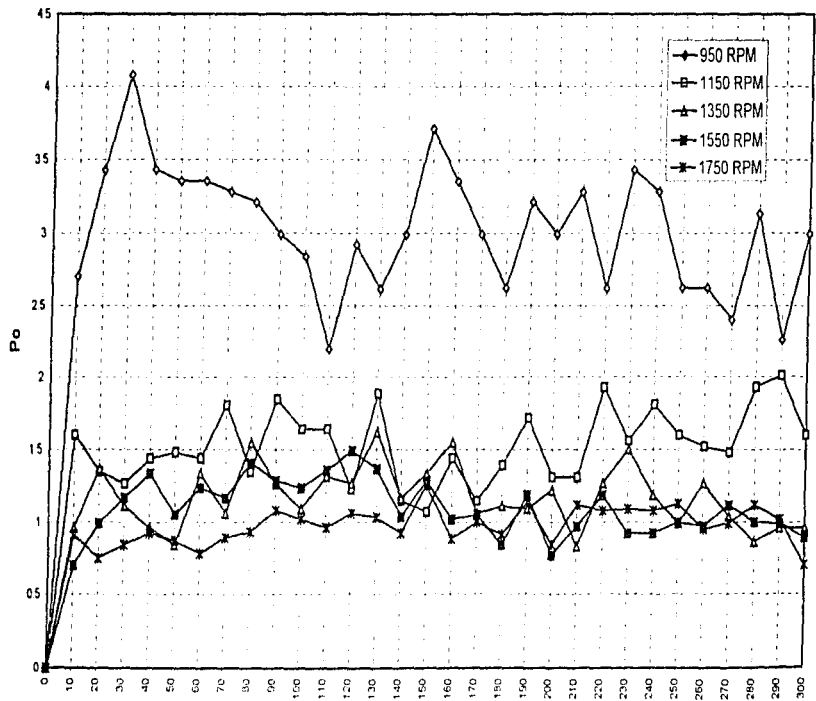


Figura 3.20 Tiempo vs. P_o (Turbina Rushton R-100)

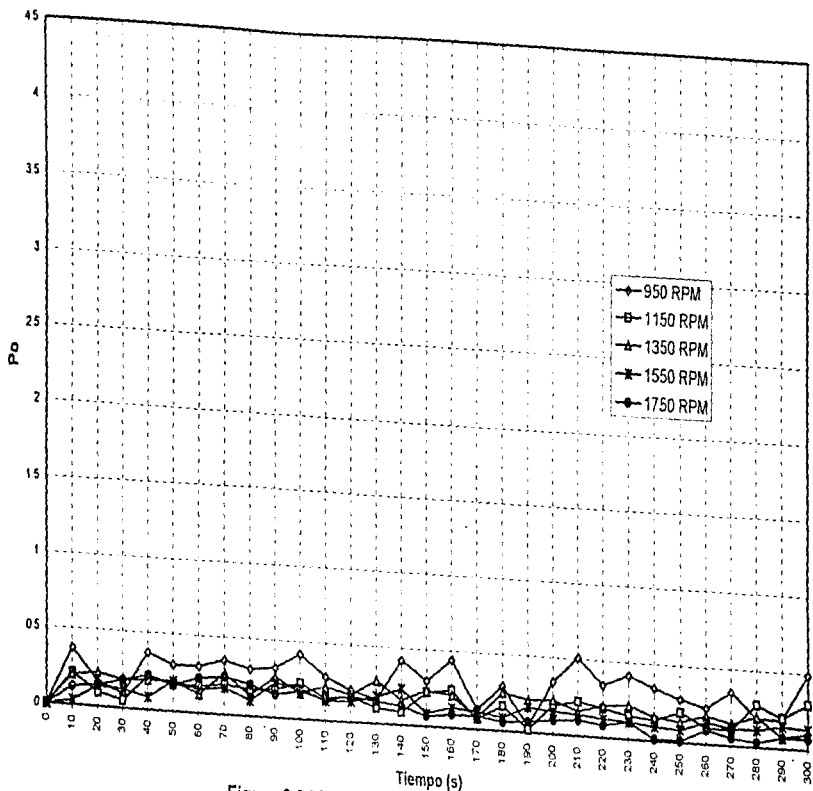


Figura 3.21 Tiempo vs. Po (Propela Lightnin A-310)

3.5.3.2 Constantes reológicas apartir del Po

Las constantes reológicas que se obtuvieron apartir de la ley de potencia para las diferentes emulsiones, con los 3 diferentes impulsores a las 5 diferentes velocidades de agitación empleadas se ilustran en las tablas 3.4, 3.5 y 3.6

La ley de potencia ha demostrado ser una ecuación útil y adecuada para representar el comportamiento reológico no-Newtoniano del tipo pseudoplástico que exhiben algunas soluciones en función de la velocidad de deformación. Mientras más grande sea el valor de K, más viscoso es el fluido. A medida que el valor de n decrece, el fluido es más pseudoplástico o reofluidizante.

A-100	n	k (Ns/m ²)	μ_{90} (cp)	O.V.
950 RPM	1.44	0.0027	7.2	1
1150 RPM	1.77	0.0016	7.3	3
1350 RPM	1.02	0.0044	4.65	3
1550 RPM	1.15	0.0032	5.33	2
1750 RPM	1.502	0.0022	6.53	2

Tabla 3.4 Constantes Reológicas de las emulsiones obtenidas con la Propela Marina

R-100	n	k (N.s/m ²)	μ_{90} (cp)	O.V.
950 RPM	1.466	0.0029	8.11	1
1150 RPM	1.068	0.0042	5.04	2
1350 RPM	0.956	0.0047	4.23	3
1550 RPM	1.312	0.0028	5.85	2
1750 RPM	1.603	0.0024	8.38	2

Tabla 3.5 Constantes Reológicas de las emulsiones obtenidas con la Turbina Rushton

A-310	n	k (Ns/m ²)	μ_{90} (cp)	O.V.
950 RPM	0.956	0.0046	4.14	1
1150 RPM	1.206	0.0033	5.35	2
1350 RPM	0.728	0.0048	2.25	2
1550 RPM	1.25	0.0024	4.37	1
1750 RPM	0.948	0.0046	4.09	2

Tabla 3.6 Constantes Reológicas de las emulsiones obtenidas con la Turbina Lightnin

3.5.4 Relación entre la potencia consumida y el Re

Después de haber calculado el Re para cada una de los experimentos, a las diferentes velocidades de agitación, se llegó a la conclusión de que Propela Marina A-100 es el impulsor que alcanza el mayor Re, con un Po relativamente bajo, no tan pequeño como los obtenidos por la Turbina Lightnin, pero sí significativamente bajo. Con la Turbina Lightnin también se obtuvieron buenos Re, con consumos de potencia menores; cabe destacar que con la Turbina Rushton se obtuvieron los menores Re con los mayores Po, estos comportamientos de los impulsores, se muestran en la figura 3.22 Este diagrama es indispensable para el escalamiento del proceso.

3.5.5 Energía total consumida en la preparación de las emulsiones.

En cuanto a la energía total consumida para la preparación de las emulsiones, y como se observa en la figura 3.23, se puede decir que la turbina Lightnin es el impulsor que consume menos energía, siguiéndole la turbina Rushton, y por consiguiente la Propela Marina es el impulsor que más energía consume durante el proceso de preparación de las emulsiones. En esta figura se comparan la Energía total consumida por cada impulsor a las diferentes velocidades de agitación empleadas, contra el valor que se le asignó a cada uno de los experimentos que se realizaron, de acuerdo con la apariencia física que presentaron y que mediante una escala de observación visual que se fijó arbitrariamente y que equivale a 0=mala emulsificación, 1=emulsificación regular, 2=buena emulsificación y 3=muy buena emulsificación.

Con base en esta figura las opciones más interesantes son aquellas que presentan bajos consumos de energía total con altos valores de observación visual. Entre ellos cabe resaltar la R-100 operando a 1350 y la A-100 operando a 1350 y 1550 rpm. En segundo término estaría la Turbina Lightnin A-310 operando a 1350,1550 y 1750 rpm, la R-100 operando a 950, 1550 y 1750 rpm, y la A-100 operando a 1550 y 1750 rpm.

3.5.6 Capacidad de bombeo en los impulsores en la preparación de las emulsiones .

En la figura 3.24, se comparan la capacidades de bombeo (L/min) que presentaron cada uno de los impulsores, a las diferentes velocidades de agitación que se utilizaron , graficadas con respecto a la apariencia física que presentó cada una de las emulsiones que se prepararon.

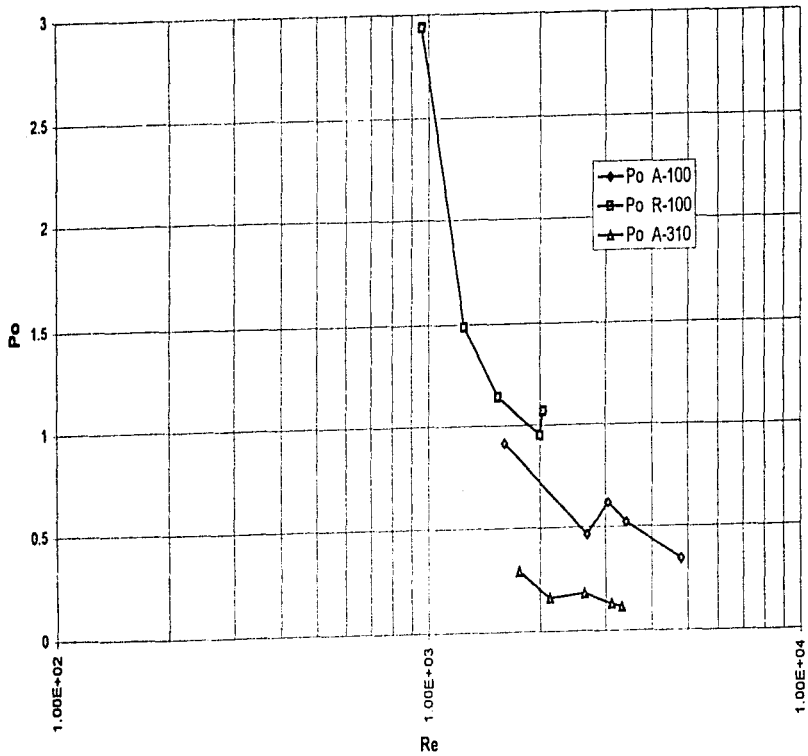


Figura 3.22 Re vs. Po para distintos impulsores

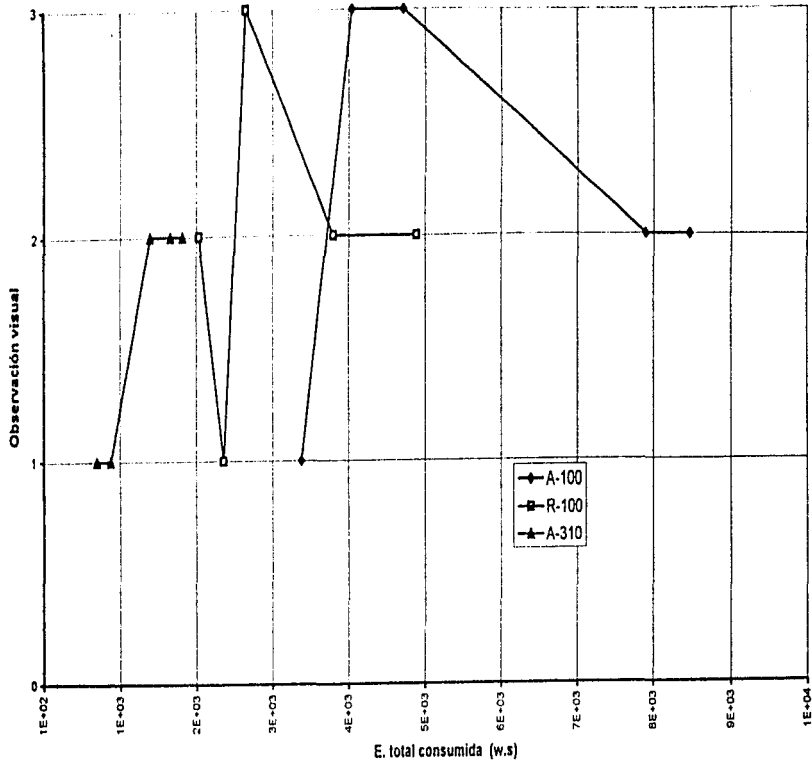


Figura 3.23 Energía Total vs. Observación Visual)

La Propela Marina es el impulsor que alcanza las máximas capacidades de bombeo, superando y por mucho, las capacidades que requieren la turbina Lightnin y la Rushton, parámetro que se ve reflejado también en el consumo total de energía citado anteriormente

Los resultados obtenidos de las capacidades de bombeo (L/ min), se muestran en la tabla 3.7,

Cap. (L/min)	950 RPM	1150 RPM	1350 RPM	1550 RPM	1750 RPM
A-100	234	284	333	382	432
R-100	99	120	141	162	182
A-310	135	163	193	221	250

Tabla 3.7 Capacidades de bombeo (L/min) para los distintos impulsores

3.6 Otras variables importantes en la preparación de las emulsiones

3.6.1 Pruebas con o sin estabilizante

Para las pruebas con/sin estabilizante, se utilizó la goma algarrobo, obteniendo un aumento en la viscosidad, conforme se aumentó la concentración de goma algarrobo. Se observó también que conforme se aumentaba la concentración de estabilizante (goma algarrobo) en la formación de la emulsión, disminuían los valores obtenidos de número de potencia.

Los resultados se presentan en la figura 3.25, y las tablas que presentan éstos resultados se anexan en el apéndice C.

Estos experimentos se llevaron a cabo con el impulsor propela marina A-100, y a una velocidad de 1350 RPM.

Los resultados reológicos de estos experimentos se anexan en la tabla 3.8

A-100 (1350 RPM)	n	k (n s/m ²)	r	μ_{90} (cp)
10 % emuls.	1.088	0.004	0.999	4.96
1 % estab., 9 % emuls.	1.177	0.0032	0.993	5
5 % estab., 5 % emuls.	1.28	0.0038	0.992	7.24

Tabla 3.8 Características reológicas de las emulsiones preparadas utilizando distintas concentraciones de goma algarrobo (estabilizante).

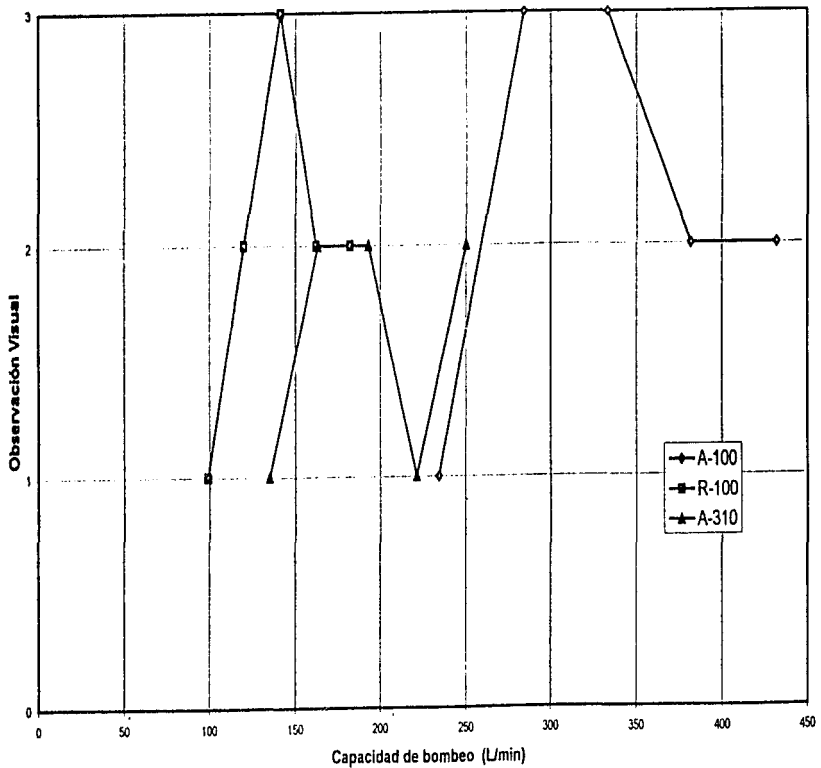


Figura 3.24 Capacidad de bombeo vs. Observación visual

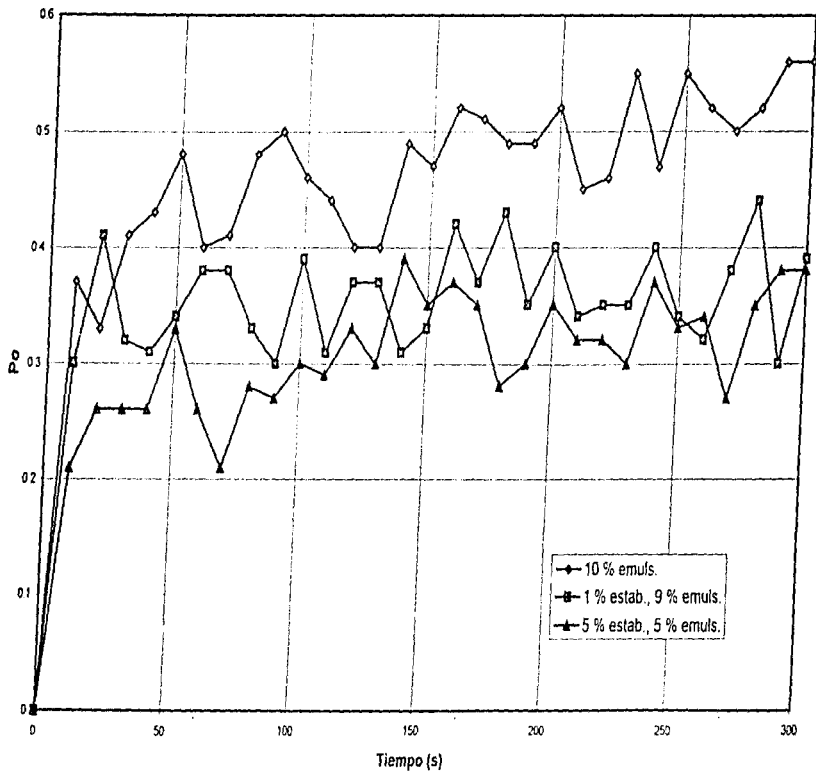


Figura 3.25 Tiempo vs. P_o para distintas concentraciones de estabilizante

ESTA TESTA NO DEBE
SALIR DE LA INDUSTRIA

3.6.2 Pruebas con medio B

El medio B es un medio salino el cuál es propicio para el desarrollo de las bacterias sulfatoreductoras, ya que las provee de los nutrientes necesarios para su subsistencia.

Se realizaron algunas pruebas, utilizando éste medio como fase continúa, con interesantes resultados que se presentan a continuación.

3.6.2.1 Diferencias con las pruebas convencionales

Las pruebas que se realizaron con medio salino (medio B, medio API), tuvieron el mismo desarrollo que los experimentos que se realizaron con agua, y además de el gran aumento en la conductividad que presentaron las emulsiones preparadas, también se puede señalar la gran diferencia en cuanto a la producción de espuma, ya que las emulsiones preparadas en medio salino presentan casi ausencia de ella, aún cuando se agregó la misma cantidad de emulsificante a las pruebas con/sin medio salino.

Otro factor que se considera importante en la producción de las emulsiones en medio salino, es su estabilidad, y aunque decidimos al igual que con agua destilada como fase continua, realizar experimentos a distintas temperaturas (10 ° C, T amb. y 35 ° C) utilizando la misma emulsión, en menos de 24 hrs. todas las pruebas presentaban ya la separación de dos fases, en el caso de la de T. amb. y a 35 ° C, el combustóleo se encontraba asentado en el fondo, a diferencia de la prueba realizada a 10 ° C en la cuál el combustóleo se encontró en la parte superior del vaso de precipitados..

Las características reológicas obtenidas se presentan en la Tabla 3.9.

Emulsión con	n	k (Ns/m ²)	r	μ _{sp} (cp)
Medio B (cont.)	1.52	0.0022	0.999	6.74

Tabla 3.9 Características Reológicas de las emulsiones obtenidas utilizando medio B como fase continúa.

3.6.2.2 Efectos producidos en cuanto a consumo de potencia

Después de que se realizaron algunos experimentos para la evaluación del consumo de potencia requerido en la preparación de las emulsiones, se puede afirmar que para preparar una emulsión utilizando medio salino como fase continua, se requiere menos energía ya que los números de potencia calculados apartir de las potencias registradas por el mezclador, resultan ser menores que cuando se realizaron los experimentos con agua destilada como medio continuo.

Los experimentos se realizaron con el impulsor propela marina a 1350 rpm, con 10 % de emulsificante/volumen de la fase oleosa. Estos resultados se presentan en la figura 3.26 y la tabla que los presenta se anexa en el apéndice C.

3.6.2.3 Esterilización de las emulsiones

En cuanto a la esterilización de las emulsiones que tienen como fase continúa un medio salino, se puede decir que a diferencia de las emulsiones que tienen como fase continúa agua destilada, se puede corroborar inmediatamente la separación de las dos fases, quedando la fase oleosa, en la parte superior y la fase acuosa en la parte inferior de el matraz. Lo que también se observó fue que con una leve agitación, se vuelven a integrar las moléculas en una sola fase. Esto resulta interesante dado que puede ser utilizando como método de separación del combustible del agua, después del proceso de desulfuración

3.6.2.4 Pruebas con agua

Para finalizar y como simple parámetro de comparación se realizaron experimentos con agua. En vez de agregar la fase oleosa, se agrego la misma cantidad en volumen, de fase acuosa, tratando de mantener el tiempo de agregación constante. En la figura 3.27 se muestran los resultados obtenidos para la propela marina, 3.28 para la turbina rushton y 3.29 para la turbina Lightnin.

Como se puede observar en estas gráficas, y confirmando lo anteriormente citado, es la turbina Lightnin A-310, el impulsor que menos potencia requiere en la preparación de las emulsiones; siguiendole a su vez y con valores muy parecidos la propela marina A-100 y la turbina rushton R-100;

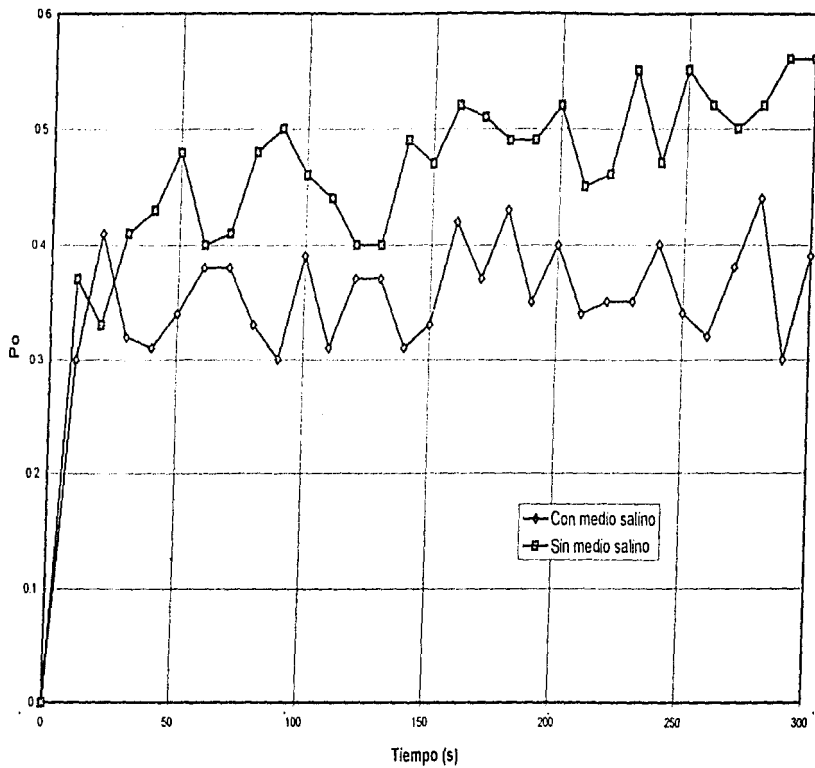


Figura 3.26 Tiempo vs. Po con/sin medio salino como fase continua

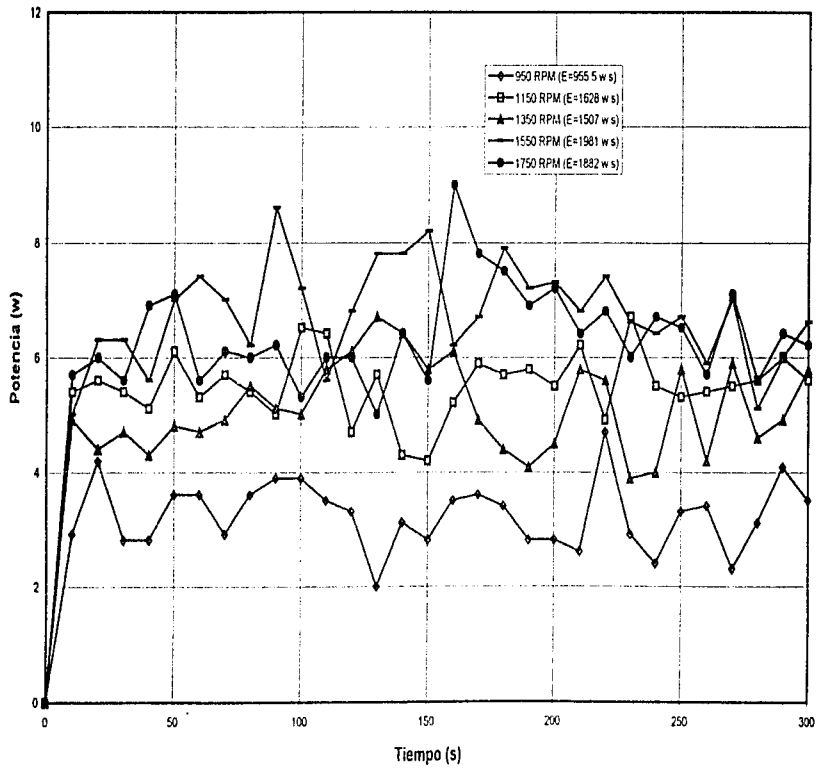


Figura 3.27 Tiempo vs. Potencia consumida (Propela Marina A-100), Agua

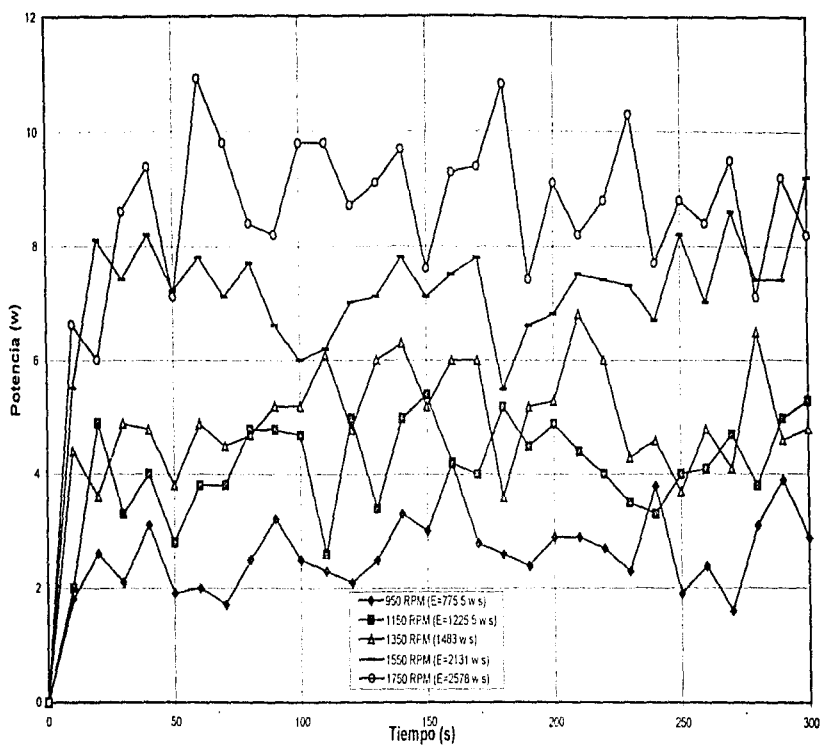


Figura 3.28 Tiempo vs. Potencia consumida (Turbina Rushton R-100), Agua

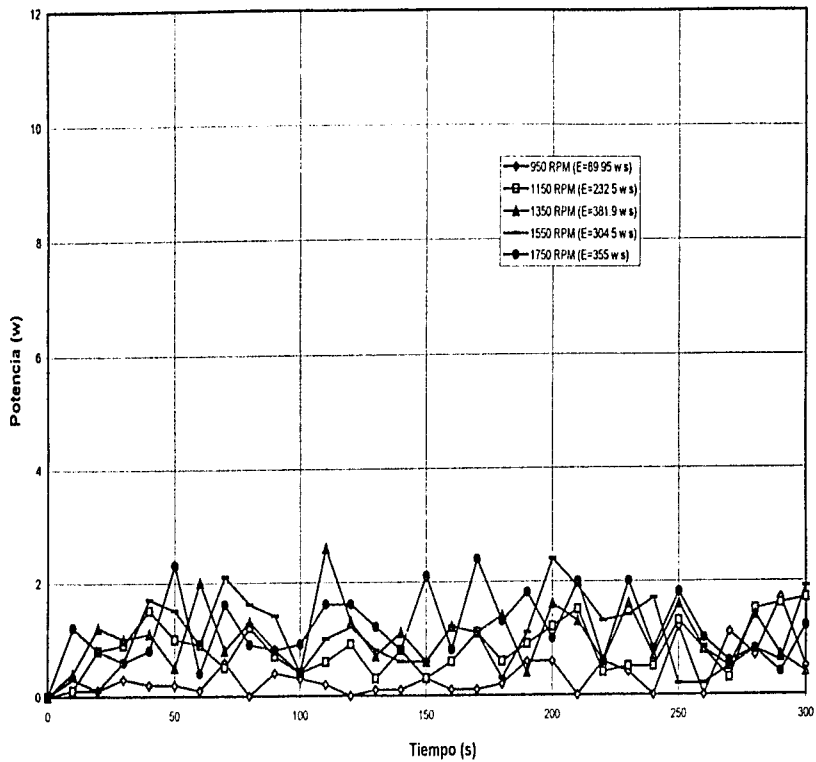


Figura 3.29 Tiempo vs. Potencia consumida (Propela Lightnin A-310), Agua

CAPITULO 4 CONCLUSIONES

En el presente trabajo se demostró la factibilidad de preparar emulsiones emulsificante-agua-combustóleo por medio de un sistema tan sencillo como un tanque agitado.

En lo que se refiere a la elección del mejor agente emulsificante, se evaluó la preparación de las emulsiones con 16 agentes emulsificantes comerciales con valores de HLB entre 1.8 y 18.1, evaluando las características de las emulsiones formadas por su apariencia física (observación visual) y la relación existente entre la viscosidad de la mezcla agua-emulsificante y la resultante de la emulsión agua-emulsificante-combustóleo. Además, se midió la conductividad de la mezcla agua-emulsificante y se relacionó con la conductividad de la emulsión formada con el combustóleo. Se observa que más de un agente emulsificante propicia una emulsión con características deseables, entre los cuales es posible citar al crisanol 900, crisanol 3070 canasol sc 1300 y tween 20 (siendo este último de los más económicos).

Se llevaron a cabo experiencias preliminares para determinar la velocidad mínima (empleando una propela marina) para preparar una emulsión de combustóleo en agua 1:9 empleando el 10% de emulsificante con base en el volumen total. Esta velocidad resultó ser 1350 rpm.

Por el otro lado, se determinó que es posible preparar emulsiones hasta con el 50% de combustóleo en agua (emulsiones 5:5).

En cuanto a la estabilidad de las emulsiones formadas, se obtuvo que las emulsiones se mantuvieron estables a temperatura ambiente hasta por casi 90 horas, mientras que a 15 y 35 °C, se mantuvieron estables por 48 y 89 horas, respectivamente.

En cuanto al efecto de la salinidad, se tuvo que con valores de hasta 0.05 M (como KCl) se prepararon excelentes emulsiones.

Se prepararon una serie de emulsiones empleando los tres tipos de impulsores (propela marina A-100, turbina rushton R-100 e impulsor Lightnin A-310), operando a velocidades de 950, 1150, 1350, 1550 y 1750 rpm. Los impulsores que permitieron preparar emulsiones excelentes a los más bajos consumos de potencia y que se recomiendan como opciones viables para la preparación de las emulsiones son la turbina Rushton (a 1350 rpm) y la propela marina (1150 y 1350 rpm). Finalmente, el impulsor Lightnin A-310 a 1350 rpm y la turbina Rushton trabajando a 950 rpm, lograron buenas emulsiones, cumpliendo así con el objetivo de preparar una emulsión útil y práctica, aplicable a la siguiente etapa de el proceso de desulfuración por vía biológica.

La presencia de los deflectores en el sistema tuvo un efecto muy importante sobre el consumo de potencia en la preparación de las emulsiones (cuadruplicando la potencia consumida en watts).

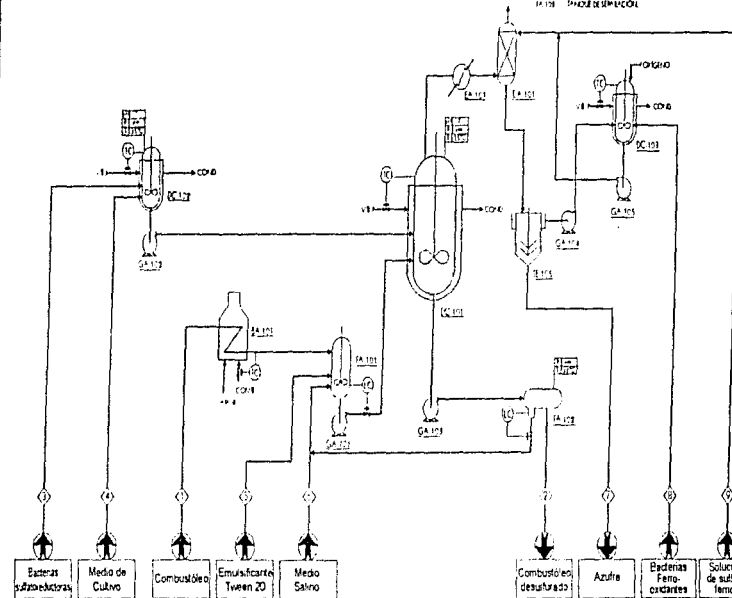
En cuanto al uso de agentes estabilizadores se encontró que si ayudan de una manera significativa a la formación de las emulsiones, aunque también se observó que para la preparación de las emulsiones, conforme aumenta la concentración de estabilizante, también aumenta la energía requerida para la preparación de las mismas.

Se generaron gráficas de P_o vs. R_c , que resultan indispensables para el escalonamiento del proceso. También se anexa el diagrama de flujo de proceso, y aunque actualmente no se cuenta con datos que nos puedan ayudar a definir el flujo de las corrientes ni los balances de materia y energía correspondientes. Se considera que este diagrama de flujo de proceso será de gran utilidad en el desarrollo de este proyecto.

Componente	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Controlador									
Controlador Analógico	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Número de	4	4	4	4	4	4	4	4	4

LISTA DE EQUIPO

Código	Descripción
CA-101	REACTOR DE BIODEGRADACIÓN
CA-102	REACTOR PARA EL CRECIMIENTO DE MODELLO
CA-103	REACTOR DE INOCULACIÓN DE SUIVOS HUMECOS
CA-104	REACTOR DE BIODEGRADACIÓN
CA-105	REACTOR DE AGUARDAMIENTO DE DULCIFICACIÓN
CA-106	REACTOR DE AGUARDAMIENTO DE INOCULACIÓN
CA-107	REACTOR DE AGUARDAMIENTO DE INOCULACIÓN
CA-108	REACTOR DE AGUARDAMIENTO DE INOCULACIÓN
CA-109	REACTOR DE AGUARDAMIENTO DE INOCULACIÓN
CA-110	REACTOR DE AGUARDAMIENTO DE INOCULACIÓN
CA-111	REACTOR DE AGUARDAMIENTO DE INOCULACIÓN
CA-112	REACTOR DE AGUARDAMIENTO DE INOCULACIÓN
CA-113	REACTOR DE AGUARDAMIENTO DE INOCULACIÓN
CA-114	REACTOR DE AGUARDAMIENTO DE INOCULACIÓN
CA-115	REACTOR DE AGUARDAMIENTO DE INOCULACIÓN
CA-116	REACTOR DE AGUARDAMIENTO DE INOCULACIÓN
CA-117	REACTOR DE AGUARDAMIENTO DE INOCULACIÓN
CA-118	REACTOR DE AGUARDAMIENTO DE INOCULACIÓN



BIODEGRADACIÓN DE
COMBUSTIBLE



INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

UNAM

Diagrama de Flujo de Proceso

Biodegradación de combustibles

UNAM

UNAM

UNAM

UNAM

UNAM

UNAM

UNAM

UNAM

UNAM

UNAM

BIBLIOGRAFÍA:

Albiter H.V. (1992), " **Aspectos de la Ingeniería en la precipitación de caldos de la fermentación de goma Xantana**" (tesis), Cuernavaca; Morelos., 139 p.

Buisman C.J.N, Geraats B.G. Ijspeert P. y Lettinga G. (1990), " **Optimization of Sulphur Production in a biotechnological sulphide removing reactor**", *Biootechnology and Bioengineering*, V. 35, pp. 50-56

Buisman C. J. N, Lettinga G. Paasschens C. W. M y Habets L. H. A. (1991), " **Biotechnological sulphide removal from effluents**", *Wat. Set. Tech.*, V. 34, No. 3.4, pp.347-356

Costas T., De Paoli D.W., Feng J. Q., Basaran A. y Scot T. C. (1994), " **Electrostatic Spraying of Nonconductive Fluids into Conductive Fluids**", *Aiche Journal*, V. 40, No. 11, pp. 1920-1923

Costas T., De Paoli D. W., Feng J. Q. y Scott T. C. (1995), " **Experimental Investigation of Electrostatic Dispersion of Nonconductive Fluids into Conductive Fluids**", *American Chemical Society*, V. 34, No. 4, pp. 1394-1403

Gillberg C. y Friberg S (1978), " **Microemulsions as Diesel Fuels**". *American Chemical Society*, V. 33, pp. 221-244

ICI Americas Inc., " **El sistema HLB una guía que ahorra tiempo en la selección de emulsificantes**". 19 p., México, D.F.

Jaimes M. J. (1995), " **Estudios de Mezclado en el proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de las aguas residuales**" (tesis), Cuernavaca, Morelos., 151 p.

Miñana P.M., Larry P., Ramirez G. M y Salager J. L. (1986), " **Surfactant-oil-water systems near the affinity inversion. Part V: Properties of emulsions** ", *J Dispersion Science and Technology*, V. 7, No. 3, pp 331-346

Monticello D.J (1993), " **Biological desulfurization (BDS) of Middle Distillates**", *1993 NPRA Annual Meeting*, Convention Center, San Antonio, Texas, March 21-23, 17 p.

Monticello D.J. (1993), " **Biocatalytic Desulfurization of Petroleum and middle distillates**", *Environmental Progress*, V.12, No.1, pp. 1-4

Monticello D.J. y Finnerty W.R. (1985), " **Microbial desulfurization of fossil fuels**", *Ann. Rev. Microbiological*, V. 39, pp. 371-389

- Morales R.J. (1993), "**Desarrollo de una Metodología para análisis de combustóleo**" (tesis)
- Myers D. (1991), "**Surfaces, interfaces and colloids principles and applications**", *VCH Publishers*, Cap 3, II
- Oldshue, J. (1983), "**Fluid Mixing Technology**", *Chemical Engineering*, Mc Graw Hill Publishers Co.
- Olsson G. Larson L. Holst O. y Karwon H.T (1993), "**Desulfurization of low-sulfur coal by acidianus brierleyi : Effects of Microbial treatment on the properties of coal**", *Fuel Processing Technology*, V. 33, pp. 83-93
- Salager J.L. y Villabona J. (1985), "**La influencia de los parámetros fluido-mecánicos y físico-químicos en la formación de emulsiones**", *Revista Técnica INTEVEP*, V. 5, No.1, pp. 3-8
- Salager J.L., Bourrel M., Shechter R.S. y Wade W.H. (1979), "**Mixing Rules for optimum phase-behavior formulations of Surfactant/Oil/ Water Systems**", *Society of Petroleum Engineers journal*, Octubre, pp. 271-278
- Salager J.L., Loaiza-Maldonado Y., Minaña-Pérez M. y Silva F. (1981), "**Surfactant-oil-water systems near the affinity inversion. Part I: Relationship between equilibrium phase behavior and emulsion type and stability**", *Universidad de los Andes, Mérida Venezuela*, 16 p.
- Salager J.L., Miñana-Pérez M., y Andérez J.M. (1983), "**Surfactant-oil-water systems near the affinity inversion. Part II : Viscosidad de sistemas emulsionados**", *J. Dispersion Science and Technology*, V. 4, No. 2, pp. 161-173
- Salager J.L., Minaña-Pérez M., Pérez-Sánchez M., Ramirez-Gouveta M y Rojas C.I. (1983), "**Surfactant-oil-water systems near the affinity inversion. Part III: The two kinds of emulsion inversion**". *J Dispersion Science and Technology*, V. 4, No. 3, pp 313-329
- Salager J.L., López C. G y Minaña-Pérez M.(1990), "**Surfactant-oil-water systems near the affinity inversion. Part VI: Emulsions with viscous hydrocarbons**", *J. Dispersion Science and Technology*, V. 11, No. 4, pp 394-407
- Sánchez A. Martínez A. Torres L. y Galindo E. (1992), "**Power consumption of three Impeller combinations in mixing Xanthan Fermentation Broths**" *Process Biochemistry*, V. 27, pp. 351-365

Torres L.G., Jiménez B.E, Aragón P.E. y Romero J. (1995), "**Remoción biológica de azufre en combustibles Mexicanos**", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Sometido.

Von Tigerstrom R.G. y Stelmaschuk S. (1989), "**The use of Tween 20 in a sensitive turbidimetric assay of lipolytic enzymes**", *Can J. Microbiol.*, V. 35, pp. 511-514

Yilmazer G. Carrillo A.R. y Kokini J. L. (1991), "**Effect of Propylene Glycol Alginate and Xanthan Gum on stability of O/W Emulsions**", *Journal of food Science*, V. 56, No.2, pp. 513-517

APENDICE A

Medición de Tensión Superficial

Esta fué una prueba que efectuamos para medir las tensiones superficiales de nuestros emulsificantes, las cuales se hicieron con el aparato Cenco Dunouy Tensiometer Cat. No. 705 además del anillo de platino-iridio facilitados por la Unidad de posgrado de Química Orgánica de la U.N.A.M., siguiendo los siguientes pasos:

- 1.- Nivelar el Tensiómetro
- 2.- Liberarlo de la presión
- 3.- Calibrarlo a 0
- 4.- Agregar el líquido
- 5.- Calibrarlo con el tornillo grande a que quede al nivel que está en el espejo
- 6.- Calibrar sincronizadamente tanto el tornillo del cable de tensión, como el tornillo donde se encuentra el líquido, cuidando que el nivel del espejo no se mueva
- 7.- Al momento en que el anillo se separe del líquido, nos vamos a nuestra escala, y ésa sera nuestra medición de tensión superficial
- 8.- Quitar con mucho cuidado el anillo del tensiómetro para su limpieza
- 9.- Sumergir el anillo en agua destilada y exponerlo al fuego hasta que se ponga al rojo vivo
- 10.- Sumergir el anillo en acetona y exponerlo al fuego hasta que se ponga al rojo vivo
- 11.- Guardar con mucho cuidado el anillo de platino-iridio, ya que es muy costoso

La figura A1 muestra una fotografía del tensiómetro de Du Nouy.

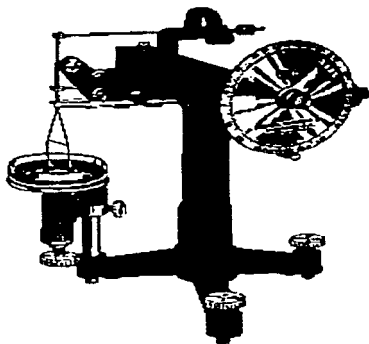


Fig. A1 Tensiómetro de Du-noüy

La tabla A1 muestra los resultados de las mediciones de tensión superficial a todos los emulsificantes que se emplearon en el presente trabajo, presentados también en la figura A2.

EMULSIFICANTE	HLB	TENSION SUPERFICIAL
span 85	1.8	32.6 D/cm
span 80	4.3	31.4 D/cm
span 60	4.7	35 D/cm
tween 61	9.5	40 D/cm
atlox 3069	11.5	33.4 D/cm
atlox 3409	11.9	32.2 D/cm
atlox 3080	12.3	34.1 D/cm
tween 60	14.9	40.1 D/cm
tween 80	15	43.4 D/cm
tween 20	16.7	39.4 D/cm
crisanol 3060	17.1	45.3 D/cm
canasol sc 1300	18.1	44.5 D/cm

Tabla A1 Tensiones superficiales de los emulsificantes empleados

Todos los cálculos hechos durante la preparación de las emulsiones con los 3 diferentes impulsores, operando asimismo a 5 diferentes velocidades ,se anexan en el presente apéndice, agrupados por tablas.

PROPELA MARINA 950 RPM

P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	N(s-1)	Po	M(cp)	M(poises)	Re
0	950	0.069	1000	15.8333333	0	4.7	0.047	1603.88298
4.8	950	0.069	1000	15.8333333	0.77317653	4.7	0.047	1603.88298
5.3	950	0.069	1000	15.8333333	0.85371586	4.7	0.047	1603.88298
6.1	950	0.069	1000	15.8333333	0.98257863	4.7	0.047	1603.88298
6.7	950	0.069	1000	15.8333333	1.07922571	4.7	0.047	1603.88298
6.3	950	0.069	1000	15.8333333	1.01479433	4.7	0.047	1603.88298
6.9	950	0.069	1000	15.8333333	1.11144141	4.7	0.047	1603.88298
7.1	950	0.069	1000	15.8333333	1.1436571	4.7	0.047	1603.88298
6.9	950	0.069	1000	15.8333333	1.11144141	4.7	0.047	1603.88298
6.4	950	0.069	1000	15.8333333	1.03090217	4.7	0.047	1603.88298
6.6	950	0.069	1000	15.8333333	1.06311787	4.7	0.047	1603.88298
7.1	950	0.069	1000	15.8333333	1.1436571	4.7	0.047	1603.88298
7.2	950	0.069	1000	15.8333333	1.15976495	4.7	0.047	1603.88298
7.5	950	0.069	1000	15.8333333	1.20908849	4.7	0.047	1603.88298
6.3	950	0.069	1000	15.8333333	1.01479433	4.7	0.047	1603.88298
6	950	0.069	1000	15.8333333	0.95647079	4.7	0.047	1603.88298
6.1	950	0.069	1000	15.8333333	0.98257863	4.7	0.047	1603.88298
5.8	950	0.069	1000	15.8333333	0.9342551	4.7	0.047	1603.88298
5.3	950	0.069	1000	15.8333333	0.85371586	4.7	0.047	1603.88298
7.3	950	0.069	1000	15.8333333	1.17587279	4.7	0.047	1603.88298
6.2	950	0.069	1000	15.8333333	0.99868648	4.7	0.047	1603.88298
6.1	950	0.069	1000	15.8333333	0.98257863	4.7	0.047	1603.88298
5.8	950	0.069	1000	15.8333333	0.9342551	4.7	0.047	1603.88298
5.3	950	0.069	1000	15.8333333	0.85371586	4.7	0.047	1603.88298
5.1	950	0.069	1000	15.8333333	0.82150917	4.7	0.047	1603.88298
4.7	950	0.069	1000	15.8333333	0.75706878	4.7	0.047	1603.88298
4.2	950	0.069	1000	15.8333333	0.67652955	4.7	0.047	1603.88298
4.7	950	0.069	1000	15.8333333	0.75706878	4.7	0.047	1603.88298
4	950	0.069	1000	15.8333333	0.64431386	4.7	0.047	1603.88298
3.9	950	0.069	1000	15.8333333	0.62820691	4.7	0.047	1603.88298
4.2	950	0.069	1000	15.8333333	0.67652955	4.7	0.047	1603.88298

0.91399039

Tabla B1 Cálculos efectuados con la propelel marina operando a 950 rpm

PROPELA MARINA 1150 RPM

P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	N(s ⁻¹)	Po	M(cp)	M(poises)	Re
0	1150	0.069	1000	19.1666667	0	3	0.03	3041.75
5.1	1150	0.069	1000	19.1666667	0.46311085	3	0.03	3041.75
6.3	1150	0.069	1000	19.1666667	0.5720781	3	0.03	3041.75
6.9	1150	0.069	1000	19.1666667	0.62656173	3	0.03	3041.75
8.2	1150	0.069	1000	19.1666667	0.7446096	3	0.03	3041.75
6.3	1150	0.069	1000	19.1666667	0.5720781	3	0.03	3041.75
7.6	1150	0.069	1000	19.1666667	0.69012597	3	0.03	3041.75
7.3	1150	0.069	1000	19.1666667	0.66288415	3	0.03	3041.75
7.9	1150	0.069	1000	19.1666667	0.71736778	3	0.03	3041.75
7.8	1150	0.069	1000	19.1666667	0.70828718	3	0.03	3041.75
8.5	1150	0.069	1000	19.1666667	0.77185141	3	0.03	3041.75
8.4	1150	0.069	1000	19.1666667	0.76277081	3	0.03	3041.75
8	1150	0.069	1000	19.1666667	0.72644839	3	0.03	3041.75
7.3	1150	0.069	1000	19.1666667	0.66288415	3	0.03	3041.75
7	1150	0.069	1000	19.1666667	0.63564234	3	0.03	3041.75
5.9	1150	0.069	1000	19.1666667	0.53575568	3	0.03	3041.75
6.6	1150	0.069	1000	19.1666667	0.59931992	3	0.03	3041.75
5.6	1150	0.069	1000	19.1666667	0.50851387	3	0.03	3041.75
7	1150	0.069	1000	19.1666667	0.63564234	3	0.03	3041.75
6.9	1150	0.069	1000	19.1666667	0.62656173	3	0.03	3041.75
6.8	1150	0.069	1000	19.1666667	0.61748113	3	0.03	3041.75
7.3	1150	0.069	1000	19.1666667	0.66288415	3	0.03	3041.75
6.8	1150	0.069	1000	19.1666667	0.61748113	3	0.03	3041.75
7.5	1150	0.069	1000	19.1666667	0.68104536	3	0.03	3041.75
7.2	1150	0.069	1000	19.1666667	0.65380355	3	0.03	3041.75
7	1150	0.069	1000	19.1666667	0.63564234	3	0.03	3041.75
7.2	1150	0.069	1000	19.1666667	0.65380355	3	0.03	3041.75
6.1	1150	0.069	1000	19.1666667	0.55391689	3	0.03	3041.75
6.7	1150	0.069	1000	19.1666667	0.60840052	3	0.03	3041.75
6.5	1150	0.069	1000	19.1666667	0.59023931	3	0.03	3041.75
6.7	1150	0.069	1000	19.1666667	0.60840052	3	0.03	3041.75
					0.61630944			

Tabla B2 cálculos efectuados con la propela marina operando a 1150 rpm

PROPELA MARINA 1350 RPM								
P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	N(s-1)	Po	M(cp)	M(poises)	Re
0	1350	0.069	1000	22.5	0	4	0.04	2678 0625
6.7	1350	0.069	1000	22.5	0.37608135	4	0.04	2678 0625
5.9	1350	0.069	1000	22.5	0.33117611	4	0.04	2678 0625
7.4	1350	0.069	1000	22.5	0.41537343	4	0.04	2678 0625
7.7	1350	0.069	1000	22.5	0.43221289	4	0.04	2678 0625
8.6	1350	0.069	1000	22.5	0.48273128	4	0.04	2678 0625
7.2	1350	0.069	1000	22.5	0.40414712	4	0.04	2678 0625
7.4	1350	0.069	1000	22.5	0.41537343	4	0.04	2678 0625
8.6	1350	0.069	1000	22.5	0.48273128	4	0.04	2678 0625
9	1350	0.069	1000	22.5	0.5051839	4	0.04	2678 0625
8.3	1350	0.069	1000	22.5	0.46589182	4	0.04	2678 0625
8	1350	0.069	1000	22.5	0.44905236	4	0.04	2678 0625
7.3	1350	0.069	1000	22.5	0.40976027	4	0.04	2678 0625
7.3	1350	0.069	1000	22.5	0.40976027	4	0.04	2678 0625
8.9	1350	0.069	1000	22.5	0.49957075	4	0.04	2678 0625
8.4	1350	0.069	1000	22.5	0.47150497	4	0.04	2678 0625
9.4	1350	0.069	1000	22.5	0.52763652	4	0.04	2678 0625
9.1	1350	0.069	1000	22.5	0.51079705	4	0.04	2678 0625
8.9	1350	0.069	1000	22.5	0.49957075	4	0.04	2678 0625
8.9	1350	0.069	1000	22.5	0.49957075	4	0.04	2678 0625
9.4	1350	0.069	1000	22.5	0.52763652	4	0.04	2678 0625
8.1	1350	0.069	1000	22.5	0.45466551	4	0.04	2678 0625
8.3	1350	0.069	1000	22.5	0.46559182	4	0.04	2678 0625
9.9	1350	0.069	1000	22.5	0.55570229	4	0.04	2678 0625
8.5	1350	0.069	1000	22.5	0.47711813	4	0.04	2678 0625
9.8	1350	0.069	1000	22.5	0.55008914	4	0.04	2678 0625
9.3	1350	0.069	1000	22.5	0.52202336	4	0.04	2678 0625
9	1350	0.069	1000	22.5	0.5051839	4	0.04	2678 0625
9.4	1350	0.069	1000	22.5	0.52763652	4	0.04	2678 0625
10.1	1350	0.069	1000	22.5	0.5669286	4	0.04	2678 0625
10.1	1350	0.069	1000	22.5	0.5669286	4	0.04	2678 0625
					0.46154615			

Tabla B3 Cálculos efectuados con la propelel marina operando a 1350 rpm

PROPELA MARINA 1550 RPM								
P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	N(s-1)	Po	M(cp)	M(poses)	Re
0	1550	0.069	1000	25.8333333	0	3.6	0.036	3416.45833
10.1	1550	0.069	1000	25.8333333	0.37457137	3.6	0.036	3416.45833
10.9	1550	0.069	1000	25.8333333	0.40424039	3.6	0.036	3416.45833
11.5	1550	0.069	1000	25.8333333	0.42649215	3.6	0.036	3416.45833
12.3	1550	0.069	1000	25.8333333	0.45616117	3.6	0.036	3416.45833
13.1	1550	0.069	1000	25.8333333	0.48583019	3.6	0.036	3416.45833
15.6	1550	0.069	1000	25.8333333	0.57854587	3.6	0.036	3416.45833
14.3	1550	0.069	1000	25.8333333	0.53033372	3.6	0.036	3416.45833
15.3	1550	0.069	1000	25.8333333	0.56741999	3.6	0.036	3416.45833
14.8	1550	0.069	1000	25.8333333	0.54887686	3.6	0.036	3416.45833
17.2	1550	0.069	1000	25.8333333	0.63788391	3.6	0.036	3416.45833
15.2	1550	0.069	1000	25.8333333	0.55371137	3.6	0.036	3416.45833
15.3	1550	0.069	1000	25.8333333	0.56741999	3.6	0.036	3416.45833
14.8	1550	0.069	1000	25.8333333	0.54887686	3.6	0.036	3416.45833
15.8	1550	0.069	1000	25.8333333	0.58956313	3.6	0.036	3416.45833
15.9	1550	0.069	1000	25.8333333	0.58967176	3.6	0.036	3416.45833
15.7	1550	0.069	1000	25.8333333	0.5822545	3.6	0.036	3416.45833
16.2	1550	0.069	1000	25.8333333	0.62079764	3.6	0.036	3416.45833
14.6	1550	0.069	1000	25.8333333	0.5414596	3.6	0.036	3416.45833
15	1550	0.069	1000	25.8333333	0.55629411	3.6	0.036	3416.45833
12.6	1550	0.069	1000	25.8333333	0.46728705	3.6	0.036	3416.45833
14.5	1550	0.069	1000	25.8333333	0.53775097	3.6	0.036	3416.45833
13.5	1550	0.069	1000	25.8333333	0.5006647	3.6	0.036	3416.45833
17.2	1550	0.069	1000	25.8333333	0.63788391	3.6	0.036	3416.45833
16.5	1550	0.069	1000	25.8333333	0.61192352	3.6	0.036	3416.45833
14.5	1550	0.069	1000	25.8333333	0.53775097	3.6	0.036	3416.45833
15.1	1550	0.069	1000	25.8333333	0.56000274	3.6	0.036	3416.45833
14.6	1550	0.069	1000	25.8333333	0.5414596	3.6	0.036	3416.45833
14.8	1550	0.069	1000	25.8333333	0.54887686	3.6	0.036	3416.45833
14.9	1550	0.069	1000	25.8333333	0.55258548	3.6	0.036	3416.45833
12.6	1550	0.069	1000	25.8333333	0.46357643	3.6	0.036	3416.45833
					0.51956674			

Tabla B4 cálculos efectuados con la propelel marina operando a 1550 rpm

		PROPELA MARINA		1750 RPM				
P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	N(s-1)	Po	M(cp)	M(poises)	Re
0	1750	0.069	1000	29.1666667	0	3	0.03	4628.75
9.8	1750	0.069	1000	29.1666667	0.25253421	3	0.03	4628.75
9.3	1750	0.069	1000	29.1666667	0.23964982	3	0.03	4628.75
10.9	1750	0.069	1000	29.1666667	0.28037999	3	0.03	4628.75
12.2	1750	0.069	1000	29.1666667	0.31437933	3	0.03	4628.75
12.3	1750	0.069	1000	29.1666667	0.31695621	3	0.03	4628.75
12.7	1750	0.069	1000	29.1666667	0.32726373	3	0.03	4628.75
14.1	1750	0.069	1000	29.1666667	0.36334004	3	0.03	4628.75
13	1750	0.069	1000	29.1666667	0.33499437	3	0.03	4628.75
13.4	1750	0.069	1000	29.1666667	0.34530189	3	0.03	4628.75
13.6	1750	0.069	1000	29.1666667	0.35045564	3	0.03	4628.75
14.4	1750	0.069	1000	29.1666667	0.37107068	3	0.03	4628.75
15.8	1750	0.069	1000	29.1666667	0.407147	3	0.03	4628.75
16.6	1750	0.069	1000	29.1666667	0.42776204	3	0.03	4628.75
15.2	1750	0.069	1000	29.1666667	0.39168572	3	0.03	4628.75
15	1750	0.069	1000	29.1666667	0.38653196	3	0.03	4628.75
15.3	1750	0.069	1000	29.1666667	0.3942626	3	0.03	4628.75
12.7	1750	0.069	1000	29.1666667	0.32726373	3	0.03	4628.75
13.9	1750	0.069	1000	29.1666667	0.35818628	3	0.03	4628.75
15.7	1750	0.069	1000	29.1666667	0.40457012	3	0.03	4628.75
13.1	1750	0.069	1000	29.1666667	0.33757125	3	0.03	4628.75
13.3	1750	0.069	1000	29.1666667	0.34272501	3	0.03	4628.75
14.2	1750	0.069	1000	29.1666667	0.36591692	3	0.03	4628.75
13.6	1750	0.069	1000	29.1666667	0.35045564	3	0.03	4628.75
14.4	1750	0.069	1000	29.1666667	0.37107068	3	0.03	4628.75
13.8	1750	0.069	1000	29.1666667	0.3556094	3	0.03	4628.75
13.8	1750	0.069	1000	29.1666667	0.3586094	3	0.03	4628.75
15	1750	0.069	1000	29.1666667	0.36653196	3	0.03	4628.75
12.3	1750	0.069	1000	29.1666667	0.31695621	3	0.03	4628.75
13	1750	0.069	1000	29.1666667	0.33499437	3	0.03	4628.75
14.2	1750	0.069	1000	29.1666667	0.36591692	3	0.03	4628.75
					0.33796687			

Tabla B5 cálculos efectuados con la propeleta marina operando a 1550 rpm

TURBINA RUSHTON 950 RPM

P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	N(s ⁻¹)	Po	M(cp)	M(poisies)	Re
0	950	0.051	1000	15.8333333	0	4.3	0.043	957.732558
3.7	950	0.051	1000	15.8333333	2.7016792	4.3	0.043	957.732558
4.7	950	0.051	1000	15.8333333	3.43185276	4.3	0.043	957.732558
5.6	950	0.051	1000	15.8333333	4.08902798	4.3	0.043	957.732558
4.7	950	0.051	1000	15.8333333	3.43185276	4.3	0.043	957.732558
4.6	950	0.051	1000	15.8333333	3.35884441	4.3	0.043	957.732558
4.6	950	0.051	1000	15.8333333	3.35884441	4.3	0.043	957.732558
4.5	950	0.051	1000	15.8333333	3.28582605	4.3	0.043	957.732558
4.4	950	0.051	1000	15.8333333	3.21260769	4.3	0.043	957.732558
4.1	950	0.051	1000	15.8333333	2.99375262	4.3	0.043	957.732558
3.9	950	0.051	1000	15.8333333	2.84771591	4.3	0.043	957.732558
3	950	0.051	1000	15.8333333	2.1905507	4.3	0.043	957.732558
4	950	0.051	1000	15.8333333	2.92073427	4.3	0.043	957.732558
3.58	950	0.051	1000	15.8333333	2.61405717	4.3	0.043	957.732558
4.1	950	0.051	1000	15.8333333	2.99375262	4.3	0.043	957.732558
5.1	950	0.051	1000	15.8333333	3.72393619	4.3	0.043	957.732558
4.6	950	0.051	1000	15.8333333	3.35884441	4.3	0.043	957.732558
4.1	950	0.051	1000	15.8333333	2.99375262	4.3	0.043	957.732558
3.6	950	0.051	1000	15.8333333	2.62660084	4.3	0.043	957.732558
4.4	950	0.051	1000	15.8333333	3.21260769	4.3	0.043	957.732558
4.1	950	0.051	1000	15.8333333	2.99375262	4.3	0.043	957.732558
4.5	950	0.051	1000	15.8333333	3.28582605	4.3	0.043	957.732558
3.6	950	0.051	1000	15.8333333	2.62660084	4.3	0.043	957.732558
4.7	950	0.051	1000	15.8333333	3.43185276	4.3	0.043	957.732558
4.5	950	0.051	1000	15.8333333	3.28582605	4.3	0.043	957.732558
3.6	950	0.051	1000	15.8333333	2.62660084	4.3	0.043	957.732558
3.6	950	0.051	1000	15.8333333	2.62660084	4.3	0.043	957.732558
3.3	950	0.051	1000	15.8333333	2.40960577	4.3	0.043	957.732558
4.3	950	0.051	1000	15.8333333	3.13978934	4.3	0.043	957.732558
3.1	950	0.051	1000	15.8333333	2.26356906	4.3	0.043	957.732558
4.1	950	0.051	1000	15.8333333	2.99375262	4.3	0.043	957.732558

Tabla B6 cálculos efectuados con la turbina rushton operando a 950 rpm

TURBINA RUSHTON 1150 RPM

P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	N(s-1)	Po	M(cp)	M(poises)	Re
0	1150	0.051	1000	19.1666667	0	4	0.04	1246.3125
3.9	1150	0.051	1000	19.1666667	1.60536561	4	0.04	1246.3125
3.3	1150	0.051	1000	19.1666667	1.35838629	4	0.04	1246.3125
3.1	1150	0.051	1000	19.1666667	1.27605985	4	0.04	1246.3125
3.5	1150	0.051	1000	19.1666667	1.44071273	4	0.04	1246.3125
3.6	1150	0.051	1000	19.1666667	1.48187595	4	0.04	1246.3125
3.5	1150	0.051	1000	19.1666667	1.44071273	4	0.04	1246.3125
4.4	1150	0.051	1000	19.1666667	1.81118172	4	0.04	1246.3125
3.3	1150	0.051	1000	19.1666667	1.35838629	4	0.04	1246.3125
4.5	1150	0.051	1000	19.1666667	1.85234494	4	0.04	1246.3125
4	1150	0.051	1000	19.1666667	1.64652884	4	0.04	1246.3125
4	1150	0.051	1000	19.1666667	1.64652884	4	0.04	1246.3125
3	1150	0.051	1000	19.1666667	1.23489663	4	0.04	1246.3125
4.6	1150	0.051	1000	19.1666667	1.89350816	4	0.04	1246.3125
2.8	1150	0.051	1000	19.1666667	1.15257019	4	0.04	1246.3125
2.6	1150	0.051	1000	19.1666667	1.07024374	4	0.04	1246.3125
3.5	1150	0.051	1000	19.1666667	1.44071273	4	0.04	1246.3125
2.8	1150	0.051	1000	19.1666667	1.15257019	4	0.04	1246.3125
3.4	1150	0.051	1000	19.1666667	1.39954951	4	0.04	1246.3125
4.2	1150	0.051	1000	19.1666667	1.72885528	4	0.04	1246.3125
3.2	1150	0.051	1000	19.1666667	1.31722307	4	0.04	1246.3125
3.2	1150	0.051	1000	19.1666667	1.31722307	4	0.04	1246.3125
4.7	1150	0.051	1000	19.1666667	1.93467138	4	0.04	1246.3125
3.8	1150	0.051	1000	19.1666667	1.56420239	4	0.04	1246.3125
4.4	1150	0.051	1000	19.1666667	1.81118172	4	0.04	1246.3125
3.9	1150	0.051	1000	19.1666667	1.60536561	4	0.04	1246.3125
3	1150	0.051	1000	19.1666667	1.52303917	4	0.04	1246.3125
3.6	1150	0.051	1000	19.1666667	1.48187595	4	0.04	1246.3125
4.7	1150	0.051	1000	19.1666667	1.93467138	4	0.04	1246.3125
4.9	1150	0.051	1000	19.1666667	2.01699782	4	0.04	1246.3125
3.9	1150	0.051	1000	19.1666667	1.60536561	4	0.04	1246.3125
					1.48718734			

Tabla B7 cálculos efectuados con la turbina rushton operando a 1150 rpm

TURBINA RUSHTON 1350 RPM

P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	N(s-1)	Po	M(cp)	M(poises)	Re
0	1350	0.051	1000	22.5	0	3.8	0.038	1540.06579
3.8	1350	0.051	1000	22.5	0.96690802	3.8	0.038	1540.06579
5.4	1350	0.051	1000	22.5	1.37402718	3.8	0.038	1540.06579
4.4	1350	0.051	1000	22.5	1.11957771	3.8	0.038	1540.06579
3.8	1350	0.051	1000	22.5	0.96690802	3.8	0.038	1540.06579
3.7	1350	0.051	1000	22.5	0.94146307	3.8	0.038	1540.06579
5.3	1350	0.051	1000	22.5	1.34858224	3.8	0.038	1540.06579
4.2	1350	0.051	1000	22.5	1.06888781	3.8	0.038	1540.06579
6.1	1350	0.051	1000	22.5	1.55214182	3.8	0.038	1540.06579
5	1350	0.051	1000	22.5	1.27224739	3.8	0.038	1540.06579
4.3	1350	0.051	1000	22.5	1.09413276	3.8	0.038	1540.06579
5.2	1350	0.051	1000	22.5	1.32313729	3.8	0.038	1540.06579
5	1350	0.051	1000	22.5	1.27224739	3.8	0.038	1540.06579
6.4	1350	0.051	1000	22.5	1.62847666	3.8	0.038	1540.06579
4.6	1350	0.051	1000	22.5	1.1704676	3.8	0.038	1540.06579
5.3	1350	0.051	1000	22.5	1.34858224	3.8	0.038	1540.06579
6.1	1350	0.051	1000	22.5	1.55214182	3.8	0.038	1540.06579
4.2	1350	0.051	1000	22.5	1.06888781	3.8	0.038	1540.06579
4.4	1350	0.051	1000	22.5	1.11957771	3.8	0.038	1540.06579
4.3	1350	0.051	1000	22.5	1.09413276	3.8	0.038	1540.06579
4.8	1350	0.051	1000	22.5	1.2213575	3.8	0.038	1540.06579
3.3	1350	0.051	1000	22.5	0.83968328	3.8	0.038	1540.06579
5	1350	0.051	1000	22.5	1.27224739	3.8	0.038	1540.06579
5.9	1350	0.051	1000	22.5	1.50125192	3.8	0.038	1540.06579
4.7	1350	0.051	1000	22.5	1.18991255	3.8	0.038	1540.06579
3.9	1350	0.051	1000	22.5	0.99235297	3.8	0.038	1540.06579
5	1350	0.051	1000	22.5	1.27224739	3.8	0.038	1540.06579
4.1	1350	0.051	1000	22.5	1.04324265	3.8	0.038	1540.06579
3.4	1350	0.051	1000	22.5	0.86512823	3.8	0.038	1540.06579
3.8	1350	0.051	1000	22.5	0.96690802	3.8	0.038	1540.06579
3.8	1350	0.051	1000	22.5	0.96690802	3.8	0.038	1540.06579

1.14256024

Tabla B8 cálculos efectuados con la turbina rushton operando a 1350 rpm

TURBINA RUSHTON 1550 RPM

P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	N(s-1)	Po	M(cp)	M(poises)	Re
0	1550	0.051	1000	25.8333333	0	3.3	0.033	2036.13636
4.2	1550	0.051	1000	25.8333333	0.70608513	3.3	0.033	2036.13636
5.9	1550	0.051	1000	25.8333333	0.95188149	3.3	0.033	2036.13636
7	1550	0.051	1000	25.8333333	1.17680855	3.3	0.033	2036.13636
8	1550	0.051	1000	25.8333333	1.34492406	3.3	0.033	2036.13636
6.3	1550	0.051	1000	25.8333333	1.0591277	3.3	0.033	2036.13636
7.4	1550	0.051	1000	25.8333333	1.24405476	3.3	0.033	2036.13636
7	1550	0.051	1000	25.8333333	1.17680855	3.3	0.033	2036.13636
8.4	1550	0.051	1000	25.8333333	1.41217026	3.3	0.033	2036.13636
7.7	1550	0.051	1000	25.8333333	1.29448941	3.3	0.033	2036.13636
7.4	1550	0.051	1000	25.8333333	1.24405476	3.3	0.033	2036.13636
8.1	1550	0.051	1000	25.8333333	1.36173561	3.3	0.033	2036.13636
8.9	1550	0.051	1000	25.8333333	1.45622802	3.3	0.033	2036.13636
8.2	1550	0.051	1000	25.8333333	1.37854716	3.3	0.033	2036.13636
6.2	1550	0.051	1000	25.8333333	1.04231615	3.3	0.033	2036.13636
7.7	1550	0.051	1000	25.8333333	1.29448941	3.3	0.033	2036.13636
6.1	1550	0.051	1000	25.8333333	1.0255046	3.3	0.033	2036.13636
6.3	1550	0.051	1000	25.8333333	1.0591277	3.3	0.033	2036.13636
5	1550	0.051	1000	25.8333333	0.84057754	3.3	0.033	2036.13636
7.1	1550	0.051	1000	25.8333333	1.1936201	3.3	0.033	2036.13636
4.6	1550	0.051	1000	25.8333333	0.77333133	3.3	0.033	2036.13636
5.8	1550	0.051	1000	25.8333333	0.97506994	3.3	0.033	2036.13636
7.1	1550	0.051	1000	25.8333333	1.1936201	3.3	0.033	2036.13636
5.5	1550	0.051	1000	25.8333333	0.92463529	3.3	0.033	2036.13636
5.5	1550	0.051	1000	25.8333333	0.92463529	3.3	0.033	2036.13636
6	1550	0.051	1000	25.8333333	1.00869305	3.3	0.033	2036.13636
5.8	1550	0.051	1000	25.8333333	0.97506994	3.3	0.033	2036.13636
6.7	1550	0.051	1000	25.8333333	1.1263739	3.3	0.033	2036.13636
6	1550	0.051	1000	25.8333333	1.00869305	3.3	0.033	2036.13636
5.9	1550	0.051	1000	25.8333333	0.95188149	3.3	0.033	2036.13636
5.3	1550	0.051	1000	25.8333333	0.89101219	3.3	0.033	2036.13636
					1.06888924			

Tabla B9 cálculos efectuados con la turbina rushton operando a 1550 rpm

TURBINA RUSHTON 1750 RPM

P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	N(s ⁻¹)	Po	M(cp)	M(poises)	Re
0	1750	0.051	1000	29.1666667	0	3.8	0.038	1996.38158
7.8	1750	0.051	1000	29.1666667	0.91113625	3.8	0.038	1996.38158
6.5	1750	0.051	1000	29.1666667	0.75928021	3.8	0.038	1996.38158
7.2	1750	0.051	1000	29.1666667	0.84104895	3.8	0.038	1996.38158
7.9	1750	0.051	1000	29.1666667	0.92281749	3.8	0.038	1996.38158
7.5	1750	0.051	1000	29.1666667	0.87609255	3.8	0.038	1996.38158
6.7	1750	0.051	1000	29.1666667	0.78264268	3.8	0.038	1996.38158
7.7	1750	0.051	1000	29.1666667	0.89945502	3.8	0.038	1996.38158
8	1750	0.051	1000	29.1666667	0.93449872	3.8	0.038	1996.38158
9.3	1750	0.051	1000	29.1666667	1.08635476	3.8	0.038	1996.38158
8.8	1750	0.051	1000	29.1666667	1.02794859	3.8	0.038	1996.38158
8.3	1750	0.051	1000	29.1666667	0.96954242	3.8	0.038	1996.38158
9.1	1750	0.051	1000	29.1666667	1.0629923	3.8	0.038	1996.38158
8.9	1750	0.051	1000	29.1666667	1.03952983	3.8	0.038	1996.38158
7.9	1750	0.051	1000	29.1666667	0.92281749	3.8	0.038	1996.38158
10.8	1750	0.051	1000	29.1666667	1.25157327	3.8	0.038	1996.38158
7.6	1750	0.051	1000	29.1666667	0.88777379	3.8	0.038	1996.38158
8.6	1750	0.051	1000	29.1666667	1.00458613	3.8	0.038	1996.38158
7.8	1750	0.051	1000	29.1666667	0.91113625	3.8	0.038	1996.38158
9.8	1750	0.051	1000	29.1666667	1.14476093	3.8	0.038	1996.38158
7.2	1750	0.051	1000	29.1666667	0.84104895	3.8	0.038	1996.38158
9.6	1750	0.051	1000	29.1666667	1.12139847	3.8	0.038	1996.38158
9.3	1750	0.051	1000	29.1666667	1.08635476	3.8	0.038	1996.38158
9.4	1750	0.051	1000	29.1666667	1.098036	3.8	0.038	1996.38158
9.3	1750	0.051	1000	29.1666667	1.08635476	3.8	0.038	1996.38158
9.7	1750	0.051	1000	29.1666667	1.1330797	3.8	0.038	1996.38158
8.2	1750	0.051	1000	29.1666667	0.95786119	3.8	0.038	1996.38158
8.5	1750	0.051	1000	29.1666667	0.99290489	3.8	0.038	1996.38158
9.6	1750	0.051	1000	29.1666667	1.12139847	3.8	0.038	1996.38158
8.8	1750	0.051	1000	29.1666667	1.02794859	3.8	0.038	1996.38158
6	1750	0.051	1000	29.1666667	0.70087404	3.8	0.038	1996.38158
					0.94881765			

Tabla B10 cálculos efectuados con la turbina rushton operando a 1750 rpm

		TURBINA	LIGHTNIN	A-310	950 RPM				
P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	N(s-1)	Po	M(cp)	M(poises)	Re	
0	950	0.064	1000	15.8333333	0	3.7	0.037	1752.79279	
	1.6	950	0.064	1000	15.8333333	0.37540759	3.7	0.037	1752.79279
	0.7	950	0.064	1000	15.8333333	0.16424082	3.7	0.037	1752.79279
	0.4	950	0.064	1000	15.8333333	0.0938519	3.7	0.037	1752.79279
	1.6	950	0.064	1000	15.8333333	0.37540759	3.7	0.037	1752.79279
	1.3	950	0.064	1000	15.8333333	0.30501867	3.7	0.037	1752.79279
	1.3	950	0.064	1000	15.8333333	0.30501867	3.7	0.037	1752.79279
	1.5	950	0.064	1000	15.8333333	0.35194461	3.7	0.037	1752.79279
	1.3	950	0.064	1000	15.8333333	0.30501867	3.7	0.037	1752.79279
	1.4	950	0.064	1000	15.8333333	0.32848164	3.7	0.037	1752.79279
	1.8	950	0.064	1000	15.8333333	0.42233354	3.7	0.037	1752.79279
	1.2	950	0.064	1000	15.8333333	0.28155569	3.7	0.037	1752.79279
	1.3	950	0.064	1000	15.8333333	0.30501867	3.7	0.037	1752.79279
	0.9	950	0.064	1000	15.8333333	0.21116677	3.7	0.037	1752.79279
	0.7	950	0.064	1000	15.8333333	0.16424082	3.7	0.037	1752.79279
	1.8	950	0.064	1000	15.8333333	0.42233354	3.7	0.037	1752.79279
	1.9	950	0.064	1000	15.8333333	0.44579651	3.7	0.037	1752.79279
	0.6	950	0.064	1000	15.8333333	0.14077785	3.7	0.037	1752.79279
	1.3	950	0.064	1000	15.8333333	0.30501867	3.7	0.037	1752.79279
	0.2	950	0.064	1000	15.8333333	0.04682595	3.7	0.037	1752.79279
	1.5	950	0.064	1000	15.8333333	0.35194461	3.7	0.037	1752.79279
	2.2	950	0.064	1000	15.8333333	0.51618544	3.7	0.037	1752.79279
	1.5	950	0.064	1000	15.8333333	0.35194461	3.7	0.037	1752.79279
	1.8	950	0.064	1000	15.8333333	0.42233354	3.7	0.037	1752.79279
	1.5	950	0.064	1000	15.8333333	0.35194461	3.7	0.037	1752.79279
	1.2	950	0.064	1000	15.8333333	0.28155569	3.7	0.037	1752.79279
	1	950	0.064	1000	15.8333333	0.23462974	3.7	0.037	1752.79279
	1.5	950	0.064	1000	15.8333333	0.35194461	3.7	0.037	1752.79279
	0.8	950	0.064	1000	15.8333333	0.18770379	3.7	0.037	1752.79279
	0.8	950	0.064	1000	15.8333333	0.18770379	3.7	0.037	1752.79279
	2.1	950	0.064	1000	15.8333333	0.49272246	3.7	0.037	1752.79279
					0.29260874				

Tabla B11 cálculos efectuados con la turbina lightnin operando a 950 rpm

		TURBINA	LIGHTNIN	A-310	1150 RPM				
P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	N(s ⁻¹)	Po	M(cp)	M(poses)	Re	
0	1150	0.064	1000	19.1666667	0	3.7	0.037	2121.8018	
1.6	1150	0.064	1000	19.1666667	0.21163152	3.7	0.037	2121.8018	
0.7	1150	0.064	1000	19.1666667	0.09258879	3.7	0.037	2121.8018	
0.4	1150	0.064	1000	19.1666667	0.05290788	3.7	0.037	2121.8018	
1.6	1150	0.064	1000	19.1666667	0.21163152	3.7	0.037	2121.8018	
1.3	1150	0.064	1000	19.1666667	0.17195061	3.7	0.037	2121.8018	
1.3	1150	0.064	1000	19.1666667	0.17195061	3.7	0.037	2121.8018	
1.5	1150	0.064	1000	19.1666667	0.19840455	3.7	0.037	2121.8018	
1.3	1150	0.064	1000	19.1666667	0.17195061	3.7	0.037	2121.8018	
1.4	1150	0.064	1000	19.1666667	0.18517758	3.7	0.037	2121.8018	
1.8	1150	0.064	1000	19.1666667	0.23808546	3.7	0.037	2121.8018	
1.2	1150	0.064	1000	19.1666667	0.15872364	3.7	0.037	2121.8018	
1.3	1150	0.064	1000	19.1666667	0.17195061	3.7	0.037	2121.8018	
0.9	1150	0.064	1000	19.1666667	0.11934273	3.7	0.037	2121.8018	
0.7	1150	0.064	1000	19.1666667	0.09258879	3.7	0.037	2121.8018	
1.8	1150	0.064	1000	19.1666667	0.23808546	3.7	0.037	2121.8018	
1.9	1150	0.064	1000	19.1666667	0.25131243	3.7	0.037	2121.8018	
0.6	1150	0.064	1000	19.1666667	0.07936182	3.7	0.037	2121.8018	
1.3	1150	0.064	1000	19.1666667	0.17195061	3.7	0.037	2121.8018	
0.2	1150	0.064	1000	19.1666667	0.02645394	3.7	0.037	2121.8018	
1.5	1150	0.064	1000	19.1666667	0.19840455	3.7	0.037	2121.8018	
2.2	1150	0.064	1000	19.1666667	0.29059333	3.7	0.037	2121.8018	
1.5	1150	0.064	1000	19.1666667	0.19840455	3.7	0.037	2121.8018	
1.8	1150	0.064	1000	19.1666667	0.23808546	3.7	0.037	2121.8018	
1.5	1150	0.064	1000	19.1666667	0.19840455	3.7	0.037	2121.8018	
1.2	1150	0.064	1000	19.1666667	0.15872364	3.7	0.037	2121.8018	
1	1150	0.064	1000	19.1666667	0.1322697	3.7	0.037	2121.8018	
1.5	1150	0.064	1000	19.1666667	0.19840455	3.7	0.037	2121.8018	
0.8	1150	0.064	1000	19.1666667	0.10581576	3.7	0.037	2121.8018	
0.8	1150	0.064	1000	19.1666667	0.10581576	3.7	0.037	2121.8018	
2.1	1150	0.064	1000	19.1666667	0.27776636	3.7	0.037	2121.8018	
					0.16512378				

Tabla B12 cálculos efectuados con la turbina lightnin operando a 1150 rpm

		TURBINA LIGHTNIN A-310			1350 RPM				
P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	N(s ⁻¹)	Po	M(cp)	M(poises)	Re	
0	1350	0.064	1000	22.5	0	3.5	0.035	2633 14286	
2.5	1350	0.064	1000	22.5	0.2044055	3.5	0.035	2633 14286	
2.7	1350	0.064	1000	22.5	0.22075794	3.5	0.035	2633 14286	
2.3	1350	0.064	1000	22.5	0.18605306	3.5	0.035	2633 14286	
2.4	1350	0.064	1000	22.5	0.19622928	3.5	0.035	2633 14286	
2.4	1350	0.064	1000	22.5	0.19622928	3.5	0.035	2633 14286	
1.5	1350	0.064	1000	22.5	0.1276433	3.5	0.035	2633 14286	
3.2	1350	0.064	1000	22.5	0.26163904	3.5	0.035	2633 14286	
1.7	1350	0.064	1000	22.5	0.13699574	3.5	0.035	2633 14286	
3.2	1350	0.064	1000	22.5	0.26163904	3.5	0.035	2633 14286	
2.2	1350	0.064	1000	22.5	0.17987684	3.5	0.035	2633 14286	
2.7	1350	0.064	1000	22.5	0.22075794	3.5	0.035	2633 14286	
2.3	1350	0.064	1000	22.5	0.18605306	3.5	0.035	2633 14286	
3.5	1350	0.064	1000	22.5	0.2861677	3.5	0.035	2633 14286	
2.1	1350	0.064	1000	22.5	0.17170662	3.5	0.035	2633 14286	
3	1350	0.064	1000	22.5	0.2452866	3.5	0.035	2633 14286	
2.8	1350	0.064	1000	22.5	0.22893416	3.5	0.035	2633 14286	
1.1	1350	0.064	1000	22.5	0.08993842	3.5	0.035	2633 14286	
3.3	1350	0.064	1000	22.5	0.26981526	3.5	0.035	2633 14286	
2.7	1350	0.064	1000	22.5	0.22075794	3.5	0.035	2633 14286	
2.9	1350	0.064	1000	22.5	0.23711038	3.5	0.035	2633 14286	
2	1350	0.064	1000	22.5	0.1635244	3.5	0.035	2633 14286	
2.6	1350	0.064	1000	22.5	0.21258172	3.5	0.035	2633 14286	
2.7	1350	0.064	1000	22.5	0.22075794	3.5	0.035	2633 14286	
1.9	1350	0.064	1000	22.5	0.15534818	3.5	0.035	2633 14286	
1.7	1350	0.064	1000	22.5	0.13699574	3.5	0.035	2633 14286	
2.3	1350	0.064	1000	22.5	0.18605306	3.5	0.035	2633 14286	
1.8	1350	0.064	1000	22.5	0.14717196	3.5	0.035	2633 14286	
2.4	1350	0.064	1000	22.5	0.19622928	3.5	0.035	2633 14286	
0.9	1350	0.064	1000	22.5	0.07358598	3.5	0.035	2633 14286	
1.3	1350	0.064	1000	22.5	0.10629086	3.5	0.035	2633 14286	
					0.18486807				

Tabla B13 cálculos efectuados con la turbina lightnin operando a 1350 rpm

		TURBINA	LIGHTNIN	A-310	1550 RPM			
P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	N(s-1)	Po	M(cp)	M(poises)	Re
0	1550	0.064	1000	25.8333333	0	3.4	0.034	3112.15686
0.7	1550	0.064	1000	25.8333333	0.03781437	3.4	0.034	3112.15686
2.5	1550	0.064	1000	25.8333333	0.13505131	3.4	0.034	3112.15686
2.3	1550	0.064	1000	25.8333333	0.1242472	3.4	0.034	3112.15686
1.6	1550	0.064	1000	25.8333333	0.08643284	3.4	0.034	3112.15686
3.6	1550	0.064	1000	25.8333333	0.19447388	3.4	0.034	3112.15686
2.8	1550	0.064	1000	25.8333333	0.15125747	3.4	0.034	3112.15686
3.2	1550	0.064	1000	25.8333333	0.17286567	3.4	0.034	3112.15686
1.9	1550	0.064	1000	25.8333333	0.10263899	3.4	0.034	3112.15686
4.2	1550	0.064	1000	25.8333333	0.22688662	3.4	0.034	3112.15686
3.8	1550	0.064	1000	25.8333333	0.20527799	3.4	0.034	3112.15686
2.5	1550	0.064	1000	25.8333333	0.13505131	3.4	0.034	3112.15686
2.7	1550	0.064	1000	25.8333333	0.14585541	3.4	0.034	3112.15686
3.4	1550	0.064	1000	25.8333333	0.18366978	3.4	0.034	3112.15686
4.6	1550	0.064	1000	25.8333333	0.24849441	3.4	0.034	3112.15686
1.7	1550	0.064	1000	25.8333333	0.09183489	3.4	0.034	3112.15686
2.7	1550	0.064	1000	25.8333333	0.14585541	3.4	0.034	3112.15686
2.4	1550	0.064	1000	25.8333333	0.12964926	3.4	0.034	3112.15686
2.4	1550	0.064	1000	25.8333333	0.12964926	3.4	0.034	3112.15686
1.7	1550	0.064	1000	25.8333333	0.09183489	3.4	0.034	3112.15686
3.2	1550	0.064	1000	25.8333333	0.17286567	3.4	0.034	3112.15686
2.8	1550	0.064	1000	25.8333333	0.15125747	3.4	0.034	3112.15686
2.6	1550	0.064	1000	25.8333333	0.14045336	3.4	0.034	3112.15686
2.4	1550	0.064	1000	25.8333333	0.12964926	3.4	0.034	3112.15686
2.1	1550	0.064	1000	25.8333333	0.1134431	3.4	0.034	3112.15686
1.7	1550	0.064	1000	25.8333333	0.09183489	3.4	0.034	3112.15686
1.6	1550	0.064	1000	25.8333333	0.08643284	3.4	0.034	3112.15686
2.7	1550	0.064	1000	25.8333333	0.14585541	3.4	0.034	3112.15686
2.1	1550	0.064	1000	25.8333333	0.1134431	3.4	0.034	3112.15686
2.1	1550	0.064	1000	25.8333333	0.1134431	3.4	0.034	3112.15686
2.7	1550	0.064	1000	25.8333333	0.14585541	3.4	0.034	3112.15686
2.6	1550	0.064	1000	25.8333333	0.13505131	3.4	0.034	3112.15686
					0.13383149			

Tabla B14 cálculos efectuados con la turbina lightnin operando a 1550 rpm

TURBINA LIGHTNIN A-310 1750 RPM								
P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	N(s-1)	Po	M(cp)	M(poises)	Re
0	1750	0.054	1000	29.1666667	0	3.6	0.036	3318.51852
3.4	1750	0.054	1000	29.1666667	0.12761997	3.6	0.036	3318.51852
3.8	1750	0.054	1000	29.1666667	0.14263409	3.6	0.036	3318.51852
4.9	1750	0.054	1000	29.1666667	0.1839229	3.6	0.036	3318.51852
6	1750	0.054	1000	29.1666667	0.22521172	3.6	0.036	3318.51852
4.7	1750	0.054	1000	29.1666667	0.17641585	3.6	0.036	3318.51852
6	1750	0.054	1000	29.1666667	0.22521172	3.6	0.036	3318.51852
6.4	1750	0.054	1000	29.1666667	0.24022583	3.6	0.036	3318.51852
5.4	1750	0.054	1000	29.1666667	0.20269055	3.6	0.036	3318.51852
4	1750	0.054	1000	29.1666667	0.15014115	3.6	0.036	3318.51852
4.9	1750	0.054	1000	29.1666667	0.1839229	3.6	0.036	3318.51852
3.8	1750	0.054	1000	29.1666667	0.14263409	3.6	0.036	3318.51852
4.6	1750	0.054	1000	29.1666667	0.17266232	3.6	0.036	3318.51852
4.2	1750	0.054	1000	29.1666667	0.1576482	3.6	0.036	3318.51852
3.7	1750	0.054	1000	29.1666667	0.13888056	3.6	0.036	3318.51852
2	1750	0.054	1000	29.1666667	0.07507057	3.6	0.036	3318.51852
2.4	1750	0.054	1000	29.1666667	0.09008469	3.6	0.036	3318.51852
2.5	1750	0.054	1000	29.1666667	0.09388622	3.6	0.036	3318.51852
1.8	1750	0.054	1000	29.1666667	0.06756352	3.6	0.036	3318.51852
2.1	1750	0.054	1000	29.1666667	0.0788241	3.6	0.036	3318.51852
2.4	1750	0.054	1000	29.1666667	0.09008469	3.6	0.036	3318.51852
2.8	1750	0.054	1000	29.1666667	0.1050988	3.6	0.036	3318.51852
2.3	1750	0.054	1000	29.1666667	0.08633116	3.6	0.036	3318.51852
3	1750	0.054	1000	29.1666667	0.11260596	3.6	0.036	3318.51852
0.5	1750	0.054	1000	29.1666667	0.01876764	3.6	0.036	3318.51852
0.5	1750	0.054	1000	29.1666667	0.01876764	3.6	0.036	3318.51852
2.4	1750	0.054	1000	29.1666667	0.09008469	3.6	0.036	3318.51852
1.4	1750	0.054	1000	29.1666667	0.0525494	3.6	0.036	3318.51852
0.8	1750	0.054	1000	29.1666667	0.03002823	3.6	0.036	3318.51852
2	1750	0.054	1000	29.1666667	0.07507057	3.6	0.036	3318.51852
2.1	1750	0.054	1000	29.1666667	0.0788241	3.6	0.036	3318.51852
					0.11726596			

Tabla B15 cálculos efectuados con la turbina Lightnin operando a 1750 rpm

Todos los cálculos hechos durante la preparación de las emulsiones con/sin deflectores, otras emulsiones que se prepararon con medio salino (Medio B), así como otras en cuya preparación se contó con la ayuda de un estabilizante (algarrobo), se anexan en el presente apéndice, agrupados por tablas.

PRUEBA CON DEFLECTORES
PROPELA MARINA 1350 RPM

P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	Nis-1)	Po	M(cp)	M(poses)	Re
0	1350	0.069	1000	22.5	0	4	0.04	2678.0625
6.7	1350	0.069	1000	22.5	0.37608135	4	0.04	2678.0625
5.9	1350	0.069	1000	22.5	0.33117611	4	0.04	2678.0625
7.4	1350	0.069	1000	22.5	0.41537343	4	0.04	2678.0625
7.7	1350	0.069	1000	22.5	0.43221289	4	0.04	2678.0625
8.6	1350	0.069	1000	22.5	0.48273128	4	0.04	2678.0625
7.2	1350	0.069	1000	22.5	0.40414712	4	0.04	2678.0625
7.4	1350	0.069	1000	22.5	0.41537343	4	0.04	2678.0625
8.6	1350	0.069	1000	22.5	0.48273128	4	0.04	2678.0625
9	1350	0.069	1000	22.5	0.5051839	4	0.04	2678.0625
8.3	1350	0.069	1000	22.5	0.46589182	4	0.04	2678.0625
8	1350	0.069	1000	22.5	0.44906236	4	0.04	2678.0625
7.3	1350	0.069	1000	22.5	0.40976027	4	0.04	2678.0625
7.3	1350	0.069	1000	22.5	0.40976027	4	0.04	2678.0625
8.9	1350	0.069	1000	22.5	0.49957075	4	0.04	2678.0625
8.4	1350	0.069	1000	22.5	0.47150497	4	0.04	2678.0625
9.4	1350	0.069	1000	22.5	0.52763652	4	0.04	2678.0625
9.1	1350	0.069	1000	22.5	0.51079705	4	0.04	2678.0625
8.9	1350	0.069	1000	22.5	0.49957075	4	0.04	2678.0625
8.9	1350	0.069	1000	22.5	0.49957075	4	0.04	2678.0625
9.4	1350	0.069	1000	22.5	0.52763652	4	0.04	2678.0625
8.1	1350	0.069	1000	22.5	0.45466551	4	0.04	2678.0625
8.3	1350	0.069	1000	22.5	0.46589182	4	0.04	2678.0625
9.9	1350	0.069	1000	22.5	0.55570229	4	0.04	2678.0625
8.5	1350	0.069	1000	22.5	0.47711813	4	0.04	2678.0625
9.8	1350	0.069	1000	22.5	0.55008914	4	0.04	2678.0625
9.3	1350	0.069	1000	22.5	0.52202336	4	0.04	2678.0625
9	1350	0.069	1000	22.5	0.5051839	4	0.04	2678.0625
.94	1350	0.069	1000	22.5	0.52763652	4	0.04	2678.0625
10.1	1350	0.069	1000	22.5	0.5669286	4	0.04	2678.0625
10.1	1350	0.069	1000	22.5	0.5669286	4	0.04	2678.0625
					0.46154615			

Tabla C1 Cálculos efectuados con la propelel marina operando a 1350 rpm, con deflectores

PRUEBA SIN DEFLECTORES
PROPELA MARINA 1350 RPM

P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	H(s-1)	Po	M(cp)	M(poses)	Re
0	1350	0.069	1000	22.5	0	4.3	0.043	2491.22093
0	1350	0.069	1000	22.5	0	4.3	0.043	2491.22093
0	1350	0.069	1000	22.5	0	4.3	0.043	2491.22093
0.4	1350	0.069	1000	22.5	0.02245262	4.3	0.043	2491.22093
0.8	1350	0.069	1000	22.5	0.04490524	4.3	0.043	2491.22093
1.6	1350	0.069	1000	22.5	0.08981047	4.3	0.043	2491.22093
3	1350	0.069	1000	22.5	0.16839463	4.3	0.043	2491.22093
2.6	1350	0.069	1000	22.5	0.14594202	4.3	0.043	2491.22093
1.8	1350	0.069	1000	22.5	0.10102678	4.3	0.043	2491.22093
1.2	1350	0.069	1000	22.5	0.06735785	4.3	0.043	2491.22093
2.1	1350	0.069	1000	22.5	0.11767624	4.3	0.043	2491.22093
0.2	1350	0.069	1000	22.5	0.01122631	4.3	0.043	2491.22093
0.5	1350	0.069	1000	22.5	0.02909577	4.3	0.043	2491.22093
1.4	1350	0.069	1000	22.5	0.07658416	4.3	0.043	2491.22093
0.9	1350	0.069	1000	22.5	0.05651839	4.3	0.043	2491.22093
0.8	1350	0.069	1000	22.5	0.04490524	4.3	0.043	2491.22093
0.8	1350	0.069	1000	22.5	0.04490524	4.3	0.043	2491.22093
1.2	1350	0.069	1000	22.5	0.06735785	4.3	0.043	2491.22093
0.9	1350	0.069	1000	22.5	0.05651839	4.3	0.043	2491.22093
0.8	1350	0.069	1000	22.5	0.04490524	4.3	0.043	2491.22093
0.8	1350	0.069	1000	22.5	0.04490524	4.3	0.043	2491.22093
1.9	1350	0.069	1000	22.5	0.10664993	4.3	0.043	2491.22093
1.4	1350	0.069	1000	22.5	0.07658416	4.3	0.043	2491.22093
0.9	1350	0.069	1000	22.5	0.05651839	4.3	0.043	2491.22093
1.6	1350	0.069	1000	22.5	0.08981047	4.3	0.043	2491.22093
1.7	1350	0.069	1000	22.5	0.09542363	4.3	0.043	2491.22093
0.9	1350	0.069	1000	22.5	0.05651839	4.3	0.043	2491.22093
0.7	1350	0.069	1000	22.5	0.03929209	4.3	0.043	2491.22093
1.4	1350	0.069	1000	22.5	0.07658416	4.3	0.043	2491.22093
1.4	1350	0.069	1000	22.5	0.07658416	4.3	0.043	2491.22093
1.2	1350	0.069	1000	22.5	0.06735785	4.3	0.043	2491.22093
1.2	1350	0.069	1000	22.5	0.06735785	4.3	0.043	2491.22093
					0.06391753			

Tabla C2 Cálculos efectuados con la propele marina operando a 1350 rpm, sin deflectores

PRUEBA CON DEFLECTORES
 PROPELA MARINA 1350 RPM (5 m TWEEN 20, 5 ml ALGARROBO)

P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	N(s ⁻¹)	Po	M(cp)	M(poses)	Re
0	1350	0.069	1000	22.5	0	3.4	0.034	3150.66176
5.3	1350	0.069	1000	22.5	0.29749719	3.4	0.034	3150.66176
4.9	1350	0.069	1000	22.5	0.27504457	3.4	0.034	3150.66176
6.8	1350	0.069	1000	22.5	0.3816945	3.4	0.034	3150.66176
5.8	1350	0.069	1000	22.5	0.32556256	3.4	0.034	3150.66176
5	1350	0.069	1000	22.5	0.28065772	3.4	0.034	3150.66176
7.7	1350	0.069	1000	22.5	0.43221289	3.4	0.034	3150.66176
7.2	1350	0.069	1000	22.5	0.40414712	3.4	0.034	3150.66176
8.4	1350	0.069	1000	22.5	0.47150497	3.4	0.034	3150.66176
9.5	1350	0.069	1000	22.5	0.53324567	3.4	0.034	3150.66176
8.8	1350	0.069	1000	22.5	0.49395759	3.4	0.034	3150.66176
8.1	1350	0.069	1000	22.5	0.45466551	3.4	0.034	3150.66176
6.9	1350	0.069	1000	22.5	0.38730766	3.4	0.034	3150.66176
7.8	1350	0.069	1000	22.5	0.43782605	3.4	0.034	3150.66176
7.4	1350	0.069	1000	22.5	0.41637343	3.4	0.034	3150.66176
9.1	1350	0.069	1000	22.5	0.51079705	3.4	0.034	3150.66176
7.7	1350	0.069	1000	22.5	0.43221289	3.4	0.034	3150.66176
7.8	1350	0.069	1000	22.5	0.43782605	3.4	0.034	3150.66176
7.4	1350	0.069	1000	22.5	0.41537343	3.4	0.034	3150.66176
7.2	1350	0.069	1000	22.5	0.40414712	3.4	0.034	3150.66176
7.6	1350	0.069	1000	22.5	0.42659974	3.4	0.034	3150.66176
8.1	1350	0.069	1000	22.5	0.45466551	3.4	0.034	3150.66176
8	1350	0.069	1000	22.5	0.44906236	3.4	0.034	3150.66176
7.4	1350	0.069	1000	22.5	0.41537343	3.4	0.034	3150.66176
6.4	1350	0.069	1000	22.5	0.35624188	3.4	0.034	3150.66176
8.5	1350	0.069	1000	22.5	0.47711813	3.4	0.034	3150.66176
7.6	1350	0.069	1000	22.5	0.42659974	3.4	0.034	3150.66176
6.8	1350	0.069	1000	22.5	0.3816945	3.4	0.034	3150.66176
7.7	1350	0.069	1000	22.5	0.43221289	3.4	0.034	3150.66176
7.3	1350	0.069	1000	22.5	0.40976027	3.4	0.034	3150.66176
7.6	1350	0.069	1000	22.5	0.42659974	3.4	0.034	3150.66176
					0.40161215			

Tabla C3 Prueba con deflectores (10% estabilizante, 90% emulsificante), con la propelela marina operando a 1350 RPM

PRUEBA CON DEFLECTORES
 PROPELA MARINA 1350 RPM (5 m TWEEN 20, 5 ml ALGARROBO)

P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	N(s ⁻¹)	Po	M(cp)	M(poises)	Re
0	1350	0.069	1000	22.5	0	4.3	0.043	2491.22093
3.9	1350	0.069	1000	22.5	0.21891302	4.3	0.043	2491.22093
4.8	1350	0.069	1000	22.5	0.26943141	4.3	0.043	2491.22093
4.7	1350	0.069	1000	22.5	0.26381826	4.3	0.043	2491.22093
4.8	1350	0.069	1000	22.5	0.26943141	4.3	0.043	2491.22093
5.9	1350	0.069	1000	22.5	0.33117611	4.3	0.043	2491.22093
4.8	1350	0.069	1000	22.5	0.26943141	4.3	0.043	2491.22093
3.9	1350	0.069	1000	22.5	0.21891302	4.3	0.043	2491.22093
5	1350	0.069	1000	22.5	0.28065772	4.3	0.043	2491.22093
4.9	1350	0.069	1000	22.5	0.27504457	4.3	0.043	2491.22093
5.5	1350	0.069	1000	22.5	0.30872349	4.3	0.043	2491.22093
5.3	1350	0.069	1000	22.5	0.29749719	4.3	0.043	2491.22093
6	1350	0.069	1000	22.5	0.33678927	4.3	0.043	2491.22093
5.4	1350	0.069	1000	22.5	0.30311034	4.3	0.043	2491.22093
7.1	1350	0.069	1000	22.5	0.39853397	4.3	0.043	2491.22093
6.3	1350	0.069	1000	22.5	0.35362873	4.3	0.043	2491.22093
6.7	1350	0.069	1000	22.5	0.37608135	4.3	0.043	2491.22093
5	1350	0.069	1000	22.5	0.28065772	4.3	0.043	2491.22093
5.5	1350	0.069	1000	22.5	0.30872349	4.3	0.043	2491.22093
6.3	1350	0.069	1000	22.5	0.35362873	4.3	0.043	2491.22093
5	1350	0.069	1000	22.5	0.28065772	4.3	0.043	2491.22093
5.5	1350	0.069	1000	22.5	0.30872349	4.3	0.043	2491.22093
6.3	1350	0.069	1000	22.5	0.35362873	4.3	0.043	2491.22093
5.8	1350	0.069	1000	22.5	0.32556296	4.3	0.043	2491.22093
5.8	1350	0.069	1000	22.5	0.32556296	4.3	0.043	2491.22093
5.5	1350	0.069	1000	22.5	0.30872349	4.3	0.043	2491.22093
6.6	1350	0.069	1000	22.5	0.37046919	4.3	0.043	2491.22093
6	1350	0.069	1000	22.5	0.33678927	4.3	0.043	2491.22093
6.2	1350	0.069	1000	22.5	0.34691558	4.3	0.043	2491.22093
4.9	1350	0.069	1000	22.5	0.27504457	4.3	0.043	2491.22093
6.3	1350	0.069	1000	22.5	0.35362873	4.3	0.043	2491.22093
					0.30003216			

Tabla C4 Prueba con deflectores (50% estabilizante 50% emulsificante) con la propelel marina operando a 1350 RPM

PRUEBA CON DEFLECTORES
 PROPELA MARINA 1350 RPM (MEDIO B)

P(watts)	RPM	D(m)	ρ (kg/m ³)	N(s-1)	Po	M(cp)	M(poses)	Re
0	1350	0.069	1000	22.5	0	3.7	0.037	2895.2027
5.4	1350	0.069	1000	22.5	0.30311034	3.7	0.037	2895.2027
7.4	1350	0.069	1000	22.5	0.41537343	3.7	0.037	2895.2027
5.8	1350	0.069	1000	22.5	0.32556296	3.7	0.037	2895.2027
5.7	1350	0.069	1000	22.5	0.3199498	3.7	0.037	2895.2027
6.2	1350	0.069	1000	22.5	0.34801558	3.7	0.037	2895.2027
6.8	1350	0.069	1000	22.5	0.3816945	3.7	0.037	2895.2027
6.8	1350	0.069	1000	22.5	0.3816945	3.7	0.037	2895.2027
6	1350	0.069	1000	22.5	0.33678927	3.7	0.037	2895.2027
5.5	1350	0.069	1000	22.5	0.30872349	3.7	0.037	2895.2027
7.1	1350	0.069	1000	22.5	0.39853397	3.7	0.037	2895.2027
5.6	1350	0.069	1000	22.5	0.31433665	3.7	0.037	2895.2027
6.6	1350	0.069	1000	22.5	0.37045819	3.7	0.037	2895.2027
6.7	1350	0.069	1000	22.5	0.37608135	3.7	0.037	2895.2027
5.7	1350	0.069	1000	22.5	0.3199498	3.7	0.037	2895.2027
5.9	1350	0.069	1000	22.5	0.33117611	3.7	0.037	2895.2027
7.6	1350	0.069	1000	22.5	0.42659974	3.7	0.037	2895.2027
6.7	1350	0.069	1000	22.5	0.37608135	3.7	0.037	2895.2027
7.7	1350	0.069	1000	22.5	0.43221289	3.7	0.037	2895.2027
6.3	1350	0.069	1000	22.5	0.35362873	3.7	0.037	2895.2027
7.3	1350	0.069	1000	22.5	0.40976027	3.7	0.037	2895.2027
6.1	1350	0.069	1000	22.5	0.34240242	3.7	0.037	2895.2027
6.4	1350	0.069	1000	22.5	0.35924188	3.7	0.037	2895.2027
6.3	1350	0.069	1000	22.5	0.35362873	3.7	0.037	2895.2027
7.2	1350	0.069	1000	22.5	0.40414712	3.7	0.037	2895.2027
6.2	1350	0.069	1000	22.5	0.34801558	3.7	0.037	2895.2027
5.8	1350	0.069	1000	22.5	0.32556296	3.7	0.037	2895.2027
6.9	1350	0.069	1000	22.5	0.39730766	3.7	0.037	2895.2027
7.9	1350	0.069	1000	22.5	0.4434392	3.7	0.037	2895.2027
5.5	1350	0.069	1000	22.5	0.30872349	3.7	0.037	2895.2027
7	1350	0.069	1000	22.5	0.39292081	3.7	0.037	2895.2027
					0.3514559			

Tabla C5 Prueba con Med o B, con la propelel marina operando a 1350 RPM