



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**

Diseño de un reactor de Biodiesel a base de aceite de cocinar quemado.

**AUTORES**

- Br. Wilfredo de Jesús Suárez Dávila.  
Br. Edgar Josué Orozco Rodríguez.  
Br. Carlos Andrés Jarquín Espinoza.

**TUTOR**

- Ing. Mary Triny Gutiérrez Mendoza.

**Managua, 25 de Marzo de 2016**

## *Agradecimiento.*

*Primeramente a Dios por habernos permitido dar este paso importante en nuestras vidas y dotarnos de conocimiento.*

*A Nuestros Queridos familiares por brindarnos su apoyo incondicional día a día y permitirnos alcanzar este gran logro.*

*A In. Mary Triny Gutiérrez Mendoza por ser nuestra tutora y guiarnos durante todo el trayecto de la tesis monográfica.*

*Al Ing. Javier Pavón Gaitán por ser nuestro asesor químico y así poder culminar la fase experimental con gran éxito.*

*A Facultad de Ingeniería Química (FIQ) por facilitar el uso de sus laboratorios y equipos para realizar la fase experimental.*

*A todas las personas que de forma directa o indirecta nos ayudaron para la elaboración de este trabajo.*

*Wilfredo de Jesús Suárez Dávila*

*Edgar Josué Orozco Rodríguez*

*Carlos Andrés Jarquín Espinoza*

## *DEDICADA*

### *A Dios*

*Por haberme dado la perseverancia y dotarme de conocimiento para seguir siempre adelante y ver cumplir todas mis metas.*

### *A Mi Madre*

*Rosa Lila Dávila Ríos por su apoyo incondicional y sus palabras de aliento que han contribuido al éxito en todas mis metas alcanzadas.*

### *A Mi Hermana*

*Zuleyca Adriana Suárez Dávila, la cual ha sido un ejemplo de superación y lucha, quien me ha alentado a seguir adelante y quien me brindó su apoyo incondicional durante el transcurso de toda esta etapa.*

*Wilfredo de Jesús Suárez Dávila*

## **DEDICADA**

*En primer lugar a Dios por permitirme la culminación de mis estudios universitarios y otorgarme la vida para cumplir uno de mis sueños.*

*A mis padres, Eufemio Orozco Gaitán e Idalia Rodríguez Mejía, los cuales han sido el apoyo fundamental en mi vida, desde el comienzo de mis estudios, hasta este punto de obtener el título de Ing. Mecánico.*

*A mis hermanos Heysell Orozco y Jader Orozco, quienes han sido un pilar de ayuda para mis estudios.*

*A mis familiares, los que creyeron en mí y estuvieron apoyándome desde donde se encontraron.*

*Edgar Josué Orozco Rodríguez*

## **DEDICADA**

*En primer lugar a Dios por permitirme la culminación de mis estudios universitarios y otorgarme la vida para cumplir uno de mis sueños.*

*A mis padres, José Jarquín García y Martha Espinoza Martínez, los cuales han sido el apoyo fundamental en mi vida, desde el comienzo de mis estudios.*

*A mi Esposa Martha Romero Téllez, quien han sido un pilar de ayuda para mí.*

*A mi hijo Andrés Ismath Jarquín Romero.*

*Carlos Andrés Jarquín Espinoza.*

## RESUMEN

Este estudio se enfoca en el diseño de un reactor de biodiesel a base de aceite de cocinar quemado el cual aprovecha la materia prima para evitar la contaminación en dos aspectos:

- ✓ El aceite usado contamina los suelos y aguas existentes en nuestro ecosistema debido a un mal manejo de estos residuos por parte de las pequeñas, medianas y hasta grandes empresas. Con el diseño de este reactor se realiza una propuesta para la reutilización de este.
- ✓ El diseño del reactor de biodiesel ayudará a disminuir la contaminación del medio ambiente debido a las emisiones nocivas por parte de la flota vehicular. Las emisiones por parte del biodiesel en combustión son menos nocivas al ambiente siempre y cuando se regule su calidad de fabricación y uso.

En relación a las desventajas del diseño del reactor caben mencionar algunas tales como: almacenamiento del biodiesel, costos de fabricación del reactor, obtención de la materia prima, administración de sustancias tóxicas, entre otras.

Para realizar el diseño del reactor se inició con una fase experimental la cual constaba con la valoración de los reactivos para la obtención de biodiesel por medio de la reacción de transesterificación, tal valoración proporcionó la cantidad necesaria para garantizar una reacción lo más efectiva posible y de tal manera establecer los volúmenes de diseño para el reactor, basados en una relación de volúmenes obtenidos durante el transcurso de dicha fase.

Posterior a la culminación de la fase experimental se inició con el diseño mecánico el cual es basado con la selección del material para ambos recipientes sometidos a presión (recipiente del metóxido y recipiente de biodiesel). Otro principal aspecto dentro del diseño mecánico es la elaboración de la estructura que es la encargada de soportar las cargas de los recipientes, de igual manera el análisis de soldadura

se hizo mediante conocimientos técnicos sobre los aceros inoxidables austeníticos.

El sistema eléctrico constituido por sus respectivos circuitos de mando y de fuerza, se diseñó con el propósito de garantizar la protección en el proceso, seleccionando de esta manera los respectivos componentes de protección y de control para el sistema.

Con la selección de los componentes del sistema de ductería se concluye el diseño del reactor de biodiesel a base de aceite de cocinar quemado, el principal objetivo de este sistema es el transporte del metóxido al recipiente principal donde da lugar la reacción de transesterificación.

Todo los datos recolectados durante el diseño mecánico del reactor de biodiesel fueron procesados para elaborar los planos de fabricación del mismo y de esta manera obtener las principales vistas a su debida escala.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>2</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
<b>CAPITULO 1. GENERALIDADES</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1 BIOMASA</b> .....	<b>6</b>
1.1.1 Definición: .....	6
1.1.2 Tipos de biomasa .....	6
1.1.3 Ventajas y desventajas del uso de biomasa .....	7
1.1.4 Estudios de biomasa en la Universidad Nacional de Ingeniería .....	8
<b>1.2. BIODIESEL</b> .....	<b>9</b>
1.2.1 Definición de biodiesel: .....	9
1.2.2 Biomasa para la fabricación de biodiesel .....	10
1.2.3 Métodos para la obtención de biodiesel.....	11
✓ 1.2.3.1 Pirólisis: .....	11
✓ 1.2.3.2 Emulsificación: .....	11
✓ 1.2.3.3 Transesterificación: .....	12
<b>1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS REACTIVOS Y PRODUCTOS</b> .....	<b>15</b>
1.3.1 Características del aceite de cocinar quemado .....	15
1.3.2 Características de los reactivos .....	15
1.3.3 Características de los productos .....	17
<b>1.4 PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL</b> .....	<b>18</b>
1.4.1 Proceso discontinuo .....	18
1.4.2 Proceso continuo .....	20
<b>CAPITULO 2. ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL DISEÑO DEL REACTOR</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1 RECIPIENTES A PRESIÓN</b> .....	<b>21</b>
2.1.1 Por su uso .....	21
2.1.2 Por su forma: .....	21
2.1.3 Por su Geometría:.....	22
<b>2.2 TIPOS DE PRESIONES</b> .....	<b>22</b>
<b>2.3 TIPOS DE TAPAS:</b> .....	<b>24</b>
2.3.1 Tapas planas: .....	24
2.3.2 Tapas planas con ceja: .....	24
2.3.3 Tapas únicamente abombadas:.....	25
2.3.4 Tapas Semielípticas:.....	25
2.3.5 Tapas semiesféricas: .....	26
2.3.6 Tapas cónicas:.....	26
<b>2.4 AGITADORES</b> .....	<b>27</b>
2.4.1 Tipos de agitadores.....	27
2.4.2 Flujos en tanque agitados.....	31
2.4.3 Formas de evitar remolinos durante la agitación .....	32
2.4.4 Consumo de potencia del agitador.....	34
<b>2.5 UNIÓN POR SOLDADURA</b> .....	<b>36</b>
2.5.1 Tipos de soldadura.....	37

2.5.1.1	Soldadura aplicada por presión: .....	37
2.5.1.2	Soldadura a tope: .....	37
2.5.1.3	Soldadura por arco eléctrico: .....	37
2.5.1.4	Soldadura Autógena .....	38
2.5.1.5	Soldadura con electrodo metálico revestido. ....	39
2.6	<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b> .....	40
2.6.1	Protección y comando de motores eléctricos .....	40
2.6.2	Conductor eléctrico .....	42
2.6.3	Resistencia eléctrica .....	43
CAPITULO 3.	<b>FASE EXPERIMENTAL</b> .....	45
3.1	<b>VALORACIÓN DEL ACEITE DE COCINAR QUEMADO</b> .....	46
3.2	<b>PRODUCIENDO BIODIESEL</b> .....	51
CAPÍTULO 4.	<b>MEMORIA DE CÁLCULO</b> .....	57
4.1	<b>MEMORIA DE CÁLCULO DE REACTOR DEL BIODIESEL</b> .....	58
4.1.1	Selección del material.....	58
4.1.2	cálculo de presiones .....	60
4.1.3	Cálculo del sobre espesor .....	61
4.1.4	Cálculo del espesor de la placa por presión interna .....	62
4.1.4.1	Sección cilíndrica ( $t_1$ ), cuerpo del reactor .....	62
4.1.4.2	Sección cónica ( $t_2$ ), tapa inferior.....	62
4.1.4.3	Sección plana ( $t_3$ ), tapa plana .....	63
4.1.4	Cálculo del espesor de la placa por presión externa .....	63
4.1.4.1	Sección cilíndrica ( $t_5$ ), cuerpo del reactor .....	64
4.1.4.2	Sección cónica ( $t_5$ ), tapa inferior .....	65
4.1.5	Selección del agitador.....	68
4.1.6	Potencia teórica del motor eléctrico .....	72
4.1.7	Memoria de cálculo del eje.....	74
4.2	<b>MEMORIA DE CÁLCULO DEL RECIPIENTE DE METÓXIDO</b> .....	78
4.2.1	Cálculo de presiones .....	79
4.2.2	Cálculo del sobre espesor .....	80
4.2.3	Cálculo del espesor de la placa por presión interna .....	80
4.2.3.1	Sección cilíndrica ( $t_1$ ), cuerpo de recipiente de metóxido .....	81
4.2.3.2	Sección cónica ( $t_2$ ), tapa inferior .....	81
4.2.3.3	Sección plana ( $t_3$ ), tapa plana .....	82
4.2.4	Cálculo del espesor de la placa por presión externa .....	83
4.2.4.1	Sección cilíndrica ( $t_5$ ), cuerpo del reactor metóxido .....	83
4.2.4.2	Sección cónica ( $t_5$ ), tapa inferior .....	84
4.2.5	Selección del conjunto agitador-motor para el reactor metóxido.....	87
CAPÍTULO 5.	<b>SOLDADURA</b> .....	91
5.1	<b>SELECCIÓN DEL ELECTRODO PARA LA SOLDADURA EN ACERO INOXIDABLE</b> .....	92
5.1.1	Selección del electrodo para la estructura .....	93
5.2	<b>ESTUDIO METALOGRAFICO DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS</b> .....	94
5.2.1	Propiedades físicas .....	94
5.2.2	Agrietamiento en caliente .....	95
5.3	<b>CÁLCULO DE LA SOLDADURA DE LOS REACTORES</b> .....	99
5.3.1	Masa de soldadura requerida para los reactores .....	103
5.4	<b>CÁLCULO DE SOLDADURA PARA LA ESTRUCTURA</b> .....	105
5.4.1	Cálculo del peso del reactor de biodiesel y metóxido .....	105
5.4.2	Volumen total de soldadura para la estructura .....	107
CAPÍTULO 6.	<b>SISTEMA ELÉCTRICO Y SISTEMA DE DUCTERÍA</b> .....	110

6.1 DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	110
6.1.1 Caída de tensión en la instalación .....	111
6.1.2 Selección del conductor.....	112
6.1.3 Selección del contactor.....	112
6.1.4 Selección de los pulsadores .....	113
6.1.5 Selección de la resistencia .....	113
6.1.6 Interruptor termomagnético .....	114
6.2 SISTEMA DE DUCTERÍA .....	115
6.2.1 Selección del material.....	115
6.2.2 Selección de accesorios del sistema .....	115
<b>DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>117</b>
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>118</b>
<b>CONCLUSIÓN .....</b>	<b>120</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>121</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>124</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PROPIEDADES FÍSICAS Y TERMODINÁMICAS DEL METANOL (CH <sub>3</sub> OH).....	16
TABLA 2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH).....	16
TABLA 3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA GLICERINA (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub> ) .....	17
TABLA 4. PROPIEDADES GENERALES DEL BIODIESEL.....	17
TABLA 5. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DISCONTINUO.....	19
TABLA 6. PROPIEDADES DEL ACEITE DE COCINAR QUEMADO (A.C.Q).....	56
TABLA 7. PROPIEDADES DEL BIODIESEL .....	56
TABLA 8. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AISI 316L .....	59
TABLA 9. PROPIEDADES TÉRMICAS DEL AISI 316L .....	59
TABLA 10. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AISI 316L .....	60
TABLA 11. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL AISI 316L.....	60
TABLA 12. CARACTERÍSTICAS DEL AGITADOR.....	68
TABLA 13. CHAFLÁN DE LA CHAVETA.....	78
TABLA 14. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL E-316L-16 .....	92
TABLA 15. VOLUMEN SOLDADURA DEL REACTOR BIODIESEL.....	101
TABLA 16. VOLUMEN DE SOLDADURA DEL METÓXIDO.....	102
TABLA 17. PESO DEL REACTOR DE BIODIESEL .....	105
TABLA 18. PESO DEL REACTOR METÓXIDO .....	106
TABLA 19. PRESIÓN DE TRABAJO TUBERÍA PVC 1" .....	115
TABLA 20. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE DUCTERÍA.....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CICLO DE VIDA DEL BIODIESEL.....	9
FIGURA 2. REACCIÓN QUÍMICA DE LA TRANSESTERIFICACIÓN .....	12
FIGURA 3. ETAPA UNO DE LA TRANSESTERIFICACIÓN .....	13
FIGURA 4. ETAPA DOS DE LA TRANSESTERIFICACIÓN .....	13
FIGURA 5. ÚLTIMA ETAPA DE LA TRANSESTERIFICACIÓN .....	14
FIGURA 6. TAPA PLANA .....	24
FIGURA 7. TAPA PLANA CON CEJAS .....	24
FIGURA 8. TAPAS ABOMBADAS .....	25
FIGURA 9. TAPAS SEMIELÍPTICAS .....	25
FIGURA 10. TAPAS SEMIESFÉRICAS .....	26
FIGURA 11. TAPAS CÓNICAS.....	26
FIGURA 12. AGITADOR DE HÉLICE .....	29
FIGURA 13. AGITADOR DE PALETAS .....	30
FIGURA 14. AGITADOR DE TIPO TURBINA .....	31
FIGURA 15. AGITADOR FUERA DEL EJE CENTRAL.....	33
FIGURA 16. PLACAS DEFLECTORAS.....	33
FIGURA 17. SOLDADURA POR ARCO METÁLICO REVESTIDO.....	39
FIGURA 18. PARTE INTERNA DE UN RELÉ TÉRMICO.....	41
FIGURA 19. RECIPIENTES DE PRECIPITADOS DE 50 ML.....	47
FIGURA 20. RECIPIENTE A.....	49
FIGURA 21. RECIPIENTE B.....	49
FIGURA 22. RECIPIENTE C.....	49
FIGURA 23. MEZCLA DEL CATALIZADOR Y EL ACEITE QUEMADO.....	52
FIGURA 24. DECANTACIÓN DEL BIODIESEL.....	53
FIGURA 25. SEPARACIÓN DE GLICERINA .....	54
FIGURA 26. LAVADO.....	55
FIGURA 27. DIMENSIONES DEL AGITADOR.....	69
FIGURA 28. CONJUNTO MOTOR-AGITADOR .....	90
FIGURA 29. ELECTRODO E-316L-16 .....	92
FIGURA 30. COMPOSICIÓN QUÍMICA SEGÚN A-36.....	93
FIGURA 31. ESQUEMA DEL CIRCUITO .....	110
FIGURA 32. VISTA DEL INTERRUPTOR .....	114

## INTRODUCCIÓN

La Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), ha impulsado estudios de manera general sobre la generación de un tipo de energía renovable, la cual es la energía procedente de la biomasa; que no es más que la materia orgánica que se deriva de animales, vegetales, hongos y bacterias para sintetizar una forma de energía renovable.

Existen diferentes tipos de biomasa, para fines determinados. En los estudios la utilización de biodiesel como reemplazo del diésel convencional ha sido un tema de estudio para la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), para un mejor aprovechamiento de los recursos y de esa manera conservar siempre el medio ambiente.

Los aceites vegetales son triglicéridos que contienen entre 7-13% de glicerina. Para fabricar biodiesel se requiere transformar los triglicéridos en ésteres por medio de una reacción química con un alcohol, utilizando un catalizador apropiado.

El aprovechamiento y la utilización de aceite de cocina usado y obtención de biodiesel, es la forma de reutilización como materia prima para la fabricación de este tipo de biocombustible. El primer capítulo de nuestro estudio consiste en dar a conocer todas las generalidades a tomar en cuenta para un diseño de reactor de biodiesel.

El segundo capítulo da a conocer el estudio del diseño del reactor y todos sus componentes, para garantizar una reacción de transesterificación completa y obtener buenos resultados en cuanto a la calidad de los productos. Los demás capítulos se centran en la metodología de cálculos para el diseño del reactor de biodiesel a base de aceite de cocinar quemado.

## ANTECEDENTES

En los países más industrializados como Australia y Alemania se llevaron a cabo las primeras pruebas con este combustible vegetal debido a la crisis energética y a los altos costos del petróleo. En Austria se construyó la primera planta productora de biodiesel a base de aceite de colza.

Actualmente Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia y Malasia son pioneros en la construcción de plantas industriales productoras de biodiesel.<sup>1</sup>

Según revista Campus – UNI, en Nicaragua las proyecciones de estudio del uso y desarrollo de esta tecnología han surgido en los años de 1989, tras evaluar que Nicaragua es una potencia para la generación de biocombustible.

En la actualidad las investigaciones y estudios relacionados a esta alternativa siguen vigente ya que en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), se han hecho evidentes tales estudios e investigaciones como:

- ✓ Biodiesel a partir de fruto de Tempate. Empresa Nicaragüense de Petróleo (PETRONIC), UNI.
- ✓ Diseño de una planta piloto de producción de biodiesel (aceite de grasa animal).

Las cuales siguen contribuyendo al desarrollo de ideas y aplicaciones a nivel industrial.

---

<sup>1</sup> (Reyes, 2004): Análisis comparado sobre la evolución del consumo de combustible biodiesel a nivel mundial.

## JUSTIFICACIÓN

La Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), líder en ciencia y tecnología, es un alma mater en la cual dan orígenes a diferentes tipos de investigaciones de nivel superior, llevándolos de la teoría a la práctica en función de diferentes métodos.

Con el diseño de un reactor de biodiesel a base de aceite de cocinar quemado, se pretende incidir de manera positiva en la problemática ambiental como es la contaminación atmosférica debido a las emisiones vehiculares, las cuales han tenido un crecimiento considerable. Según periódico La Prensa (archivo/2014), esta flota aumenta un 11% anualmente, esto conlleva a aumentar la contaminación debido al dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) emitido por cada vehículo en el país y principalmente en la capital. Sin embargo al hacer uso de la alternativa de utilizar biocombustible, las emisiones dirigidas al ambiente accionarán como un ciclo cerrado al ser absorbidos por otros vegetales en el proceso de fotosíntesis.

De la misma manera pretendemos que la información obtenida en éste estudio, sirva de referencia para la realización de nuevas investigaciones relacionadas con el perfil profesional de la carrera.

## OBJETIVOS

**Objetivo General:** Diseñar un reactor de biodiesel a base de aceite de cocinar quemado para el “Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios” UNI-RUPAP.

**Objetivos Específicos:**

- ✓ Demostrar la obtención de biodiesel a partir de la reacción de transesterificación.
- ✓ Realizar los cálculos de diseño del reactor de biodiesel.
- ✓ Elaborar los planos de construcción del reactor.

# MARCO TEÓRICO

## CAPITULO 1. GENERALIDADES

### 1.1 BIOMASA

Estaremos haciendo énfasis en el estudio de energía renovable procedente de la biomasa. La biomasa procedente de cultivos energéticos tanto forestales como agrícolas, tal como el aceite vegetal, será la materia prima para el desarrollo del diseño del reactor.

**1.1.1 Definición:** La Biomasa abreviatura de masa biológica, es el nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente, es decir no fósil, que haya derivado de animales, vegetales, hongos y bacterias como resultado del proceso de conversión fotosintético.

Su constitución responde al proceso de captación de la energía solar y su acumulación en las plantas y árboles como energía química.

#### 1.1.2 Tipos de biomasa

Gallardo Hipólito (2008) “Entre los sub grupo de biomasa tenemos los siguientes” (p.19):

- ✓ **Biomasa natural:** Se forma de manera espontánea en la naturaleza sin intervención humana.
- ✓ **Biomasa residual seca:** Procede de recursos generados en las actividades agrícolas, forestales. También se produce este tipo de biomasa en procesos de la industria agroalimentaria y de la industria de transformación de la madera. Dentro de este tipo de biomasa se puede identificar la de origen forestal y la de origen agrícola.
- ✓ **Biomasa residual húmeda:** Procede de vertidos biodegradables formados por aguas residuales urbanas e industriales y también de los residuos ganaderos.

- ✓ **Cultivos energéticos tanto forestales como agrícolas:** Son aquellos cultivos realizados tanto de terrenos agrícolas como forestales y que están dedicados a la producción de biomasa con fines no alimentarios.

Dentro de este sub grupo de biomasa nos encontramos con los biocombustibles. El cual será posteriormente el tema de estudio para llevar a cabo el diseño de un reactor de un biocombustible (biodiesel).

### 1.1.3 Ventajas y desventajas del uso de biomasa

Según Gallardo Hipólito<sup>2</sup>:

#### **Ventajas:**

- ✓ Es una fuente de energía renovable.
- ✓ Su uso no contribuye al calentamiento global (efecto invernadero, problemática mundial)
- ✓ Especificando un tipo de biomasa es adecuada para el tratamiento de la basura.
- ✓ Disminución de la dependencia de energía de fuentes no renovables

#### **Desventajas:**

- ✓ Altos costos de almacenamiento y de transporte.
- ✓ Una combustión incompleta genera monóxido de carbono. Baja su eficiencia.
- ✓ Tala de árboles para la explotación en zonas agrícolas.

---

<sup>2</sup> (Martin, 2008, pág. 18): Diseño de un reactor de transesterificación para la producción de biodiesel.

#### 1.1.4 Estudios de biomasa en la Universidad Nacional de Ingeniería

La Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), en visión al desarrollo de nuevas tecnologías en lo que refiere a la temática de energías renovables como lo es la biomasa, ofrece estudios que han surgido desde inicios del año 1989.

Tras el comienzo a nivel nacional de este proyecto y estudio de la factibilidad de obtención de los biocombustibles a base de cualquier tipo de biomasa, la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), ha continuado con estos estudios que han fortalecido el conocimiento, aplicación y desarrollo de los mismos.

Uno de estos estudios fué impulsado por el Gobierno de Austria, la empresa Susher y Holzer, en la cual la Universidad Nacional de ingeniería, llevó a cabo el primer proyecto de generación de Biodiesel a base de Tempate (*Jatropha Curcas*), como el sustituto del Diésel convencional. El proyecto fue designado al departamento de BIOMASA de la Universidad Nacional de ingeniería. (Revista de la UNI, 2009, p.5). Las dimensiones del proyecto contemplaban el cultivo de 1,000 hectáreas de tempate para una producción estimada de 33,333 toneladas de frutos húmedos (5,000 toneladas de semilla seca).

Otro de los proyectos que la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), impulsó como objeto de estudio de biomasa, en este caso centrado a biocombustible, es el diseño de un horno de crisol basculante, en el ingenio San Antonio, Chichigalpa-Chinandega, el cual la empresa se interesó por impulsar este tipo de tecnología en sus instalaciones, el que llegó a ser una alternativa para el ahorro de costos de capacidad instalada y por consiguiente costos de producción (trabajo monográfico, 2009).

Se encuentran en existencia en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), otros proyectos en los que es impulsado el estudio de esta tecnología para la obtención de biodiesel.

De manera general Nicaragua tiene un gran potencial para la producción de Biocombustible por lo que la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), sigue impulsando el desarrollo de dicha temática.

## 1.2. BIODIESEL

El biodiesel o biocombustible entra en el tipo de biomasa de cultivos energéticos o agrícolas. La cual en su producción no está exclusivamente destinada para fines alimenticios sino para fines de obtención de energía renovable.

Cuando hablamos de este tipo de biomasa tenemos que hacer el estudio de todas sus generalidades. Antes de especificar una materia prima para la obtención de este tipo de energía renovable, tenemos que hablar de las generalidades del biodiesel.

**1.2.1 Definición de biodiesel:** Según la ASTM (American Society for Testing and Material Standard, con sus siglas en inglés) describe al biodiesel como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en diferentes tecnologías donde tiene que ver expuesta una combustión.



Figura 1. Ciclo de vida del biodiesel

Después de haber definido el concepto de biodiesel podemos hacer mención de su ciclo de vida. El cual se observa en la figura 1, que es un ciclo cerrado, originado de forma natural, y un proceso de obtención a corto plazo, demostrando que la utilización del biodiesel es factible en cuanto a su almacenamiento y aplicación.

### 1.2.2 Biomasa para la fabricación de biodiesel

Las materias primas que podemos utilizar para la obtención de biodiesel son muy variadas, por lo que su producción se adapta fácilmente a diferentes tipos de recursos. A continuación se mencionarán algunos tipos de biomasa para la producción de biodiesel:

- ✓ Aceites vegetales comestibles nuevos
  - Aceite girasol
  - Aceite de palma
  - Aceite cacahuete
  - Aceite de canola
  - Aceite de colza
- ✓ Aceite vegetales comestibles usados
  - ✓ Aceite usados procedentes de freidura
- ✓ Aceites vegetales no comestibles
  - ✓ Obtenido de los tallos, hojas o serrín de los cultivos
- ✓ Grasas Animales

El presente estudio lleva por materia prima los aceites vegetales comestibles usados proveniente de freiduras, debido al consumo de la población y de la industria comestible en el país y de manera más específica en los alrededores de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

Blog verde (2008): "Un litro de aceite comestible, contamina cerca de un millón de litros de agua". Es por esta problemática una de las razones por las cuales se lleva

a cabo la reutilización para la conservación del medio ambiente, de este tipo de biomasa en cuanto a la obtención de biodiesel.

De acuerdo a los costos de la materia prima seleccionada para el diseño del reactor es sostenible, comparando estos costos con los de otro tipo de biomasa para la obtención de biodiesel suelen ser costos más altos. Según blog verde (2008), existen en el país empresas generadoras de aceite comestible usado que no tienen una designación para la reutilización del mismo, la cual es regulada por la norma técnica obligatoria nicaragüense (NTON 05 027-05), en su artículo 8, que trata del manejo de los desechos líquidos ya sean domésticos, industriales y agropecuarios.

Justificando la selección de la materia prima para el diseño del reactor desde el punto de vista geográfico, en Managua con respecto a los proveedores, es factible la obtención de la materia prima, lo que minimiza costos de transporte y lleva a minimizar costos de producción.

### 1.2.3 Métodos para la obtención de biodiesel

Tomando en cuenta el tipo de materia prima seleccionada para el diseño del reactor de biodiesel existen tres tipos de métodos encontrado en Saloua (2010) para la obtención de biodiesel, a continuación los detallaremos:

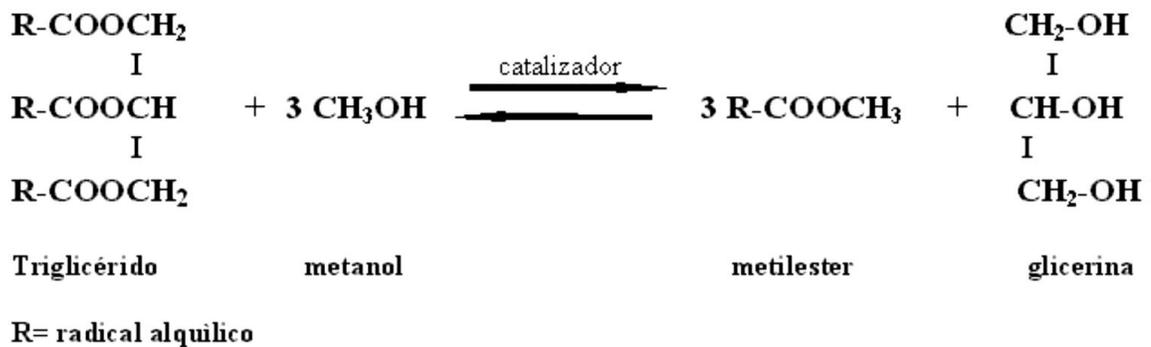
- ✓ 1.2.3.1 **Pirólisis:** Consiste en la descomposición térmica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno u otros agentes gasificantes, ganándose cantidades variables de gases (gas de síntesis), líquidos que pueden ser alquitranes, aceites y residuos carbonosos. El rango de temperatura que da lugar a este tipo de reacción para la obtención de biodiesel se encuentra entre los 150 a 900 °C, dependiendo del volumen, materia prima y componentes del biodiesel
- ✓ 1.2.3.2 **Emulsificación:** La emulsión es un proceso que consiste en la mezcla de dos líquidos diferentes que no se puedan mezclar, es decir, que sean inmiscibles entre sí. Uno de los líquidos se encontrará formando

la fase, conocida con el nombre de dispersa, que se encontrará constituida por el líquido que será dispersado dentro del otro líquido que conforma la mezcla, el cual será el formador de la fase conocida como, continua, o también dispersante.

Podemos distinguir tres tipos de emulsiones:

1. **Floculación:** Emulsión inestable donde las partículas se unen formando una masa.
  2. **Cremación:** Emulsión inestable donde las partículas tienden a concentrarse en mayor medida en la superficie de la mezcla que se forma, aunque manteniéndose separados (también pueden acumularse en el fondo de la mezcla).
  3. **Coalescencia (unión):** Es el tipo de emulsión inestable, donde las partículas que la constituyen, se funden pasando a formar una capa líquida.
- ✓ 1.2.3.3 **Transesterificación:** Es la reacción química más común utilizada para obtener biodiesel, donde el grupo alcoxi (metanol o etanol), reacciona reversiblemente con los triacilglicerolés de ácidos grasos (grasa animal o aceite vegetal) en presencia de un catalizador para formar ésteres alquílicos de ácidos grasos y glicerina. (sinha, 2008.)

Figura 2. Reacción química de la transesterificación



Debido a las facilidades de este método para adquirir biodiesel ha sido seleccionado como el método base para la obtención de biodiesel en nuestro diseño del reactor.

Un estudio más detallado de su reacción química, el método de transesterificación para la obtención de biodiesel, se da mediante tres etapas principales, las cuales son:

- ✓ El ataque de la cadena de carbonos por parte del ión metóxido, donde designaremos como  $K_1$  las constantes reversibles de los reactivos a los productos y  $K_2$  de los productos a los reactivos.

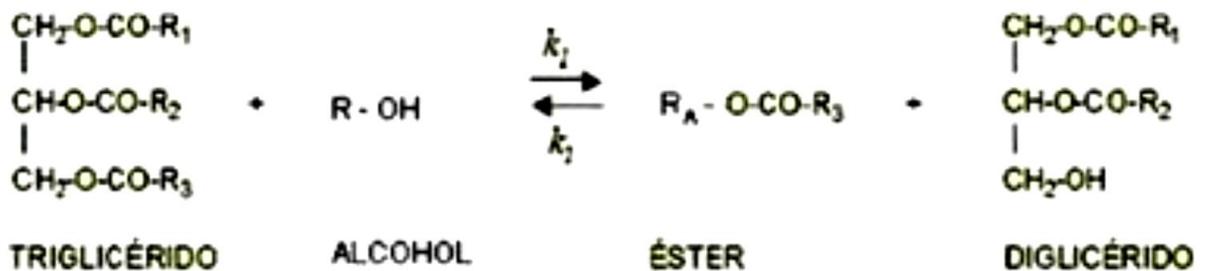


Figura 3. Etapa uno de la transesterificación

- ✓ El diglicérido (ión tetraedro intermedio) reacciona con el metanol o alcohol en exceso, para generar ésteres monoglicéridos. Las constantes de esta reacción intermedia las designaremos como  $K_3$  y  $K_4$  para un análisis posterior.

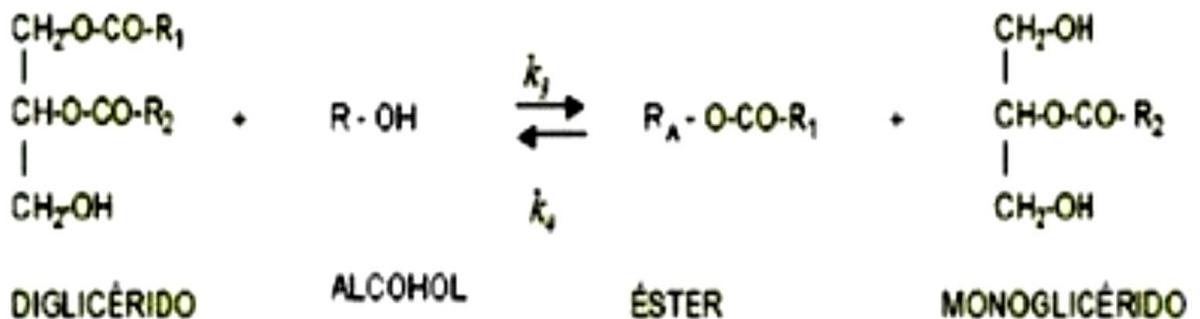


Figura 4. Etapa dos de la transesterificación

- ✓ El tercer y último paso de reacciones en el proceso de transesterificación es el reagrupamiento del monoglicérido que da lugar a la formación de una cadena de ácidos grasos (Biodiesel) y un diglicérido (Glicerol), estas son separada en el proceso y en el reposo después de la reacción completa. Las últimas constantes designaremos como  $K_5$  para la formación de ésteres y glicerina, y como  $K_6$  para la formación de monoglicéridos y alcohol.

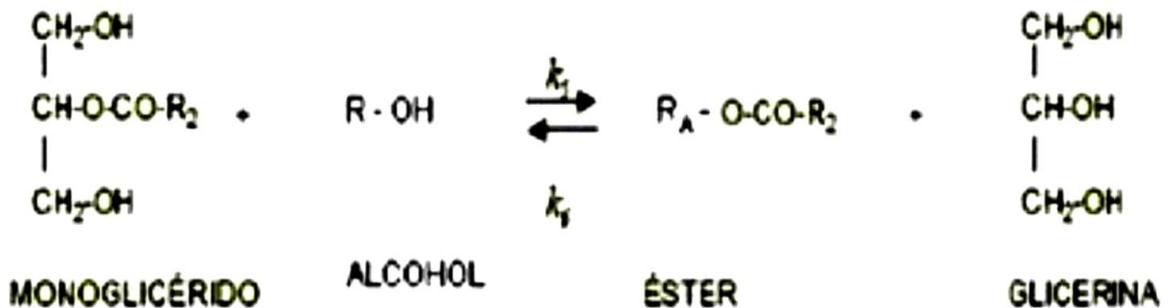


Figura 5. Última etapa de la transesterificación

Las constantes antes designadas en las tres etapas que da lugar a la transesterificación, son caso de estudio para un análisis químico más detallado en la dinámica de reacción del aceite (Leevijit, 2004). El cual se centra en el estudio de la cinética de las reacciones químicas, tomando en cuenta las temperaturas y velocidades de reacción<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> (Levenspiel, 2002): El mini libro de los reactores químicos.

## 1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS REACTIVOS Y PRODUCTOS

Antes de mencionar las propiedades que poseen los reactivos y productos del proceso de transesterificación, se tiene que hacer mención de cada uno de ellos. Entre los reactivos tenemos el Metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) e Hidróxido sódico ( $\text{NaOH}$ ), y en los productos están la Glicerina ( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ ) y el biodiesel.

### 1.3.1 Características del aceite de cocinar quemado

Al mencionar las características químicas (acidez, índice de saponificación, de yodo e índice de peróxidos) y físicas (densidad, índice de refracción y humedad) del aceite de cocinar quemado o usado, tal como su punto de ebullición igual a los  $99^\circ\text{C}$ , tenemos que tomar en cuenta lo que podemos llegar a saber del aceite vegetal. El aceite de cocina es una grasa de procedencia animal o vegetal que suele permanecer en estado líquido a temperatura ambiente.

Una importante preocupación en lo que refiere a la gestión de residuos es el desecho adecuado de aceite de cocina, a como hemos hecho mención anteriormente un litro de aceite de cocinar contamina alrededor de un millón de litros de agua.

### 1.3.2 Características de los reactivos

Ya hemos hecho énfasis en las características del aceite de cocinar quemado, por lo que ahora nos profundizaremos en el estudio de las características de las sustancias que intervienen en el proceso de transesterificación del aceite, entre los reactivos podemos encontrar el metanol o alcohol metílico y el catalizador (hidróxido sódico).

- ✓ **Metanol (CH<sub>3</sub>OH):** El metanol también llamado alcohol metílico, alcohol de madera, carbinol y alcohol de quemar, es el primero y más sencillo de los alcoholes. En condiciones normales es un líquido incoloro, de olor y sabor frutal penetrante, muy tóxico para nuestro organismo e inflamable ya que es un combustible con un gran poder calorífico.

Peso molecular	32 g/mol
Densidad	0.971 kg/l
Punto de fusión	-97°C
Punto de destilación	64.5 °C
Poder calorífico	19.7 MJ/kg
Viscosidad (temp. ambiente)	0.98 mPa.s

**Tabla 1. Propiedades físicas y termodinámicas del metanol (CH<sub>3</sub>OH)**

- ✓ **Hidróxido sódico (NaOH):** El Hidróxido de sodio es un sólido blanco e industrialmente se utiliza como disolución al 50% por su facilidad de manejo. Es soluble en agua, desprendiéndose calor. Absorbe humedad y dióxido de carbono del aire y es corrosivo de metales y tejidos.

Presión de vapor	1 mm (739°C)
Densidad	1.26 kg/l
Punto de fusión	318.4 °C
Punto de ebullición	1388 °C (a 760 mm de Hg)

**Tabla 2. Propiedades físicas del hidróxido de sodio (NaOH)**

### 1.3.3 Características de los productos

- ✓ **La Glicerina (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>):** También llamada glicerol, está compuesta por tres carbonos, ocho hidrógenos y tres oxígenos (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>) cuya expresión de forma balanceada es CH<sub>2</sub>OH-CHOH-CH<sub>2</sub>OH, su estructura tiene enlaces simples y es tetravalente. En condiciones normales es un líquido espeso, incoloro que se disuelve bien el alcohol. La glicerina líquida es resistente a la congelación pero puede catalizar a baja temperatura.

Peso molecular	92.9 g/mol
Densidad	1.26 kg/l
Punto de fusión	18 °C
Punto de ebullición	290 °C
Viscosidad	1.49 Pa.s

Tabla 3. Propiedades físicas de la glicerina (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>)

- ✓ **Biodiesel:** El metiléster de aceite de cocinar quemado es un biocombustible procedente de la transesterificación de los ácidos grasos de los vegetales. Dependiendo de la fuente obtendremos un compuesto químico diferente, pero siempre muy parecido al que debe cumplir con las normas vigentes en cuanto a la calidad.

Poder Calorífico	37,27 MJ/L
Densidad aproximada	0,88 g/cm <sup>3</sup>
Color	Dorado o marrón oscuro
Punto de ebullición	< 130 °C

Tabla 4. Propiedades generales del biodiesel

## 1.4 PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL

Existen varias formas de establecer un proceso de obtención de biodiesel, en nuestro diseño se ha planteado un proceso discontinuo o del tipo Batch por lotes debido a que es el método más simple y el más convencional para la producción de biodiesel.

### 1.4.1 Proceso discontinuo

Se trata de un proceso discontinuo o de producción por lotes, mediante reactores con agitación o recirculación del fluido (aceite de cocinar usado), donde las condiciones de operación son temperaturas del orden no menores de los 55°C.

Se ha seleccionado este tipo de proceso por varias razones definidas según Gallardo Hipólito (2008).

- ✓ Volumen de producción reducido
- ✓ Condiciones moderadas de presión y temperatura
- ✓ Alto rendimiento (hasta un 98%)
- ✓ Conversión en una sola etapa (transesterificación en el recipiente de mezclado)
- ✓ Permite controlar el proceso si existe alguna falla
- ✓ Principio de mantenibilidad óptimo

De manera específica durante la transesterificación en este tipo de proceso, al finalizar se recuperan los productos (Glicerina y biodiesel), se procede a la separación por diferencia de densidades, esto es a lo que llamamos decantación de los productos, que conlleva a un tiempo de reposo.

La siguiente tabla demuestra las características del proceso discontinuo o por lotes:

Temperatura de reacción	60°C - 70 °C
Presencia de ácidos grasos libres	Formación de jabón (saponificación)
Presencia de agua	Interferencias en la reacción
Conversión del metil-éster	normal
Recuperación del Glicerol	Difícil
Purificación del metil-éster	Mediante lavados sucesivos
Costo del catalizador	bajo

**Tabla 5. Características del proceso discontinuo**

Debido a la procedencia de nuestra materia prima existe la presencia de agua en el aceite vegetal por causa de la humedad presente en los alimentos, es por ello que se formará en el proceso de transesterificación una reacción denominada saponificación, debido a la naturaleza del catalizador que posee una cadena de OH al reaccionar con el agua excedente en el aceite.

La formación de la saponificación es debido a cierta cantidad de agua (humedad) que posee el aceite de cocinar quemado (A.C.Q), puede llegar a ser una limitante para completar la reacción de transesterificación, no obstante se pueden tomar ciertas recomendaciones o referencias con las cuales podemos neutralizar un poco esta reacción:

- ✓ Calentamiento previo del aceite (por tal razón se evapora la cantidad de agua excedente en el aceite)
- ✓ Usar un catalizador de ácido graso que evita la formación masiva de jabón en el proceso.

Para garantizar una buena calidad del biodiesel ya sea calidad B100, B50, B25, según los estándares internacionales de las propiedades de requerimiento del mismo. Normativas ASTM norteamericana, y la normativa ISO respectivamente. Eso va en dependencia a los procesos de purificación posteriores al proceso de transesterificación de los ácidos grasos del aceite vegetal usado.

### 1.4.2 Proceso continuo

Convencionalmente, la transesterificación puede llevarse a cabo usando catalizadores alcalinos, ácidos o enzimas. En el caso de los catalizadores alcalinos, estos son muy sensibles a los contenidos de agua y ácidos grasos libres, así tanto los glicéridos como el alcohol deben ser anhidros ya que el agua ocasiona reacciones de saponificación, la cual produce jabón, de manera que reduce la eficiencia catalítica, aumenta la viscosidad de la mezcla reaccionante, incrementa la formación de geles y dificultan los procesos de separación.

Hay cantidad de procesos que usan un régimen intenso de mezclado ya sea usando bombas o agitadores mecánicos, para iniciar la reacción de esterificación. Una variación del proceso por lotes hace uso de reactores agitados en serie. También es posible llevar a cabo el proceso en un reactor tubular, donde la mezcla reaccionante se mueve en este tipo de reactor en un flujo tipo pistón, con un pequeño mezclado en dirección axial. El resultado es un sistema continuo que requiere cortos tiempos de residencia (6 a 10 min) para lograr reacción completa.

## **CAPITULO 2. ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL DISEÑO DEL REACTOR**

Este capítulo detallará las descripciones y definiciones acerca del uso, características y aplicaciones de aquellos componentes que contribuyen en la construcción del reactor de biodiesel a base de aceite de cocinar quemado.

### **2.1 RECIPIENTES A PRESIÓN.**

Se puede llamar recipiente a presión a cualquier aparato capaz de contener un fluido, líquido o gaseoso, en condiciones de temperatura y presiones diferentes a las del medio ambiente.

Dentro de los diferentes tipos de recipientes a presión los podemos clasificar según:

#### **2.1.1 Por su uso**

Los podemos dividir en recipientes de almacenamiento y en recipientes de procesos.

Los primeros nos sirven únicamente para almacenar fluidos a presión y de acuerdo con sus servicios son conocidos como tanques de almacenamiento, tanques de día y tanques acumuladores.

#### **2.1.2 Por su forma:**

Los recipientes a presión pueden ser cilíndricos o esféricos. Los primeros son horizontales o verticales y pueden tener en algunos casos, chaquetas para incrementar o decrecer la temperatura de los fluidos según sea el caso.

Los esféricos se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento, y se recomiendan para almacenar grandes volúmenes esféricos a altas presiones. Puesto que la forma esférica es la forma natural que toman los cuerpos al ser sometidos a presión interna.

### 2.1.3 Por su Geometría:

Por su Geometría tenemos los siguientes

- ✓ **Recipientes abiertos:** Son comúnmente utilizados como tanque igualador o de oscilación como tinas para dosificar operaciones donde los materiales pueden ser decantados como: desecadores, reactores químicos, depósitos.
- ✓ **Recipientes cerrados:** Estos recipientes son utilizados comúnmente para fluidos combustibles, toxinas o gases finos. Sustancias químicas peligrosas se almacenan en estos tipos de recipientes.
- ✓ **Tanques cilíndricos de fondo plano:** Este opera a presión atmosférica y está formado por un tanque cilíndrico con un techo cónico y un fondo plano que descansa sobre una cimentación compuesta por arena, piedra triturada o grava.
- ✓ **Recipientes esféricos:** Estos recipientes son capaces de almacenar grandes volúmenes bajo presiones. Las capacidades y presiones utilizadas varían grandemente.

### 2.2 TIPOS DE PRESIONES

En términos generales la presión (P) es una magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie y sirve para caracterizar como se aplica una determinada fuerza resultante.

Los recipientes a presión están sujetos a diversas cargas que causan esfuerzos de diferentes intensidades en los componentes del recipiente. El tipo e intensidad de los esfuerzos es una función de la naturaleza de las cargas, de la geometría de recipiente y de su construcción.

Según Manual de recipiente a presión (Megyesy):

- ✓ **Presión de operación ( $P_o$ ):** Es la presión que se requiere en el proceso del que forma parte del recipiente, a la cual trabaja normalmente éste.

$$P_o = P_{atm} + P_{fluido} = P_{atm} + (\rho)(g)(H_T) \quad (Ecu.1)$$

donde:

$P_{atm}$  = presión atmosférica

$P_{fluido}$  = presión de columna de fluido (Pa)

$$\rho = \text{densidad} \frac{kg}{m^3}$$

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$H_T$  = altura total (m)

- ✓ **Presión de diseño ( $P_d$ ):** Es la presión que se requiere para diseñar el recipiente. Se recomienda diseñar un recipiente y sus componentes para una presión mayor que la de operación. Este requisito se satisface utilizando 30 lb/pulg<sup>2</sup> o 10% más que la presión de trabajo.

Si  $P_o > 300$  lb/pulg

Si  $P_o \leq 300$  lb/pulg<sup>2</sup>.

$P = 1.1 * P_o$ .

$P = P_o + 30$  lb/pulg<sup>2</sup>.

- ✓ **Presión máxima permitida de operación ( $P_{max}$ ):** Es la presión máxima a la que se puede someter un recipiente en condiciones de operación, cuando se supone que el recipiente está:
  - a) En estado de desgaste por corrosión.
  - b) A una temperatura determinada.
  - c) En posición normal de trabajo.
  - d) Bajo efecto de otras cargas (carga de viento, presión externa, presión hidrostática), que son aditivas a la presión interna.

En la práctica seguida por usuarios diseñadores y fabricantes de recipientes a presión, limitan la presión máxima permitida de operación por la resistencia de los componentes principales como pueden ser el cuerpo, tapa superior y tapa inferior y no componentes pequeños tales como brida, boquillas etc.

### 2.3 TIPOS DE TAPAS:

Para cerrar recipientes cilíndricos, existen varios tipos de tapas, las cuales sirven para mantener la hermeticidad del recipiente. Entre las principales tipos de tapas tenemos

#### 2.3.1 Tapas planas:

Se utilizan para cerrar generalmente recipientes sujetos a presión atmosférica, aunque en algunos casos se usan también en recipientes sujetos a presión. Su costo entre las tapas es el más bajo, se utilizan también como fondos de tanques de almacenamiento de grandes dimensiones.

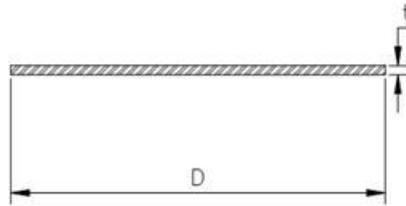


Figura 6. Tapa plana

#### 2.3.2 Tapas planas con ceja:

Al igual que las anteriores, se utilizan generalmente para presiones atmosféricas, su costo también es relativamente bajo, y tienen un límite dimensional de 6 metros de diámetro máximo.

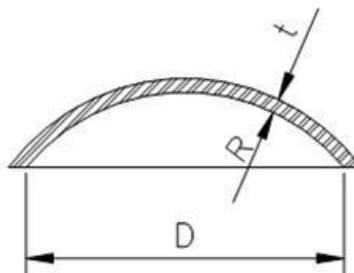


Figura 7. Tapa plana con cejas

### 2.3.3 Tapas únicamente abombadas:

Son empleadas en recipientes a presión manométrica relativamente baja, su costo puede considerarse bajo, sin embargo, si se usan para soportar presiones relativamente altas, será necesario analizar la concentración de esfuerzos generada al efectuar un cambio brusco de dirección.

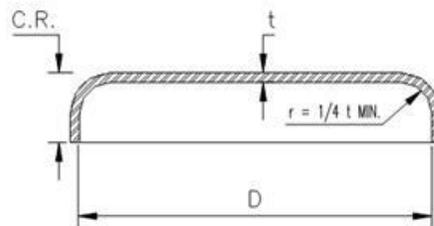


Figura 8. Tapas abombadas

### 2.3.4 Tapas Semi-elípticas:

Son empleadas cuando el espesor calculado de una tapa toriesférica es relativamente alto, ya que las tapas semi-elípticas soportan mayores presiones que las toriesféricas. El proceso de fabricación de estas tapas es el troquelado, su silueta describe una elipse relación 2:1, su costo es alto.

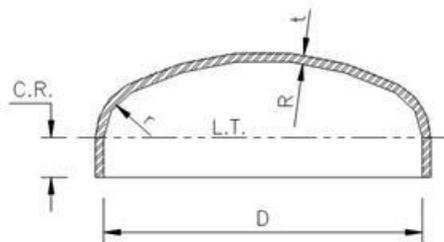


Figura 9. Tapas semi-elípticas

### 2.3.5 Tapas semiesféricas:

Utilizadas exclusivamente para soportar presiones críticas. Como su nombre lo indica, su silueta describe una media circunferencia perfecta, su costo es alto y no hay límite dimensional para su fabricación.

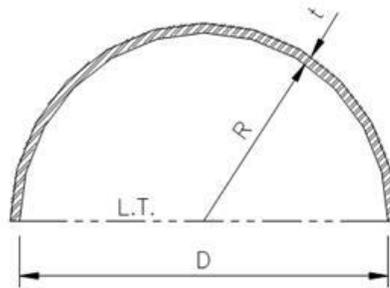


Figura 10. Tapas semiesféricas

### 2.3.6 Tapas cónicas:

Se utilizan generalmente en fondos donde pudiese haber acumulación de sólidos y como transiciones en cambios de diámetro de recipientes cilíndricos.

Su uso es muy común en torres fraccionadoras o de destilación, no hay límite en cuanto a dimensiones para su fabricación y su única limitación consiste en que el ángulo del vértice no deberá ser mayor de  $60^\circ$ .

Las tapas cónicas con ángulo mayor de  $60^\circ$  en el vértice, deberán ser calculadas como tapas planas. Deberá tenerse la precaución de reforzar las uniones cono-cilindro de acuerdo al procedimiento. (Diseño y cálculo de recipientes a presión Ing. Juan León Estrada).

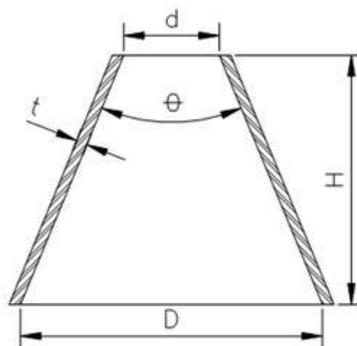


Figura 11. Tapas cónicas

## 2.4 AGITADORES

La agitación puede ser definida como el movimiento circulatorio introducido a un fluido dentro de un contenedor, fundamentalmente de forma circular y provocando vértices.

El objeto de la agitación puede ser incrementar el efecto de transferencia de calor en el fluido o incrementar el transporte de materia, es decir mezclar. En contraste con la agitación mezclar es obtener una distribución espacialmente homogénea de dos o más fases inicialmente separadas. (Espinoza, 2009, p.49)

En la práctica, el diseño de la agitación ha de entender a dos factores: el grado de homogeneidad y el tiempo de mezcla. Dado que el resultado de la mezcla nunca es perfecto, el grado de homogeneidad se hace depender de la calidad deseada en el producto final. Es de esta manera que la potencia requerida de agitación depende de estos dos factores, así como el rendimiento.

### 2.4.1 Tipos de agitadores

Para diseñar y proyectar bien un mezclador hay que tener en cuenta no solo el elemento mezclador sino también la forma del recipiente. Un elemento mezclador muy bueno puede resultar inútil en un recipiente inadecuado. Además no debe perderse la vista del resultado exacto que se quiere alcanzar, de modo que se pueda obtener una mezcla ampliamente suficiente para conseguir dicho resultado.

Puesto que la mezcla es una parte fundamental en el proceso de obtención de biodiesel a base de aceite de cocinar quemado, es importante hacerla bien para garantizar una reacción de transesterificación lo más completa posible, es por ello que se detallará la selección del agitador mediante su debida función para el diseño del reactor.

Los agitadores se dividen en dos clases: los que generan corrientes paralelas al eje del agitador y los que dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial. Los primeros se llaman agitadores de flujo axial y los segundos agitadores de flujo radial.

Los tres tipos principales de agitadores son, de hélice, de paletas, y de turbina. Cada uno de estos tipos comprende muchas variaciones y subtipos que no consideraremos aquí debido al tipo de recipiente y fluido a mezclar.

✓ **Agitadores de hélices:**

Un agitador de hélice, es un agitador de flujo axial, que opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos pocos viscosos. Los agitadores de hélice más pequeños, giran a toda la velocidad del motor, unas 1.150 ó 1.750 rpm; los mayores giran de 400 a 800 rpm. Las corrientes de flujo, que parten del agitador, se mueven a través del líquido en una dirección determinada hasta que son desviadas por el fondo o las paredes del tanque.

La columna de remolinos de líquido de elevada turbulencia, que parte del agitador, arrastra en su movimiento al líquido estancado, generando un efecto considerablemente mayor que el que se obtendría mediante una columna equivalente creada por una boquilla estacionaria.

Las palas de la hélice cortan o friccionan vigorosamente el líquido. Debido a la persistencia de las corrientes de flujo, los agitadores de hélice son eficaces para tanques de gran tamaño. Para tanques extraordinariamente grandes, del orden de 1500 m<sup>3</sup> se han utilizado agitadores múltiples, con entradas laterales al tanque.



**Figura 12. Agitador de hélice**

✓ **Agitadores de paletas:**

Para problemas sencillos, un agitador eficaz está formado por una paleta plana, que gira sobre un eje vertical. Son comunes los agitadores formados por dos y 3 paletas. Las paletas giran a velocidades bajas o moderadas en el centro del tanque, impulsando al líquido radial y tangencialmente, sin que exista movimiento vertical respecto del agitador, a menos que las paletas estén inclinadas.

Las corrientes de líquido que se originan se dirigen hacia la pared del tanque y después siguen hacia arriba o hacia abajo. Las paletas también pueden adaptarse a la forma del fondo del tanque, de tal manera que en su movimiento rascan la superficie o pasan sobre ella con una holgura muy pequeña. Un agitador de este tipo se conoce como agitador de ancla.

Estos agitadores son útiles cuando se desea evitar el depósito de sólidos sobre una superficie de transmisión de calor, como ocurre en un tanque enchaquetado, pero no son buenos mezcladores. Generalmente trabajan conjuntamente con un agitador de paletas de otro tipo, que se mueve con velocidad elevada y que gira normalmente en sentido opuesto.

A velocidades muy bajas, un agitador de paletas produce una agitación suave, en un tanque sin placas deflectoras o cortacorrientes, las cuales son necesarias para velocidades elevadas. De lo contrario el líquido se mueve como un remolino que gira alrededor del tanque, con velocidad elevada pero con poco efecto de mezcla.



**Figura 13. Agitador de paletas**

✓ **Agitadores de turbina:**

La mayor parte de ellos se asemejan a agitadores de múltiples y cortas paletas, que giran con velocidades elevadas sobre un eje que va montado centralmente dentro del tanque. Las paletas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. El rodete puede ser abierto, semicerrado o cerrado. El diámetro del rodete es menor que en el caso de agitadores de paletas, siendo del orden del 30 al 50% del diámetro del tanque.

Los agitadores de turbina son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades; en líquidos poco viscosos, producen corrientes intensas, que se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido estancado. En las proximidades del rodete existe una zona de corrientes rápidas, de alta turbulencia e intensos esfuerzos cortantes. Las corrientes principales son radiales y tangenciales.

Las componentes tangenciales dan lugar a vórtices y torbellinos, que se deben evitar por medio de placas deflectoras o un anillo difusor, con el fin de que el rodete sea más eficaz.

El agitador de turbina semiabierto, conocido como agitador de disco con aletas, se emplea para dispersar o disolver un gas en un líquido. El gas entra por la parte inferior del eje del rodete; las aletas lanzan las burbujas grandes y las rompen en muchas pequeñas, con lo cual se aumenta grandemente el área interfacial entre el gas y el líquido.

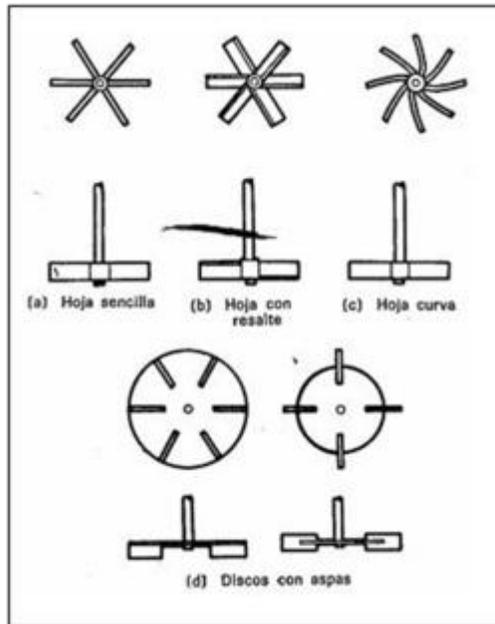


Figura 14. Agitador de tipo turbina

#### 2.4.2 Flujos en tanque agitados

El tipo de flujo que se produce en un tanque agitado, depende del tipo de rodete, de las características del fluido y del tamaño y proporciones del tanque, placas deflectoras y agitador. La velocidad del fluido en un punto del tanque tiene tres componentes y el tipo de flujo global en el mismo, depende de las variaciones de estas tres componentes de la velocidad, de un punto a otro. La primera componente de velocidad es radial y actúa en dirección perpendicular al eje del rodete. La segunda es longitudinal y actúa en dirección paralela al eje. La tercera es tangencial o rotacional, y actúa en dirección tangencial a la trayectoria circular descrita por el rodete.

Para el caso corriente de un eje vertical, las componentes radial y tangencial están en un plano horizontal y la componente longitudinal es vertical. Las componentes radial y longitudinal son útiles porque dan lugar al flujo necesario para que se produzca la mezcla. Cuando el eje es vertical y está dispuesto en el centro del tanque, la componente tangencial de velocidad es generalmente perjudicial para la mezcla. El flujo tangencial sigue una trayectoria circular alrededor del eje y crea un vórtice en la superficie del líquido que debido a la circulación en flujo laminar, da lugar a una estratificación permanente en diferentes niveles, de sustancias sin mezclar, sin que exista flujo longitudinal de un nivel a otro.

Si están presentes partículas sólidas, las corrientes circulatorias tienden a lanzar las partículas contra la pared del tanque, debido a la fuerza centrífuga, desde donde caen acumulándose en la parte central del fondo del tanque. Por consiguiente en vez de mezcla, se produce la acción contraria.

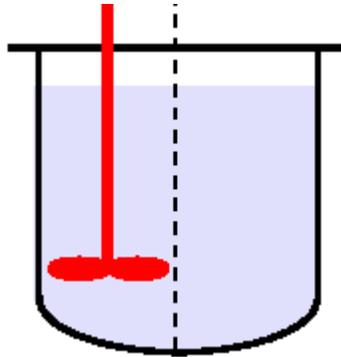
En un tanque sin placas deflectoras, el flujo circulatorio es inducido por todos los tipos de rodete, tanto si el flujo es axial como radial. Si los remolinos son intensos, el tipo de flujo dentro del tanque es esencialmente el mismo, independientemente del diseño del rodete. Para velocidades de giro del rodete elevadas, la profundidad del vórtice puede ser tan grande que llegue al rodete mismo, dando lugar a que en el líquido se introduzca el gas que está encima de él, lo cual normalmente debe evitarse.

### **2.4.3 Formas de evitar remolinos durante la agitación**

Existen formas básicas de evitar remolinos o turbulencia durante el proceso de agitación. No siempre la turbulencia incide de manera positiva en la agitación, en nuestro diseño la zona de turbulencia favorece a una mejor eficiencia de la reacción de transesterificación de los ácidos grasos del aceite de cocinar quemado en acción con un catalizador, siempre y cuando sea una turbulencia controlada. Entre las formas de evitar remolinos están:

✓ **Colocando el agitador fuera del eje central del tanque.**

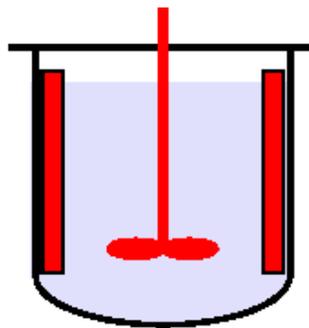
En tanques pequeños se debe colocar el rodete separado del centro del tanque, de tal manera que el eje del agitador no coincida con el eje central del tanque. En tanques mayores el agitador puede montarse en forma lateral, con el eje en un plano horizontal, pero no en la dirección del radio.



**Figura 15. Agitador fuera del eje central**

✓ **Instalando placas deflectoras.**

Estas son placas verticales perpendiculares a la pared del tanque. En tanques pequeños son suficientes 4 placas deflectoras, para evitar remolinos y formación de vórtice. El ancho de las placas no debe ser mayor que un doceavo del diámetro del tanque. Cuando se usan agitadores de hélice, el ancho de la placa puede ser de un octavo del diámetro del tanque. Si el eje del agitador está desplazado del centro o inclinado, no se necesitan placas deflectoras.



**Figura 16. Placas deflectoras**

Cuando no se presentan remolinos, el tipo de flujo específico depende del tipo de rodete:

1. Los agitadores de hélice impulsan el líquido hacia el fondo del tanque, desde donde la corriente se extiende subiendo por las paredes y retornando hacia la hélice. Se emplean cuando se desean intensas corrientes verticales, por ejemplo para mantener en suspensión partículas sólidas pesadas. No se emplean cuando la viscosidad del líquido es superior a los 5.000 centipoises.
2. Los agitadores de paletas producen un flujo radial intenso en el plano próximo a las palas, pero prácticamente no dan lugar a corrientes verticales. Estos agitadores no son eficaces para mantener sólidos en suspensión.
3. Los agitadores de turbina impulsan al líquido radialmente contra las paredes laterales del tanque, desde donde la corriente se divide, una parte fluye hacia arriba y otra parte hacia el fondo, retornando ambas al rodete. Por lo que producen dos corrientes de circulación separadas. Dan excelentes resultados en la mezcla de líquidos que tienen aproximadamente la misma densidad relativa.

#### **2.4.4 Consumo de potencia del agitador.**

El término potencia de consumo eléctrico es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo, es decir la cantidad de energía entregado o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. En nuestro caso sería la cantidad de energía entregada del motor absorbida por el agitador.

Las variables que pueden ser controladas y que influyen en la potencia consumida por el agitador son:

- ✓ Dimensiones principales del tanque y del agitador: Diámetro del tanque ( $D_t$ ), Diámetro del agitador ( $D_{\text{agitador}}$ ), altura del líquido ( $H$ ), ancho de la placa deflectora ( $J$ ), distancia del fondo del tanque hasta el rodete ( $E$ ), y dimensiones de las paletas.

- ✓ Viscosidad ( $\mu$ ) y densidad ( $\rho$ ) del fluido (aceite de cocinar quemado).
- ✓ Velocidad de giro del agitador ( $n$ ).

El cálculo de la potencia consumida se hace a través de números adimensionales, relacionando por medio de gráficos el número de Reynolds y el Número de Potencia. Estas gráficas dependerán de las características geométricas del agitador y de si están presentes o no, las placas deflectoras.

Número de Reynolds = esfuerzo de inercia / esfuerzo cortante

$$\text{Rec} = \frac{\rho * N * D a g^2}{\mu} \quad (\text{Ecu.2})$$

$N_p$  = Número de potencia = Esfuerzo de frotamiento / Esfuerzo de inercia.

La potencia teórica del agitador se calcula con la siguiente formula.

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D^5 \quad (\text{Ecu.3})$$

La potencia necesaria de agitación queda determinada en función del rendimiento del agitador.

$$P_{necesaria} = \frac{P_{teorica}}{\eta} \quad (\text{Ecu.4})$$

## 2.5 UNIÓN POR SOLDADURA

En nuestro diseño la soldadura juega un papel importante debido a la responsabilidad de la misma con respecto a los recipientes sometidos a presión. Existen varios tipos de soldadura por las cuales podemos unir dos elementos de similar o igual composición química.

La soldadura es definida como la unión localizada del metal producida por fusión con o sin uso del metal de aporte, y con o sin aplicación de presión. En la construcción de recipientes la soldadura está restringida por la norma, UW-27<sup>4</sup> arco metálico protegido y proceso de soldadura con presión. (Eugene F, 1992, p.468).

En la actualidad el sistema que más se aplica para la fabricación de estos recipientes es el de la soldadura, el cual se ha ido implementando mayor experiencias cada año y ha eliminado sistemas utilizados anteriormente como el remache.

Antes de aplicar cualquier soldadura, en recipientes a presión, debemos preparar un procedimiento de soldadura para cada caso en particular, el cual nos indica la preparación, diámetro del electrodo, para cada tipo y espesor de material.

Existen diferentes tipos de soldaduras, pero en nuestro diseño prevalecerá la soldadura por arco eléctrico, ya que es una soldadura más común y en cuanto a su costo es relativamente bajo considerado a otros tipos de soldadura.

Sin embargo se puede considerar otro tipo de soldadura con más responsabilidad a como lo es la soldadura con acetileno, capaz de soportar grandes presiones de trabajo.

---

<sup>4</sup> Código ASME, UW: Para recipientes que serán fabricados por soldadura.  
UW-27: Para recipientes que serán fabricados por soldadura pero sometidos a presión.

### 2.5.1 Tipos de soldadura

Entre los tipos de soldadura según Manual recipiente a presión (p.468) se expresan los siguientes:

**2.5.1.1 Soldadura aplicada por presión:** Grupo de procedimientos para soldar en los que se completa la soldadura por medio de presión.

**2.5.1.2 Soldadura a tope:** Soldadura que une dos miembros situados aproximadamente en el mismo plano. Las juntas soldadas a tope, en la construcción de depósitos a presión deben de tener penetración y fusión completa.

**2.5.1.3 Soldadura por arco eléctrico:** Grupo de procesos de soldadura en los que se produce la coalescencia por calentamiento por arco eléctrico, con o sin aplicación de presión.

La soldadura por arco se basa en que si a dos conductores en contacto se les somete a una diferencia de potencial, establecemos entre ambos una corriente.

Si posteriormente se les separa, provocamos una chispa, cuyo efecto es ionizar el gas o el aire que la rodea, permitiendo así el paso de la corriente, a pesar de no estar los conductores en contacto.

Con esto lo que hacemos es crear entre ellos un arco eléctrico por transformación de la energía eléctrica en energía luminosa y calorífica.

El calor provocado por el arco no sólo es intenso, sino que además está muy localizado, lo que resulta ideal para la operación de soldar. Las temperaturas alcanzadas son del orden de 3,500°C.

En el circuito eléctrico formado por los electrodos y el arco, la intensidad de corriente depende de la tensión y de la resistencia del circuito. Si los electrodos se acercan o se separan variará la resistencia y la intensidad y, por lo tanto, la energía se transformará en calor, con lo que la soldadura no será uniforme.

Desde el punto de vista práctico quiere decir que para obtener soldaduras uniformes es imprescindible mantener constante la separación de los electrodos durante el proceso del soldeo.

Los procedimientos de soldadura en arco pueden agruparse en tres:

- ✓ Con electrodos de carbono.
- ✓ Con electrodos de tungsteno en atmósfera de hidrógeno (soldadura al hidrógeno atómico).
- ✓ Soldadura con electrodo metálico.

#### **2.5.1.4 Soldadura Autógena**

En la soldadura autógena el calor lo proporciona una llama producida por la combustión de una mezcla de acetileno y oxígeno, en la proporción 1:1, que se hace arder a la salida de una boquilla. La temperatura alcanzada en la llama es de unos 1300° C. El calor producido funde los extremos a unir, con lo que se obtiene, después de la solidificación, un enlace homogéneo.

Aunque este tipo de soldadura todavía se utiliza en los talleres mecánicos, no es correcta su utilización en uniones sometidas a esfuerzos, ya que por efecto de la temperatura se provocan unas tensiones residuales muy elevadas, siendo en general más lenta y cara que la soldadura por arco.

De todas formas, cuando el soplete oxiacetilénico se utiliza en la soldadura de piezas, se le suele completar con un alambre de material de aportación que se funde al mismo tiempo que los bordes de las piezas, formando en conjunto el cordón de soldadura.

El tamaño de la boquilla del soplete es aproximadamente igual que el espesor de las chapas a unir.

### 2.5.1.5 Soldadura con electrodo metálico revestido.

Es el procedimiento de unión normalmente utilizado en la construcción metálica, pudiendo afirmarse sin titubeos que el gran desarrollo de la construcción metálica actual se debe en gran parte a este sistema.

La unión se consigue al provocar un arco eléctrico entre las piezas a unir y un electrodo que sirve de material de aportación.

El operario establece un contacto inicial entre el electrodo y la pieza a soldar (llamada trabajo), con lo que se inicia un flujo de corriente.

A continuación se retira ligeramente el electrodo y se establece un arco, que funde el electrodo y los bordes de la pieza a unir, formándose el cordón de soldadura.

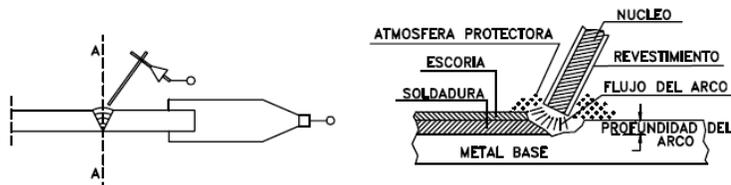


Figura 17. Soldadura por arco metálico revestido

## 2.6 SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema eléctrico es el conjunto de medios y elementos útiles para la generación, transporte y distribución de energía eléctrica, este mecanismo es dotado de elementos de control, seguridad y protección.

En nuestro sistema eléctrico será un sistema con circuito de mando, para asegurar la ejecución del proceso.

### 2.6.1 Protección y comando de motores eléctricos

Si nos hacemos referencia a la protección, comando de salida y entrada de los motores eléctricos, nos hacemos referencia a los elementos básicos como lo son contactores, relé térmico, guarda motor eléctrico, fusibles, y el conductor como tal.

#### ✓ **Contactores**

El contactor cumple con la función de comando o conmutación. Un contactor es un dispositivo mecánico de conexión controlado por un electroimán con una operación on/off.

Cuando la bobina del electroimán se encuentra energizada, el contactor se cierra y completa el circuito entre la fuente y la carga a través de sus contactores de potencia. Dependiendo de la tecnología del contactor, la parte móvil del electroimán que manejan los contactores móviles pueden funcionar por rotación sobre un eje, por desplazamiento paralelo con relación a una parte fija o por una combinación de ambos.

Cuando la bobina es desenergizada, el contactor abre debido a la acción de un resorte de presión o de la fuerza de gravedad de los propios contactores según el tipo constructivo del contactor.

## ✓ Relé térmicos

Los Relés térmicos cumplen con la función de protección térmica del motor contra sobrecargas y van asociados a un contactor que es el que realiza la apertura del circuito de potencia. Puesto que protegen solamente contra sobrecargas, los relés térmicos deben complementarse con una protección contra circuitos.

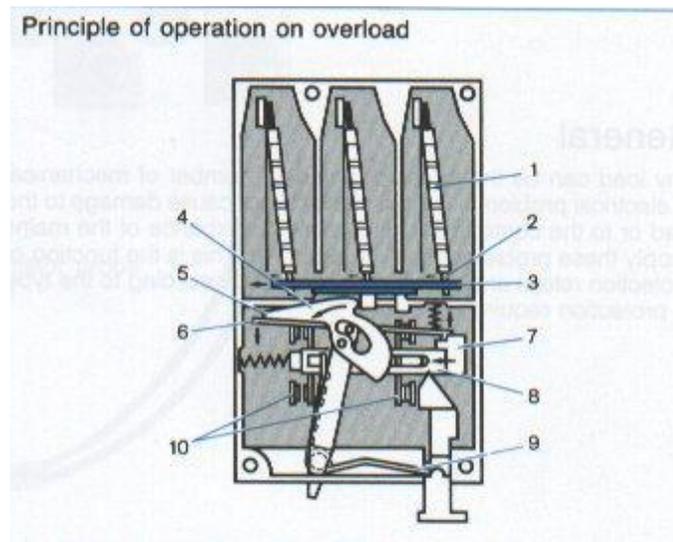


Figura 18. Parte interna de un relé térmico

El Relé térmico simula, a través de la utilización de un bimetal, el calentamiento y enfriamiento del motor protegido en base a sus constantes de tiempo, vigilando las temperaturas alcanzadas en comparación con la máxima admisible como función de la duración de la sobrecarga.

### ✓ **Guarda motor magnético**

Son dispositivos de protección contra cortocircuitos, de corte tripolar. Los guarda motores magnéticos cumplen la función de protección contra cortocircuitos, cumpliendo adicionalmente la función de seccionamiento.

Los requisitos para que cumplan con la función de protección contra cortocircuitos son básicamente una pronta detección de la corriente de defecto y una rápida apertura de los contactos. Esto conduce a que los guarda motores magnéticos sean aparatos limitadores. Posee un alto nivel de corte siendo el rango del mismo desde 10kA hasta 100kA aproximadamente.

### ✓ **Fusibles**

El fusible, utilizado como elemento componente de una salida del motor, solo debe actuar frente a corto circuitos. Es decir, las sobrecargas no deben producir la operación del fusible, por lo cual debe emplearse el fusible de respaldo o llamado fusible de baja tensión.

Su principio de funcionamiento básicamente se enfoca en la resistencia a la fatiga mecánica debido a los esfuerzos de contracción y dilatación térmica causadas por las sobrecorrientes de los sucesivos arranques.

## **2.6.2 Conductor eléctrico**

La adecuada selección del conductor es importante porque ayuda a proteger los motores eléctricos y evitar altas caídas de tensión e incluso a evitar recalentamientos, los cuales pueden llevar a gastos innecesarios ya que pueden causar incendios etc.

Para la selección de un conductor se debe tener en cuenta las consideraciones eléctricas, térmicas, mecánicas y químicas. Las principales características de cada una de ellas se pueden resumirse de la siguiente forma:

- ✓ Consideraciones eléctricas: Tamaño (capacidad de corriente), tipo y espesor de la aislación, nivel de tensión (baja, media o alta), capacidad dieléctrica, resistencia de aislación, factor de potencia.
- ✓ Consideraciones térmicas: Compatibilidad con el ambiente, dilatación de la aislación, resistencia térmica.
- ✓ Consideraciones mecánicas: Flexibilidad, tipo de chaqueta exterior, armado, resistencia a impacto, abrasión, contaminación.
- ✓ Consideraciones químicas: Aceites, llamas, ozono, luz solar, ácidos.

La selección del calibre o tamaño del conductor requerido para una aplicación, se determina mediante:

- ✓ Corriente requerida por la carga.
- ✓ Caída de tensión admisible.
- ✓ Corrientes de cortocircuito.

### 2.6.3 Resistencia eléctrica

Las resistencias eléctricas con racord roscado se utilizan para el calentamiento de líquidos. Se pueden fabricar con blindaje en tubo en acero inoxidable o en tubo de cobre y con cualquier longitud, potencia y voltaje.

La rosca hembra soldada al depósito, permite instalar rápidamente este tipo de resistencias. Una vez roscada, las conexiones eléctricas quedan protegidas con una tapa con el grado de protección IP deseado.

Para poder regular el nivel de temperatura deseado en el proceso se designan las termocuplas o termopares.

#### ✓ **Termocuplas**

El termopar se basa en el principio, del efecto que fue descubierto en 1821 por Seebeck, que establece que cuando la unión de dos materiales

diferentes se encuentra a una temperatura diferente que la del medio ambiente, a través de esos materiales circulará una corriente.

El uso de termopares en la industria se ha popularizado, ya que son altamente precisos y muchos más económicos que las termoresistencias.

Se necesita un controlador de temperatura, que es básicamente un medidor de temperatura que recibe una señal de un sensor (en este caso la termocupla tipo J), procesa la señal lo mejor posible, corrige los errores por falta de linealidad y finalmente ajusta la escala de medición para que corresponda con las unidades de medida seleccionadas, ej. °C, mV, etc.

Un aspecto muy importante a tener en cuenta para realizar mediciones de temperatura con termocuplas, es considerar la compensación por temperatura de la junta fría, (tenga en cuenta que si no se efectúa esta corrección, la lectura de temperatura obtenida tendrá un error de 20°C aproximadamente, que coincide con el valor medio de la temperatura ambiente).

### CAPITULO 3. FASE EXPERIMENTAL

Este capítulo demuestra la obtención de biodiesel a base de aceite de cocinar quemado, mediante la fase experimental llevada a cabo en los laboratorios de química general e ingeniería de ambiental de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ). Es el cumplimiento de uno de los objetivos planteados en base a la problemática establecida.

Establecimos el llamado método experimental, para la obtención de biodiesel, el método de forma general consta de cuatro fases principales:

1. La observación de hechos consiste en seleccionar e intentar explicarlos y comprenderlos a través de la observación.
2. La creación de hipótesis, son las suposiciones razonadas obtenidas a partir de los datos observados.
3. La explicación de sistemas matemáticos a la hipótesis obtenida.
4. La experimentación, que son las consecuencias de las hipótesis con lo que ocurre en la realidad.

Antes de realizar el estudio y la valoración de la fase experimental recordaremos la definición de biodiesel:

**Definición de biodiesel:** Según la ASTM (American Society for Testing and Material Standard, con sus siglas en inglés), describe al biodiesel como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en diferentes tecnologías donde tiene que ver expuesta una combustión.

Estableciendo más relación con la teoría los métodos para la obtención de biodiesel son mencionados a continuación:

1. Pirolisis.
2. Emulsificación.
3. Transesterificación.

Luego de haber recordado la definición de biodiesel según ASTM (American Society for Testing and Material Standard), y el método de obtención del mismo, se detallará mediante la fase experimental la valoración de los reactivos y la obtención de biodiesel a base de aceite de cocinar quemado.

**Áreas temáticas:** Química general, ciencias ambientales.

**Conceptos claves:** Energía Renovable, transesterificación, valoración, densidad.

**Destrezas:** Medida, Valoración, procedimiento de laboratorio.

**Materiales:** Se indican en las listas de cada procedimiento.

El biodiesel es un combustible renovable, prometedor, que puede usarse con poca tecnología de conversión en los motores diésel y en los dispensarios de combustibles.

### 3.1 VALORACIÓN DEL ACEITE DE COCINAR QUEMADO

**Materiales:** 10 -15 ml de una solución indicadora de fenolftaleína, 100 ml de alcohol isopropílico al 99%, tres vasos de precipitados de 50 ml, una bureta de 10 -15 ml, soporte para la bureta, un recipiente de 500 ml de hidróxido de sodio (NaOH), 1 litro de agua tridestilada o desionizada, un embudo, 250 ml de aceite de cocinar quemado.

- ✓ **Preparación de la fenolftaleína:** Pesar 200 mg de fenolftaleína y diluirlo al 1%

**Paso 1.** Se disuelve la fenolftaleína en alcohol isopropílico al 99%, muestra de 10-15 ml.

**Paso 2.** Se agita la mezcla durante un aproximado de 10 - 20 min, hasta que ya no existan residuos sólidos.

**Paso 3.** Almacenar de forma hermética, ya que si se expone a presión atmosférica el alcohol se evapora.

- ✓ **Preparación de hidróxido de sodio en perlas (NaOH):** Se pesó 3 muestras de 1 g de hidróxido de sodio.

**Paso 1.** En 250 ml de agua tridestilada se mezclan las perlas de hidróxido de sodio hasta que la mezcla se logre completar (disolución total del hidróxido de sodio en perlas).

**Paso 2.** Agitar la solución durante 10 min como mínimo.

- ✓ **Preparando la disolución a analizar:**

Medir 10 ml de alcohol isopropílico al 99% en cada uno de los vasos de precipitados de 50 ml (A,B,C); Añadir 3 gotas de fenolftaleína al 1%, en cada vaso de precipitado de 50 ml y agitar para mezclar los líquidos; añadir 1 ml de aceite de cocinar quemado a cada vaso de precipitado y agitar para disolverlo.



**Figura 19.** Recipientes de precipitados de 50 ml

✓ **Preparando la disolución de referencia:**

Disolver 1g de hidróxido de sodio (NaOH) en un litro de agua tridestilada; usando un embudo verter la disolución en la bureta.

✓ **Realizando la valoración:**

1. Colocando uno de los vasos de precipitados (A,B,C), con la solución a analizar debajo de la bureta.
2. Anotar la cantidad de solución de referencia de la bureta.
3. Lentamente añadir la solución de referencia, aproximadamente 0.5 ml en cada muestra (A,B,C), que contienen aceite y alcohol.
4. Agitar el vaso de precipitado con la mezcla (A,B,C)
5. Seguir añadiendo la disolución de referencia a la solución de aceite y alcohol hasta conseguir un color rosa claro y que permanezca así durante 30 segundos.
6. Parar
7. Anotar el volumen usado de la disolución de referencia (en ml), de la forma siguiente: Volumen final – Volumen inicial = Disolución de referencia usada.
8. Repetir el procedimiento dos veces más tanto como en A y B.
9. Calcular el volumen medio de referencia (T) de la disolución usando en las tres pruebas (A,B,C).
10. Usar la fórmula indicada para determinar la cantidad de catalizador y reactivos que hay que usar para obtener biodiesel a partir de aceite de cocinar quemado. Por cada litro de aceite añadir 200 ml de metanol y X gramos de hidróxido de sodio, donde:  $X = T + 3.5$  gramos.



Figura 20. Recipiente A

**Prueba A:**

$V_{\text{inicial}} = 25 \text{ ml}$  ;  $V_{\text{final}} = 24.45 \text{ ml}$

$V_{\text{referencia usada}} = 0.55 \text{ ml}$  de catalizador (NaOH)

**Tiempo** = 30 s

**Razonamiento:** No duró el color rosa en la reacción.



Figura 21. Recipiente B

**Prueba B:**

$V_{\text{inicial}} = 24.45 \text{ ml}$  ;  $V_{\text{final}} = 23.85 \text{ ml}$

$V_{\text{referencia usada}} = 0.6 \text{ ml}$  de catalizador (NaOH)

**Tiempo** = 30 s

**Razonamiento:** No duró el color rosa en la reacción.



Figura 22. Recipiente C

**Prueba C:**

$V_{\text{inicial}} = 23.85 \text{ ml}$  ;  $V_{\text{final}} = 23.15 \text{ ml}$

$V_{\text{referencia usada}} = 0.7 \text{ ml}$  de catalizador (NaOH)

**Tiempo** = 30 s

**Razonamiento:** Si duró el color rosa en la reacción durante los 30 segundos.

**Volumen medio de referencia usado:**

$$V_{\text{medio de referencia usado}} = \frac{V_{r,u,1} + V_{r,u,2} + V_{r,u,3}}{3} = \frac{0.55 \text{ ml} + 0.6 \text{ ml} + 0.7 \text{ ml}}{3} =$$

$$0.61 \text{ ml} * \rho_{NaOH} = (0.61 \text{ ml}) \left( 0.992 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \right) = \mathbf{0.6 \text{ g}}$$

$$V_{\text{medio de referencia usado}} = T = \mathbf{0.6 \text{ g}}$$

**Formula indicadora de cantidad del catalizador (paso 10):**

$$X = T + 3.5 \text{ g} \quad (\text{Ecu.5})$$

$$X = 0.6 \text{ g} + 3.5 \text{ g} = \mathbf{4.1 \text{ g}}$$

**Nota:** Se usará solo el 50% de la cantidad de todos los componentes del resultado de la valoración de los reactivos para la obtención de biodiesel a base de aceite de cocinar quemado. Esto debido a la facilidad de manejo de menos cantidad de componentes en nuestros laboratorios.

$$X = \frac{4.1 \text{ g}}{2} = 2.05 \text{ g} = \mathbf{2,050 \text{ mg}}$$

$$V_{\text{aceite cocinar quemado}} = \frac{500 \text{ ml}}{2} = \mathbf{250 \text{ ml}}$$

$$V_{\text{metanol}} = \frac{100 \text{ ml}}{2} = \mathbf{50 \text{ ml}}$$

### 3.2 PRODUCIENDO BIODIESEL

Después de haber sido calculada la cantidad apropiada del catalizador (NaOH), ya se está listo para la producción de biodiesel. Estas instrucciones servirán para la fabricación para un lote de 250 ml de aceite de cocinar quemado.

✓ **Procedimiento:**

**Produciendo metóxido sódico:**

Bajo la campana de gases, verter 50 ml de metanol y 0.5X gramos de hidróxido sódico en un recipiente enlatado de un cuarto. (X= 2.05g valor obtenido en el paso 10 anterior de la valoración de los reactivos), con la tapa sellada ajustadamente, agitar el contenido del recipiente hasta que el hidróxido sódico se haya disuelto. Nota: la reacción es exotérmica y se puede apreciar el calentamiento de la disolución. También se producirá un pequeño incremento de la presión. Después de agitar la disolución durante varios minutos, abrir la tapa bajo la campana de gases para aliviar la presión.

$X = (2.05 \text{ g})(0.5) = 1.025 \text{ g} = 1,025 \text{ mg}$ , cantidad de catalizador (NaOH) para una mezcla de 50 ml de metanol.

✓ **Produciendo biodiesel:**

1. Medir 250 ml de aceite de cocinar usado
2. Verterlo en el recipiente de metóxido de sodio.
3. Agitar la mezcla cuidadosamente durante 10 minutos.
4. Verter la mezcla en un embudo de decantación y dejarla asentar hasta el día siguiente (se comenzará a observar la separación de la glicerina y el biodiesel a los 15 minutos; la glicerina es más densa y se depositara en el fono del recipiente).
5. A la mañana siguiente se observó la formación de una capa de glicerina en el fondo del embudo de decantación (presentó un color más oscuro). Se procedió abrir la llave de paso para quitar la glicerina.



**Figura 23. Mezcla del catalizador y el aceite quemado**

La figura 23, muestra la mezcla de los 250 ml de aceite de cocinar quemado con los 50 ml de metanol y el catalizador obtenido durante la valoración de los reactivos ( $\text{NaOH} = 1,025 \text{ mg}$ ).

Durante el proceso para hacer eficiente la reacción de transesterificación a un 85% el rango de temperatura deberá oscilar entre los 55 a 70 °C.

**Datos:**

1.  $T_{\text{max}} = 68^{\circ}\text{C}$
2.  $t_{\text{agitación}} = 22 \text{ min}$
3.  $\text{Veloc.}_{\text{agitación}} = 800 \text{ rpm variantes}$

✓ **Decantación del biodiesel:**

La decantación no es más que un método que sirve para separar mezclas heterogéneas, que pueden estar conformados por una sustancia líquida y una sólida, o por dos sustancias líquidas. Significa sedimentar, colocarse una de las sustancias en la base de la otra, por efecto de sus distintas densidades, lo que permite separarlas.



**Figura 24. Decantación del biodiesel**

El proceso de decantación se llevó a cabo con:

$V_T = 250 \text{ ml}$  (aceite de cocinar quemado) + 50 ml (metanol)

$V_T = 300 \text{ ml}$  (en el tubo de decantación)

Se dejó decantar durante un tiempo de 24 horas como mínimo. Aunque a los 20 minutos ya se notaba la separación de los productos (glicerina y biodiesel), por medio de la diferencia de sus densidades.

$t_{\text{decantación}} = 24 \text{ horas}$



En la figura se observa el resultado de la decantación, la separación de la glicerina y el biodiesel, con volúmenes establecidos a continuación:

$$V_T = 300 \text{ ml}$$

$$V_{\text{glicerina}} = 35 \text{ ml}$$

$$V_{\text{biodiesel}} = 265 \text{ ml}$$

**Figura 25. Separación de glicerina**

El resultado de estos volúmenes se obtuvo al separar la glicerina y el biodiesel, mediante el tubo de decantación con respecto a la habilidad al abrir y cerrar la válvula del tubo de decantación, hasta observar que todo el volumen de glicerina fuese extraído.

✓ **Lavado del biodiesel:**

El volumen de biodiesel producido contiene pequeñas cantidades de catalizador (por definición un catalizador no se transforma en producto), glicerina y metanol. Estas impurezas pueden disminuir el rendimiento del biodiesel, pero todas ellas son solubles en agua y pueden ser extraídas lavando el combustible con agua.

**Procedimiento:**

1. Lavar el biodiesel crudo, rociar suavemente al agua tridestilada en el interior del recipiente de decantación. Se puede agitar el recipiente moviendo suavemente la mezcla.
2. Colocar el vaso de decantación en la abrazadera.
3. Casi inmediatamente se podrá observar la separación entre el biodiesel y el agua tridestilada. Dejar reposar durante 20 minutos para una completa separación.



**Figura 26. Lavado**

Se realizó el procedimiento tres veces para mejorar la calidad del biodiesel y separar el catalizador sobrante y residuos de glicerina. Después de repetir estos procedimientos se obtuvo un volumen final de biodiesel.

$$V_{\text{final}} = 253 \text{ ml}$$

También se calculó la densidad del biodiesel con una muestra de 1 ml de biodiesel. Se estableció una densidad promedio debido que se realizó dos mediciones.

$$\rho_{promedio} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} = \frac{(883 + 819.3) \text{ mg/ml}}{2} = \frac{851.24 \text{ mg}}{\text{ml}} = \mathbf{851.24 \text{ g/m}^3}$$

Datos del aceite de cocinar quemado y biodiesel (obtenidos mediante pruebas):

**Aceite de cocinar quemado**

Densidad ( $kg/m^3$ )	Peso específico ( $N/m^3$ )	Viscosidad dinámica (Pa.s)
920	9,025.2	$77 \times 10^{-3}$

Tabla 6. Propiedades del aceite de cocinar quemado (A.C.Q)

**Biodiesel**

Densidad ( $g/m^3$ )	Peso específico ( $N/m^3$ )
851.4	8, 352.234

Tabla 7. Propiedades del biodiesel

## CAPÍTULO 4. MEMORIA DE CÁLCULO

Este cuarto capítulo relaciona la fase experimental del capítulo anterior, de la obtención de biodiesel para establecer los parámetros de diseño del reactor y todos sus componentes. Se tuvo que llevar a cabo la fase experimental para tener una relación de volúmenes iniciales tanto de aceite de cocinar quemado, como la relación de volumen de metóxido (catalizador NaOH más metanol).

### **Volumen fase experimental:**

1.  $V_{A.C.Q} = 250$  ml (volumen aceite de cocinar quemado)
2.  $V_{metóxido} = 50$  ml (volumen de catalizador NaOH = 1g, más metanol = 50 ml)
3.  $V_T = 300$  ml (volumen total)
4.  $V_{Glicerina} = 35$  ml
5.  $V_{biodiesel} = 265$  ml (biodiesel crudo)
6. Velocidad = 800 RPM

### **Volúmenes de diseño:**

1.  $V_{A.C.Q} = 50$  lts (volumen aceite de cocinar quemado)
2.  $V_{metóxido} = 10$  lts (volumen de catalizador NaOH = 200 g más metanol = 10 lts)
3.  $V_T = 60$  lts (volumen total)
4.  $V_{Glicerina} = 7$  lts
5.  $V_{biodiesel} = 53$  lts (biodiesel crudo)
6. Velocidad = 1200 RPM (tanque del reactor principal)

Los volúmenes de diseño fueron calculados mediante una relación de volúmenes entre el volumen de la fase experimental y los volúmenes de nuestro criterio de diseño.

## 4.1 MEMORIA DE CÁLCULO DE REACTOR DEL BIODIESEL

### Datos de diseño:

- a) Diámetro interior ( $\Phi_{int}$ )= 360 mm  $\cong$  14.18 in
- b) Altura total ( $H_T$ )= 790 mm  $\cong$  31.10 in
- c) Material de fabricación: Acero inoxidable AISI 316L
- d) Densidad del aceite de cocinar quemado:  $0.920 \text{ g/cm}^3 = 920 \text{ kg/m}^3$
- e) Viscosidad dinámica del aceite de cocinar quemado ( $\mu$ ) =  $77 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
- f) Temperatura de operación ( $T_0$ ) = 70 °C
- g) Eficiencia de soldadura ( $E_{sol}$ ) = 85%

### 4.1.1 Selección del material

Al acero inoxidable se define como una aleación de acero mínima del 10% al 12% de cromo, esta cantidad es suficiente para que se forme una capa delgada de óxido de cromo que protege al material contra la corrosión en una amplia variedad de ambientes. (Vázquez, 1996, p.1).

Debido a los requerimientos que posee la operación de nuestro reactor de biodiesel a base de aceite de cocinar quemado, la selección del material es un aspecto de alta responsabilidad para garantizar el proceso de reacción de transesterificación. La selección del material se llevó a cabo según el Manual de aceros especiales en PC versión 1.0, según su aplicación en fabricación de reactores, calidad 220 respectivamente, norma AISI 316L (acero al cromo níquel).

El acero inoxidable tipo 316L, después del tipo 304 es el más comercial. Este tipo de acero está ampliamente disponible, tiene buena resistencia a la corrosión en general, buena resistencia (dureza), maleabilidad y excelente soldabilidad. El acero 316L es una variante del 316 que contiene un contenido de carbón inferior, menor límite elástico y también menor resistencia a la tracción.

El acero inoxidable 316L es usado para la fabricación de piezas que demandan alta resistencia a la corrosión localizada, equipos de la industria química, farmacéutica, textil, petrolera, papel, celulosa, caucho, nylon y tintas, cubas de fermentación, piezas de válvulas, tanques, agitadores, reactores y evaporadores.

**Composición química:**

<b>Cromo</b>	<b>Níquel</b>	<b>Carbón</b>	<b>Manganeso</b>	<b>Silicio</b>	<b>Fósforo</b>	<b>Azufre</b>
17 %	14%	0.03%	2%	1%	0.045%	0.030%

**Tabla 8. Composición química del AISI 316L****Propiedades térmicas:**

<b>Temp. Conformación en caliente (°C)</b>	<b>Enfriamiento rápido o temple (°C)</b>	<b>Estado de enfriamiento térmico</b>	<b>Estruc. en estado de tratamiento térmico</b>	<b>Magnetizabilidad</b>
1150-750 / aire	1050-1100 Agua/aire	Enfriamiento rápido	Austenita	Nula

**Tabla 9. Propiedades térmicas del AISI 316L**

La temperatura máxima de operación del AISI 316L es de 1600 °F respectivamente. Tomado de tabla de propiedades de los aceros inoxidable (ver *tabla anexo 6*).

### Propiedades físicas:

Densidad ( $\rho$ ) ( $kg/m^3$ ) a 20 °C	Módulo de elasticidad (E en psi) a 100 °C	Calor específico ( $J/(kg \cdot K)$ ) a 20 °C	Resistencia eléctrica ( $ohm \cdot mm^2/m$ ) a 20 °C
7980	$28 \times 10^6$	500	0.75

Tabla 10. Propiedades físicas del AISI 316L

### Propiedades mecánicas:

Esfuerzo de fluencia (S en psi)	Esfuerzo último (psi)	Elongación % en 2" (100 mm)	Dureza: Brinell BHN	Rockwell B	Impacto izod. Ft-lbs
39,000	81,000	50	149	80	110

Tabla 11. Propiedades mecánicas del AISI 316L

#### 4.1.2 cálculo de presiones

##### ✓ Presión de operación ( $P_0$ )

A partir del streeter, todos los equipos son a presión atmosférica, por tanto que la única presión viene dada por la altura del líquido del equipo.

La presión de operación del equipo a calcular se escribe:

$$P_0 = P_{atm} + \rho \cdot g \cdot h \quad (Ecu. 1)$$

$$P_0 = 101352.9 \text{ pa} + (920 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/s}^2)(0.79 \text{ m})$$

$$P_0 = 108475.54 \text{ pa} = \mathbf{15.75 \text{ psi}}$$

Donde:

$P_0$  y  $P_{atm}$  en Pa

$\rho$  = Densidad en  $kg/m^3$

$g$  = Aceleración de la gravedad,  $m/s^2$

$h$  = Altura del estanque ( $H_T$ ), en m

✓ **Presión de diseño ( $P_d$ )**

Si  $p_o \leq 300 \text{ lb/in}^2$  relación tomada del manual de recipientes a presión.

$$P_d = P_o + 30 \text{ lb/in}^2$$

$$P_d = 15.75 \text{ lb/in}^2 + 30 \text{ lb/in}^2$$

$$P_d = \mathbf{45.75 \text{ lb/in}^2}$$

#### 4.1.3 Cálculo del sobre espesor

$$C = C_1 + C_2 \quad (\text{Ecu.6})$$

$C_1$  = Sobre espesor que tiene en cuenta las tolerancias negativas del material.

$C_2$  = Sobre espesor que tiene en cuenta el efecto de la corrosión.

Se toman los valores de  $C_1$  y  $C_2$ , tomando en cuenta:

$C_1$  = 0.1cm cuando el equipo se construye a partir de planchas soldadas.

$C_2$  = Se toma entre 0.1cm y 0.3cm cuando no se precisan más detalles.

$$C = 0.1 \text{ cm} + 0.1 \text{ cm}$$

$$C = 0.2 \text{ cm} = 2 \text{ mm} \approx 0.0787 \text{ in}$$

$$C = \mathbf{0.0787 \text{ in}}$$

#### 4.1.4 Cálculo del espesor de la placa por presión interna

Para realizar los cálculos de espesor de la placa por presión interna vamos a recurrir a la bibliografía Manual de recipientes a presión p.15.

##### 4.1.4.1 Sección cilíndrica ( $t_1$ ), cuerpo del reactor

$$t_1 = \frac{pd \cdot d_{int}}{2SE - pd} + C \quad (Ecu.7)$$

$P_d$  = Presión de diseño ( $lb/in^2$ ) = 45.75 psi

$S$  = Valor de esfuerzo del material ( $lb/in^2$ ) = 39,000 psi

$E$  = Eficiencia de la junta = 85%

$C$  = Sobre- espesor (in) = 0.0787

$d_{int}$  = Diámetro interior (in) = 14.18

$$t_1 = \frac{\left(45.75 \frac{lb}{in^2}\right)(14.18 in)}{2\left(39000 \frac{lb}{in^2}\right)(0.85) - 45.75 \frac{lb}{in^2}} + 0.0787 in$$

$$t_1 = \mathbf{0.0884 in \approx 2.25 mm}$$

##### 4.1.4.2 Sección cónica ( $t_2$ ), tapa inferior

El espesor de la envoltura cónica sometida a presión interior, según la norma soviética GOST 14249 – 80, se determina como:

$$t_2 = \frac{pd \cdot d_{int}}{2 \sigma \varphi - pd} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} + C \quad (Ecu.8)$$

$P_d$  = Presión de diseño ( $lb/in^2$ ) = 45.75psi

$\sigma$  = Tensión admisible ( $lb/in^2$ ) = 39,000psi

$\varphi$  = Eficiencia de la junta = 85%

$d_{int}$  = Diámetro interior (in) = 14.18

$t_2$  = Espesor de la pared (in)

$\alpha$ = mitad del ángulo en el vértice = 48

$$t_2 = \frac{\left(45.75 \frac{lb}{in^2}\right)(14.18 in)}{2\left(39000 \frac{lb}{in^2}\right)(0.85) - 45.75 \frac{lb}{in^2}} \cdot \frac{1}{\cos 48} + 0.0787 \text{ in}$$

$$t_2 = \mathbf{0.0934 \text{ in} \approx 2.372 \text{ mm}}$$

#### 4.1.4.3 Sección plana ( $t_3$ ), tapa plana

$$t_3 = \frac{pd \cdot R}{SE - 0.6pd} + c \quad (\text{Ecu.9})$$

$P_d$ = Presión de diseño ( $lb/in^2$ ) = 45.75 psi

$S$ = Valor de esfuerzo del material ( $lb/in^2$ ) = 39000 psi

$E$ = Eficiencia de la junta = 85%

$R_{int}$ = Radio interior (in) = 7.092

$t_3$ = Espesor de la pared (in)

$$t_3 = \frac{\left(45.75 \frac{lb}{in^2}\right)(7.092 in)}{\left(39000 \frac{lb}{in^2}\right)(0.85) - (0.6)\left(45.75 \frac{lb}{in^2}\right)} + 0.0787 \text{ in}$$

$$t_3 = \mathbf{0.0884 \text{ in} \approx 2.24 \text{ mm}}$$

#### 4.1.4 Cálculo del espesor de la placa por presión externa

Los recipientes tienen que fabricarse para trabajar sujetos a una presión externa de 15  $lb/in^2$  o menores (presión atmosférica 14.7 psi). Existen fuerzas las cuales se ejercen de manera externa, como lo es la fuerza del viento, en nuestro diseño se desprecia por la razón que no es un recipiente a presión instalado a una altura considerable. Manual recipiente a presión, p.31.

$$P = \text{externa } (lb/in^2) = 14.7 \text{ psi}$$

#### 4.1.4.1 Sección cilíndrica ( $t_s$ ), cuerpo del reactor

$$D_0 = d_{int} + 2t_s \quad (\text{Ecu. 10})$$

$D_0$  = Diámetro exterior (in)

$d_{int}$  = Diámetro interno (in) = 14.18

$t_s$  = Espesor de la pared (in) = 0.0884

$$D_0 = 14.18\text{in} + 2(0.0884\text{in})$$

$$D_0 = 14.3568\text{in} \approx 364.6627 \text{ mm}$$

$$\frac{D_0}{t_s} = \frac{14.3568\text{in}}{0.0884\text{in}}$$

$$\frac{D_0}{t_s} = \mathbf{162.40}$$

$L$  = Altura del depósito (in) = 23.22 in

$$\frac{L}{D_0} = \frac{23.22\text{in}}{14.3568\text{in}} = 1.6173$$

$$\frac{L}{D_0} = \mathbf{1.6173}$$

Con  $\frac{D_0}{t_s}$  y  $\frac{L}{D_0}$  se encuentran los valores de A y B respectivamente, (ver gráfica anexo 1 y 2)

Donde:

A = Factor determinado

$$A = \mathbf{0.00014}$$

B = Factor determinado

$$B = \mathbf{5800}$$

Tomado del libro Manual de Recipientes a presión p. 40 y 45 respectivamente

La presión máxima de trabajo se determina por la ecuación:

$P_a$  = Presión máxima de trabajo permisible

$$P_a = \frac{4B}{3(DI/te)} \quad (\text{Ecu. 11})$$

$$P_a = \frac{(4)(5800)}{3(162.40)}$$

$$P_a = 47.61 \text{ lb/in}^2$$

Si la presión máxima de trabajo permisible es mayor que la presión de diseño, no requiere de anillos atiesadores, según Manual de recipiente a presión p.33.

$P_a > P_d$  es satisfactorio, no se requiere de anillos atiesadores<sup>5</sup>.

#### 4.1.4.2 Sección cónica ( $t_s$ ), tapa inferior

Esta sección se calcula por:

$$t_s = 0.0934 \text{ in}$$

$$D_L = d_{int1} + 2t_s \quad (\text{Ecu. 10})$$

Donde:

$t_s$  = Espesor de la envoltura cónica sometida a presión interior.

$D_L$  = Diámetro exterior en el extremo grande (in)

$d_{int1}$  = Diámetro interior en el extremo grande (in) = 14.18

$$D_L = 14.18 \text{ in} + (2) (0.0934 \text{ in})$$

$$D_L = 14.367 \text{ in}$$

---

<sup>5</sup> Los anillos atiesadores son perfiles estructurales que evitan la deformación de tanques debido a la carga del viento.

El diámetro exterior en el extremo pequeño se calcula por:

$$D_S = d_{int2} + 2t_s$$

Donde:

$D_S$  = Diámetro exterior en el extremo pequeño (in)

$d_{int2}$  = Diámetro interior en el extremo pequeño (in) = 1

$$D_S = 1 \text{ in} + (2) (0.0934 \text{ in})$$

$$D_S = \mathbf{1.1868 \text{ in}}$$

El espesor efectivo se calcula con la ecuación:

$$t_e = t_s \cos \alpha \quad (\text{Ecu. 12})$$

Donde:

$t_e$  = Espesor efectivo (in)

$t_s$  = Espesor de la pared en pulgadas (in) = 0.0934

$\alpha$  = La mitad del ángulo en el vértice ( $^\circ$ ) = 48

$p$  = Presión externa (lb/in<sup>2</sup>) = 14.7

$$t_e = (0.0934 \text{ in}) \cos 48^\circ$$

$$t_e = \mathbf{0.0624 \text{ in}}$$

La longitud equivalente de la sección cónica se calcula mediante

$$L_e = \left(\frac{L}{2}\right) \left(1 + \frac{D_S}{D_I}\right) \quad (\text{Ecu. 13})$$

Donde:

$L_e$  = Longitud equivalente de la sección cónica

$L$  = Altura del cono (in) = 7.32

$$L_e = \left(\frac{7.32 \text{ in}}{2}\right) \left(1 + \frac{1.1868 \text{ in}}{14.367 \text{ in}}\right)$$

$$L_e = 3.96 \text{ in}$$

$$\frac{L_e}{D_L} = \frac{3.96 \text{ in}}{14.367 \text{ in}} = \mathbf{0.211}$$

$$\frac{D_L}{t_e} = \frac{14.367 \text{ in}}{0.0624 \text{ in}} = \mathbf{230.24}$$

Con  $L_e/D_L$  y  $D_L/t_e$  se encuentran los valores de A y B (ver anexo 1 y 2)

Tomado del libro Manual de Recipientes a presión p.40,45

$$A = \mathbf{0.00017}$$

$$B = \mathbf{12100}$$

La presión máxima de trabajo se determina por la ecuación:

$P_a$  = Presión máxima de trabajo permisible

$$P_a = \frac{4B}{3(D_L/t_e)} \quad (\text{Ecu. 11})$$

$$P_a = \frac{(4)(12100)}{3(230.24)}$$

$$P_a = 70.21 \text{ lb/in}^2$$

$P_a > P$  es satisfactorio, no se requiere de anillos atiesadores.

Tomado del libro Manual de Recipientes a Presión. Pág. 38 y 39

El espesor de la placa de acero inoxidable 316L es de 0.0934 in, es el equivalente a 2.37 mm. El espesor estándar de las placas para la elaboración del reactor de biodiesel a base de aceite de cocinar quemado será de 1/8 in, siendo uno de los valores mínimos de los fabricantes en la industria metalúrgica.

#### 4.1.5 Selección del agitador

El agitador seleccionado es tipo turbina de palas planas inclinadas, forma parte de los denominados agitadores de flujo axial, que permiten un flujo desprendido del rodete de aproximadamente  $45^\circ$  y por tanto presenta recirculación, que retorna hasta la zona central de las palas del agitador, creando un campo de flujo de ida y vuelta paralelo al eje de giro. Existen dos rangos básicos de velocidades de giro: de 1150 a 1750 rpm con transmisión directa, y de 350 a 420 rpm con transmisión por engranajes.

A continuación se exponen las características principales del agitador

<b>Descripción</b>	4-6 palas rectas ángulo de inclinación = $45^\circ$
<b>Campo de flujo generado</b>	axial / radial (componente radial mayor que con el mezclador de hélice)
<b>Régimen alcanzado</b>	de transición – turbulento
<b>Velocidad tangencial</b>	3 - 15 m/s
<b>Viscosidad del medio</b>	hasta 20 Pa·s
<b>Posición del rodete (<math>d_2 / d_1</math>)</b>	0,2 – 0,5 (alejado de la pared)
<b>Aplicaciones</b>	Homogeneizar, Suspende y favorecer el intercambio de calor

Tabla 12. Características del agitador

El agitador seleccionado es el de palas planas inclinadas, y sus dimensiones estandarizadas según la norma DIN 28131 (ver tabla anexo 3) son las siguientes:

$d_1$  = Diámetro exterior

$h_1$  = Altura del líquido

$d_2$  = Diámetro exterior del agitador

$h_3$  = Ancho del agitador

$\alpha$  = Angulo de las palas planas

$\delta_1$  = Ancho de las placas deflectoras

$\delta_2$  = Distancia entre la pared del tanque y la placa deflectora

$$\frac{h_1}{d_1} = 1$$

$$h_1 = d_1 = 364.18 \text{ mm}$$

$$\frac{d_2}{d_1} = 0.337$$

$$d_2 = 122 \text{ mm}$$

$$\frac{h_2}{d_1} = 0.17 \div 0.3$$

$$h_2 = 206.36 \text{ mm}$$

$$\frac{h_3}{d_2} = 0.177$$

$$h_3 = 21.594 \text{ mm}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$\frac{\delta_1}{d_1} = 0.1$$

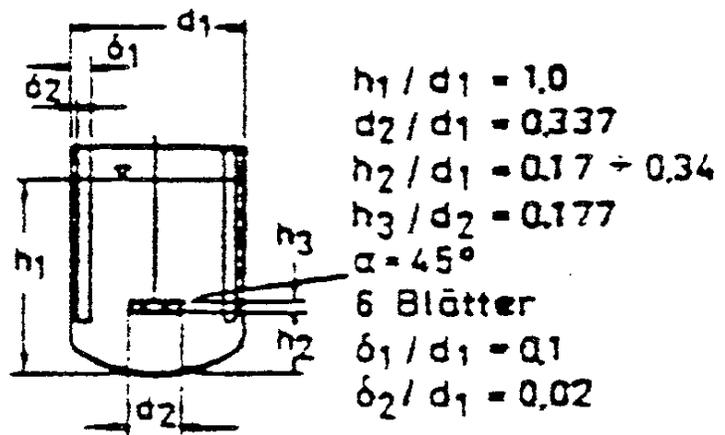


Figura 27. Dimensiones del agitador

$$\delta_1 = 36.418 \text{ mm}$$

$$\frac{\delta_2}{d_1} = 0.02$$

$$\delta_2 = 7.2836 \text{ mm}$$

La norma DIN 28131 no designa el espesor de las paletas del agitador, este es a criterio del diseñador. El espesor seleccionado es de 5 mm, por tal motivo se evaluará desde el punto de vista de resistencia de materiales si soportará las fuerzas y momentos a la cual está sometida.

Según Josep Bergadá, mecánica de fluidos:

Las paletas están sometidas a fuerzas de forma lateral que a su vez generan pares torsionales los cuales tienden a deformarlas debido a la acción del fluido.

La fuerza y el par torsional laterales se calculan con la siguiente expresión, Según Josep Bergadá, mecánica de fluidos:

$$F = \mu \left( \frac{\omega}{h} \right) 2\pi \cdot H \cdot R^2 \quad (\text{Ecu.14})$$

Dónde:

$\mu$  = Viscosidad dinámica (20 Pa.s, ver tabla 11)

$\omega$  = Velocidad angular (15 m/s = 94.24 rad/s, ver tabla 11)

$H$  = Altura de las paletas con respecto a la superficie superior del recipiente

$h$  = Altura de las paletas con respecto a la superficie inferior del recipiente

$R$  = Radio del extremo del recipiente hacia el extremo de las paletas

$$F = \mu \left( \frac{\omega}{h} \right) 2\pi \cdot H \cdot R^2 = 20 \text{ Pa} \cdot \text{s} \left( \frac{94.24 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{0.3084 \text{ m}} \right) (0.47 \text{ m})(0.121 \text{ m})^2$$

$$F = 42.02 \text{ N}$$

El momento lateral es calculado por:

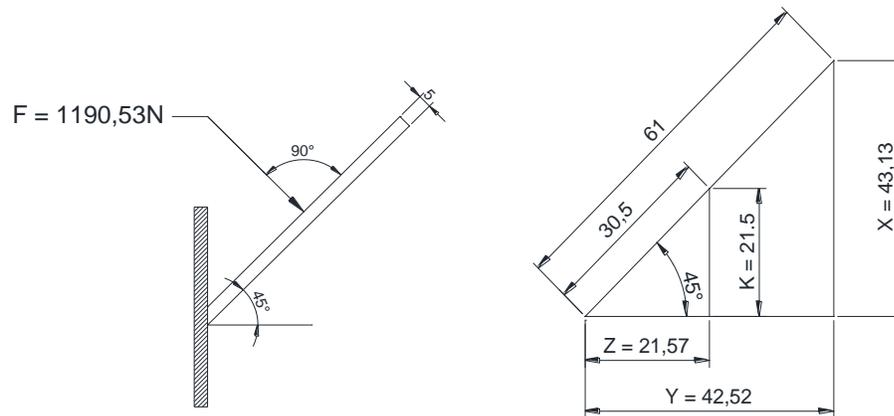
$$M = \mu \left( \frac{\omega}{h} \right) 2\pi \cdot H \cdot R^3 \quad (\text{Ecu. 15})$$

$$M = 20 \text{ Pa} \cdot \text{s} \left( \frac{94.24 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{0.3084 \text{ m}} \right) (0.47 \text{ m})(0.121 \text{ m})^2$$

$$M = 5.088 \text{ N.m}$$

Esta fuerza y este par torsional son los valores a los cuales va estar sometida una paleta respectivamente.

El siguiente análisis es para calcular la fuerza y el momento máximo permitido por las paletas con un ángulo de inclinación de 45°:

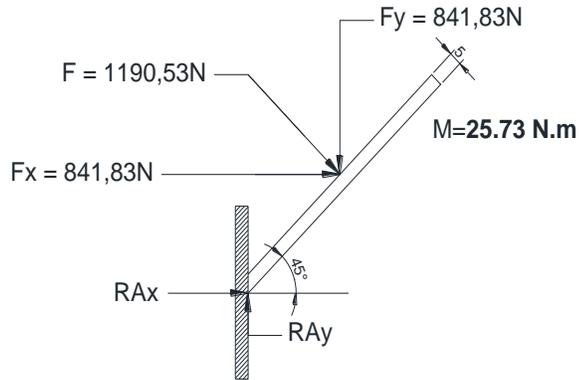


$$F = \frac{1}{2} \rho g (2h_1 + h_2) A \quad (\text{Ecu. 16})$$

$$F = \frac{1}{2} (920 \text{ kg/m}^3) (9.81 \text{ m/s}^2) (2(0.431) + (5 \times 10^{-3})) (0.305 \text{ m}^2)$$

$$F_{\text{max}} = 1,190.53 \text{ N}$$

Calculando las componentes de la fuerza en las paletas a un ángulo de 45°.



$$F_x = F \cos 45 = \mathbf{841.83 \text{ N}}$$

$$F_y = F \sin 45 = \mathbf{841.83 \text{ N}}$$

Calculando el par de torsión máximo al que puede ser sometido cada paleta con relación a la fuerza máxima.

$$M_{max} = (F) (d) \quad (\text{Ecu. 17})$$

$$M_{max} = (1,192.072 \text{ N}) (0.02163 \text{ m}) = \mathbf{25.73 \text{ N.m}}$$

El par torsional máximo refleja que las paletas si soportarán el par de torsión que está sometida debido a la relación  $M_{max} > M$

#### 4.1.6 Potencia teórica del motor eléctrico

La potencia del motor que se requiere para producir biodiesel con la reacción química entre el aceite de cocinar quemado (A.C.Q) y el metóxido, se emplean los siguientes datos:

$\rho$  = Densidad del aceite de cocinar quemado ( $\text{kg/m}^3$ ) = 920

$\mu$  = Viscosidad dinámica del aceite de cocinar quemado =  $77 \times 10^{-3} \text{ pa} \cdot \text{s}$  a  $20^\circ\text{C}$

$d_{ag}$  = Diámetro del agitador = 122 mm = 0.122 m

Frecuencia de rotación (rpm) = 1200 rpm = 20 rps

Rec = Régimen de agitación (número de Reynolds)

El régimen de agitación se determina por la siguiente fórmula:

$$R_{ec} = \frac{\rho * n * d_{ag}^2}{\mu} \quad (Ecu.2)$$

Tomado del libro Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas Claudio Mataix. Segunda edición (p.175).

Donde:

$\rho$  = Densidad (kg/m<sup>3</sup>).

$n$  = Frecuencia de rotación (rps).

$d_{ag}$  = Diámetro del agitador (m).

$\mu$  = Viscosidad dinámica (pa.s).

$$R_{ec} = \frac{(920)(20)(0.122^2)}{77 * 10^{-3}}$$

$$R_{ec} = 3556.70 \cong 3.55 * 10^3 \text{ (Flujo transitorio } 10 < R_e < 10000)$$

A partir de la gráfica (ver anexo 4) se obtiene  $N_p$  que es el número de potencia

$$N_p = 2$$

La potencia teórica se calcula por la siguiente ecuación según Manrique (Perú 2011, p.141):

$$P = N_p \rho n^3 d^5 \quad (Ecu.3)$$

Donde:

$N_p$  = Número de Potencia.

$\rho$  = Densidad (kg/m<sup>3</sup>).

$n$  = Frecuencia de rotación (rps).

$d_{ag}$  = Diámetro del agitador (m).

$$P = (2)(920 \text{ kg/m}^3)(20 \text{ rps})^3(0.122 \text{ m})^5$$

$$P = 397.83 \text{ watt} \cong 0.53 \text{ Hp}$$

La potencia necesaria cuando existe un rendimiento  $\eta = 0.80$

$$P_{necesaria} = \frac{P_{teorica}}{\eta} \quad (\text{Ecu.4})$$

$$P_{necesaria} = \frac{397.836}{0.80}$$

$$P_{necesaria} = 497.2875 \text{ watt} \cong 0.67 \text{ Hp}$$

El motor eléctrico se seleccionó bajo las consideraciones del catálogo de Baldor motors and drivers p.49 (ver anexo 5), motor monofásico NEMA 143T, enfriado por ventilación, con rango de velocidad de giro comprendido entre 1140rpm/1755rpm, HP = 3/4; diámetro de eje 0.875 in (7/8 in) p.49.

#### 4.1.7 Memoria de cálculo del eje

La flecha circular solida de 7/8 in de diámetro del reactor de biodiesel gira a 1200 rpm y la potencia del motor es de 3/4 Hp.

Según el libro diseño de elementos de máquinas Robert L. Mott 2<sup>da</sup> edición, el par de torsión se calcula por la formula siguiente:

$$T = \frac{63000P}{n} \quad (\text{Ecu.18})$$

Donde:

$T$  = Par de torsión (lb · in)

$P$  = Potencia del motor (HP)

$n$  = velocidad de rotación (rpm)

$$T = \frac{63000 \left(\frac{3}{4} \text{ hp}\right)}{1755 \text{ rpm}} = 26.92 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

La flecha se somete a un par de torsión de 26.92  $\text{lb} \cdot \text{in}$ .

✓ **Esfuerzo cortante de diseño**

El material de la flecha es de acero inoxidable AISI 316L,  $S_y = 39000 \text{ lb}/\text{in}^2$  y 50% de elongación. Tomado de tabla de propiedades físicas de aceros 316L (ver tabla anexo 6)

$\tau_d = \frac{S_y}{12}$  con  $N = 6$  (Ecu.19) (Ver tabla anexo 7, tomado de resistencia de materiales Robert L. Mott)

Donde

$\tau_d =$  Esfuerzo cortante de diseño.

$N =$  Factor de diseño.

$$\tau_d = \frac{39000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}}{12}$$

$$\tau_d = 3250 \text{ lb}/\text{in}^2$$

✓ **Par de torsión de la flecha con  $D = 7/8 \text{ in}$**

El par de torsión de la flecha se calcula por la siguiente fórmula:

$T = \frac{\pi D^3 \tau_d}{16}$ , (Ecu.20) según el libro de Resistencia de Materiales aplicada tercera edición, Robert L Mott. p.149, 151.

Donde:

$\tau_d =$  Esfuerzo cortante de diseño.

$T =$  Par de torsión ( $\text{lb} \cdot \text{in}$ ).

$D = \text{Diámetro de la flecha (in)}.$

$$T = \pi \left( \frac{7}{8} \text{ in} \right)^3 (3250 \text{ lb/in}^2) / 16$$

$$T = 427.50 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

La flecha de acero inoxidable AISI 316L con un diámetro de 7/8 in, está sometida a un torque de  $26.92 \text{ lb} \cdot \text{in}$  y resiste un par de torsión de  $427.50 \text{ lb} \cdot \text{in}$ .

#### ✓ Selección de la chaveta

La chaveta está sometida a un par de torsión de  $26.92 \text{ lb} \cdot \text{in}$  y el diámetro de la flecha es de 7/8 in.

Según dibujo industrial, conjunto y despieces, Ubieta p.209 chaveta plana, Norma DIN 6885 – A mat. C45K (ver tabla anexo 8).

B=6 mm; W=6 mm; L=25 mm

La longitud se encuentra en un rango de 10 a 90 mm, considerando la longitud del eje, se seleccionó 25 mm correspondiente.

#### **Chaveta B 6 x 6 x 25 DIN 6886**

#### **Área de corte**

Según diseño de elementos de máquinas Robert L Mott, el área de corte se determina por:

$$A_s = bxl \quad (\text{Ecu.21})$$

Donde:

b= Ancho de la chaveta.

l= Longitud de la chaveta.

$$A_s = 6 \times 25$$

$$A_s = 150 \text{ mm}^2 = 0.232 \text{ in}^2$$

### La fuerza de la chaveta

Material acero inoxidable 304L, con un esfuerzo de fluencia de  $S_y=33,000$  psi. Según el libro de diseño de elementos de máquinas, Robert L Mott. La fuerza de la cuña se determina por:

$$F = \frac{T}{D/2} \quad (\text{Ecu.22})$$

Donde:

T= Par de torsión ( $lb \cdot in$ ).

D= Diámetro de la flecha (in)

$$F = \frac{(26.92 \text{ lb} \cdot \text{in})}{\frac{7}{8}/2 \text{ in}}$$

$$F = 61.53 \text{ lb.}$$

### El esfuerzo cortante

Según el libro de diseño de elementos de máquinas, Robert L Mott, el esfuerzo de compresión de la cuña se determina por:

Donde:

$$\sigma = \text{Esfuerzo cortante } \left(\frac{\text{lb}}{\text{in}^2}\right) \quad ; \quad \sigma = \frac{F}{A_s} \quad (\text{Ecu.23})$$

F= Fuerza de la cuña (lb).

$A_s$  = Área de corte ( $\text{in}^2$ ).

$$\sigma = \frac{61.53 \text{ lb}}{0.232 \text{ in}^2}$$

$$\sigma = 264.64 \frac{lb}{in^2}$$

La chaveta de forma B de ancho 6 mm, altura 6 mm y de longitud de 25 mm, es capaz de resistir al par de torsión a la que estará sometida.

Según Robert L. Mott 2da edición p. 334, tabla 10-2 radios y chaflanes para cuñas estandarizadas.

H=1/4 (altura)

H/2= 1/8 (altura del área de corte)

Radio del chaflán	Chaflán
1/ 32 in	45°

Tabla 13. Chaflán de la chaveta

#### 4.2 MEMORIA DE CÁLCULO DEL RECIPIENTE DE METÓXIDO

Al igual que el reactor principal de biodiesel, el recipiente en el cual se realiza la mezcla del catalizador con el metanol llamado recipiente de metóxido, se fabricará de acero inoxidable 316L, el cual es un acero al cromo níquel como lo hemos definido anteriormente. Debido a que el metóxido tiene que cumplir estándares de purzas para garantizar la reacción de transesterificación del aceite de cocinar quemado (A.C.Q).

#### Datos de diseño:

- Diámetro interior ( $\Phi_{int}$ ) = 200 mm  $\cong$  7.87 in
- Altura total ( $H_T$ ) = 418 mm  $\cong$  16.45 in = 0.4183 m
- Material de fabricación: acero inoxidable AISI 316L
- Densidad del metóxido de sodio = 0.944 g/cm<sup>3</sup> = 944 Kg/m<sup>3</sup>
- Viscosidad dinámica del metóxido de sodio a 20°C ( $\mu$ ) = 27 x 10<sup>-03</sup> Pa · s
- Temperatura de operación (T<sub>0</sub>) = 70 °C
- Eficiencia de soldadura (E<sub>sol</sub>) = 85%

#### 4.2.1 Cálculo de presiones

##### ✓ Presión de operación ( $P_o$ )

A partir de streeter, todos los equipos son a presión atmosférica, por tanto a presión atmosférica viene dada por la altura del líquido del equipo más la presión atmosférica.

$$P_o = P_{atm} + P_{fluido}$$

La presión de operación del equipo se calcula por la siguiente fórmula:

$$P_o = P_{atm} + (\rho)(g)(h) \quad (Ecu. 1)$$

Donde:

$$P_{fluido} = \text{Presión de la columna del liquido.}$$

$$P_o = \text{Presión de operacion, } P_a$$

$$P_{atm} = \text{Presión atmosférica, } P_a$$

$$\rho = \text{Densidad, } Kg/m^3$$

$$g = \text{Aceleración de la gravedad, } m/s^2$$

$$h = \text{Altura del estanque, } m$$

$$P_o = 101352.9 P_a + (944 Kg/m^3)(9.8 m/s^2)(0.4183 m)$$

$$P_o = 105222.68 P_a \cong 15.26 psi$$

$$P_o = \mathbf{15.26 psi}$$

✓ **Presión de diseño ( $P_d$ )**

Si  $P_o \leq 300 \text{ lb/in}^2$

$P_d = P_o + 30 \text{ lb/in}^2$ , tomado de Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión. Pág. 1

$P_d = 15.26 \text{ lb/in}^2 + 30 \text{ lb/in}^2$

$$P_d = 45.26 \text{ lb/in}^2$$

#### 4.2.2 Cálculo del sobre espesor

El sobre espesor se calcula por la ecuación:

$$C = C_1 + C_2 \quad (\text{Ecu.6})$$

Donde:

$C_1$ = Sobre espesor que tiene en cuenta las tolerancias negativas del material.

$C_2$ = Sobre espesor que tiene en cuenta el efecto de la corrosión.

$C_1 = 0.1 \text{ cm}$  cuando el equipo se construye a partir de planchas soldadas.

$C_2$ = Se toma entre 0.1 y 0.3 cm cuando no se precisan más detalles.

$$C = 0.1 \text{ cm} + 0.1 \text{ cm}$$

$$C = 0.2 \text{ cm} = 2 \text{ mm} \approx 0.0787 \text{ in}$$

$$C = 0.0787 \text{ in}$$

#### 4.2.3 Cálculo del espesor de la placa por presión interna

Para realizar los cálculos de espesor de la placa por presión interna vamos a recurrir a la bibliografía Manual de recipientes a presión p.15. Al igual que los cálculos de presión interna del reactor principal de biodiesel.

#### 4.2.3.1 Sección cilíndrica ( $t_1$ ), cuerpo de recipiente de metóxido

La sección cilíndrica del cuerpo del reactor, según guía metodológica para el proyecto de curso de transferencia de calor, se calcula por:

$$t_1 = \frac{pd \cdot d_{int}}{2SE - pd} + c \quad (Ecu.7)$$

Donde:

$P_d$  = Presión de diseño (lb/in<sup>2</sup>) = 45.26 psi

$S$  = Valor de esfuerzo del material (lb/in<sup>2</sup>) = 39,000 psi

$E$  = Eficiencia de la junta de soldadura = 85%

$C$  = Sobre espesor (in) = 0.0787

$d_{int}$  = Diámetro interior (in) = 7.87

$$t_1 = \frac{\left(45.26 \frac{lb}{in^2}\right)(7.87 in)}{2\left(39000 \frac{lb}{in^2}\right)(0.85) - 45.26 \frac{lb}{in^2}} + 0.0787 in$$

$$t_1 = \mathbf{0.0840 in \approx 2.1336 mm}$$

#### 4.2.3.2 Sección cónica ( $t_2$ ), tapa inferior

El espesor de la envoltura cónica sometida a presión interior, según la norma soviética GOST 14249 – 80, se determina como:

$$t_2 = \frac{pd \cdot d_{int}}{2 \sigma \varphi - pd} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} + c \quad (Ecu.8)$$

Donde:

$P_d$  = Presión de diseño (lb/in<sup>2</sup>) = 45.26 psi

$\sigma$  = Tensión admisible (lb/in<sup>2</sup>) = 39,000 psi

$\varphi$  = Eficiencia de la junta soldadura = 85%

$d_{int}$  = Diámetro interior (in) = 7.87

$t_2$ = Espesor de la pared (in)

$\alpha$ = Mitad del ángulo en el vértice =  $45^\circ$

$$t_2 = \frac{\left(45.26 \frac{lb}{in^2}\right)(7.87 in)}{2(39000)(0.85) - 45.26 \frac{lb}{in^2}} \cdot \frac{1}{\cos 45} + 0.0787 in$$

$$t_2 = \mathbf{0.0863 in \approx 2.19202 mm}$$

#### 4.2.3.3 Sección plana ( $t_3$ ), tapa plana

La parte plana de la tapa superior, según el manual de recipientes a presión, Diseño y cálculo de Eugene F. Megyesy, se determina por:

$$t_3 = \frac{pd \cdot R}{SE - 0.6pd} + c \quad (Ecu.9)$$

Donde:

$P_d$ = Presión de diseño ( $lb/in^2$ ) = 45.26 psi

$S$ = Valor de esfuerzo del material ( $lb/in^2$ ) = 39,000 psi

$E$ = Eficiencia de la junta de soldadura = 85%

$R_{int}$ = Radio interior (in) = 3.94

$t_3$ = Espesor de la pared (in)

$$t_3 = \frac{\left(45.26 \frac{lb}{in^2}\right)(3.94 in)}{\left(39000 \frac{lb}{in^2}\right)(0.85) - (0.6)\left(45.26 \frac{lb}{in^2}\right)} + 0.0787 in$$

$$t_3 = \mathbf{0.0840 in \approx 2.1336 mm}$$

#### 4.2.4 Cálculo del espesor de la placa por presión externa

De la misma manera que el cálculo de la placa por presión externa del reactor de biodiesel, se aplica los mismos principios al cálculo del espesor de la placa por presión externa en este caso del recipiente de metóxido. Bajo las consideraciones del cálculo según manual de recipientes a presión, el cual designa que los recipientes deben fabricarse para trabajar sujetos a una presión externa de 15 lb/in<sup>2</sup> o menores (presión atmosférica 14.7 psi).

$$P = \text{presión externa (lb/in}^2\text{)} = 14.7 \text{ psi}$$

##### 4.2.4.1 Sección cilíndrica (t<sub>s</sub>), cuerpo del reactor metóxido

La sección cilíndrica del reactor se calcula de la siguiente forma:

$$D_o = d_{int} + 2t_s \quad (\text{Ecu. 10})$$

Donde:

$$D_o = \text{Diámetro exterior (in)}$$

$$d_{int} = \text{Diámetro interno (in)} = 7.87$$

$$t_s = \text{Espesor de la pared (in)} = 0.0840$$

$$D_o = 7.87 \text{ in} + 2(0.0840 \text{ in})$$

$$D_o = 8.038 \text{ in}$$

$$\frac{D_o}{t_s} = \frac{8.038 \text{ in}}{0.0840 \text{ in}}$$

$$\frac{D_o}{t_s} = \mathbf{95.70}$$

$$L = \text{Altura del depósito (in)} = 12.54 \text{ in}$$

$$\frac{L}{D_o} = \frac{12.54 \text{ in}}{8.038 \text{ in}}$$

$$\frac{L}{D_o} = \mathbf{1.56}$$

Con  $\frac{D_o}{t_s}$  y  $\frac{L}{D_o}$  se encuentran los valores de A y B (ver grafica anexo 1 y 2). Libro Manual de Recipientes a presión, Diseño y cálculo de Eugene F. Megyesy, donde:

A= factor determinado

$$A= 0.00019$$

B= factor determinado

$$B= 8100$$

Para determinar la presión máxima de trabajo permisible (Pa) se utiliza la ecuación:

$$Pa= \frac{4B}{3(D_o/t_s)} \quad (Ecu.11)$$

$$Pa= \frac{(4)(8100)}{(3)(95.70)}$$

$$Pa= 112.85\text{lb/in}^2$$

$P_a > P$ , es satisfactorio, no requiere de anillos atiesadores.

#### 4.2.4.2 Sección cónica ( $t_s$ ), tapa inferior

Esta sección se calcula por:

$$D_L= d_{int1} + 2t_s \quad (Ecu.10)$$

$$t_s= 0.0863 \text{ in}$$

Donde:

$t_s$ = Espesor de la pared (in)

$D_L$ = Diámetro exterior en el extremo grande (in)

$d_{int1}$ = Diámetro interior en el extremo grande (in) = 7.87

$$D_L= 7.87 \text{ in} + (2) (0.0863 \text{ in})$$

$$D_L= 8.0426 \text{ in}$$

El diámetro exterior en el extremo pequeño se calcula por:

$$D_S = d_{int2} + 2t_s$$

Donde:

$D_S$  = Diámetro exterior en el extremo pequeño (in)

$d_{int2}$  = Diámetro interior en el extremo pequeño (in) = 1

$$D_S = 1 + (2)(0.0863)$$

$$D_S = \mathbf{1.1726 \text{ in}}$$

El espesor efectivo se calcula con la ecuación:

$$t_e = t_s \cos \alpha \quad (\text{Ecu. 12})$$

Donde:

$t_e$  = Espesor efectivo (in)

$t_s$  = Espesor de la pared en pulgadas (in) = 0.0863

$\alpha$  = La mitad del ángulo en el vértice ( $^\circ$ ) = 45

$p$  = Presión externa (lb/in<sup>2</sup>) = 14.7

$$t_e = (0.0863 \text{ in}) \cos 45^\circ$$

$$t_e = \mathbf{0.0610 \text{ in}}$$

La longitud equivalente de la sección cónica se obtiene mediante la ecuación 13:

$L_e$  = Longitud equivalente de la sección cónica

$$L_e = \left(\frac{L}{2}\right)\left(1 + \frac{D_S}{D_l}\right) \quad (\text{Ecu. 13})$$

$L$  = Altura del cono (in) = 3.94in

$$L_e = \left(\frac{3.94 \text{ in}}{2}\right)\left(1 + \frac{1.17647 \text{ in}}{8.0426 \text{ in}}\right)$$

$$L_e = 2.2581 \text{ in}$$

$$\frac{L_e}{D_L} = \frac{2.2581 \text{ in}}{8.0426 \text{ in}} = 0.2807$$

$$\frac{D_L}{t_e} = \frac{8.0426 \text{ in}}{0.0610 \text{ in}} = 131.85$$

Con  $L_e/D_L$  y  $D_L/t_e$  se encuentran los valores de A y B (ver grafica anexo 1 y 2).  
Manual de Recipientes a presión, donde:

$$A = 0.00135$$

$$B = 10500$$

La presión máxima de trabajo se determina por la ecuación:

$P_a$  = presión máxima de trabajo permisible

$$P_a = \frac{4B}{3(D_L/t_e)} \quad (\text{Ecu. 11})$$

$$P_a = \frac{(4)(10500)}{3(131.85)}$$

$$P_a = 106.18 \text{ lb/in}^2$$

$P_a > p$  es satisfactorio.

Tomado del libro Manual de Recipientes a Presión, p.38 y 39

El espesor de la placa de acero inoxidable 316L es de 0.0863 in equivalente a 2.19 mm. Espesor estandarizado 1/8 in.

#### 4.2.5 Selección del conjunto agitador-motor para el reactor metóxido

El agitador seleccionado para el reactor del metóxido es el de palas planas inclinadas, y sus dimensiones estandarizadas según la norma DIN 28131 son las siguientes:

$d_1 = 204.8$  mm, diámetro exterior.

$h_1 =$  Altura del líquido.

$d_2 =$  Diámetro exterior del agitador.

$h_3 =$  Ancho del agitador.

$\alpha =$  Angulo de las palas planas.

$\delta_1 =$  Ancho de las placas deflectoras.

$\delta_2 =$  Distancia entre la pared del tanque y la placa deflectora.

$$\frac{h_1}{d_1} = 1$$

$$h_1 = d_1 = 204.8 \text{ mm}$$

$$\frac{d_2}{d_1} = 0.337$$

$$d_2 = 69 \text{ mm}$$

$$\frac{h_2}{d_1} = 0.17 \div 0.3$$

$$h_2 = 116.05 \text{ mm}$$

$$\frac{h_3}{d_2} = 0.177$$

$$h_3 = 12.21 \text{ mm}$$

$$\alpha = 45^{\circ}$$

$$\frac{\delta_1}{d_1} = 0.1$$

$$\delta_1 = 20.48 \text{ mm}$$

$$\frac{\delta_2}{d_1} = 0.02$$

$$\delta_2 = 4.096 \text{ mm}$$

Para una mejor mezcla entre el metanol y el hidróxido de sodio (NaOH), se utilizarán cuatro placas deflectoras en el recipiente de metóxido.

#### ✓ **Potencia teórica del motor eléctrico**

La potencia del motor que se requiere para producir metóxido con la reacción química entre el metanol y el hidróxido de sodio (NaOH), se emplean los siguientes datos:

$\rho$  = Densidad del metanol ( $\text{kg/m}^3$ ) = 944

$\mu$  = Viscosidad dinámica del metanol =  $27 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$  a  $20^{\circ}\text{C}$

$d_{ag}$  = Diámetro del agitador = 69.01 mm

Frecuencia de rotación (rpm) = 200 rpm = 3.33 rps

$R_{ec}$  = Régimen de agitación

El régimen de agitación se determina por la siguiente fórmula:

$$R_{ec} = \frac{\rho * n * d_{ag}^2}{\mu} \quad (\text{Ecu.2})$$

Donde:

$\rho$  = Densidad (kg/m<sup>3</sup>).

$n$  = Frecuencia de rotación (rps).

$d_{ag}$  = Diámetro del agitador (m).

$\mu$  = Viscosidad dinámica (Pa.s).

$$R_{ec} = \frac{(944 \text{ kg/m}^3)(3.33 \text{ rps})(0.069 \text{ m})^2}{27 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}}$$

$$R_{ec} = 554.30 \text{ (Flujo laminar } R_e \leq 2000)$$

A partir de la gráfica (*ver anexo 4*) calculamos  $N_p$

$$N_p = 3$$

La potencia teórica se calcula por la siguiente ecuación:

$$P = N_p \rho n^3 d^5 \quad (\text{Ecu.3})$$

Donde:

$N_p$  = Número de Potencia.

$\rho$  = Densidad (kg/m<sup>3</sup>).

$n$  = Frecuencia de rotación (rps).

$d_{ag}$  = Diámetro del agitador (m).

$$P = N_p \rho n^3 d^5$$

$$P = (3)(944)(3.33)^3(0.069)^5 = \mathbf{0.1635 \text{ watt} \cong 0.000219 \text{ Hp}}$$

En el caso del recipiente del metóxido se selecciona un conjunto motor-agitador, el cual optimiza el procedimiento de cálculo pero aumenta su eficiencia con respecto a las variables proyectadas en la fase experimental, tales variables son: completa disolución del catalizador en perlas (NaOH en perlas) con respecto al metanol, y la velocidad de agitación del mismo.

El conjunto motor-agitador distribuido por FluixMix serie VTS4, cumple con las variables de velocidad de agitación, potencia, capacidad de volumen de agitación ( $0.01 \text{ m}^3$ ) y dimensiones generales, las cuales estará sometido el recipiente metóxido. (ver anexo 9).

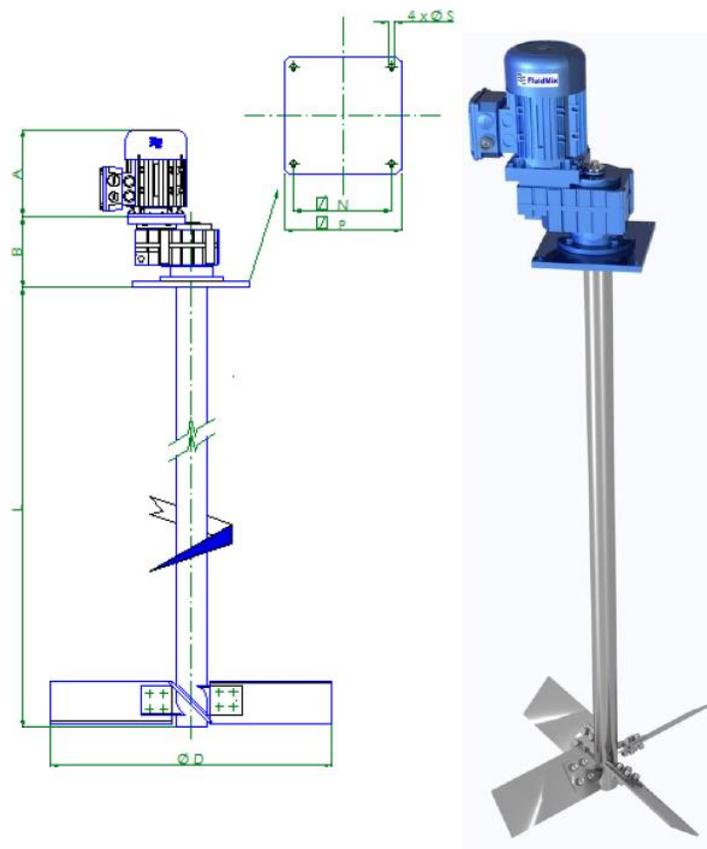


Figura 28. Conjunto motor-agitador

## CAPÍTULO 5. SOLDADURA

En este capítulo se dará a conocer la memoria de cálculo de soldadura de la estructura que soporta al recipiente de metóxido y al reactor principal, así como los cálculos de soldadura del acero inoxidable 316L, un acero al cromo níquel, de características metalográficas austeníticas.

Antes de hacer referencia a la soldabilidad de este acero, conviene tener en cuenta algunas propiedades que poseen los aceros inoxidables austeníticos. Estos aceros tienen un elevado coeficiente de expansión térmica y una baja conductividad térmica respecto a los aceros ferríticos, con los que se producen al soldarlos mayor tensión residual, mayor acumulación de calor en las zonas soldadas y mayor deformación de las piezas. Tomando en cuenta estas propiedades se puede decir lo siguiente:

### ✓ **Problemas al soldar estos aceros inoxidables**

1. Aparición de fases intermetálicas frágiles desarrolladas a partir de la fase ferrita.
2. Aparición de precipitados de carburos que pueden dar problemas de pérdida de resistencia a corrosión.
3. Aparición de segregaciones en el centro de los cordones de soldadura, que pueden dar lugar a fisuraciones en caliente.
4. Excesiva acumulación de calor en las zonas soldadas, lo que aumenta las posibilidades de la aparición de los defectos anteriores.

### ✓ **Soluciones técnicas de soldabilidad**

1. Controlar la cantidad de calor durante la soldadura y la temperatura de servicio del material, de modo a que no esté expuesto durante periodos de tiempo a temperaturas de fragilización (500 a 950°C).
2. Controlar la cantidad de carbono, especialmente del material base que se escoja en función de su espesor.
3. Soldar sin precalentar el acero, con cordones estrechos limitando la acumulación de calor en la zona de influencia térmica (ZIT).

## 5.1 SELECCIÓN DEL ELECTRODO PARA LA SOLDADURA EN ACERO INOXIDABLE

Como antes mencionado, los recipientes sometidos a presión, tanto como el reactor metóxido y el reactor principal de biodiesel, dan lugar a la reacción de transesterificación, ambos serán fabricados de acero inoxidable 316L seleccionado debido a su composición química y su aplicación en la industria química.

Para la soldabilidad de los reactores que son de acero inoxidable 316L según el Manual de aceros inoxidables INDURA, con soldadura por arco manual eléctrico, recomienda el electrodo INDURA 316L (AWS: E 316L-16), un arco suave y estable, depósito de excelente apariencia que se ajusta a las exigencias de trabajo, con escoria que se desprende fácilmente. El electrodo E 316L-16 (ver *anexo 10*), ha sido diseñado para aceros austeníticos con un contenido extra bajo de carbono (máximo de 0.04 %).

A continuación se detallará algunas características del electrodo E 316L-16:

**Aplicaciones típicas:** Aceros 316, 316L, 317,317L, 316Ti y 318.

**Posiciones de soldadura:** P, H, V, SC.

**Tipo de corriente:** CCEP, CA.

C	Si	S	Ni	Mn	P	Cr	Mo
0.02 %	0.77%	0.009%	11.7 %	0.63 %	0.022%	18.5 %	2.7 %

Tabla 14. Composición química del E-316L-16

**Propiedades mecánicas:** Resistencia a la tracción 580 Mpa, Elongación (en 50 mm) 48%



Figura 29. Electrodo E-316L-16

### 5.1.1 Selección del electrodo para la estructura

El diseño de la estructura corresponde al uso de angulares de acero laminado, el cual es el acero que sale del alto horno de colada de la siderurgia, es la técnica de tratamiento del mineral de hierro, posteriormente es convertido en acero bruto para las múltiples utilizaciones en la industria.

La estructura soportará las cargas de los dos reactores (reactor del metóxido y reactor principal de biodiesel). Según la ASTM- A36 (American Society for Testing and Material Standard), norma que corresponde a los ángulos estructurales, recomienda un electrodo con similar composición química del material base. La figura muestra la composición química del material de la estructura según la norma indicada (ASTM- A36).

Designación ASTM	Grade	Espesor (mm)	C (Máx)	Mn	P (Max)	S (Max)	Si
A 36 / A 36 M - 94	-	< 20	0.25	-	0.04	0.05	0.40 (max)
	-	20 - 40	0.24	0.80 - 1.20	0.04	0.05	0.40 (Max)
	-	40 - 65	0.26	0.80 - 1.20	0.04	0.05	0.15 - 0.40
	-	65 - 100	0.27	0.85 - 1.20	0.04	0.05	0.15 - 0.40
A 283 / A 283 M - 93	C	< 40	0.24	0.90 (Max)	0.035	0.04	0.40 (Max)
	C	>40	0.24	0.90 (Max)	0.034	0.04	0.15 - 0.40
A 529 / A 529M - 94	50		0.27	1.35 (Max)	0.040	0.05	0.40 (Max)
A 573 / A 573M - 93	70	<13	0.27	0.85 - 1.20	0.035	0.04	0.15 - 0.40
	0	13 - 40	0.28	0.85 - 1.20	0.035	0.04	0.15 - 0.40

Figura 30. Composición química según A-36

De acuerdo a esta composición los electrodos que son compatibles o que poseen los mismos componentes químicos con el acero A36 son E 6010, E 6011, E 6013, E 7018, E 7024. Además, tenemos que elegir el electrodo más adecuado para trabajar en todas las posiciones que se puedan presentar y esos electrodos son: E 6010, E 6011, E 6013, E 7018.

El electrodo seleccionado es, **E 6013** con C=0.11%, Mn=0.47%, Si=0.24%, P=0.015%, S=0.018% (ver tabla anexo 23), es un electrodo celulósico de penetración profunda en todas las posiciones, se usa en trabajos estructurales, reparaciones y uniones de tubería.

## 5.2 ESTUDIO METALGRÁFICO DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS

El acero inoxidable 316L es un acero de estructura austenítica (centrada en las caras), son amagnéticos, excelente propiedades de tenacidad, ductilidad, resistencia a la corrosión y buena propiedades de soldadura por fusión. No se endurecen por tratamiento térmico (temple), umbral de fragilidad en frío es baja.

Contiene elementos básicos como el C, Cr, Ni, Mo, y elementos complementarios como Mn, Si, Ti, Nb, Cu, N, W, B.

Haciendo mención entre estos aspectos metalúrgicos para la soldadura de los aceros austeníticos, dan lugar a limitaciones de soldabilidad ya antes mencionadas.

Dentro de los factores que inciden con mayor frecuencia en las propiedades de soldabilidad de los aceros inoxidables austeníticos, son:

- a) Propiedades físicas
- b) Agrietamiento en caliente
- c) Precipitación de carburos
- d) Formación de fase sigma

### 5.2.1 Propiedades físicas

Dentro de las propiedades físicas que influyen de forma más directa en las condiciones de soldadura de los aceros austeníticos, está su elevado coeficiente de dilatación, siendo un 50% mayor que el de los aceros de baja aleación. Este efecto de la dilatación puede provocar dilatación del metal durante la soldadura, dando lugar a un grado de deformación que al enfriarse la junta, provoca una contracción considerable y como resultado estados tensionales elevados.

### 5.2.2 Agrietamiento en caliente

Para analizar las causas del agrietamiento en caliente de los aceros austeníticos, es importante valorar un equilibrio del Cr-Ni de estos. Esto va en correspondencia a la solubilidad de sus elementos de aleación en ferrita y austenita. Lo que conlleva a una conclusión que el metal solidificado puramente austenítico, donde el porcentaje del níquel es sumamente elevado, las impurezas crean en los límites de grano una película de bajo punto de fusión (silicatos, sulfuros, etc), que provocan el agrietamiento en caliente, pues la cohesión intergranular se reduce notablemente provocando grietas por los límites de grano.

$$HCS = \frac{C \left( S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100} \right) \cdot 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V} \quad (Ecu.24)$$

Donde:

C, S, P, Ni, Si, Mn, Cr, Mo, V = Porcentaje de cada elemento en el metal de aporte.  
En nuestro caso electrodo E 316L-16 (ver tabla anexo 10).

HCS = Agrietamiento en caliente

$$HCS = \frac{2.02\% \left( 0.009\% + 0.022\% + \frac{0.77\%}{25} + \frac{11.7\%}{100} \right) \cdot 10^3}{18.5\% + 2.70\%}$$

$$HCS = \mathbf{0.16}$$

El valor de HCS es menor de 4, las posibilidades de agrietamiento en caliente son bajas, (no hay agrietamiento en caliente) Manuel Rodríguez, Recuperación de piezas, (p.26).

Los fabricantes de aceros inoxidable austeníticos, tienen como objetivo lograr un acero puramente austenítico (mayor de 98%). Sin embargo para evitar la formación de agrietamiento en caliente se pretende contener determinadas cantidades de ferrita. Según el por ciento de elementos de aleación en la zona fundida, se forman diferentes fases durante la solidificación primaria y a la vez las transformaciones al estado sólido.

Para valorar las diferentes transformaciones y la estructura obtenida a temperatura ambiente se puede partir del cálculo del cromo (Cr) y níquel (Ni) equivalente y posterior determinar el número de ferrita (FN).

Cromo equivalente (favorece la existencia de la fase ferrítica a temperatura ambiente):

$$Cr_{eq} = Cr + Mo + 0.7Nb \quad (Ecu.25)$$

Níquel equivalente (favorece la existencia de la fase austenítica a temperatura ambiente):

$$Ni_{eq} = Ni + 35C + 20N + 0.25Cu \quad (Ecu.26)$$

Tomado del libro Manuel Rodríguez, Recuperación de piezas, (p.36).

El porcentaje de los elementos de aleación empleados para el cálculo del cromo y níquel equivalente en el metal de la costura, se obtiene según la composición del metal base, metal de aporte y coeficiente de disolución (D).

$$\%E_{mc} = \%E_{mb}.D + (1 - D)\%E_{ma} \quad (Ecu.27)$$

Donde:

$\%E_{mc}$  = Es el porcentaje del elemento en el metal de la costura.

$\%E_{mb}$  = Por ciento del elemento en el metal base.

$\%E_{ma}$  = Por ciento del elemento en el metal de aporte.

D = Coeficiente de disolución, SMAW (D = 0.25 – 0.40).

✓ **Cromo equivalente según metal base y metal de aporte**

$$\%E_{mc} = \%E_{mb}.D + (1 - D)\%E_{ma} \quad (Ecu.27)$$

$$\%E_{mc} = (17\%)(0.30) + (1 - 0.30)18.5\%$$

$$\%E_{mc} = \mathbf{18.05}$$

✓ **Níquel equivalente según metal base y metal de aporte**

$$\%E_{mc} = \%E_{mb}.D + (1 - D)\%E_{ma} \quad (Ecu.27)$$

$$\%E_{mc} = (14\%)(0.30) + (1 - 0.30)11.7\%$$

$$\%E_{mc} = \mathbf{12.39}$$

✓ **Molibdeno equivalente según metal base y metal de aporte**

$$\%E_{mc} = \%E_{mb}.D + (1 - D)\%E_{ma} \quad (Ecu.27)$$

$$\%E_{mc} = (0\%)(0.30) + (1 - 0.30)2.70\%$$

$$\%E_{mc} = \mathbf{1.89}$$

✓ **Carbón equivalente según metal base y metal de aporte**

$$\%E_{mc} = \%E_{mb}.D + (1 - D)\%E_{ma} \quad (Ecu.27)$$

$$\%E_{mc} = (0.03\%)(0.30) + (1 - 0.30)0.02\%$$

$$\%E_{mc} = \mathbf{0.023}$$

Los siguientes valores equivalentes de cada elemento que contiene tanto el metal de aporte y el metal de base, serán sustituidos en la ecuación para el cálculo del cromo y níquel equivalente para el metal de la costura.

Cromo equivalente:

$$Cr_{eq} = Cr + Mo + 0.7Nb \quad (Ecu.25)$$

$$Cr_{eq} = 18.05\% + 1.89\%$$

$$Cr_{eq} = \mathbf{20.39\%}$$

Níquel equivalente:

$$Ni_{eq} = Ni + 35C + 20N + 0.25Cu \quad (Ecu.26)$$

$$Ni_{eq} = 12.39\% + 35(0.023\%)$$

$$Ni_{eq} = \mathbf{13.195\%}$$

Ambos valores son proyectados en la gráfica del cromo y níquel equivalente de la costura (*ver gráfica anexo 11*), para obtener el número de ferrita (FN). Según la gráfica Manuel Rodríguez, Recuperación de piezas (p.36), el número de ferrita interceptando los valores es igual a 6.

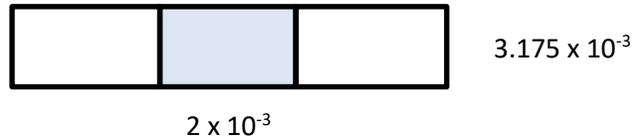
$$FN = \mathbf{6}$$

Este número está relacionado con las condiciones de servicio de la estructura correspondiente a la unión soldada. El rango de ferrita más recomendada es de 3 a 15 FN. Según Manuel Rodríguez, Recuperación de piezas, si se alcanza el número máximo de ferrita propuesto (FN), puede resultar en fragilización por la fase sigma, pérdida de tenacidad o ductilidad. En nuestro caso el número de ferrita (FN), no sobre pasa tal valor propuesto.

### 5.3 CÁLCULO DE LA SOLDADURA DE LOS REACTORES

Se mostrarán los cálculos de soldadura de los reactores, el cálculo de sus volúmenes con respecto al tipo de junta empleado para cada componente.

El espesor de la lámina de acero inoxidable es de 1/8 in estandarizado,  $3.175 \times 10^{-3}$  en metros y una separación entre 3 a 6 mm para la soldadura de topes de bordes rectos. La separación designada será de  $2 \times 10^{-3} m$  (ver tabla anexo 12).



Entonces el área sombreada de soldadura se calcula con la expresión del espesor por la separación designada de  $2 \times 10^{-3} m$ .

$$A = (2 \times 10^{-3} m)(3.175 \times 10^{-3} m) = 6.35 \times 10^{-06} m^2$$

$$A = \mathbf{6.35 \times 10^{-06} m^2}$$

Para determinar la cantidad de soldadura a emplear es necesario calcular el volumen de soldadura de las partes a unir.

En el cálculo de algunos elementos del reactor de biodiesel y reactor metóxido las áreas a soldar varían de acuerdo al tipo de junta establecida. Tales casos como: palas planas inclinadas y los deflectores, con un tipo de junta en filete y sus áreas designadas en la tabla siguiente.

Las siguientes tablas 14 y 15 muestran los cálculos de volúmenes de soldadura con respecto al tipo de junta. La tabla 14 los volúmenes del recipiente principal de biodiesel y la tabla 15 los volúmenes del recipiente de metóxido respectivamente.

Designación de componentes del reactor de biodiesel	Formulas a emplear	Datos (m , m <sup>2</sup> )	Volumen de soldadura(m <sup>3</sup> )
1- Cuerpo Del Cilindro	$A = BxH ; V = AxL$	$B = 2x10^{-3}$ $H = 3.175x10^{-3}$ $L = 0.59$	$V_1 = 3.746x10^{-06}$
2- Tapa Superior(Tapa Plana)	$P = \pi xD ; V = AxP$	$D = 0.36$	$V_2 = 7.175x10^{-06}$
3- Tapa Inferior (Tapa Cónica)	$P = \pi xD ; V = AxP$	$D = 0.36$	$V_3 = 7.175x10^{-06}$
4 –Cono	$A = BxH ; V = AxL$	$L = 0.269$	$V_4 = 1.70x10^{-06}$
5- Palas Planas Inclınadas Del Reactor De Biodiesel (8 lados a soldar)	$P = \pi xD ; A = \frac{BxH}{2} ; V = AxH$	$A = 3.175x10^{-6}$ $L = 0.0216$	$V_{unitario} = 6.858x10^{-08}$ $V_{5(total)} = 1.097x10^{-06}$
6- Deflectores(8 lados a soldar)	$A = \frac{BxH}{2} ; V = AxH$	$A = 3.175x10^{-6}$ $L = 0.036$	$V_{unitario} = 1.143x10^{-07}$ $V_{6(total)} = 1.8288x10^{-06}$

7- Soporte Del Motor (Anclaje)	$A = \frac{B \times H}{2} ; V = A \times L$	$L = 0.254$	$V_{unitario}$ $= 8.0645 \times 10^{-07}$ $V_{7(total)}$ $= 122.4 \times 10^{-06}$
--------------------------------	---	-------------	---

**Tabla 15. Volumen soldadura del reactor biodiesel**

Designación de componentes del recipiente de metóxido	Formulas a emplear	Datos ( $m, m^2$ )	Volumen de soldadura ( $m^3$ )
8- Cuerpo Del Cilindro	$A = BxH ; V = AxL$	$B = 2x10^{-3}$ $H = 3.175x10^{-3}$ $L = 0.318$	$V_8 = 2.01x10^{-06}$
9- Tapa Superior(Tapa Plana)	$P = \pi xD ; V = AxP$	$D = 0.2$	$V_9 = 3.929x10^{-06}$
10- Tapa Inferior (Tapa Cónica)	$P = \pi xD ; V = AxP$	$D = 0.2$	$V_{10} = 3.929x10^{-06}$
11 –Cono	$A = BxH ; V = AxL$	$L = 0.141$	$V_{11} = 0.897x10^{-06}$
12- Deflectores(8 lados a soldar)	$A = \frac{BxH}{2} ; V = AxH$	$A = 3.175x10^{-6}$ $L = 0.020$	$V_{unitario} = 6.35x10^{-08}$ $V_{12(total)} = 1.016x10^{-06}$

Tabla 16. Volumen de soldadura del metóxido

### 5.3.1 Masa de soldadura requerida para los reactores

La masa se obtiene multiplicando el volumen por la densidad del material. En este caso sería el volumen total de soldadura de los recipientes y la densidad del material acero inoxidable 316L.

$$m_{\text{soldadura}} = V_{\text{soldadura}} * \rho_{\text{material}} \quad (\text{Ecu.28})$$

Donde:

$$V_{\text{soldadura}} = \text{Volumen de soldadura total de los recipientes}$$

$$\rho_{\text{material}} = \text{Densidad del material (acero inoxidable 316L} = 7980 \text{ kg/m}^3)$$

Para realizar el cálculo del volumen total de soldadura de los recipientes solo se suman los volúmenes mostradas en la tabla 15 y 16 respectivamente.

$$V_{\text{soldadura}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_{5(\text{total})} + V_{6(\text{total})} + V_{7(\text{total})} + V_8 + V_9 + V_{10} \\ + V_{11} + V_{12(\text{total})}$$

$$V_{\text{soldadura}} = (3.746 \times 10^{-06} + 7.175 \times 10^{-06} + 7.175 \times 10^{-06} + 1.70 \times 10^{-06} \\ + 1.097 \times 10^{-06} + 1.8288 \times 10^{-06} + 122.4 \times 10^{-06} + 2.01 \times 10^{-06} \\ + 3.929 \times 10^{-06} + 3.929 \times 10^{-06} + 0.897 \times 10^{-06} \\ + 1.016 \times 10^{-06}) \text{ m}^3$$

$$V_{\text{soldadura}} = 1.569 \times 10^{-04} \text{ m}^3$$

La masa de soldadura para ambos reactores se calcula de la siguiente forma:

$$m_{\text{soldadura}} = (1.569 \times 10^{-04} \text{ m}^3) (7980 \text{ kg/m}^3) = 1.25 \text{ kg}$$

$$m_{\text{soldadura}} = 1.25 \text{ kg}$$

Para calcular el volumen de aportación de cada electrodo se multiplica el área del electrodo por la longitud del mismo. Donde el diámetro del electrodo es de 0.0032 m y la longitud es de 0.35 m.

$$V = \frac{\pi}{4} x D^2 x L \quad (Ecu.29)$$

$$V = \frac{\pi}{4} x (0.0032 \text{ m})^2 (0.35 \text{ m})$$

$$V = \mathbf{2.814x10^{-06} m^3}$$

El electrodo no puede ser utilizado en su totalidad por lo que es necesario multiplicar el volumen de aportación del electrodo por un factor de eficiencia para obtener el volumen utilizado del electrodo ( $V_u$ ). Se utiliza la eficiencia del electrodo de 85%.

$$V_u = (2.814x10^{-06} m^3)(0.85)$$

$$V_u = \mathbf{2.392x10^{-06} m^3}$$

Según ficha técnica de INDURA el electrodo AWS E-316L-16 (*ver tabla anexo 10*), por cada kilogramo de masa de soldadura aproximadamente, se estima 31 electrodos. La masa de soldadura para ambos reactores es igual a 1.25 kg, lo que se estima un aproximado de 39 electrodos para cubrir las áreas a soldar de ambos reactores.

$$\text{Numero de electrodos (Q)} = \mathbf{39}$$

## 5.4 CÁLCULO DE SOLDADURA PARA LA ESTRUCTURA

La estructura es la encargada de soportar el peso total del reactor de biodiesel y del reactor de metóxido. El electrodo seleccionado según la norma ASTM- A36, corresponde a un electrodo E-6013 debido a su composición química y su aplicación.

La estructura seleccionada son ángulos (angulares) de lados iguales L 60mm x 60mm x 10mm (*ver tabla anexo 13*), el cual se establecerán los cálculos para considerar si la estructura es capaz de soportar la carga distribuida del peso de ambos reactores.

### 5.4.1 Cálculo del peso del reactor de biodiesel y metóxido

El reactor de biodiesel es un conjunto comprendido entre la tapa superior o tapa plana, cuerpo del reactor o cilindro, tapa superior o tapa cónica, además del motor que acciona las revoluciones de trabajo. Bajo las mismas consideraciones el reactor metóxido. Estos componentes accionan una carga la cual soportará la estructura. En las tablas siguientes se mostrarán los pesos de cada componente para ambos reactores.

<b>Pesos del reactor de biodiesel</b>	
<b>Parte metálica</b>	
Parte cilíndrica	118.619 N
Tapa plana	18.62 N
Fondo cónico	0.1954 N
Peso del motor	169.25 N
Peso del tapón de llenado	0.146 N
<b>Peso total del equipo parte metálica</b>	<b>307.34 N</b>
<b>Peso del líquido que contiene el equipo</b>	
Peso de la parte cilíndrica	542 N
Fondo cónico	45.57 N
<b>Peso total conteniendo líquido</b>	<b>587.57 N</b>
<b>Total de todos los pesos</b>	<b>894.91 N</b>

Tabla 17. Peso del reactor de biodiesel

<b>Pesos de la parte del metóxido</b>	
<b>Parte metálica</b>	
Parte cilíndrica	34.80 N
Tapa plana	5.38 N
Fondo cónico	0.125 N
Peso del motor con agitador acoplado	441 N
Peso del tapón de llenado	0.38 N
<b>Peso total del equipo parte metálica</b>	<b>481 N</b>
<b>Peso del líquido que contiene el equipo</b>	
Peso de la parte cilíndrica	96.25 N
Fondo cónico	11.17 N
<b>Peso total que contiene el equipo en líquido</b>	<b>108.02 N</b>
<b>Total de todos los pesos</b>	<b>589.7 N</b>

**Tabla 18. Peso del reactor metóxido**

El peso total que soportará la estructura es la suma de los pesos del reactor de biodiesel y reactor metóxido.

$$W_T = 894.91 \text{ N} + 589.7 \text{ N} = \mathbf{1,484.61 \text{ N}}$$

Este peso tiene que ser calculado para el análisis de resistencia del material de los angulares seleccionados.

✓ **Calculo del esfuerzo:**

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{Ecu.23})$$

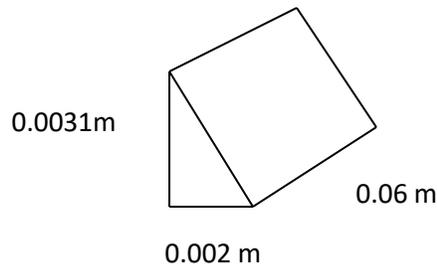
$$\sigma = \frac{1,484.61 \text{ N}}{0.001110 \text{ m}^2} = 1.337 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \mathbf{1.337 \text{ MPa}}$$

Los 1.337 MPa es el esfuerzo que se aplica a un angular, pero esta fuerza se distribuirá en 4 angulares, por tanto, la fuerza que soporta es aún menor y comparándolo con las propiedades, su resistencia última de tensión es de 510 Mpa, por tanto, la estructura soporta las cargas a las que estará sometida.

#### 5.4.2 Volumen total de soldadura para la estructura

La soldadura de la estructura será un tipo de junta en T, debido a la sección transversal de los angulares. El cálculo de la soldadura en la construcción de la estructura es la siguiente:



$$A = \frac{1}{2} bh \quad (\text{Ecu.30})$$

$$A = \frac{1}{2} (0.002 \text{ m})(0.0031 \text{ m}) = 3.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$V_1 = A \times L \quad (\text{Ecu.31})$$

$$V_1 = 3.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \times 0.06 \text{ m}$$

$$V_1 = 1.86 \times 10^{-7} \text{ m}^3, \text{ Volumen de soldadura de la estructura en cada cordón}$$

$$V_1 = \mathbf{1.86 \times 10^{-7} \text{ m}^3}$$

$$V_2 = 1.86 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \times 8 \text{ nodos} \times 8 \text{ cordones} / \text{nodos} = 1.19 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$V_3 = 1.86 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{cordones} \times 4 \text{ bases} \times 8 \text{ cordones} / \text{bases} = 5.952 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

✓ **Total volumen de soldadura para la estructura**

$$V_T = V_2 + V_3 = 1.19 \times 10^{-5} \text{ m}^3 + 5.952 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 1.785 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$V_T = \mathbf{1.785 \times 10^{-5} \text{ m}^3}$$

De acuerdo al número de pasadas, se multiplicará por 2:

$$V_T = 1.785 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \times 2 = 3.57 \times 10^{-5}$$

$$V_T = \mathbf{3.57 \times 10^{-5}}$$

✓ **Masa del cordón de soldadura**

$$m_R = V \times \rho \quad (\text{Ecu.32})$$

Donde:

$$\rho = 7850 \text{ Kg/m}^3$$

$$m_R = (3.57 \times 10^{-5} \text{ m}^3) (7850 \text{ Kg/m}^3) = 0.280 \text{ Kg}$$

$$m_R = \mathbf{0.280 \text{ Kg}}$$

$$A_{\text{electrodo}} = \frac{\pi \phi^2}{4} = \frac{\pi (0.0032 \text{ m})^2}{4} = 8.04 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$V = A \times L \quad (\text{Ecu.31})$$

Donde:

A = Área del electrodo

L = Longitud del electrodo (*ver tabla anexo 10*)

$V = 8.04 \times 10^{-6} \text{m}^2 \times 0.35 \text{m} = 2.81 \times 10^{-6} \text{m}^3$ , volumen de soldadura de aportación por cada electrodo

Si la eficiencia del electrodo es 85%:

$$2.81 \times 10^{-6} \text{m}^3 \times 0.85 \% = 2.38 \times 10^{-6} \text{m}^3$$

$$m_E = V\rho \quad (\text{Ecu.32})$$

$$m_E = 2.38 \times 10^{-6} \text{m}^3 \times 7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 0.018 \text{Kg}$$

$$Q = \frac{m_R}{m_E} \quad (\text{Ecu.33})$$

$$Q = \frac{0.280 \text{Kg}}{0.018 \text{Kg}} = 15.56 \approx 16 \text{ Electrodos}$$

Aplicando un factor de seguridad del 10%

$$16 \times 0.10\% = 1.6 ; 16 + 1.6 = 17.6 \text{ Es decir } 18 \text{ electrodos}$$

Si 1 libra de electrodos aproximan 15 unidades, entonces:

$$(1 \text{ lb}) \left( \frac{18 \text{ electrodos}}{15 \text{ electrodos}} \right) = 1.5 \text{ lb de soldadura}$$

1.5 lb de soldadura, electrodo E-6013, se utilizará para la construcción de la estructura.

## CAPÍTULO 6. SISTEMA ELÉCTRICO Y SISTEMA DE DUCTERÍA

El capítulo detallará el diseño del sistema eléctrico, en el cual contempla los circuitos de mando y de fuerza correspondientes, así como la selección de los componentes del sistema eléctrico los cuales corresponden a elementos de maniobra y elementos de protección del sistema. También se contemplará la selección de la tubería para transportar el metóxido al recipiente principal de biodiesel.

### 6.1 DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

A como hemos hecho mención el sistema eléctrico, se basa en la selección de elementos de mando y de protección del sistema, los cuales poseen circuitos respectivamente. El circuito de fuerza o de potencia es el que está formado por los elementos mediante los cuales la corriente que alimenta a los actuadores (por lo general motores).

El circuito de mando es el que está formado por los elementos mediante los cuales pasa la corriente que gobierna a la bobina del contactor, los contactos normalmente cerrados del relé térmico y el pulsador.

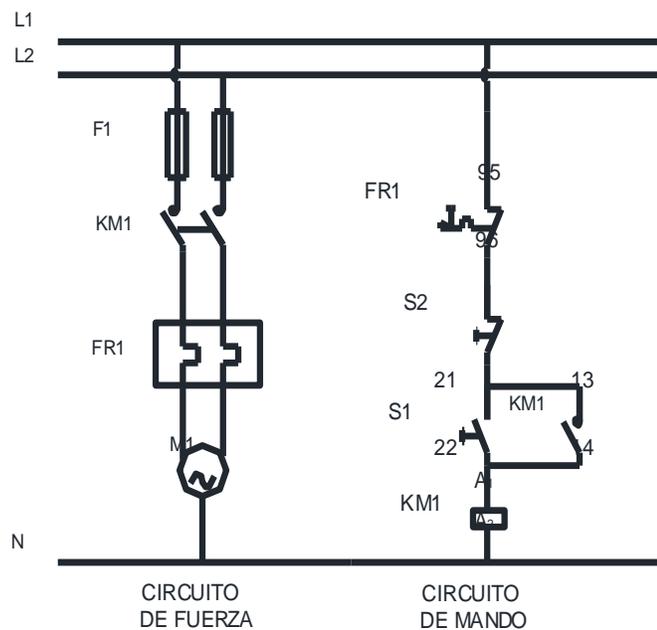


Figura 31. Esquema del circuito

### 6.1.1 Caída de tensión en la instalación

Se le llama caída de voltaje a la diferencia que existe entre el voltaje aplicado al extremo alimentador de una instalación y el obtenido en cualquier otro punto de la misma, cuando está circulando la corriente nominal.

Estimando que la longitud total del conductor es de 25 m, y el centro de carga tiene 3 circuitos (circuito del motor del reactor metoxido, circuito del reactor biodiesel y circuito de la resistencia), y consumen entre los tres 1310 W, están conectada a 240 V y se usa un conductor calibre 12, los cálculos para la caída de tensión de los conductores que alimentan a ese centro de carga son los siguientes:

$$V_P = \frac{(2 \text{ veces el largo del conductor } \times \text{ la corriente en amperes})}{(56 \times \text{seccion del conductor})} \text{ (Ecu.34)}$$

Calculando la corriente:

$$I = \frac{1310 \text{ W}}{240 \text{ V}}$$

$$I = 5.46 \text{ A}$$

Entonces la caída de tensión en la instalación será:

$$V_P = \frac{(2 \times 25 \text{ m} \times 5.46 \text{ A})}{(56 \times 12)}$$

$$V_P = 0.40 \text{ V}$$

El valor de la caída de tensión admisible según la CIEN (código de instalaciones eléctricas de Nicaragua), tiene que ser máximo un 3% del valor de la caída de tensión, en nuestra instalación es menor del 1% correspondiente al voltaje de línea. Esto satisface el criterio.

### 6.1.2 Selección del conductor

Este es el elemento que provee la trayectoria de la corriente eléctrica en nuestra instalación. Los calibres de los conductores dan una idea de la sección transversal y se designan usando el sistema norteamericano de calibres (AWG), por medio de un número al cual se hace referencia a sus otras características como son diámetro, área, resistencia. Instalaciones domiciliarias (1999. Unid.5).

La selección del calibre del conductor de la instalación se basa mediante la corriente total de los tres circuitos, con un total de corriente de 5.46 A, seleccionando el calibre 12 AWG, del catálogo IUSA de conductores de sistemas eléctricos (*ver tabla anexo 14*).

### 6.1.3 Selección del contactor

Para la selección del contactor de motor del reactor principal o reactor de biodiesel según las especificaciones técnicas del motor de  $\frac{3}{4}$  HP,  $V_{\text{nominal}} = 110 - 220$ ,  $I_{\text{nominal}} = 12 \text{ A}, 1.33 \text{ A}, 4 \text{ A}$ . Es un contactor tamaño S00, tipo 3RT20 17 con un voltaje de 230 V y una corriente de 12 A (*ver tabla anexo 15*).

En el caso del conjunto motor-agitador del reactor metóxido con 0.25 KW de potencia nominal, el contactor seleccionado es al igual que el contactor para el motor  $\frac{3}{4}$  Hp. Contactor: tamaño S00, tipo 3RT20 17 con un voltaje de 230 V y una corriente de 12 A.

#### ✓ Contactos auxiliares

Para el contactor tamaño S00, tipo 3RT20 17, los contactos auxiliares laterales corresponden a 3RH29 1. Instalados derecha e izquierda. Catálogo SIEMENS AG-2011 (*ver anexo 16*).

### ✓ Relé térmico

Para el motor eléctrico 3/4 HP se selecciona el modelo 3RU11 16 – 1DB0 con una gama de regulación de 2.2 – 3.2 A (*ver tabla anexo 17*).

Para el motor eléctrico 0.25 KW se selecciona el modelo 3RU11 16 – 1AB0 con una gama de regulación de 1.1 – 1.6 A (*ver tabla anexo 17*).

Los rangos de regulación de corriente en ambos relé bimetálicos abarcan los valores de las corrientes de línea y de fase en ambos motores, permitiendo regular la corriente adecuada para que el relé se dispare en circunstancia de cortocircuito o de sobrecarga.

#### 6.1.4 Selección de los pulsadores

El pulsador es un dispositivo el cual se encarga de abrir o cerrar el circuito. En el caso del circuito de mando del reactor principal o reactor de biodiesel que posee un motor  $\frac{3}{4}$  HP con un voltaje de línea de 220, se selecciona un pulsador mantenido no iluminado M22-DR-S color plateado. Y para el circuito del reactor metóxido con el conjunto motor-agitador se selecciona un pulsador M22S-DR-S, pulsado mantenido no iluminado (*ver tabla anexo 18*).

#### 6.1.5 Selección de la resistencia

La resistencia es la encargada de calentar la mezcla de aceite de cocinar quemado y el metóxido a una temperatura no excedente de los 70°C, la cual es la temperatura a la que se garantiza la reacción de transesterificación. Del catálogo ELECTRIFOR la resistencia asignada es: código OV001 con un rango de temperatura de -40°C a 170°C, de material AISI 304L, longitud de 140 mm y rosca de tapón de 1  $\frac{1}{4}$  in (*ver tabla anexo 19*).

### ✓ Selección de la termocupla

Para el control de temperatura del reactor de biodiesel se utilizará la termocupla tipo 2F, versión vaina de protección similar a DIN 43772 versión conificada, con un rango de temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $400^{\circ}\text{C}$ , material de contacto con el fluido AISI 316L, diámetro de la cabeza 60 mm (*ver anexo 20*).

#### 6.1.6 Interruptor termomagnético

También conocido como breaket, un dispositivo diseñado para conectar y desconectar un circuito por medios no automáticos y desconectar el circuito automáticamente para valor predeterminado de sobrecorriente, sin que se dañe así mismo cuando se aplica dentro de sus valores de diseño.

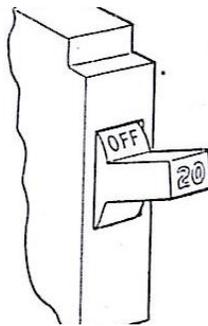


Figura 32. Vista del interruptor

El interruptor seleccionado es de 2 polos, con una capacidad de corriente de 15 A, referencia B215, número de catálogo MX: B215, del catálogo SIEMENS (*ver anexo 21*).

## 6.2 SISTEMA DE DUCTERÍA

Para el transporte del metóxido hacia el reactor principal o reactor de biodiesel es necesario un sistema de tubería, el cual será transportado, aprovechando la fuerza de gravedad. Este sistema consiste en dos fases:

1. Transporte de los fluidos (metóxido, glicerina y biodiesel).
2. Apertura y cierre para regular el transporte de los productos y el metóxido, por medio de dos válvulas, una para cada recipiente.

### 6.2.1 Selección del material

La adecuada selección y especificación de la tubería y accesorios asegura un sistema óptimo en su funcionamiento. Las tuberías PVC adoptaron el criterio de cédula para sus especificaciones de diseño y fabricación. La selección de nuestro diámetro estandarizado es 1 in cédula 40.

Diámetro nominal (Sch 40)		Presión de trabajo	
pulg	mm	psi	Kg/cm <sup>2</sup>
1	25	450	31

Tabla 19. Presión de trabajo tubería PVC 1”

### 6.2.2 Selección de accesorios del sistema

Se seleccionaran los tipos y clases de tubos. El material seleccionado son tubos PVC, ya que estos soportan la temperatura de trabajo como la viscosidad del líquido, así mismo son factible para el transporte de dichos fluidos.

Estos comprenden una temperatura de trabajo entre los -15°C y 60°C, son resistentes y poseen una dureza mecánica bien elevada.

Se ocuparán tubos lisos, un codo de 90 grados, y dos válvulas de cierre de esfera tomadas del catálogo AMANCO, pag.36 y 40 (ver anexo 22).

<b>Elemento</b>	<b>Especificación</b>	<b>Cantidad</b>
Tubo	Tubo extremo liso 1" x 6m cedula 40	1
válvula	Válvula esfera fusión 25 mm	2
Adaptador	Adaptador macho (roscado) cementar 1"	3
codo	Codo 90° cementar 1"	1

**Tabla 20. Elementos del sistema de ductería**

## **DISEÑO METODOLÓGICO**

### **Según el análisis y finalidad de la investigación:**

Es una investigación del tipo Descriptiva, según Rosa Jiménez Paneque (1998), “cuando el problema científico ha alcanzado cierto nivel de claridad pero aún se necesita información para poder llegar a establecer caminos que conduzcan al esclarecimiento de relaciones causales” (p.22).

### **Según el tiempo de ocurrencia y registro de la información:**

Es prospectivo, ya que registra la información según van ocurriendo los hechos.

### **Según el periodo y secuencia del estudio:**

Es de tipo transversal, debido a que se estudiaron las variables de manera simultánea en determinado momento haciendo un corte en el tiempo comprendido entre Agosto 2015- Marzo 2016. Las variables en estudio son:

- ✓ Obtención de Biodiesel
- ✓ Cálculo de Diseño
- ✓ Planos de construcción

### **Según el enfoque de la investigación:**

Este estudio implementa un enfoque cuantitativo, ya que se realizará una combinación de métodos y técnicas, por cuanto los resultados de estos se expresarán de manera numérica.

### **Procesamiento de los datos:**

Los datos recolectados serán procesados a escala correspondiente con el programa AutoCAD con el propósito de elaborar los planos de diseño del reactor y las vistas correspondientes de los componentes del mismo.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la obtención de biodiesel a base de aceite de cocinar quemado (A.C.Q), se llevó a cabo mediante el método experimental, considerando cuatro fases principales antes mencionadas en el capítulo tres correspondiente al estudio, valoración y obtención de biodiesel por medio de la reacción de transesterificación.

Estas cuatro fases del método experimental consiste en la observación de hechos, la creación de hipótesis, la explicación y posterior la experimentación. Para llevar a cabo este proceso y poder crear estas cuatro fases se inició con la recopilación de información, esta se basó en revisión documental.

La obtención de biodiesel es inicialmente un estudio multidisciplinario debido a la combinación de disciplinas tales como química reactiva, ciencias ambientales y termoquímica aplicada. Puesto que estas son respaldadas por equipos e instalaciones especializadas que ayudan a garantizar este proceso.

Los resultados están focalizados en dos aspectos, uno es dentro del método experimental que es el cumplimiento de un objetivo planteado, la demostración de la obtención mediante la reacción de transesterificación y el aspecto del diseño mecánico del reactor

### **Obtención de biodiesel mediante el método experimental:**

En este método, no se garantizó una buena calidad de biodiesel ya que es regulada con procesos de purificación con normativa ASTM norteamericana, y la normativa ISO respectivamente

Sin embargo se garantizó la obtención de un biodiesel crudo (sin lavado), con una densidad promedio en relación a los estándares similares, lo que establece que lo obtenido era biodiesel, con un nivel de PH dentro del rango y un color dorado estipulado por estas normas.

Fase experimental: Densidad ( $g/cm^3$ )= **0.85**

Designado por las normativas: Densidad ( $g/cm^3$ ) = **0.88**

Esto evidencia que lo realizado en los laboratorios de ingeniería ambiental de la facultad de ingeniería química (FIQ), era biodiesel precedente de aceite de cocinar quemado (A.C.Q), con la reacción de transesterificación.

En relación al diseño mecánico del reactor, el cual fue llevado a cabo después de garantizar una excelente fase experimental, en esta se estipularon los parámetros precisos de diseño y se realizaron con las debidas habilidades y destrezas adquiridas en diseño de elementos de máquinas, mantenimiento de equipos, control de procesos, termodinámica, electrotecnia, electrónica, mecánica de fluidos, química general y resistencia de materiales.

Este diseño contempla la elaboración de los planos de fabricación del reactor, estos contienen las vistas principales de cada componente del reactor, así como el plano de conjunto de instalación. Se recolectaron los datos calculados y fueron procesados con el programa AutoCAD.

## **CONCLUSIÓN**

Según los objetivos planteados en el estudio, se logró la obtención de biodiesel a base de aceite de cocinar quemado (A.C.Q), con la reacción de transesterificación. Así mismo se logró realizar los cálculos del diseño del reactor de biodiesel y a su vez con estos cálculos se elaboraron los planos de fabricación.

## RECOMENDACIONES

### Al fabricante:

- ✓ En el caso del recipiente que contiene el metóxido (metanol más dióxido de sodio), el material seleccionado acero inoxidable 316L puede ser sustituido por material plástico, ya que en este proceso no intervienen las variables de temperatura y reacción química nociva al material plástico.
- ✓ Para minimizar los costos de materiales es posible sustituir el acero 316L de los recipientes metóxido y recipiente de biodiesel, por un acero inoxidable más comercial 304.

### Al operario:

- ✓ Precalentar el aceite de cocinar quemado (A.C.Q), para evitar que la humedad durante la reacción de transesterificación origine una reacción de saponificación (formación de jabón).

## BIBLIOGRAFÍA

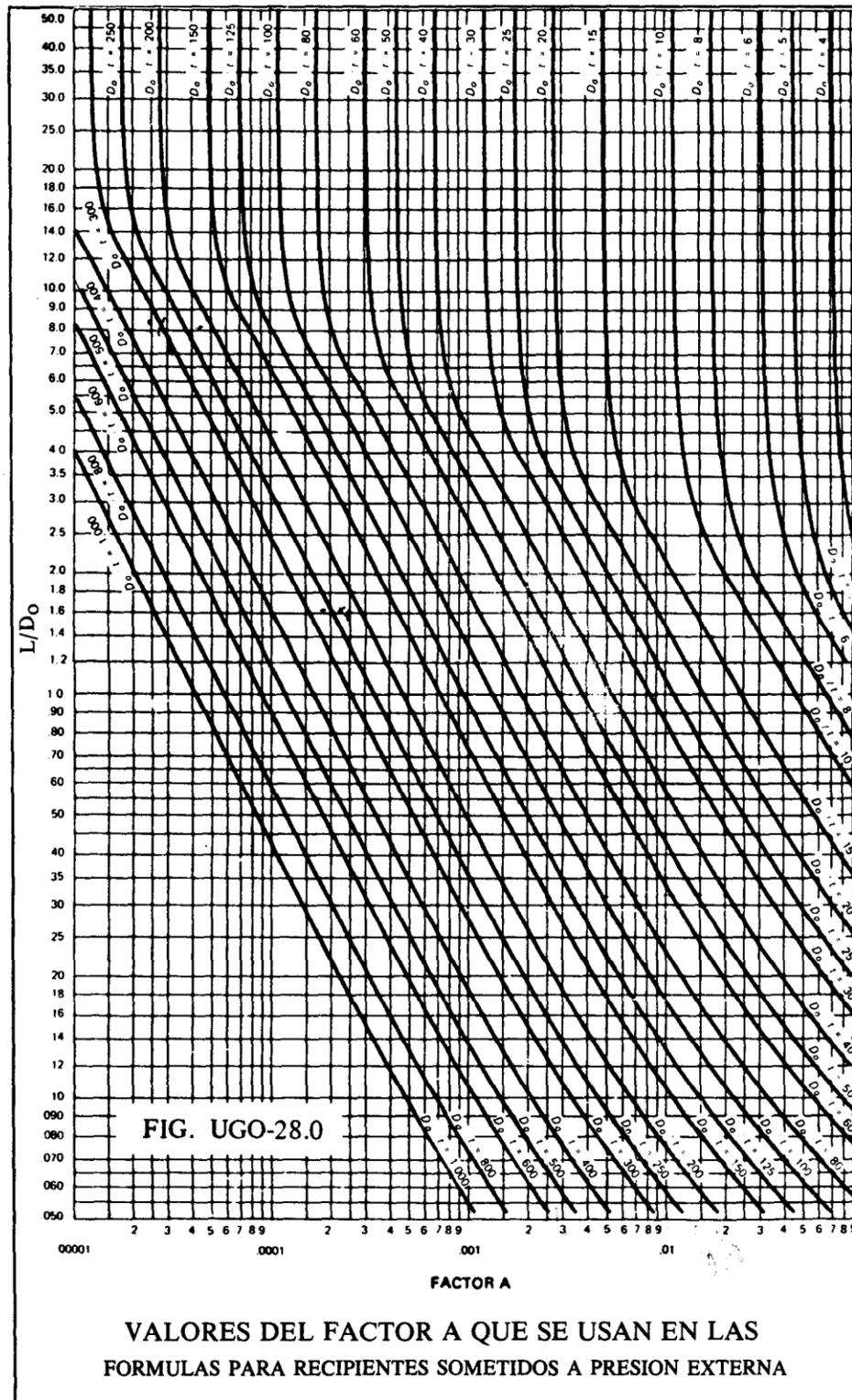
- ✓ Acosta, Castro, Cortijo (2008). *Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiesel a pequeña escala*. Lima-Perú.
- ✓ Campus, Revista de la UNI. (2001, Octubre,20). *Proyección de biocombustible en Nicaragua*. No. 31, p.4.
- ✓ Estrada, Juan (2001). *Diseño y cálculo de recipientes a presión*. México D.F.
- ✓ Gallardo, M. (2008). *Diseño de un reactor de transesterificación para la producción de Biodiesel*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- ✓ Jiménez, Rosa. (Ed). (1998). *Metodología de la investigación, elementos básicos para la investigación*. La Habana: Editorial Ciencias Médicas.
- ✓ Leevijit. (2004). *A second Order Kinetics of palm oil transesterification*. Thailand: conference on SEE.
- ✓ L. Mott, Robert. Ed. (1995). *Diseño de elementos de máquinas*. Segunda edición.
- ✓ L. Mott, Robert. Ed. (1996). *Resistencia de materiales aplicada*. Tercera edición.
- ✓ Levenspiel, O. (2002). *El mini libro de los reactores químicos*.
- ✓ Manrique, R. Jim (2011). *Diseño de un recipiente a presión con un sistema de agitación para el procesamiento de biodiesel de 3m<sup>3</sup> de capacidad*. Lima-Perú.
- ✓ Megyesy, Eugene. (Ed). (1992). *Manual de recipiente a presión, diseño y calculo*. México D.F: Editorial Limusa S.A de C.V.

- ✓ Rodríguez, Manuel. *Recuperación de piezas*.
- ✓ Sinha, R. (2008). *Addiction Reviews* 2008. Doi: 10.1196/annals.1441.030
- ✓ Streeter, Victor Wylie. (Ed) (1988). *Mecánica de fluidos*. México, McGraw Hill. Tercera edición.
- ✓ Streeter, Victor Wylie. (Ed) (2001). *Mecánica de fluidos*. Colombia, McGraw Hill. Novena edición.
- ✓ Ubieto, Pedro. *Dibujo industrial, conjunto y despieces*. Madrid-España
- ✓ Vázquez, Juan P. (1996). *Estudio de la precipitación de carburos en el acero inoxidable AISI 304 en enfriamiento continuo*. Tesis, León-México

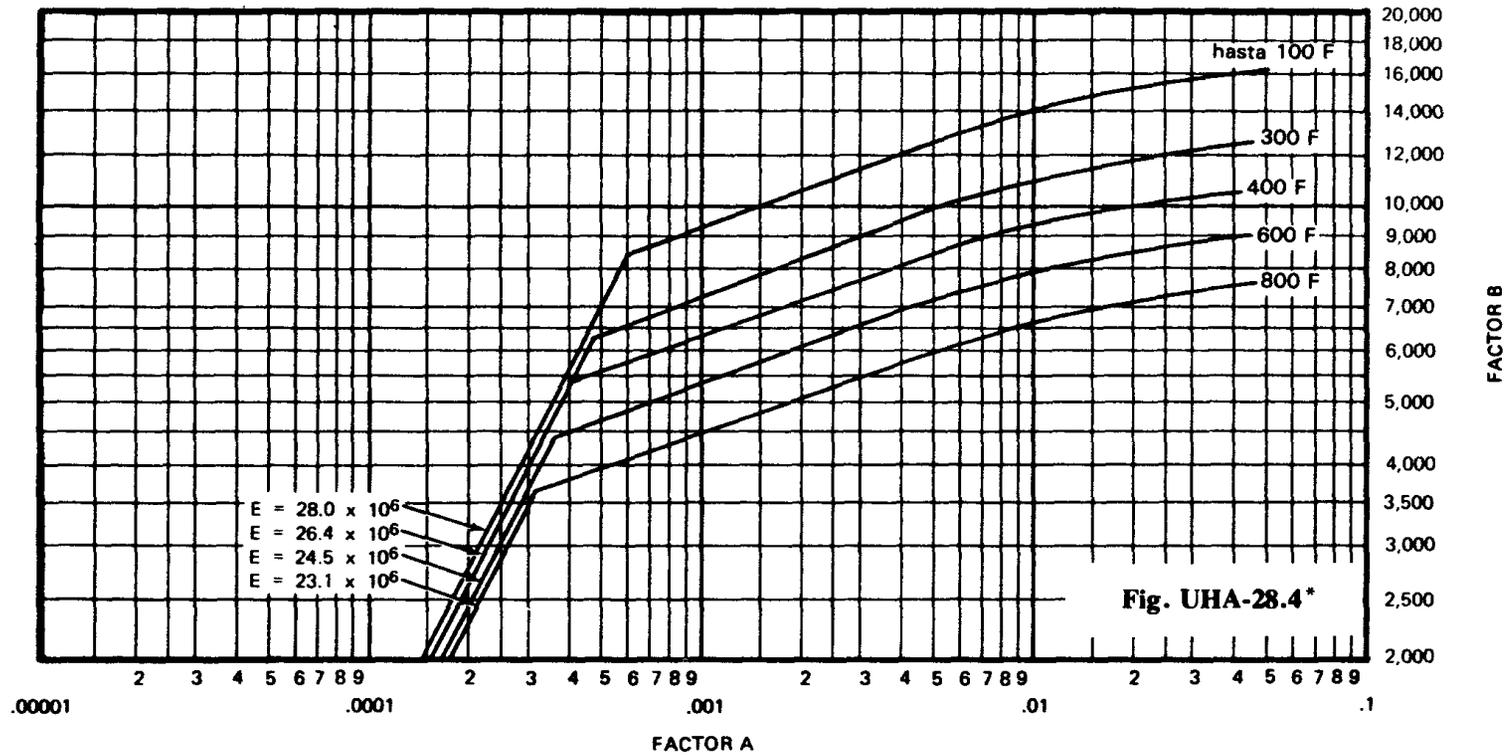
# Anexos

# Anexo 1. Tabla factor A

40



## Anexo 2. Tabla factor B



FACTOR B

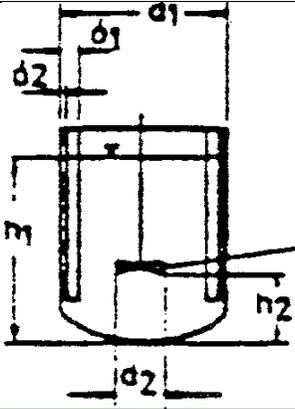
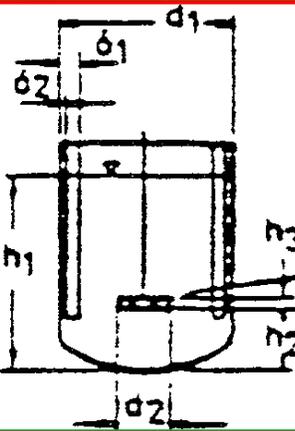
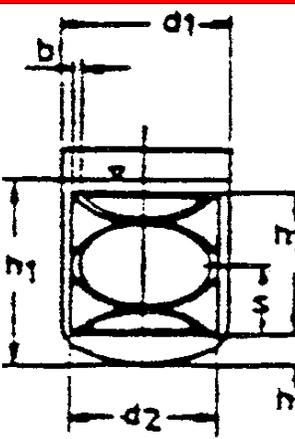
NOTA: En los casos en que el valor de A caiga a la derecha del extremo de la línea de temperatura, supóngase una intersección con la prolongación horizontal del extremo superior de dicha línea

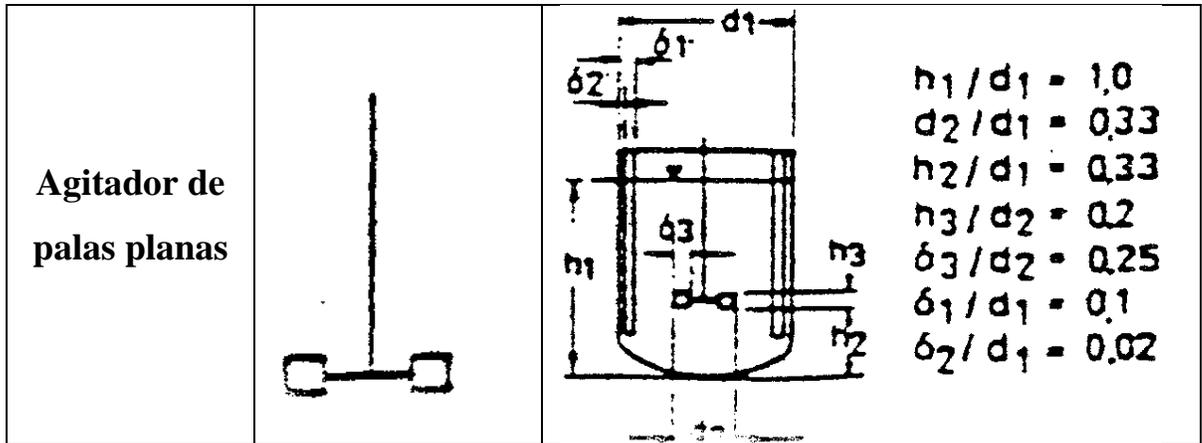
### VALORES DEL FACTOR B

QUE SE EMPLEAN EN LAS FORMULAS PARA RECIPIENTES SUJETOS A PRESION EXTERNA

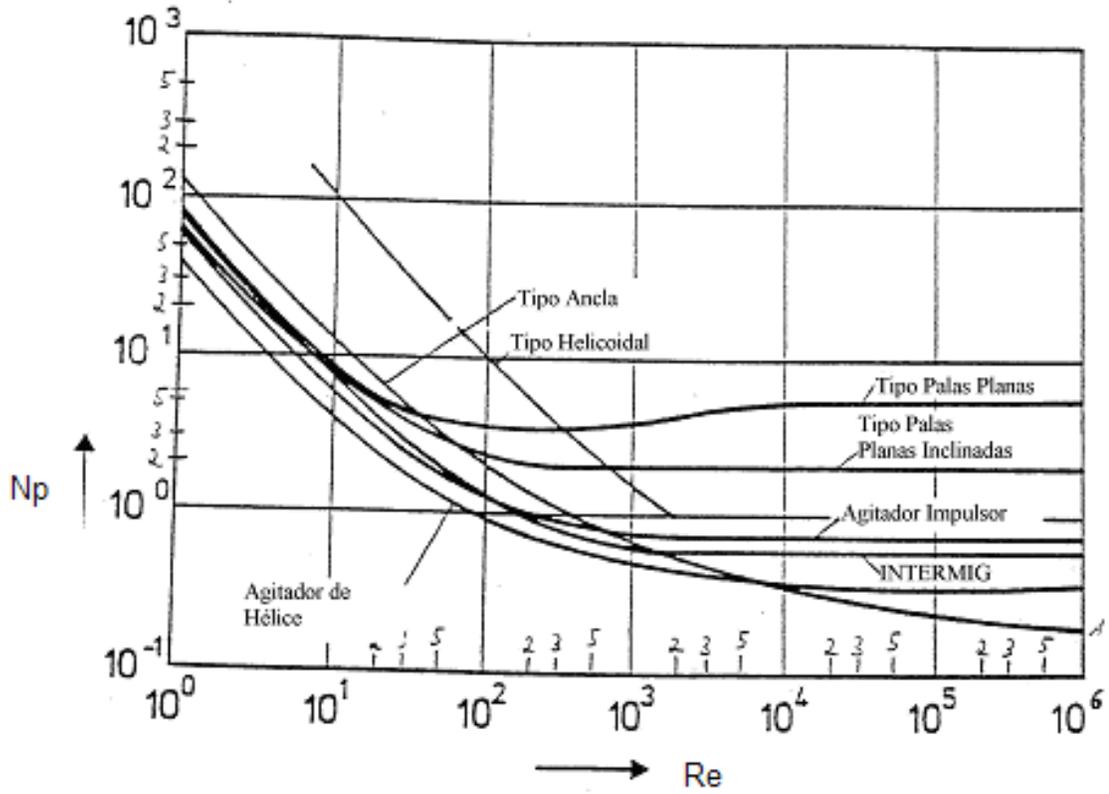
\*Los valores de la gráfica son aplicables cuando se fabrique el recipiente con acero austenítico (18Cr-8Ni-Mo-0.03 máx. de carbono, tipo 316L y 317L) (tabla 4 de la página 160)

Anexo 3. Norma DIN 28131 para agitadores

DENOMINACIÓN	SÍMBOLO	GEOMETRIA
Agitador de hélice		 <p> <math>h_1 / d_1 = 1.0</math>  <math>d_2 / d_1 = 0.33</math>  <math>h_2 / d_1 = 0.33</math>  <math>\alpha = 25^\circ</math>  <math>\delta_1 / d_1 = 0.1</math>  <math>\delta_2 / d_1 = 0.02</math> </p>
Agitador con palas planas inclinadas		 <p> <math>h_1 / d_1 = 1.0</math>  <math>d_2 / d_1 = 0.337</math>  <math>h_2 / d_1 = 0.17 \rightarrow 0.3</math>  <math>h_3 / d_2 = 0.177</math>  <math>\alpha = 45^\circ</math>          6 Blätter  <math>\delta_1 / d_1 = 0.1</math>  <math>\delta_2 / d_1 = 0.02</math> </p>
Agitador helicoidal		 <p> <math>h_1 / d_1 = 1.0</math>  <math>d_2 / d_1 = 0.98</math>  <math>b / d_2 = 0.1</math>  <math>h_3 / d_2 = 1.0</math>  <math>s / d_2 = 0.5</math>  <math>h_2 / d_1 = 0.01</math> </p>



**Anexo 4. Numero de potencia Np**

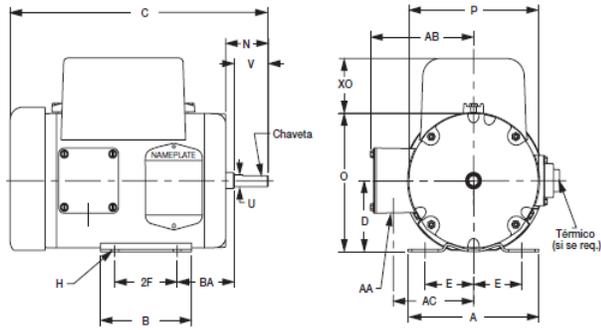


## Anexo 5. Especificación motor del reactor de biodiesel



### Dimensiones

#### Motores Monofásicos - Totalmente Cerrados, Enfriados por Ventilador NEMA 48 a 184T



Carc. NEMA	A	B	D	E	2F	H	Chav.	N	O	P	U	V	AA	AB	AC	BA	XO
48	5.75	4.00	3.00	2.13	2.75	0.34 Slot	Flat 0.047 Deep 1.12 Long	1.87	5.85	5.69	0.50	1.50	0.88	5.18	3.60	2.50	2.31 1.56
56 400Typ	6.50	4.00	3.50	2.44	3.00	0.34 Slot	0.19	2.50	6.36	5.69	0.625	1.88	0.88	4.90	3.53	2.75	1.56 2.31
56 56H	6.50	4.50	3.50	2.44	3.00	0.34 Slot	0.19	2.47	6.81	6.62	0.625	1.88	0.88	5.73	4.62	2.75	2.24
143T	6.50	5.94	3.50	2.75	5.00	4.00	0.19	2.50	6.81	6.62	0.875	2.25	0.88	5.73	4.62	2.25	2.25
145T	6.50	5.94	3.50	2.75	5.00	0.34	0.19	2.50	6.81	6.62	0.875	2.25	0.88	5.73	4.62	2.25	2.25
182T	8.63	6.50	4.50	3.75	5.50	4.50	0.25	3.56	8.44	7.88	1.125	2.75	1.09	6.87	5.76	2.75	2.69
184T	8.63	6.50	4.50	3.75	5.50	0.41	0.25	3.56	8.44	7.88	1.125	2.75	1.09	6.87	5.76	2.75	2.69

**NOTA:** Los dibujos que se muestran son para referencia únicamente. Solicite a Baldor un plano de dimensiones detallado del motor específico que requiere. Puede también encontrar dibujos en nuestro CD-ROM o nuestro sitio Web: [www.baldor.com](http://www.baldor.com).

## Anexo 6. Tabla propiedades de los aceros inoxidables

### PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL ACERO INOXIDABLE

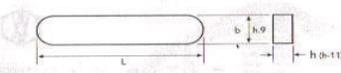
TIPO DE ACERO		301	302	303 MX	303 Se	304	304L	305	308	309	309S	310	310S	316	316L	317	317L	321	347	348		
ANALISIS - % VALOR QUIMICO MAXIMO EXCEPTO DONDE MUESTRA EL MINIMO	Cromo	16-18	17-19	17-19	17-19	18-20	18-20	17-19	19-21	22-24	22-24	24-26	24-26	16-18	16-18	18-20	18-20	17-19	17-19	17-19		
	Níquel	6-8	8-10	8-10	8-10	8-10.5	8-10	10.5-13	10-12	12-15	12-15	19-22	19-22	10-14	10-14	11-15	11-15	9-12	9-13	9-13		
	Carbón	.15	.15	.15	.15	.08	.03	.12	.08	.20	.08	.25	.08	.08	.08	.03	.08	.03	.08	.08	.08	
	Manganeso	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
	Silicio	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	Fósforo	.045	.045	.20	.20	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045	.045
	Azufre	.030	.030	.15 Min	.060	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030	.030
	Otros	--	--	--	.15 Min Se	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Mo 2-3	Mo 2-3	Mo 3-4	Mo 3-4	Ti 5XC Min	Cb+Ta 10XC Min	Ta+Cb 10XC Min	Co .20 Max
PROPIEDADES MECANICAS (TEMPLADO):	Esfuerzo de fluencia psi (0,2% Compensación)	40.000	40.000	35.000	35.000	35.000	33.000	38.000	35.000	45.000	45.000	45.000	45.000	42.000	39.000	40.000	40.000	35.000	40.000	40.000		
	Esfuerzo último psi	110.000	90.000	90.000	90.000	84.000	81.000	81.000	85.000	95.000	95.000	95.000	95.000	84.000	81.000	90.000	90.000	90.000	95.000	95.000	95.000	
	Elongación % 2" (100mm) en	60	50	50	50	55	55	55	50	45	45	45	45	50	50	45	45	45	45	45	45	
	Dureza: Brinell BHN	170	163	160	160	149	149	149	150	170	170	170	170	149	149	163	163	160	160	160	160	
	Rockwell B	85	85	84	84	80	80	80	80	85	85	85	85	80	80	85	85	84	85	85	85	
	Impacto Izod. Ft. - lbs	110	110	80	80	110	110	110	110	110	110	110	90	90	110	110	110	110	110	110	110	
PROPIEDAD ELECTRICAS	Creep - 1% flujo en 10.000 hrs	18.000	17.000	--	--	17.300	17.300	17.200	17.000	15.900	15.900	17.500	17.500	24.500	24.500	24.000	24.000	18.000	19.300	19.300		
	Módulo elasticidad en tensión psi x10 <sup>6</sup>	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29	29	29	28	28	28	28	28	28	28	28	
RESISTENCIA TERMICA	Resistividad eléctrica en microhm a 68 ° F	72	72	72	72	72	72	72	72	78	78	78	78	74	74	74	74	72	73	73		
	Permeabilidad magnética a 200H	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02		
EXPASION TERMICA	Max. temperatura de operac. - servicio intermitente* F	1500	1500	1400	1400	1600	1600	1500	1700	1850	1850	1900	1900	1600	1600	1600	1600	1550	1550	1550		
	Servicio continuo * F	1650	1650	1650	1650	1700	1700	1650	1800	1950	1950	2050	2050	1700	1700	1700	1700	1650	1650	1650		
CONDUCTIVIDAD TERMICA	(In./In. <sup>2</sup> /F x 10 ) 32 - 212 ° F	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	8.3	8.3	8.0	8.0	8.9	8.9	8.9	8.9	9.3	9.3	9.3		
	(B.T.U./ft. /hr. <sup>2</sup> F/ft.) y 212 ° F	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.0	10.0	9.7	9.7	10.1	10.1	10.3	10.3	10.7	10.6	10.6		
CONDUCTIVIDAD TERMICA	(B.T.U./ft. /hr. <sup>2</sup> F/ft.) y 932 ° F	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4	12.5	10.8	10.8	10.8	10.8	12.4	12.4	12.4	12.4	12.8	12.8	12.8		

### Anexo 7. Factor de diseño para ejes (N)

Forma de carga	Diseño por esfuerzo; materiales dúctiles	
	$\tau_d = s_{ys}/N = 0.5$	$s_y/N = s_y/2N$
Estática	Use $N = 2$	$\tau_d = s_y/4$
Repetida	Use $N = 4$	$\tau_d = s_y/4$
Impacto	Use $N = 6$	$\tau_d = s_y/4$

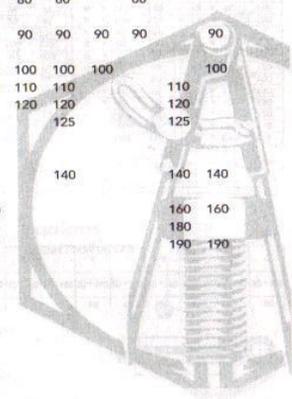
### Anexo 8. Chaveta plana 6 x 6 x 25

**Chaveta plana**  
DIN 6885-A mat. C45K



b x h	3 x 3	4 x 4	5 x 5	6 x 6	8 x 7	10 x 8	12 x 8	14 x 9	16 x 10	18 x 11	20 x 12	22 x 14	25 x 14	28 x 16	32 x 18	
10	10	10	10													
	12	12	12													
	14															
15		15	15	15												
	16	16	16	16				16								
	18	18	18	18				18								
20	20	20	20	20	20	20	20	20								
		22	22	22				22								
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25							
		28	28	28	28	28	28									
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30							
		32	32	32	32	32	32									
		35	35	35	35	35	35	35								
			36	36	36	36			36							
	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40						
		45	45	45	45	45	45	45	45	45			45			
			50	50	50	50	50	50	50	50	50	50				
				55	55	55	55	55	55	55	55					
					56	56										
					60	60	60	60	60	60	60	60	60			
					63	63	63	63				63				
					65	65	65	65	65							
					70	70	70	70	70	70	70	70	70			
					80	80	80	80	80	80	80	80	80	80		
						85	85									
					90	90	90	90	90	90	90	90	90	90		
						95										
					100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
						110	110	110	110	110	110			110		
							120	120			120	120		120		
								125				125		125		
							130	130								
								135								
							140	140	140				140			
								150								
							160	160	160					160	160	
								180	180					180	180	
														190	190	

© ITES - Paramito / 209



## Anexo 9. FluidMix conjunto motor-agitador



### SERIE VTS4

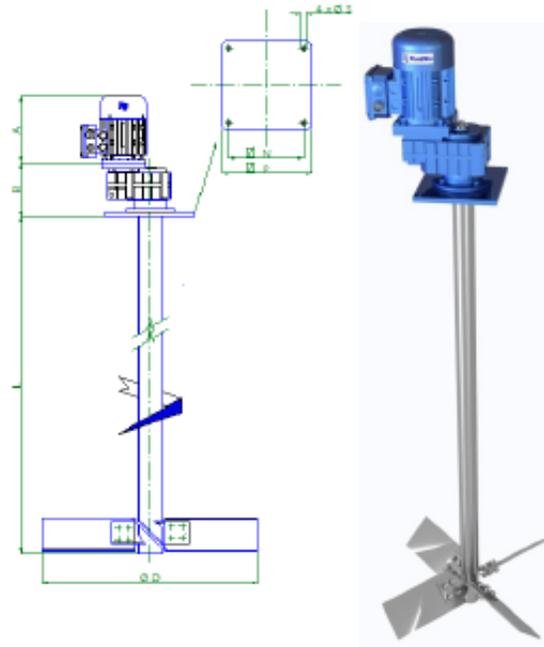
La principal característica de los agitadores VTS4 es su turbina axial de cuatro palas. La turbina axial tiene una gran alta potencia absorbida y logra un fuerte efecto de mezclados en tanques de 0.01 a 8 m<sup>3</sup> de volumen. Las velocidades de funcionamiento estándar son de 75 a 200 rpm. El sentido de rotación de la turbina puede cambiarse fácilmente simplemente cambiando los cables de alimentación del motor. Un robusto reductor de ejes paralelos hace que sea una máquina de mantenimiento fácil, sólo para conectar y trabajar. Los agitadores VTS4 pueden ser equipados con más de una sola turbina.

#### Características:

- o Para tanques de 0.01 – 8 m<sup>3</sup>
- o Potencias de: 0,25 Kw. a 2,2 Kw.
- o Velocidad de salida 75 a 200 rpm.
- o Turbina axial 4 palas.  
Diámetros 100 a 300 mm.
- o Longitud eje hasta 350 mm.
- o Eje y Hélice AISI 316L, AISI 304, acero al carbono o ebonitado.

#### Extras opcionales:

- o Placa en AISI 316L o PVC con retén de aceite.
- o Ejecución Alimentaria o Pulida
- o Motores ATEX.
- o Bridas DIN o ANSI.



Modelo	Motor kW	mm	A	B	D	L Max.	N	P	S	kr	Vol.* m <sup>3</sup>
VTS4-02 02 C 00	0,25	107	187	174	200	350	230	80	16	45	0.01
VTS4-03 02 C 01	0,37	96	207	174	400	250	230	100	16	50	0.01-1
VTS4-05 02 C 02	0,75	96	224	181	500	250	250	200	16	60	1-3
VTS4-07 02 C 03	1,5	99	274	213	600	250	250	200	16	85	3-5
VTS4-08 02 C 04	2,2	99	309	213	700	150	250	400	16	95	5-8

Dimensiones en [mm].

(\*) Volúmenes orientativos de tanque.

Debido a nuestra política de constante mejora, los valores indicados pueden cambiar.

## Anexo 10. Ficha técnica E-316L-16

<b>INDURA 316L</b>	<i>Clasificación AWS: E-316L-16</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Electrodo para acero inoxidable austenítico</li> <li>Revestimiento rutilico. Color blanco</li> <li>Toda posición</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Corriente continua, electrodo positivo o corriente alterna</li> </ul>

### Descripción

Este electrodo se caracteriza por producir un arco suave y estable de transferencia spray, formando un depósito de excelente apariencia.

La escoria se desprende fácilmente y el depósito de soldadura se ajusta con facilidad a las exigencias del trabajo.

Debido a que el arco puede ser rápidamente restablecido, se recomienda su uso en soldadura intermitente.

### Usos

El electrodo 316L ha sido diseñado principalmente para soldar aceros inoxidables austeníticos con un contenido extrabajo de carbono.

El contenido máximo de 0,04% de carbono según normas AWS, evita la formación de carburos y la precipitación de ellos en los bordes de grano, dando así una excelente protección contra la corrosión intergranular.

Se recomienda especialmente para aplicaciones resistentes a la corrosión, cuando existen posibilidades de "picadura" (ataque por ácido).

No es necesario tratamiento térmico posterior.

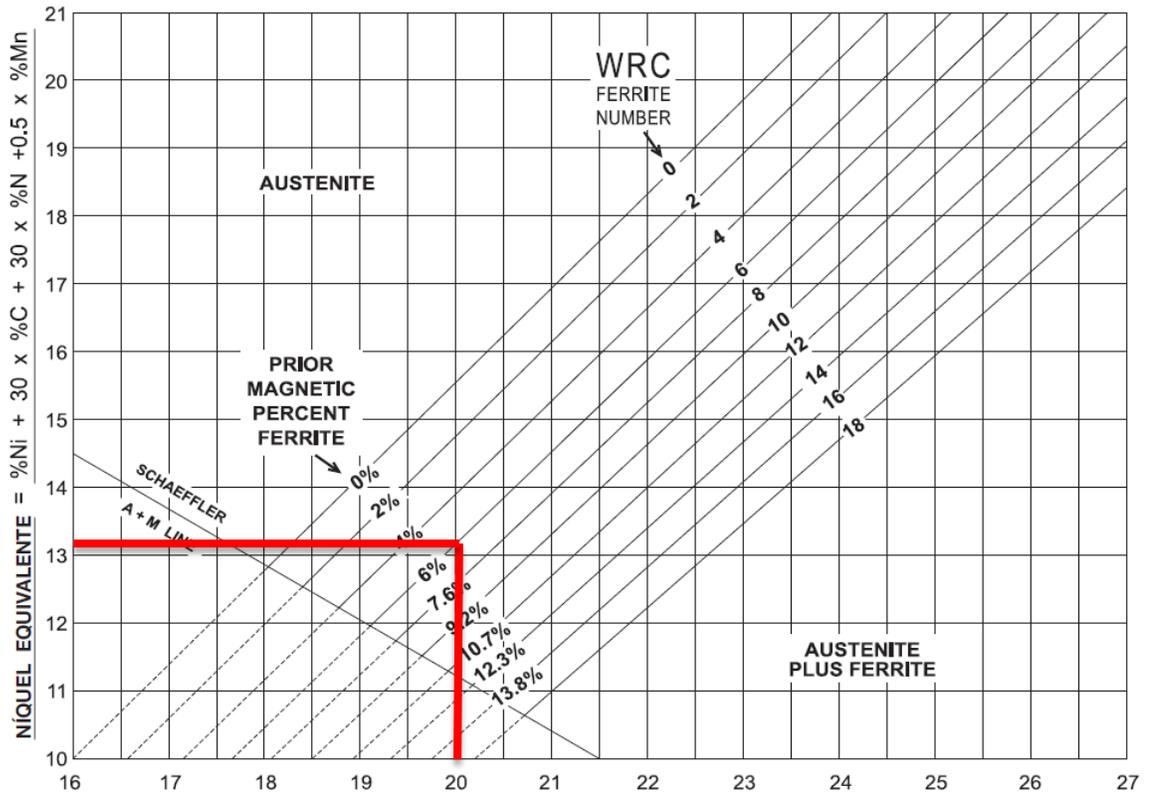
### Aplicaciones típicas

- Aceros inoxidables 316, 316L, 317, 317L, 316Ti y 318
- Estanques que contengan productos químicos corrosivos
- Equipos químicos y petroquímicos
- Industria de papel

Composición química (típica) del metal depositado:				
C 0,02%; Mn 0,63%; Si 0,77%; P 0,022%; S 0,009%; Cr 18,5%; Ni 11,7%; Mo 2,70%				
Características típicas del metal depositado (según norma AWS: A5.4/A5.4M-06):				
Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte			Requerimientos	
Resistencia a la tracción : 580 MPa			490 MPa	
Alargamiento en 50 mm : 48%			30%	
Amperajes recomendados:				
Diámetro mm	Longitud mm	Amperaje		Electrodos x kg aprox.
		mín.	máx.	
2,4	300	60	90	59
3,2	350	90	120	31
4,0	350	120	150	21
*4,8	350	150	190	15

\* Electrodo fabricado a pedido

## Anexo 11. Gráfica del número de ferrita



### CROMO EQUIVALENTE:

$\%Cr + \%Mo + (1,5 \times \%Si) + (0,5 \times \%Nb)$

## Anexo 12. Separación debido al tipo de junta

### PREPARACIÓN DE LAS JUNTAS PARA LA SOLDADURA

Forma de la junta	Espesor (e) mm	Separación (s) mm	Ángulo ( $\alpha$ ) grados	Radio (r) mm	Electrodos ( $\varnothing$ )	
					Raíz mm	Relleno
	1 1,5 2	0 0,5 1	-	-	1,5 - 2 2,5 2,5 - 3,2	-
	3 a 6 5 a 8 8 a 12 > 12	1,5 a 3	60	-	3,2 4 4	4 5 5-6
	5 a 8 8 a 12 > 12	1,5 a 3	60	-	3,2 4 4	4 5 5-6
	10 a 12 12 a 30 > 30	1,5 a 3	60	-	3,2 4 4	4 5 5-6
	12 a 25 > 25	2 a 3	45	-	3,2 4	4-5 5-6
	16 a 25 > 25	2 a 3	45	-	3,2 4	4 5-6
	> 25	1 a 2	10	4	4	5-6
	> 30	1 a 2	10	4	4	5-6

### CONSUMO DEL METAL DEPOSITADO SEGÚN EL TIPO DE JUNTA

Soldadura	Tipo de junta	Espesor chapa (pulg)	Área teórica (pulg <sup>2</sup> )	Metal depositado teórico (lb / pie)	Área con refuerzo (pulg <sup>2</sup> )	Metal depositado con refuerzo (lb / pie)
De filete (catetos iguales)		1/8	0,008	0,027	0,009	0,030
		3/16	0,018	0,061	0,020	0,067
		1/4	0,031	0,106	0,034	0,117
		5/16	0,049	0,167	0,054	0,184
		3/8	0,070	0,238	0,077	0,262
		7/16	0,096	0,326	0,106	0,360
		1/2	0,125	0,425	0,138	0,489
		9/16	0,158	0,537	0,174	0,591
		5/8	0,195	0,663	0,215	0,729
		3/4	0,281	0,956	0,309	1,052
7/8	0,383	1,503	0,421	1,653		
1	0,500	1,700	0,550	1,876		
A tope bordes recto		1/8	0,016	0,054	0,019	0,065
		5/32	0,019	0,065	0,023	0,078
		3/16	0,023	0,078	0,027	0,094
		7/32	0,027	0,092	0,032	0,110
		1/4	0,031	0,105	0,037	0,126
		9/32	0,035	0,119	0,042	0,143
5/16	0,039	0,132	0,047	0,158		
A tope bisel en V		1/4	0,067	0,228	0,074	0,251
		3/8	0,128	0,384	0,141	0,422
		1/2	0,206	0,702	0,227	0,772
		5/8	0,305	1,040	0,336	1,144
		3/4	0,418	1,430	0,460	1,573
		1	0,702	2,395	0,772	2,635
A tope bisel en X		3/4	0,256	0,874	0,307	1,049
		1	0,414	1,420	0,497	1,704
		1-1/4	0,608	2,075	0,730	2,490
		1-1/2	0,838	2,860	1,006	3,432
		1-3/4	1,105	3,765	1,326	4,518
		2	1,405	4,780	1,686	5,736
2-1/4	1,742	5,945	2,090	7,134		

## Anexo 13. Catalogo angulares

### Perfiles angulares de lados iguales\* (continúa)

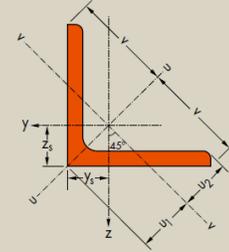
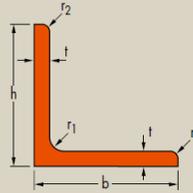
Dimensiones: EN 10056-1: 1998  
Tolerancias: EN 10056-2: 1993  
Estado de la superficie: conforme a EN 10163-3: 2004, clase C, subclase 1

### Equal leg angles\* (continued)

Dimensiones: EN 10056-1: 1998  
Tolerancias: EN 10056-2: 1993  
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

### Angolari a lati uguali\* (continua)

Dimensioni: EN 10056-1: 1998  
Tolleranze: EN 10056-2: 1993  
Condizioni di superficie: secondo EN 10163-3: 2004, classe C, sottoclasse 1



Denominación Designation Designazione	Dimensiones Dimensions Dimensioni				Posición de los ejes Position of axes Posizione degli assi					Superficie Surface Superficie	
G	h=b	t	r <sub>1</sub>	A	z <sub>c</sub> =y <sub>s</sub>	v	u <sub>1</sub>	u <sub>2</sub>	A <sub>L</sub>	A <sub>C</sub>	
kg/m	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup> x10 <sup>2</sup>	mm x10	mm x10	mm x10	mm x10	m <sup>2</sup> /m	m <sup>2</sup> /t	
L 60 x 60 x 7*	6,26	60	7	8	7,98	1,73	4,24	2,45	2,13	0,233	37,22
L 60 x 60 x 8**	7,09	60	8	8	9,03	1,77	4,24	2,50	2,14	0,233	32,89
L 60 x 60 x 10*	8,69	60	10	8	11,1	1,85	4,24	2,61	2,17	0,233	26,83

Páginas de notaciones 215-219 / Notations pages 215-219 / Pagine di annotazioni 215-219

Denominación Designation Designazione	Propiedades del perfil / Section properties / Proprietà geometriche del profilo*									Classification EN 1993-1-1: 2005		EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2009
	eje y-y / eje z-z axis y-y / axis z-z asse y-y / asse z-z			eje u-u axis u-u asse u-u		eje v-v axis v-v asse v-v		Pure compression						
G	I <sub>y</sub> =I <sub>z</sub>	W <sub>ely</sub> =W <sub>elz</sub>	i <sub>y</sub> =i <sub>z</sub>	I <sub>u</sub>	i <sub>u</sub>	I <sub>v</sub>	i <sub>v</sub>	I <sub>z</sub>	S <sub>235</sub>	S <sub>355</sub>				
kg/m	mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	mm x10	mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	mm x10	mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	mm x10	mm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>						
L 60 x 60 x 7	6,26	26,05	6,10	1,81	41,34	2,28	10,76	1,16	-15,23	1	1	✓		
L 60 x 60 x 8	7,09	29,15	6,89	1,80	46,19	2,26	12,11	1,16	-17,04	1	1	✓		
L 60 x 60 x 10	8,69	34,93	8,41	1,78	55,10	2,23	14,76	1,15	-20,17	1	1	✓		

ivos  
boza.

### Propiedades mecánicas / Mechanical properties / Caratteristiche meccaniche

Norma Standard Norma	Calidades Grades Tipi	Limite elástico mínimo R <sub>eL</sub> Minimum yield strength R <sub>eL</sub> Limite elastico minimo R <sub>eL</sub>					Resistencia a la tracción R <sub>m</sub> Tensile strength R <sub>m</sub> Resistenza alla trazione R <sub>m</sub>		Alargamiento mínimo A Minimum elongation A Allungamento minimo A L <sub>g</sub> = 5,65*√S <sub>0</sub> %				Ensayo de flexión por choque Notch impact test Prova di resilienza		
		MPa					MPa		MPa				Temperatura Temperature Temperatura	Energía mín. absorbida Min. absorbed energy Energia min. assorbita	
		≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤125	≤3 ≤100	>3 ≤125	≤3 ≤40	>3 ≤63	>63 ≤100	>100 ≤125	°C	J
EN 10025-2: 2004	S235JR S235JO S235J2*	235	225	215			195	360-510	350-500	26	25	24	22	+20 0 -20	27 27 27
	S275JR S275JO S275J2*	275	265	255	245	235	225	410-560	400-540	23	22	21	19	+20 0 -20	27 27 27
	S355JR S355JO	355	345	335	325	315	295	470-630	450-600	22	21	20	18	+20 0	27 27
	S355J2 S355K2													-20 -20	27 40
	S450JO	450	430	410	390	380	380	550-720	530-700	17			0	27	
	E295*	295	285	275	265	255	245	470-610	450-610	20	19	18	16		
	E335*	335	325	315	305	295	275	570-710	550-710	16	15	14	12		
E360*	360	355	345	335	325	305	670-830	650-830	11	10	9	8			

## Anexo 14. Selección del conductor

### Conductores cobre y aluminio

Calibre AWG	Área nominal de la sección transversal	Diámetro nominal	Peso aproximado	Capacidad de conducción de corriente *	TEMPLE Esfuerzo por tensión a la ruptura nominal	DURO Resistencia eléctrica CD a 20° C	TEMPLE Esfuerzo por tensión a la ruptura nominal	SEMI DURO Resistencia eléctrica CD a 20° C	TEMPLE Alargamiento	SUAVE Resistencia eléctrica CD a 20° C
14	mm <sup>2</sup> 2.08	mm 1.628	kg/km 18.51	Amperes 36	Mpa 455	ohm/km 8.61	Mpa 355	ohm/km 8.57	% 25	ohm/km 8.28
12	3.31	2.052	29.40	48	455	5.41	350	5.39	25	5.21
10	5.26	2.588	46.77	64	445	3.41	345	3.39	25	3.28
8	8.37	3.264	74.39	85	440	2.14	340	2.13	30	2.06
6	13.30	4.115	118.2	116	430	1.35	340	1.34	30	1.3
4	21.20	5.189	188	151	415	0.848	335	0.843	30	0.815
2	33.60	6.543	298.9	220	395	0.533	325	0.531	30	0.513

NOTA: Datos aproximados sujetos a tolerancias de manufactura.

(\*)Condiciones: expuesto al sol, operando a una temperatura de 75 °C. Temperatura de 25 °C velocidad del viento: 0.61 m/s y emisividad térmica relativa de la superficie del conductor: 0.5.



### CABLE DE COBRE DESNUDO

#### Descripción General

Cable de cobre desnudo en temple duro, semiduro o suave.

#### Especificaciones

Los cables de cobre desnudo cumplen con las siguientes especificaciones:

NOM-063-SCFI, Productos eléctricos-conductores-requisitos de seguridad.

NMX-J-012, cables de cobre con cableado concéntrico para usos eléctricos.

\*CFE E0000-32, alambre y cable de cobre desnudo.

\*LFC GDD-034, cables Cud.

ASTM B-8, standard specification for concentric-lay-stranded copper conductors, hard, medium-hard or soft.

\*Las especificaciones de CFE y LyF indican sólo algunos calibres en particular.

#### Principales Aplicaciones

Los cables de cobre en función de su temple y construcción, se usan sobre aisladores en líneas aéreas de distribución eléctrica.

En conexiones de neutros y puestas a tierra de equipos y sistemas eléctricos.

Como conductores principales de cables eléctricos.

#### Características

El material de los cables es cobre de alta pureza con contenido mínimo de 99.9% de cobre.

Los cables se fabrican en construcción concéntrica.

Se elaboran en calibres de 2,08 a 507 mm<sup>2</sup> (14 AWG a 1 000 KCM).

Temple duro, semiduro o suave dependiendo de las aplicaciones.

#### Ventajas

Por su alta conductividad eléctrica el cobre es metal ideal para las instalaciones eléctricas.

Los conductores de cobre son resistentes a la corrosión.

Ofrecen una gran resistencia mecánica.

Mayor flexibilidad que el alambre por su construcción.



## Anexo 17. Relé térmico motor 3/4 HP y motor 0.25 KW

© Siemens AG 2009

### Overload Relays

#### 3RU1 Thermal Overload Relays

##### 3RU11 for standard applications

##### Selection and ordering data

3RU11 thermal overload relays with screw terminals on the auxiliary current side<sup>1)</sup> for direct mounting, CLASS 10

- Features and technical specifications:
- Overload and phase failure protection
  - Auxiliary contacts 1 NO + 1 NC
  - Manual and automatic RESET

- Switch position indicators
- TEST function
- STOP button
- Integrated, sealable cover

Size contactor <sup>2)</sup>	Rating for induction motor Rated value <sup>3)</sup>	Current setting of the inverse-time delayed over- load release	Short-circuit protection with fuse, type of coordi- nation 2, gL/gG opera- tional class <sup>4)</sup>	DT	Screw terminals (on auxiliary current side)		PU (UNIT, SET, M)	PS*	PG	Weight per PU approx.	
					Order No.	Price per PU					
	kW	A	A							kg	
<b>Size S00</b>											
	S00	0.04	0.11 ... 0.16	0.5	▶	3RU11 16-0AB0		1	1 unit	101	0.150
		0.06	0.14 ... 0.2	1	▶	3RU11 16-0BB0		1	1 unit	101	0.150
		0.06	0.18 ... 0.25	1	▶	3RU11 16-0CB0		1	1 unit	101	0.150
		0.09	0.22 ... 0.32	1.6	▶	3RU11 16-0DB0		1	1 unit	101	0.150
		0.09	0.28 ... 0.4	2	▶	3RU11 16-0EB0		1	1 unit	101	0.150
		0.12	0.35 ... 0.5	2	▶	3RU11 16-0FB0		1	1 unit	101	0.150
		0.18	0.45 ... 0.63	2	▶	3RU11 16-0GB0		1	1 unit	101	0.150
		0.18	0.55 ... 0.8	4	▶	3RU11 16-0HB0		1	1 unit	101	0.150
		0.25	0.7 ... 1	4	▶	3RU11 16-0JB0		1	1 unit	101	0.150
		0.37	0.9 ... 1.25	4	▶	3RU11 16-0KB0		1	1 unit	101	0.150
		0.55	1.1 ... 1.6	6	▶	3RU11 16-1AB0		1	1 unit	101	0.150
		0.75	1.4 ... 2	6	▶	3RU11 16-1BB0		1	1 unit	101	0.150
		0.75	1.8 ... 2.5	10	▶	3RU11 16-1CB0		1	1 unit	101	0.150
		1.1	2.2 ... 3.2	10	▶	3RU11 16-1DB0		1	1 unit	101	0.150
		1.5	2.8 ... 4	16	▶	3RU11 16-1EB0		1	1 unit	101	0.150
		1.5	3.5 ... 5	20	▶	3RU11 16-1FB0		1	1 unit	101	0.150
		2.2	4.5 ... 6.3	20	▶	3RU11 16-1GB0		1	1 unit	101	0.150
		3	5.5 ... 8	25	▶	3RU11 16-1HB0		1	1 unit	101	0.150
	4	7 ... 10	35	▶	3RU11 16-1JB0		1	1 unit	101	0.150	
	5.5	9 ... 12	35	▶	3RU11 16-1KB0		1	1 unit	101	0.150	

5

## Anexo 18. Selección pulsadores

### 47.4 Botones Pulsadores y Luces Indicadoras

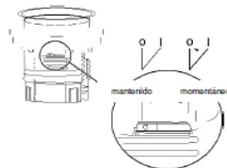
#### Botones Modulares M22

##### Botones No Iluminados, Rasantes, Mantenidos <sup>(1)</sup>

		Sólo Operadores <sup>(2)</sup>			
		Bisel	Color	Número Parte	Precio U.S. \$ <sup>(5)</sup>
	M22-DR-S	Plateado	Negro	M22-DR-S	10.00
			Rojo	M22-DR-R	10.00
			Verde	M22-DR-G	10.00
			Blanco	M22-DR-W	10.00
			Azul	M22-DR-B	10.00
			Amarillo	M22-DR-Y	10.00
			<sup>(3)</sup>	M22-DR-X-SRGR	11.50
	<sup>(4)</sup>	M22-DR-X-SWRGYB	14.00		
	M22S-DR-S	Negro	Negro	M22S-DR-S	8.50
			Rojo	M22S-DR-R	8.50
			Verde	M22S-DR-G	8.50
			Blanco	M22S-DR-W	8.50
			Azul	M22S-DR-B	8.50
			Amarillo	M22S-DR-Y	8.50
			<sup>(3)</sup>	M22S-DR-X-SRGR	10.00
	<sup>(4)</sup>	M22S-DR-X-SWRGYB	12.50		

##### Notas

- (1) Los botones mantenidos pueden convertirse a momentáneos en el campo al accionar el anillo inmovilizador, ubicado en el costado del operador.
- (2) Incluye el adaptador de montaje para bloque de contactos.
- (3) El operador sin botón está disponible en 3 colores (Negro, Rojo, Verde).
- (4) El operador sin botón tiene todos los 6 colores (Negro, Blanco, Rojo, Verde, Amarillo, Azul)
- (5) Clave de Descuento: 1CD1.



47

## Anexo 19. Selección de la resistencia

CALEFACTOR CON TAPÓN DE ACOPLAMIENTO EN LATÓN, FORMA "U" CON DOBLE VUELTA

Código	L en mm	Rosca tapón pulgadas GAS	Wattios	W/cm <sup>2</sup>	Material tubo	Peso en Kg	Clase térmica constructiva Electricfor	Gama caja de conexiones	
								IP-40 (1)	IP-66 (2)
OV001	140	1 1/4"	600	7,1	Inox	0,29	T-300-E	C-MENZ	Gama P3
OV003	170	1 1/4"	800	7	Inox	0,33	T-300-E	C-MENZ	Gama P3
OV003C	170	1 1/4"	800	7	Cu	0,33	T-175-E	C-MENZ	Gama P3
OV105	235	1 1/4"	400	2,2	Inox	0,37	T-300-E	C-MENZ	Gama P3
OV005	235	1 1/4"	1200	6,7	Inox	0,42	T-300-E	C-MENZ	Gama P3
OV005C	235	1 1/4"	1200	6,7	Cu	0,42	T-175-E	C-MENZ	Gama P3
OV107	345	1 1/4"	900	3,1	Inox	0,51	T-300-E	C-MENZ	Gama P3
OV007	345	1 1/4"	1800	6,3	Inox	0,51	T-300-E	C-MENZ	Gama P3
OV007C	345	1 1/4"	1800	6,3	Cu	0,51	T-175-E	C-MENZ	Gama P3
OV009	445	1 1/4"	2400	6,2	Inox	0,56	T-300-E	C-MENZ	Gama P3
OV009C	445	1 1/4"	2400	6,2	Cu	0,56	T-175-E	C-MENZ	Gama P3
OV111	505	1 1/4"	1000	2,2	Inox	0,61	T-300-E	C-MENZ	Gama P3
OV211	505	1 1/4"	1500	3,4	Inox	0,61	T-300-E	C-MENZ	Gama P3
OV011	505	1 1/4"	3000	6,7	Inox	0,61	T-300-E	C-MENZ	Gama P3
OV011C	505	1 1/4"	3000	6,7	Cu	0,61	T-175-E	C-MENZ	Gama P3

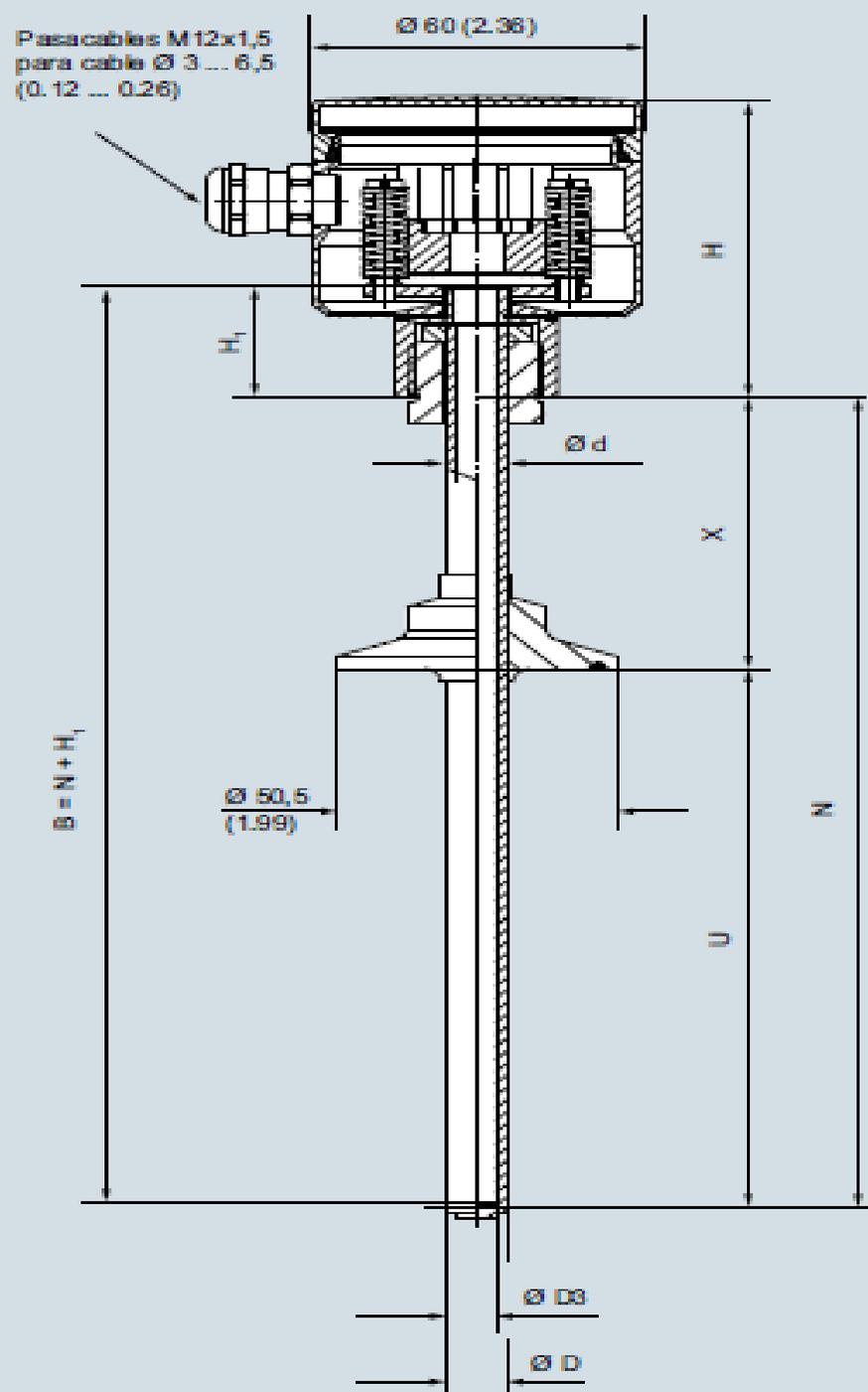


## Anexo 20. Selección de la termocupla

Síntesis detallada de productos

2

Tipo	TS300 modular	TS300 clamp-on
Descripción	Sensores de temperatura para las industrias alimentaria, farmacéutica y biotecnológica	Sensores de temperatura para las industrias alimentaria, farmacéutica y biotecnológica
Gama de aplicación	Mediciones con inmersión en medio (tuberías y depósitos)	Medición no intrusiva (clamp-on) de la temperatura superficial de tuberías
Versión	Vaina de protección similar a DIN 43772, tipo 2F y versión conificada	Vaina de protección similar a DIN 43772, tipo 2F y versión conificada
Tipo constructivo		
Imagen		
Página del catálogo	2/46	2/50
Referencia	7MC8005*	7MC8016
Material en contacto con el fluido	1.4404 o 1.4435 (316L)	1.4404 o 1.4435 (316L)
Formas de vaina de protección	Similar a 2F	Similar a 2F
Conexiones al proceso	DIN 11851, conexión clamp (ISO 2852/DIN 32676), Varivent, boquilla Ingold (Fermenter connection), Neuro Biocontrol, manguito soldable con bola (juntas no incluidas en el volumen de suministro)	Conexiones clamp-on adecuadas para los siguientes anchos de tubería: <ul style="list-style-type: none"> <li>manguito 4 ... 57 mm (0.16 ... 2.24 pulgadas)</li> <li>gancho de sujeción 6 ... 50,8 mm (0.24 ... 2.00 pulgadas)</li> <li>cinta de sujeción 50 ... 200 mm (1.97 ... 7.87 pulgadas)</li> </ul>
Elementos sensores	Pt100	Pt100
Circuito de sensor	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 x 4 hilos</li> <li>2 x 3 hilos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 x 3 hilos</li> </ul>
Precisión del sensor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Clase A</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Clase A</li> <li>Versión optimizada para el proceso</li> </ul>
Cabezales de conexión	Tipo B	Tipo B
Protección contra explosiones (ATEX IECEx)	-	-
Señal de salida	Señal de sensor: <ul style="list-style-type: none"> <li>4 ... 20 mA (TH100/TH200)</li> <li>HART (TH300)</li> <li>PA (TH400)</li> <li>FF (TH400)</li> </ul>	Señal de sensor: <ul style="list-style-type: none"> <li>4 ... 20 mA (TH100slim)</li> <li>HART (TH300)</li> <li>PA (TH400)</li> <li>FF (TH400)</li> </ul>
Aplicación	Rugosidades de superficie: Aplicaciones estándar Ra < 1,5 µm (5.9 10 <sup>-5</sup> pulgadas)	Rugosidades de superficie: Aplicaciones estándar Ra < 1,5 µm (5.9 10 <sup>-5</sup> pulgadas)
Temperaturas límite <sup>1)</sup> [°C (°F)]	-20 ... +400 °C (-4 ... +752 °F)	-40 ... +150 °C (-40 ... +302 °F)
Máx. presión nominal <sup>1)</sup> (presión estática a 20 °C)	0 ... 150 (0 ... 5.91) 50 bar 150 ... 300 (5.91 ... 11.81) 40 bar	Ninguna presión debido al sistema clamp-on
Tiempo de respuesta mín. t <sub>0,5</sub>	20 ... 34 s	4 s (ver *Condiciones de referencia SITRANS TS300 Clamp-on* página 2/17)
Grado de protección	IP54 ... IP68 según cabezal de conexión ver página 2/14	IP65 para manguito de tubo, IP67 para conexión eléctricas



- B** Longitud de la unidad de medida  
 **$\varnothing$ d** Diámetro exterior de la unidad de medida (6 (0.24))  
 **$\varnothing$ D** Diámetro exterior de la conexión al proceso  
 **$\varnothing$ D3** Diámetro interior de la vaina de protección  
**H** Altura de cabezal  
 **$H_1$**  Tipo Axx = 41 (1.61)  
 Tipo Bxx = 26 (1.02)  
**N** Longitud nominal  
**U** Longitud de montaje  
**X** Longitud de prolongación

## Anexo 21. Selección del interruptor termomagnético

Caja moldeada

Tipo BL

Datos para selección y pedidos



1 - Polo



2 - Polo



3 - Polo

Corriente A	10 kA		22 kA		65 kA	
	Referencia	Número de catálogo	Referencia	Número de catálogo	Referencia	Número de catálogo
<b>1 Polo Bolt On (120 V AC)</b>						
15	B115	MX:B115	B115H	MX:B115H	B115HH	MX:B115HH
20	B120	MX:B120	B120H	MX:B120H	B120HH	MX:B120HH
30	B130	MX:B130	B130H	MX:B130H	B130HH	MX:B130HH
40	B140	MX:B140	B140H	MX:B140H	B140HH	MX:B140HH
50	B150	MX:B150	B150H	MX:B150H	B150HH	MX:B150HH
60	B160	MX:B160	B160H	MX:B160H	B160HH	MX:B160HH
70	B170	MX:B170	B170H	MX:B170H	B170HH	MX:B170HH
<b>2 Polos Bolt On (Comm. Trip 120/240 V AC)</b>						
15	B215	MX:B215	B215H	MX:B215H	B215HH	MX:B215HH
20	B220	MX:B220	B220H	MX:B220H	B220HH	MX:B220HH
30	B230	MX:B230	B230H	MX:B230H	B230HH	MX:B230HH
40	B240	MX:B240	B240H	MX:B240H	B240HH	MX:B240HH

## Anexo 22. Selección elementos del sistema de ductería

Tubo

Código	Producto	Un
943011	Tubo extremo liso 1/2" x 6 m	M
943012	Tubo extremo liso 3/4" x 6 m	M
943013	Tubo extremo liso 1" x 6 m	M
943014	Tubo extremo liso 1 1/4" x 6 m	M
943015	Tubo extremo liso 1 1/2" x 6 m	M
943016	Tubo extremo liso 2" x 6 m	M
943017	Tubo extremo liso 2 1/2" x 6 m	M
943019	Tubo extremo liso 3" x 6 m	M
943020	Tubo extremo liso 4" x 6 m	M
943021	Tubo extremo liso 6" x 6 m	M
943022	Tubo extremo liso 8" x 6 m	M

Tubo C40 Extremos Lisos



## Válvula

PREDIAL

06

PPR FUSIÓN



### Válvula Esfera

Código	Producto	Un
60799	Válvula esfera Amanco Fusión 20 mm	Pza
60800	Válvula esfera Amanco Fusión 25 mm	Pza
72403	Válvula esfera Amanco Fusión 32 mm	Pza
72404	Válvula esfera Amanco Fusión 40 mm	Pza
72405	Válvula esfera Amanco Fusión 50 mm	Pza
72406	Válvula esfera Amanco Fusión 63 mm	Pza



## Adaptador

### Adaptador Macho



Código	Producto	Un
918354	Adaptador macho cementar 1/2"	Pza
931296	Adaptador macho cementar 3/4"	Pza
931295	Adaptador macho cementar 1"	Pza
942592	Adaptador macho cementar 1 1/4"	Pza
945021	Adaptador macho cementar 1 1/2"	Pza
945022	Adaptador macho cementar 2"	Pza
942595	Adaptador macho cementar 2 1/2"	Pza
945026	Adaptador macho cementar 3"	Pza
945027	Adaptador macho cementar 4"	Pza

## Codo

Código	Producto	Un
32701	Codo 90° cementar 1/2"	Pza
918352	Codo 90° cementar 3/4"	Pza
931300	Codo 90° cementar 1"	Pza
942561	Codo 90° cementar 1 1/4"	Pza
931299	Codo 90° cementar 1 1/2"	Pza
931341	Codo 90° cementar 2"	Pza
942564	Codo 90° cementar 2 1/2"	Pza
32753	Codo 90° cementar 3"	Pza
32771	Codo 90° cementar 4"	Pza
61344	Codo 90° cementar 6"	Pza
69596	Codo 90° cementar 8"	Pza

Codo 90°



## Anexo 23. Ficha técnica electrodo E-6013 para la estructura



### INDURA 90- AWS E-6013

#### Descripción:

El electrodo 90 tiene un revestimiento que produce escoria abundante y un depósito muy parejo. Su arco es muy suave y estable aunque de baja penetración. Tiene muy buenas características de trabajo, aun con máquinas soldadoras de corriente alterna con bajo voltaje en vacío. Aunque especialmente formulado para corriente alterna, se puede usar también con corriente continua.

#### Características:

- Electrodo manual para acero al carbono
- Toda posición
- Corriente continua, (ambas polaridades) o corriente alterna.
- Corriente alterna (CA)
- Revestimiento rutilico potásico color gris

#### Usos:

Este electrodo es especialmente recomendado para trabajos en láminas metálicas delgadas y en toda clase de aceros dulces, en los cuales se tenga como requisito principal la facilidad de aplicación, siempre que no se exijan características mecánicas elevadas en las uniones. Debido a su baja penetración, se recomienda para soldar planchas de espesores menores de 6,4 mm.

#### Aplicaciones Típicas:

- Cerrajería
- Muebles metálicos
- Estructuras livianas

#### Almacenamiento:

Temperatura Ambiente

#### Mantenimiento:

No Recomendado

#### Recondicionamiento:

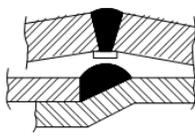
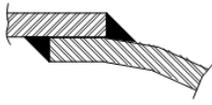
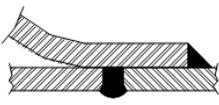
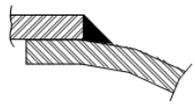
No Recomendado

COMPOSICION QUIMICA DEL METAL DEPOSITADO	
C	0,11%
Mn	0,47%
Si	0,24%
P	0,015%
S	0,018%

CARACTERISTICAS TIPICAS DEL METAL DEPOSITADO	
Límite de Fluencia	513 Mpa
Resistencia a la Tracción	435 Mpa
Agrietamiento en 50 mm	27%
Energía Absorbida	56 J a 20°C

AMPERAJES RECOMENDADOS											
Cod. SAP	Ref. AWS	Ref. Prov.	Diam. Electrodo		Long. Electrodo		Amperaje		Electrodo x kg aproximado	Kg/Caja	
			pulg	mm	pulg	mm	min	max			
2000002	E 6013	INDURA 90	5/32	4,0	14	350	120	190	22	25	

## Anexo 24. Eficiencia de soldadura

	EFICIENCIA DE SOLDADURAS VALORES DE "E"	NORMAS		
		FIGURA No. 1		
TIPOS DE UNIONES NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA UNION CUANDO LA JUNTA ESTA RADIOGRAFIADA		
		AL 100 %	POR PUNTOS	SIN
	SOLDADURA A TOPE UNIDA CON SOLDADURA POR AMBOS LADOS, O BIEN POR OTRO METODO CON LO CUAL SE OBTENGA LA MISMA CALIDAD DEL METAL DE APORTE EN AMBOS LADOS DE LA SUPERFICIE SOLDADA. SI SE USA LA SOLERA DE RESPALDO, DEBERA QUITARSE DESPUES DE APLICAR LA SOLDADURA Y ANTES DE RADIOGRAFIAR.	1.00	0.85	0.70
	SOLDADURA SIMPLE A TOPE CON SOLERA DE RESPALDO LA CUAL PERMANECERA EN EL INTERIOR DEL RECIPIENTE.	0.90	0.80	0.65
	UNION SIMPLE POR UN SOLO LADO SIN SOLERA DE RESPALDO	---	---	0.60
	UNION TRASLAPADA CON DOBLE FILETE	---	---	0.55
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO Y TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.50
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO SIN TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.45

## Anexo 25. Propiedades del biodiesel según estándares internacionales

<i>Propiedades</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valores</i>	<i>Norma</i>
Densidad a 15°C	g/cm <sup>3</sup>	0.860-0.900	ISO 12185
Viscosidad cinemática (a 40°C)	cSt	1.9-6.0	ISO 3104
Punto de inflamación	°C	130	ISO 3679
POFF (punto de obstrucción de filtro frío)	°C	Usuario	*
Punto de nube	°C	Usuario	*
Azufre	ppm	0.05 máx	ISO 14596
Residuo Carbonoso	%	0.05 máx	ISO 10370
Agua y Sedimentos	%	0.05máx	*
Estabilidad/Oxidación	Horas	6 mín	*
Destilación 90%	°C	360 máx	*
Contaminación total	mg/Kg	24 máx	EN 12662
Corrosión al cobre	**	Nº 3 máx	ISO 2160
Cenizas Saturadas	%	0.02 máx	ISO 3987
TAN	mg KOH/g	0.80 máx	EN 14110
Metanol	%	0.2 máx	EN 14105
Monoglicéridos	%	0.8 máx	EN 14105
Diglicéridos	%	0.2 máx	EN 14105
Triglicéridos	%	0.2 máx	EN 14105
Glicerina Libre	%	0.020 máx	EN 14105
Glicerol total	%	0.240 máx	EN 14105
Contenido en Éster	%	96.5 mín	EN 14103
Éster metílico del ác.linoleico	%	12 máx	EN 14103
Esteres metílicos poli-insaturados	%	1 máx	Sin norma
Índice de Yodo	---	120 máx	EN 14111
Fósforo	mg/Kg	10 máx	EN 14107
Sodio + Potasio	mg/Kg	5 máx	En 14108
Grado de cetano (capacidad autoignición)	---	47 mín	ISO 5185

\* Las normas marcadas corresponden con otro tipo de normas ajenas a ISO o EN, como ASTM (Norteamericana) e IP usadas también en la industria

\*\* Tablas

## Anexo 26. Valoración de los reactivos



## Anexo 27. Decantación del biodiesel



### Anexo 28. Lavado del biodiesel



### Anexo 29. Nivel de PH del biodiesel crudo



**Anexo 30. Reacción de transesterificación para 300 ml de muestra**

