

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“DISEÑO DE UN REACTOR QUIMICO DE
15,000 GAL PARA LA PRODUCCIÓN DE
BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE
USO DOMESTICO RECICLADO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO**

ROBERTH SALLAGO ESPINOZA
Callao, Noviembre, 2017
PERU

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el auditorio Ausberto Rojas Saldaña de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, sito Av. Juan Pablo II N° 306, Bellavista - Callao, siendo las 3.00 pm. del día sábado 09 de diciembre de 2017, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador del II Ciclo de Tesis -Titulación por la modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis- de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía de la Universidad Nacional del Callao.

- Dr. Ing. Félix Alfredo Guerrero Roldán : Presidente
- Dr. Ing. Oscar Teodoro Tacza Casallo : Secretario
- Dr. Ing. Napoleón Jáuregui Nongrados : Vocal

Designados por Resolución de Consejo de Facultad N° 147-2017-CF-FIME de fecha 20 de noviembre de 2017 y Resolución Decanal N° 046-2017-D-FIME a fin de proceder al acto de evaluación de la Tesis titulada: **"DISEÑO DE UN REACTOR QUÍMICO DE 15,000 GAL PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE USO DOMÉSTICO RECICLADO"**, presentada por el señor Bachiller **SALLAGO ESPINOZA ROBERTH**.

Contando con la presencia del Supervisor General, Decano de la Facultad de Ciencias Contables Dr. CPC Roger Peña Huamán, Supervisor de la FIME, Dr. José Hugo Tezen Campos y el representante de la Comisión de Grados y Títulos Eco. Guillermo Alonso Gallarday Morales.

A continuación, se dio inicio a la sustentación de la Tesis de acuerdo a lo normado en los numerales del 10.1 al 10.4 del capítulo X de la Directiva para la Titulación Profesional por la modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis en la Universidad Nacional del Callao, aprobada por Resolución Rectoral N° 754-2013-R del 21 de agosto de 2013, modificada por la Resolución Rectoral N° 777-2013-R de fecha 29 de agosto de 2013 y la Resolución Rectoral N° 281-2014-R del 14 de abril de 2014 con la que se modifica el Art. 4.5 del capítulo IV de la organización del Ciclo de Tesis, así como lo normado en el Reglamento de Grados y Títulos de Pregrado, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 135-2017-CU de fecha 22 de junio de 2017.

Culminado el acto de sustentación, los señores miembros del Jurado Evaluador procedieron a formular las preguntas al indicado bachiller, las mismas que fueron absueltas satisfactoriamente.

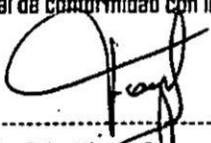
Luego de un cuarto de intermedio, para la deliberación en privado del Jurado respecto a la evaluación de la Tesis, se acordó: calificar la tesis sustentada por el señor bachiller **SALLAGO ESPINOZA ROBERTH** para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico por la modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis, según la puntuación cuantitativa y cualitativa que a continuación se indica:

CALIFICACIÓN CUANTITATIVA	CALIFICACIÓN CUALITATIVA
13 (TRECE)	BUENO

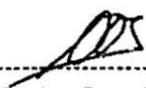
Finalmente, se procedió a leer en público el acta de sustentación.

Siendo las 3:30 pm. del día sábado nueve de diciembre del dos mil diecisiete, el señor Presidente del Jurado Evaluador dio por concluido el acto de sustentación de Tesis.

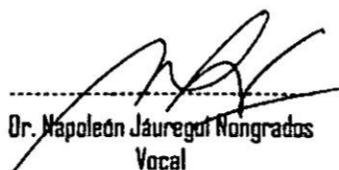
En señal de conformidad con lo actuado, se levanta la presente acta.



Dr. Félix Alfredo Guerrero Roldán
Presidente



Dr. Oscar Teodoro Tacza Casallo
Secretario



Dr. Napoleón Jáuregui Nongrados
Vocal

Dedicatoria:

A Dios, por darme la oportunidad de continuar creciendo profesional y personalmente.

A mis padres, Eduardo y Jenny, quienes me apoyan día a día y que en los momentos más difíciles me dieron las fuerzas para nunca darme por vencido hasta lograr mis objetivos.

A mi hermano, Carlos, quien me acompañó como amigo y hermano durante toda la carrera, enseñándome las mejores cosas de la vida universitaria.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarme a través de este camino de crecimiento y aprendizaje continuo.

A mi novia, Celeste, quien desde el primer día me apoyó y motivó a culminar esta investigación y continuar alcanzando mis objetivos.

A mi asesor, Ing. Gustavo Ordóñez, por guiarme con su experiencia y conocimiento durante el ciclo de tesis para cumplir con el objetivo de obtener el título profesional.

A mi facultad, a los profesores, personal administrativo y amigos por acogerme durante todo este tiempo, por darme su amistad y enseñanzas, brindarme su apoyo dentro y fuera de aulas y hacer de esta etapa una gran experiencia.

ÍNDICE

TABLAS DE CONTENIDO.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
1.1 Identificación del problema.....	12
1.2 Formulación del problema.....	13
1.2.1 Problema general.....	13
1.2.2 Problemas específicos.....	13
1.3 Objetivos de la investigación.....	14
1.3.1 Objetivo general.....	14
1.3.2 Objetivos específicos.....	14
1.4 Justificación.....	14
1.4.1 Justificación legal.....	14
1.4.2 Justificación teórica.....	14
1.4.3 Justificación tecnológica.....	15
1.4.4 Justificación económica.....	15

1.5	Importancia.....	15
II.	MARCO TEORICO	17
2.1.	Antecedentes del estudio.....	17
2.1.1.	A nivel nacional	17
2.1.2.	A nivel internacional	19
2.2.	Marco conceptual	21
2.2.1.	El sistema energético	21
2.2.2.	Fuentes de energía	24
2.2.3.	Biocombustibles	24
2.2.4.	El biodiesel.....	25
2.2.5.	Ventajas del biodiesel	25
2.2.6.	Producción de biodiesel	28
2.2.7.	Tipos de transesterificación.....	31
2.2.8.	Materia prima	33
2.2.9.	Tipos de catalizadores	35
2.2.10.	Alcoholes	39
2.2.11.	Tipos de reactores para la Producción de biodiesel	40

2.2.12. Variables que afectan el proceso de producción del biodiesel...	41
2.2.13. Producción de biodiesel a partir de aceite de uso doméstico reciclado	45
2.3. Definición de términos básicos	48
III. VARIABLES E HIPOTESIS	51
3.1. Variables de la investigación	51
3.1.1. Variable dependiente	51
3.1.2. Variable independiente	51
3.2. Operacionalización de las variables	52
3.3. Hipótesis	53
3.3.1. Hipótesis general	53
3.3.2. Hipótesis específicas	53
IV. METODOLOGIA	54
4.1. Tipo de investigación	54
4.2. Diseño de la investigación	54
4.2.1. Parámetros básicos de investigación	55
4.2.2. Etapas de la investigación	56
4.2.3. Detalles de la investigación	67

4.3. Población y Muestra	139
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	139
V. RESULTADOS	140
5.1. Almacenamiento	140
5.2. Sistema de Agitación	140
5.3. Sistema de calentamiento.....	141
5.4. Estimación de costos de herramientas y equipos para la construcción del reactor químico y sus sistemas.	142
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	143
6.1. Contratación de la hipótesis con los resultados	143
6.2. Contratación de resultados con otros estudios similares	143
VII. CONCLUSIONES.....	147
VIII. RECOMENDACIONES.....	148
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	149
ANEXOS.....	157
ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	158
ANEXO 2: MSDS METANOL E HIDRÓXIDO DE POTASIO.....	160
ANEXO 3: SELECCIÓN DE MOTORREDUCTOR RAMFE	177

ANEXO 4: SELECCIÓN DE CHAVETAS MEDIANTE DIN 6885	182
ANEXO 5: PLANOS DE FABRICACION	184

TABLAS DE CONTENIDO

Tabla N° 2.1 Propiedades físicas y químicas del aceite de uso doméstico reciclado	35
Tabla N° 2.2 Condiciones de operación en la producción de biodiesel por catálisis homogénea.	44
Tabla N° 4.1 Alternativas de solución	59
Tabla N° 4.2 Cuadro comparativo de criterios para el diseño del cuerpo	61
Tabla N° 4.3 Selección de diseño para el cuerpo del recipiente	62
Tabla N° 4.4 Cuadro comparativo de criterios para el diseño del agitador	63
Tabla N° 4.5 Selección de diseño del sistema de agitación	64
Tabla N° 4.6 Cuadro comparativo de criterios para el diseño del sistema de calentamiento	65
Tabla N° 4.7 Selección de diseño del sistema de calentamiento	66
Tabla N° 4.8 Propiedades mecánicas acero inoxidable 304	68
Tabla N° 4.9 Resultado del balance estequiométrico de los reactantes	69
Tabla N° 4.10 Semejanzas geométricas estandarizadas para el diseño de agitadores mecánicos	95
Tabla N° 4.11 Selección de motorreductor marca RAMSE	101
Tabla N° 4.12 Grados de agitación según la velocidad lineal superficial	108
Tabla N° 4.13 Cuadro de balance de energía	117
Tabla N° 4.14 Cuadro de temperatura en el proceso de reacción	118
Tabla N° 4.15 Cuadro de cálculo de área de transferencia de calor	119

Tabla N° 4.16 Selección del diámetro de tubería para el serpentín helicoidal	120
Tabla N° 4.17 Dimensiones del serpentín helicoidal	123
Tabla N° 4.18 Desviación media para correlaciones de flujo bifásico	124
Tabla N° 4.19 Valores del coeficiente "a" para los agitadores y superficies de calentamiento	127
Tabla N° 4.20 Costos de Fabricación	136
Tabla N° 4.21 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	139
Tabla N° 5.1 Especificaciones de diseño del reactor químico	140
Tabla N° 5.2 Especificaciones de diseño del sistema de agitación	141
Tabla N° 5.3 Especificaciones de diseño del sistema de calentamiento	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Gráfico N° 2.1 Evolución del consumo energético anual por persona en el transcurso de la historia en países europeos.	23
Gráfico N° 2.2 Beneficios al medioambiente en el uso del biodiesel	27
Figura N° 2.1 Especificaciones para el biodiesel B100 – ASTM D6751-07	28
Figura N° 2.2 Molécula de biodiesel	29
Figura N° 2.3 Molécula de diésel	30
Figura N° 2.4 Diagrama de flujo de producción de biodiesel	47
Figura N° 4.1 Detalles de diseño para una tapa toriesférica	70
Figura N° 4.2 Diagrama de tapa toriesférica	74
Figura N° 4.3 Nomenclatura para el diseño de aberturas.	76
Figura N° 4.4 Diagrama de selección del tipo de agitador	92
Figura N° 4.5 Configuración típica de un reactor químico	94
Figura N° 4.6 Características para el diseño estándar del sistema de agitación del reactor químico	95
Figura N° 4.7 Número de potencia versus número de Reynolds para la selección del impulsor de la turbina	99
Figura N° 4.8 Características para la selección de una chaveta	104
Figura N° 4.9 Número de flujo versus número de Reynolds	106
Figura N° 4.10 Proceso que atraviesa el vapor saturado	112

Figura N° 4.11 Configuración general de un serpentín helicoidal dentro de un reactor químico	113
Figura N° 4.12 Masa de control y volumen de control del sistema	115
Figura N° 4.13 Dimensiones generales de un serpentín helicoidal	121
Figura N° 4.14 Soportes tipo zapata	130
Figura N° 4.15 Características del perfil seleccionado	132

RESUMEN

La presente tesis es del tipo tecnológico y nivel de investigación aplicada, ya que nuestro propósito fue reconstruir procesos en función de descubrimientos ya realizados para producir sistemas como máquinas y equipos¹.

El mundo energético es dependiente de los combustibles fósiles (petróleo, carbón), sin embargo, muchos investigadores se encuentran en la búsqueda de nuevas alternativas para la sustitución de uno de estos combustibles en particular, el petróleo. No solo por el alto consumo de este recurso, sino porque cada vez se tienen menores reservas y por la no contaminación. Por lo que apareció una nueva alternativa, llamada biodiésel, la cual busca sustituir parcial o totalmente el petróleo.

El planteamiento de la presente tesis tiene como objetivo el diseño de un reactor químico de 15,000 galones para la producción de biodiésel a partir de aceite de uso doméstico reciclado, el cual cuenta con tres aspectos muy importantes: Almacenamiento, agitación y calentamiento.

Se realizó el diseño de un reactor químico con una capacidad de quince mil galones en base al código ASME, Sección VIII, División I con una presión de operación mayor que la atmosférica. La mezcla de los reactantes se logró con un agitador mecánico el cual emplea tres turbinas tipo axial con álabes de 45° de inclinación y un motorreductor de veinticinco caballos de fuerza. Este sistema de agitación fue diseñado en base a las recomendaciones estándar para tanques agitados, encontrados en la literatura revisada. Para el calentamiento se hizo uso de un serpentín de calentamiento helicoidal sumergido en el interior del reactor, el cual fue diseñado aplicando conocimientos de transferencia de calor para lograr calentar los quince mil galones de la mezcla de reactantes en un lapso de dos horas.

Finalmente, el trabajo incluye una estimación del presupuesto del proyecto mostrando los costos de materiales y equipos para la fabricación del reactor químico. El proyecto alcanza un costo total que asciende aproximadamente a \$52,227.26.

Palabras claves: reactor, producción de biodiésel, agitación, aceite de uso doméstico.

¹ (Montes, 2010)

ABSTRACT

This thesis is of the technological type and level of applied research, since our purpose was to reconstruct processes based on discoveries already made to produce systems such as machines and equipment.

The energy world is dependent on fossil fuels (oil, coal), however, many researchers are in search of new alternatives for the replacement of one of these fuels, oil. Not only because of the high consumption of this resource, but also because there are fewer and fewer reserves and no pollution. For what appeared a new alternative, called biodiesel, which seeks to partially or totally replace oil.

The aim of this thesis is to design a 15,000-gallon chemical reactor to produce biodiesel from recycled household oil, which has three very important aspects: Storage, agitation and heating.

The design of a chemical reactor with a capacity of fifteen thousand gallons was carried out based on the ASME Code, Section VIII, Division I with an operating pressure greater than atmospheric. The mixture of the reactants was achieved with a mechanical agitator which uses three axial type turbines with 45 ° tilt blades and a twenty-five horsepower gearmotor. This agitation system was designed based on the standard recommendations for stirred tanks, found in the literature reviewed. For the heating, a spiral heating coil submerged in the interior of the reactor was used, which was designed applying knowledge of heat transfer to achieve heating the fifteen thousand gallons of the mixture of reactants in a span of two hours.

Finally, the work includes an estimate of the project budget showing the costs of materials and equipment for the manufacture of the chemical reactor. The project reaches a total cost amounting to approximately \$ 52,227.26.

Key words: reactor, biodiesel production, agitation, household oil.

CAPITULO I

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación del problema

El mundo se encuentra en búsqueda de nuevas alternativas energéticas a parte del petróleo, no solo por el alto precio de este recurso sino también porque cada vez se tiene un menor abastecimiento y por la no contaminación global. Los combustibles fósiles representan más del 50% de la Energía Mundial, por lo que un estudio de geólogos en Estados Unidos estimó que al menos la mitad del volumen de crudo se agotará para el 2030². Como resultado de esta búsqueda se obtuvieron ciertos productos generados a partir de recursos naturales o reciclables que pueden sustituir total o parcialmente el petróleo. Este es el caso de los biocombustibles, cuyos productos más conocidos son el biodiesel y el bioetanol. En el Perú ya se cuenta con un marco legal el cual promueve y obliga el uso de biocombustibles; reglamento de Ley N° 28054 y D.S. N° 021-2007-EM (Reglamento para la comercialización de biocombustibles, abril del 2007)³.

² (ALBERS Hannah, 2015)

³ (VERTIZ DIAZ, 2009)

El presente proyecto pretende colaborar con la búsqueda de una solución viable, técnica y económica para la producción de biodiesel a escala industrial, teniendo en cuenta el proceso de transesterificación en donde se debe realizar una mezcla homogénea de dos componentes: la materia prima y el metóxido, como núcleo del proceso químico para la obtención del biodiesel. Para lo cual pretendemos diseñar un reactor químico de 15,000 Gal para la producción del Biodiesel a partir de aceite de uso doméstico reciclado.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo diseñar un reactor químico de 15,000 Gal para producir biodiesel a partir de aceite de uso doméstico reciclado?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo diseñar los sistemas de agitación y de calentamiento óptimos para que la reacción química generada en el reactor dé como resultado una mezcla homogénea?
- ¿Cómo dimensionar el reactor químico mediante el uso de ecuaciones de diseño y balances de masa con datos experimentales obtenidos de la literatura?
- ¿Cuánto sería el costo de los equipos y herramientas para la construcción del reactor químico?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un reactor químico de 15,000 Gal para producir biodiesel a partir de aceite de uso doméstico reciclado.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar los sistemas de agitación y de calentamiento óptimos para que la reacción química generada en el reactor dé como resultado una mezcla homogénea.
- Dimensionar el reactor químico mediante el uso de ecuaciones de diseño y balances de masa a partir de datos experimentales obtenidos de la literatura.
- Realizar una estimación económica de los equipos y herramientas para la construcción del reactor químico.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación legal

La investigación se sustenta y enmarca dentro de lo establecido en las siguientes normas y decretos:

- Ley N° 28054
- DS N°021-2007-EM

1.4.2 Justificación teórica

En el Perú son escasos los estudios sobre el diseño de reactores químicos para la producción de biodiesel. La

evidencia teórica se limita a bancos de laboratorio, mas no explora sus implicancias en una planta de producción industrial señalando el costo de fabricación del equipo.

1.4.3 Justificación tecnológica

El estudio se sustenta en el aspecto técnico a través del diseño del reactor químico para producir biodiesel a partir de un producto reciclable. El aporte de esta investigación favorecerá al crecimiento industrial peruano, generando un producto nacional y de exportación.

1.4.4 Justificación económica

La construcción de un reactor químico para producir biodiesel tendrá un alto valor agregado al hacer uso de aceite de uso doméstico reciclable, además que la ejecución de este proyecto permitirá la creación de puestos de trabajo, así como aumento en la demanda de bienes y servicios.

1.5 Importancia

La importancia de este proyecto principalmente estuvo en mostrar un nuevo valor para el uso de los aceites de uso doméstico reciclados, los cuales pueden ser transformados en energía limpia, conocida como biodiesel. También se pretendió dar a conocer los distintos procesos para la producción del biodiesel a partir del aceite de uso doméstico reciclado mediante el uso de un reactor químico el cual es

el núcleo del proceso para la obtener un producto a partir de otro. Además, se detallaron los cálculos de diseño del reactor químico, así como el sistema de calentamiento y el sistema de agitación. Por último, se presentó un estimado de los costos de materiales y herramientas necesarios para la fabricación del reactor químico con lo cual se pretendió colaborar con la industria peruana para el diseño de este tipo de reactores:

CAPITULO II

II. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. A nivel nacional

Los siguientes antecedentes de estudio nos permiten evaluar estudios nacionales anteriores con la finalidad de lograr una mayor profundización del tema de investigación.

- En el Repositorio Digital de la Pontificia Universidad Católica del Perú, se encuentra la tesis: "Diseño del Módulo de Transesterificación de una Planta Piloto para Producción de Biodiesel a Partir de Aceites Usados de Cocina", cuyo autor es Eduardo Antonio Barriga Moreno, quien presentó y sustentó para obtener el grado de Ingeniero Mecánico, en el año 2011, de cuyo trabajo de investigación se deduce la conclusión final: "Se utilizó el método de transesterificación alcalina tipo batch o por lotes, para la producción de biodiesel a partir de aceites usados de cocina pre tratado, donde se da un valor agregado a un desecho contaminante, además que el tiempo de reacción de 1 ½ horas en comparación con otros procesos es rápido y la relación en volumen del producto resultante es 90% de biodiesel y 10% de glicerina en promedio. Asimismo, el módulo diseñado para la Transesterificación alcalina en batch es de una estructura de material AISI 304 y dos reactores con agitación mediante paletas. El módulo

diseñado tiene una capacidad de 48 litros (40 de aceite pre tratado y 8 de metóxido)”

- En el Repositorio Digital de la Universidad Nacional de Ingeniería, se encuentra la tesis: “Diseño de un Recipiente a Presión con un Sistema de Agitación para el Procesamiento de Biodiesel de 3m³ de Capacidad”, cuyo autor es Jim Anthony Manrique Rebaza, quien presentó y sustentó para obtener el grado de Ingeniero Mecánico, en el año 2011, de cuyo trabajo de investigación se deduce la conclusión final: “Se utiliza un tanque con un fondo toriesférico, debido a que es la zona con mayor presión de trabajo, en donde el autor adiciona un margen de seguridad de 30 PSI al cálculo de la presión hidrostática del fluido como aseguramiento de presión de trabajo. Además, el autor se basa en los parámetros de viscosidad y velocidad angular del biodiesel para el diseño del sistema de agitación del tanque.”
- En el Repositorio Digital de la Universidad de Piura, se encuentra la tesis: “Análisis técnico y económico sobre producción, almacenamiento y transporte de biodiesel en Perú”, cuyo autor es Luis Eduardo Vértiz Díaz, quien presentó y sustentó para obtener el grado de Ingeniero Mecánico, en el año 2009, de cuyo trabajo de investigación se deduce la conclusión final: “Para el transporte de biodiesel se tienen 02 opciones como material de las tuberías: El acero al carbono convencional o el acero inoxidable 316, teniendo en

cuenta que éste último tiene una mayor resistencia a la corrosión. Para el almacenamiento del biodiesel, se propone el uso de un tanque con vidrio fusionado al acero, el cual no necesitaría mantenimiento ni pintado interno, además de no ser afectado por la corrosión.”

2.1.2. A nivel internacional

Los siguientes antecedentes de estudio nos permiten evaluar estudios internacionales anteriores con la finalidad de lograr una mayor profundización del tema de investigación.

- En el Repositorio Digital de la Escuela Politécnica Superior Universidad Carlos III de Madrid, se encuentra la tesis: “Diseño de un Reactor de Transesterificación para la Producción de Biodiesel”, cuyo autor es Martín Gallardo Hipólito, quien presentó y sustentó para obtener el grado de Ingeniero Técnico Industrial de Mecánica, en el año 2008, de cuyo trabajo de investigación se deduce la conclusión final: “El autor realizó un estudio sobre la tecnología utilizada para la obtención del biodiesel en donde combina un enfoque divulgativo con el rigor científico. Se utilizó el Aceite de Colza como materia prima para la investigación, además de centrarse en el proceso de transesterificación o de conversión de los ácidos grasos en metilésteres. También se utilizó el software Mathcad para estudiar las propiedades de la mezcla en el reactor, el proceso químico, la

transferencia de calor, y los equipos necesarios de provisión de calor y agitación. Así mismo también se realizó un balance energético de todo el proceso comprobándose que el biodiesel es un combustible mucho más limpio que el diésel normal.”

- En el Repositorio de Revistas Científicas de la Universidad Nacional de Colombia, se encuentra el artículo: “Producción de Biodiesel a Partir del Aceite Crudo de Palma: Diseño y Simulación de Dos Procesos Continuos”, cuyos autores son Carlos David Zapata, Iván Darío Martínez, Erika Arenas Castiblanco y Carlos Andrés Henao Uribe, quienes presentaron y sustentaron para contribuir con el estudio de la Producción de Biodiesel en América Latina, en el año 2007 y de donde se puede obtener la siguiente conclusión: “Se muestra el diseño y simulación de dos procesos continuos de transesterificación alcalina de aceite crudo de palma para la producción de biodiesel, empleando el simulador de procesos HYSYS. El primero de ellos incluye un pretratamiento de neutralización de ácidos grasos libres y el segundo, una esterificación con condiciones ácidas. Se realizó una evaluación tecnológica para establecer un análisis comparativo entre ambos procesos. Del mismo, se concluyó que el gasto de materias primas es mayor para el proceso con pre neutralización de los ácidos grasos. También se encontró que el segundo proceso, con esterificación

previa, genera mayor cantidad de biodiesel para una misma cantidad de aceite crudo de entrada.”

- En el Repositorio de la Universidad de Cartagena, se encuentra la tesis: “Diseño de reactores de prepolimerización y polimerización para la producción de ácido poliláctico en una planta industrial”, cuyos autores son Jayson Castro Gómez y Melissa Paola Vera Calderón, quienes presentaron y sustentaron para obtener el grado de Ingeniero Químico, en el año 2012, de cuyo trabajo de investigación se obtiene la siguiente conclusión: “Luego de revisar la literatura sobre reacciones de polimerización, se escogieron valores de presión, temperatura, concentración del monómero y del iniciador para desarrollar un modelo cinético, así como el diseño propio de los reactores. Se realizó una simulación de la agitación del fluido, obteniendo mayor velocidad en las aspas de las turbinas del reactor, además de confirmar que la viscosidad del fluido disminuye al encontrarse más cerca del agitador.”

2.2. Marco conceptual

2.2.1. El sistema energético

La energía es la capacidad para realizar el trabajo. En un sentido amplio esto significa la capacidad de obrar, transformar y poner en movimiento. Existe energía debido a la posición, el movimiento, la

composición química, la masa, la temperatura y otras propiedades. Está en todas partes, y no se puede destruir, solo transformar.⁴

Económicamente, la energía es un recurso natural. Como tal es un bien escaso con límites, el cual solo constituye un recurso cuando su aprovechamiento es viable con la tecnología actual. La energía es por lo tanto uno de los fundamentos de la vida de cualquier ser.

Hace alrededor 400 mil años, el hombre empezó a utilizar conscientemente el fuego como fuente de energía. Posteriormente, se aprendió a utilizar la leña para producir fuego, se inventaron los hornos en los que se podía concentrar el calor del fuego y descubrieron el calor vegetal. Más adelante, en la época industrial, se generalizó el uso del carbón mineral y apareció el petróleo, el cual es más fácil de transportar y produce menos residuos de combustión que el carbón. Por eso, su consumo se impuso a partir de la Segunda Guerra Mundial, dando origen a la llamada era del Petróleo.⁵

Con el descubrimiento y uso de la electricidad, el consumo energético ha ido en aumento en todos los campos: iluminación, telecomunicaciones e información, actividades domésticas, industria, comercio, etc. Para satisfacer estos requerimientos se utilizan no sólo

⁴ (CASTRO Paula, 2007)

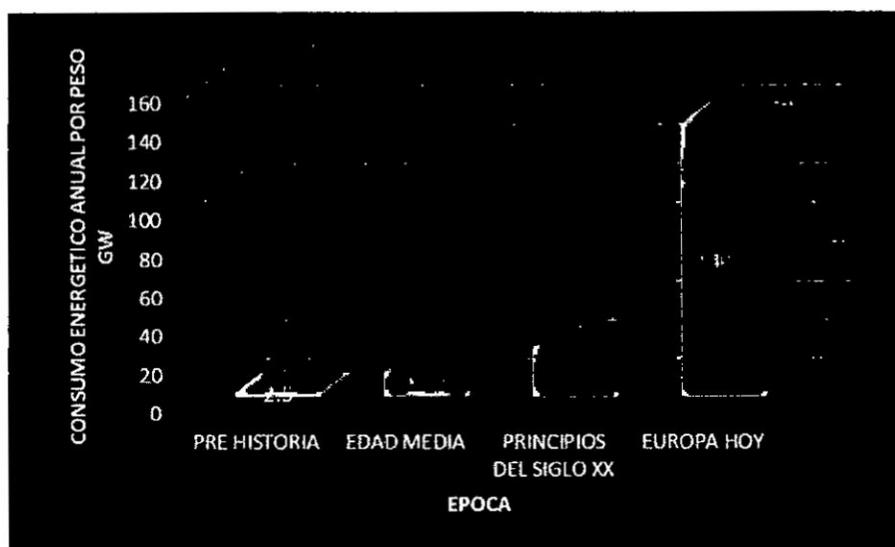
⁵ (COLMENAR y CASTRO, n/d)

el carbón y el petróleo, sino también el gas, la energía nuclear, hidráulica, del viento, del sol y de la biomasa; entre otras.

Como se puede apreciar en el Gráfico 2.1, el consumo anual de energía por persona ha ido creciendo exponencialmente con el transcurso de la historia, de modo que ahora una persona en un país industrializado consume más de 50 veces la energía que utilizaba en la prehistoria.

GRÁFICO N° 2.1

EVOLUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL POR PERSONA EN EL TRANSCURSO DE LA HISTORIA EN PAÍSES EUROPEOS.



Fuente: Castro, Coello y Castillo, 2006

2.2.2. Fuentes de energía

El sol es la fuente primaria de energía que mantiene la vida en nuestro planeta, gracias al proceso de fotosíntesis por el cual las plantas pueden crecer, pero además da origen a las principales fuentes energéticas de carácter renovable y no renovable: la biomasa, el viento y los cursos de agua, así como el carbón, el petróleo y el gas natural.

Hasta el siglo XIX, el hombre fue capaz de satisfacer sus necesidades con energías renovables. Recién en los últimos cien años, con la industrialización, se ha requerido usar carbón, luego petróleo y en menor medida gas natural y energía nuclear.

Actualmente el sistema energético está basado en su mayor parte en el empleo de combustibles fósiles y el consumo de leña. Esto ha traído como consecuencia la peligrosa degradación ambiental del planeta, debido a las emisiones de CO₂ a la atmósfera que están contribuyendo al cambio climático global, a las emisiones de otros gases contaminantes en las ciudades que afectan a la salud de las poblaciones y a la deforestación causada por la demanda de leña.

2.2.3. Biocombustibles

Son compuestos procedentes de materias primas renovables y con la característica de contribuir a la disminución de la contaminación ambiental en comparación con los combustibles procedentes de

fuentes fósiles. Entre los combustibles más conocidos tenemos el bioetanol, el biogás y el biodiesel.

2.2.4. El biodiesel

El biodiesel es un biocombustible líquido, derivado de aceites o grasas de origen vegetal o animal, siendo la palma aceitera, la soya, la jatropha y el aceite usado de cocina las materias primas más utilizadas para este fin. El prefijo *bio* hace referencia a su naturaleza renovable y biológica en contraste con el combustible diésel tradicional derivado del petróleo; mientras que *diésel* se refiere a su uso en motores de este tipo. Como combustible, el biodiesel puede ser usado en forma pura o mezclado con diésel de petróleo.

El National Biodiesel Board lo define como un: *“combustible compuesto de ésteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, derivados de aceites o grasas, vegetales o animales.”*

2.2.5. Ventajas del biodiesel

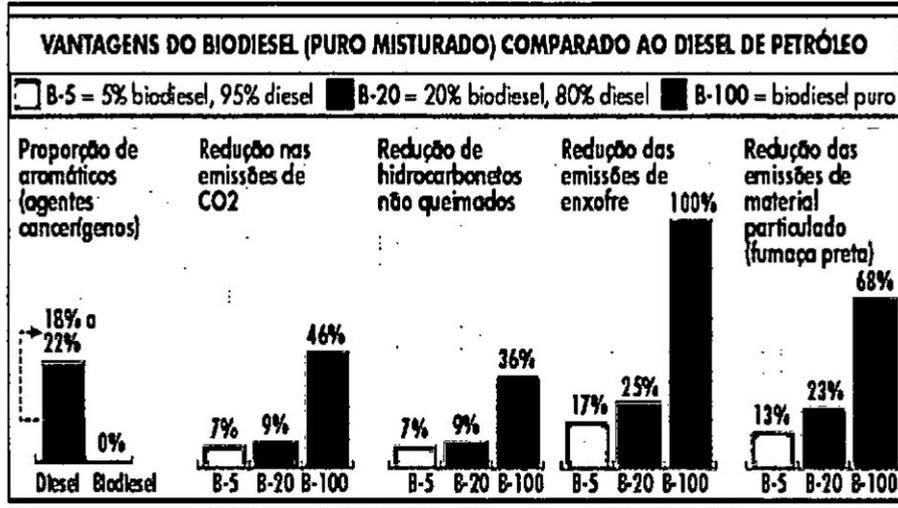
Respecto a la disminución del aire, el uso del biodiesel genera dos principales efectos: la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente CO₂ y la reducción de la mayoría de las emisiones tóxicas o contaminantes. Dado que en el Perú el sector transporte constituye la principal fuente de estas emisiones, la producción de biodiesel está orientada a la mejora de las características de estas emisiones, reemplazando total o parcialmente

el diésel convencional empleado por vehículos automotores. Es posible afirmar que sustituyendo o complementando el diésel con el biodiesel se puede ayudar a combatir uno de los principales efectos del uso de combustibles fósiles: el problema del cambio climático.

El biodiesel al ser un combustible oxigenado y no contener azufre, tiene una combustión más completa y con mejores emisiones. Asimismo, el biodiesel aún usado en mezclas del 2% o 5% con el diésel, reduce notablemente las emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x) y elimina las emisiones de benceno, que es un peligroso compuesto cancerígeno. De la misma manera se puede utilizar como aditivo para mejorar las propiedades de las mezclas diésel-etanol y además contribuye a la estabilidad de la mezcla.

GRÁFICO N° 2.2

BENEFICIOS AL MEDIOAMBIENTE EN EL USO DEL BIODIESEL



Fuente: (Marlen C. Alfonso Lorenzo, 2007)

FIGURA N° 2.1

ESPECIFICACIONES PARA EL BIODIESEL B100 – ASTM D6751-07

Property	ASTM Method	Limits	Units
Calcium & Magnesium, combined	EN 14538	5 max	ppm (ug/g)
Flash Point (closed cup)	D 93	93 min.	Degrees C
<i>Alcohol Control (One of the following must be met)</i>			
1. Methanol Content	EN14110	0.2 Max	% volume
2. Flash Point	D93	130 Min	Degrees C
Water & Sediment	D 2709	0.05 max.	% vol.
Kinematic Viscosity, 40 C	D 445	1.9 - 6.0	mm ² /sec.
Sulfated Ash	D 874	0.02 max.	% mass
Sulfur			
S 15 Grade	D 6453	0.0015 max. (15)	% mass (ppm)
S 500 Grade	D 6453	0.05 max. (500)	% mass (ppm)
Copper Strip Corrosion	D 130	No. 3 max.	
Cetane	D 613	47 min.	
Cloud Point	D 2500	Report	Degrees C
Carbon Residue 100% sample	D 4530*	0.05 max.	% mass
Acid Number	D 664	0.50 max.	mg KOH/g
Free Glycerin	D 6584	0.020 max.	% mass
Total Glycerin	D 6584	0.240 max.	% mass
Phosphorus Content	D 4951	0.001 max.	% mass
Distillation, T80 AET	D 1160	360 max.	Degrees C
Sodium/Potassium, combined	EN 14538	5 max	ppm
Oxidation Stability	EN 14112	3 min	hours

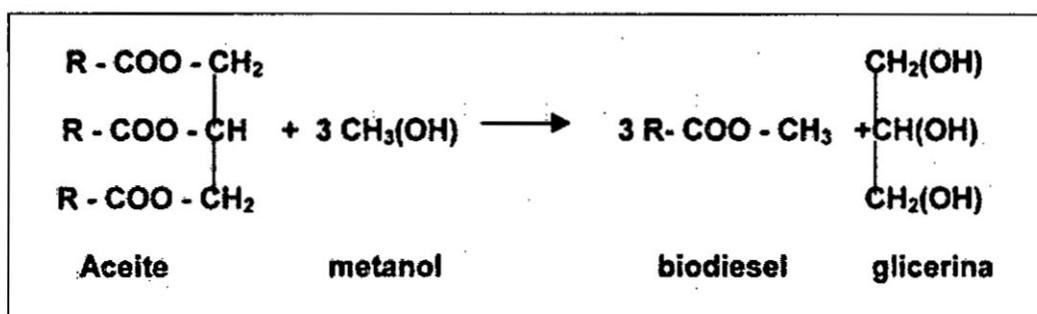
Fuente: Glycerin Traders, <http://www.glycerintraders.com>

2.2.6. Producción de biodiesel

El proceso global es una secuencia de tres reacciones reversibles y consecutivas, en las cuales mono y di-glicéridos son formados como productos intermedios (Paola Andrea Solano, 2008). Los aceites están compuestos principalmente por moléculas denominadas triglicéridos,

las cuales se componen de tres cadenas de ácidos grasos unidas a una molécula de glicerol, tal como se muestra en la figura 2.4

FIGURA N° 2.2
MOLÉCULA DE BIODIESEL



Fuente: Todo Sigue Igual, <https://todosigueigual.wordpress.com>

Como podemos notar, el biodiesel está compuesto de una cadena larga de átomos de carbono (en promedio 16 – 20 carbonos) con un grupo funcional de éster que se muestra al final.

Por otro lado, una molécula típica de diésel es muy similar a lo mostrado en la figura 2.5, excepto que no tiene el mismo grupo funcional de éster adjunto al final.

2.2.7. Tipos de transesterificación

a. Transesterificación ácida

Se da con catalizadores ácidos como el fosfórico, sulfúrico, clorhídrico, etc. Las conversiones a ésteres son elevadas, pero la velocidad de reacción es extremadamente lenta; además requiere mayor cantidad de alcohol lo cual la hace menos atractiva económicamente. La separación del glicerol es difícil de realizar y se requieren materiales de construcción resistentes a los ácidos.

b. Transesterificación enzimática

La reacción enzimática presenta como ventajas que no genera subproductos, la recuperación de productos es fácil, las condiciones de operación no son rigurosas y el catalizador es recuperable⁶.

Tiene como desventajas que el catalizador es caro, la cinética de la reacción es muy lenta y, debido a la inactivación de la enzima por medio de Metanol, la reacción no llega a ser completa como para cumplir con los requerimientos exigidos por las normas técnicas de calidad⁷.

⁶ (MANGESH y AJAY, 2006)

⁷ (VAN GERPEN, 2005)

c. Transesterificación heterogénea

Este proceso presenta como ventaja que el catalizador no se incluye como una impureza, y son fácilmente recuperables al final de la reacción; la cinética de separación de los productos es rápida lo que simplifica el proceso de purificación de biodiesel. Además, el glicerol producido tiene una pureza más alta que en otros procesos⁸. La desventaja es que en la reacción se requiere mayor temperatura y presión, y además se suele realizar en dos etapas para alcanzar niveles de reacción máximos.

d. Transesterificación supercrítica

En este método, los reactivos se llevan a las condiciones críticas del alcohol utilizado (Metanol), y se cargan al reactor. La cinética es 10 veces más rápida, con conversiones superiores al 99%. Pero, las desventajas son las condiciones extremas de operación a las que se debe llegar (350°C y 30MPa), lo cual hacen inviable la producción a gran escala⁹.

e. Transesterificación alcalina

Dentro de los procesos de transesterificación conocidos, el proceso alcalino es el más simple y el más usado para la producción de biodiesel, ya que los catalizadores utilizados (KOH

⁸ (HERVÉ, 2007)

⁹ (LIZANA, 2007)

o NaOH) son barato, presentan menor corrosión y se logra alcanzar conversiones superiores al 99%, además de presentar una cinética relativamente rápida. Se puede añadir que la separación de los productos es fácil de realizar. Como desventaja se tiene el proceso de pre tratamiento que debe realizarse a la materia prima, para remover toda el agua ya que esta induciría a un proceso de hidrólisis con formación de jabones y pérdidas de éster, asimismo se requiere un bajo contenido de ácidos grasos libres. Luego de la transesterificación, el biodiesel requiere un post tratamiento con la finalidad de disminuir las impurezas y retirar partículas sobrantes del catalizador.

2.2.8. Materia prima

El aceite vegetal usado en la producción de biodiesel puede obtenerse a partir de diversas oleaginosas. Estas oleaginosas difieren en sus especies por sus características agronómicas, y en relación con el contenido de aceite en la composición del grano y perfil de ácidos grasos. El uso de otros cultivos para la producción de biodiesel debe tener en cuenta los aspectos económicos y sociales de cada país y región, en relación con el desarrollo local/regional. La calidad del biodiesel producido en términos de sus normas también debe ser considerada. Estos dos aspectos, aunque relacionados, aseguran un producto de buena calidad. Las materias primas más utilizadas en la

producción de biodiesel en el Perú son, la palma aceitera en la Selva y la colza en la Sierra. Otras fuentes alternativas son los aceites y grasas usadas, el aceite de pescado y el sebo animal. Muchas investigaciones demuestran que es viable y eficiente la producción de biodiesel a partir de aceites usados de cocina; esta tiene como principal beneficio, evitar su vertimiento en los desagües y a cuerpos de agua como mares, ríos o lagos; que significa disminuir con la contaminación hídrica al igual que la afectación del suelo.

- **Características del aceite de uso doméstico reciclado**

El aceite de uso doméstico reciclado tiene un aspecto importante de mencionar, se puede utilizar varias veces; es por ello que sufre cambios en su composición física y química, por lo general aumento de viscosidad, calor específico, cambio en la tensión superficial y cambio en el color. En la tabla N° 2.1 se pueden apreciar las propiedades físicas y químicas de una muestra de este aceite.

TABLA N° 2.1
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ACEITE DE USO DOMÉSTICO
RECICLADO.

Parámetro	Valor	Unidades	Norma
Viscosidad Cinemática a 40 °C	40,2	cSt	ISO 3104
Densidad a 15°C	926	Kg/m ³	ISO 12185
Punto de Inflamación	286	°C	ISO 2719
Índice de Yodo	108	cg I ₂ /g aceite	ISO 14111
Índice de Saponificación	193,2	mg KOH/g aceite	AOCS CD3 1993
Valor Ácido	1,7	mg KOH/g aceite	ISO 14104
Contenido de agua	1200	mg/Kg	ISO 12937
Contenido de azufre	6	mg/Kg	ISO 20846
Carbón Residual	0,18	% m/m	ISO 10370
Peso molecular	879	g/mol	

Fuente: (Anastapoulos, 2013)

2.2.9. Tipos de catalizadores

a. Catalizador ácido

La transesterificación usando ácidos como catalizadores es uno de los métodos convencionales para producir biodiesel. De este tipo de catalizadores, el ácido sulfúrico ha sido el más utilizado¹⁰ como catalizador cuando se trabaja con aceites cuyo contenido de ácidos grasos es alto. A pesar de las ventajas de este catalizador se resalta que la reacción es bastante lenta.

¹⁰ (L. A. S. do Nascimento, 2011)

b. Catalizador enzimático

Los catalizadores enzimáticos como las lipasas son capaces de catalizar la transesterificación de los triglicéridos, especialmente el glicerol puede ser removido fácilmente, los ácidos grasos libres pueden ser convertidos totalmente en ésteres y la presencia de agua no es problemática. La ventaja más resaltante del uso de este tipo de catalizadores es que son amigables con el medio ambiente, es decir la reacción se efectúa a temperaturas cercanas a 20 °C – 30 °C, requiere menos procesos de purificación que con los catalizadores básicos y la glicerina que se produce es más limpia¹¹.

c. Catalizador heterogéneo

Los catalizadores heterogéneos son aquellos que se encuentran en una fase diferente a la de los reactantes. Es decir, que no se encuentran disueltos en el alcohol o aceite, sino que son sólidos, y por lo tanto fácilmente recuperables al final de la reacción.

Este tipo de catalizadores permiten superar algunos de los principales problemas de los catalizadores homogéneos como el hidróxido de sodio o potasio, o el metilato de sodio: los procesos de purificación del biodiesel para separar los restos de catalizador, y los de tratamiento de efluentes contaminados con los

¹¹ (M. G. Jang, 2011)

catalizadores.¹²

Como ventajas del proceso, la purificación del biodiesel sólo requiere la evaporación del metanol sobrante y la adsorción del glicerol, sin necesidad de lavado con agua. Asimismo, el glicerol producido es incoloro, de una pureza del 98%, sin presencia de cenizas u otros componentes inorgánicos. Las principales impurezas en el glicerol son agua, metanol y ésteres orgánicos. Esta mayor calidad otorga un valor agregado a este subproducto, que puede ayudar a mejorar la rentabilidad de la producción de biodiesel.⁶

d. Catalizador básico o alcalino

En el caso de la catálisis alcalina, es muy importante que los catalizadores se mantengan en un estado anhidro. Debe evitarse su contacto prolongado con el aire, pues éste disminuye su efectividad debido a la interacción con la humedad y con el dióxido de carbono.¹³ Los tres catalizadores cáusticos tienen ventajas y desventajas.

✓ El Hidróxido de sodio NaOH viene en forma de cristales que deben ser disueltos en el metanol antes de la transesterificación.

Es un producto muy barato y fácil de conseguir, pero es cáustico

¹² (BOURNAY et al. 2005)

¹³ (MEHER, 2006).

e irritante, y su manipulación directa sin protección respiratoria y para la piel debe evitarse. Además, el NaOH es muy higroscópico (absorbe humedad del ambiente), lo cual hace que los cristales se peguen entre sí y sean más difíciles de manipular, y además reduce su eficacia. Finalmente, la reacción con el metanol es exotérmica, genera calor, y el tanque donde se realiza esta disolución debe mantenerse refrigerado para evitar que se evapore el alcohol (causando pérdidas de este insumo y riesgos de incendio y para la salud de los trabajadores).¹⁴

- ✓ El hidróxido de potasio KOH es muy similar al hidróxido de sodio, viene también en forma de cristales que deben ser disueltos en el metanol antes de la transesterificación. Es un producto barato y disponible en la mayoría de los lugares. Debido a su mayor peso molecular, se necesita mayor cantidad de KOH que de NaOH para hacer el mismo trabajo, lo cual puede elevar costos.⁸
- ✓ El metilato de sodio no está disponible en estado puro, debido a que es muy inflamable. Se presenta entonces comercialmente como una solución al 30% en metanol. Esta solución es un líquido, lo cual constituye la principal ventaja: su manipulación

¹⁴ (MATTHYS, 2003).

(pese a su alta inflamabilidad y toxicidad) es sencilla, puede ser adaptada a un proceso continuo y realizarse mecánicamente sin necesidad de intervención de los operarios.⁸ Algunos estudios arrojan que el metilato es un catalizador más efectivo que los anteriores, pero otros indican que NaOH es mejor que NaOMe¹⁵. Igualmente, algunos autores indican que al utilizarse menor cantidad de metilato, al final quedan menos sales de sodio disueltas en el glicerol, lo cual hace su purificación más sencilla⁸. Otros, en cambio, mencionan que este catalizador causa la formación de diferentes subproductos, principalmente sales de sodio, que deben ser tratados como residuos, y que además requiere utilizar aceite de alta calidad. En conclusión, el metilato de sodio parece ser un muy buen catalizador con materias primas adecuadas, pero su costo es alto y su disponibilidad limitada⁸.

2.2.10. Alcoholes

Comercialmente el metanol es el alcohol más utilizado, aunque se pueden utilizar otros como: etanol, propanol, isopropanol, butanol, isobutanol, pentanol e isopentanol¹⁶. Entre metanol y etanol, el metanol es más costoso, es difícil de manipular ya que requiere

¹⁵ (MA et al. 1998)

¹⁶ (A. F. Rojas González, 2009)

medidas de seguridad contra incendios y manipulación, y proviene de fuentes fósiles, sin embargo, permite conversiones de equilibrio mayores debido a que favorece la formación del metóxido¹⁷, además los metil ésteres son menos viscosos que los provenientes del etanol facilitando la combustión en motores diésel en climas fríos.

2.2.11. Tipos de reactores para la Producción de biodiesel

Existen varios tipos de reactores, los cuales son de diferente aplicación los cuales pueden resumirse en tres tipos:¹⁸

a. Reactores tipo batch (Discontinuo)

El reactor tipo Batch es un reactor donde no existe flujo de entrada ni de salida, es simplemente un reactor con un agitador que homogeniza la mezcla. Se emplean para operaciones a pequeña escala, a escalas de laboratorio, para fabricar productos costosos o de difícil elaboración. Un "lote o batch" de productos reactantes es introducido al reactor operado a condiciones normales, hasta alcanzar el objetivo de mezclado.

b. Reactores CSTR (Perfectamente agitado)

En este tipo de reactores, los reactantes y productos son añadidos y removidos continuamente con un constante flujo de masa. Estos

¹⁷ (G. Mendow, 2011)

¹⁸ (LEVENSPIEL, 2004)

reactores pueden ser usados en series o en paralelo y a gran escala.

c. Reactores semibatch

Para estos reactores, alguno de los reactantes se introduce inicialmente para luego gradualmente hacer uso de los demás reactantes. Los reactores semi batch son altamente útiles cuando se trata de altas transferencias de calor.

2.2.12. Variables que afectan el proceso de producción del biodiesel

a. Temperatura de reacción

La alcoholísis ocurre a variadas temperaturas dependiendo del aceite y alcohol empleado. Aunque al incrementar la temperatura el rendimiento aumenta y el tiempo de reacción se reduce, se recomienda que la temperatura no exceda el punto de ebullición del alcohol, porque se vaporiza y forma burbujas que limitan la reacción en las interfaces alcohol/aceite¹⁹. Algunas investigaciones establecen que la temperatura que debe llevarse a cabo la reacción es de 55°C; pero otros establecen que la reacción de transesterificación debe ser entre los 60 y 80 °C¹⁸²⁰. Sin embargo, se debe resaltar que dependiendo del reactor a emplear la

¹⁹ (Liu, 2008)

²⁰ (Alenezi, 2013)

temperatura no deben ser tan altas para evitar una evaporación del alcohol, factor que puede ser un serio problema siempre que no se encuentre con un recipiente seguro frente a la hermeticidad y presión.

b. Tiempo de reacción

De la literatura revisada se tiene que el rendimiento aumenta con el tiempo de reacción. Para el AFU en una catálisis ácida (H_2SO_4), con una relación molar de 16:1 y a $95^\circ C$ se desarrolló la reacción en tiempos entre 1, 6 y 10 horas con un rendimiento de 27, 80 y 93% respectivamente.

Según un estudio realizado en el departamento de Caquetá Colombia de AUF con experimentación de siete tipos de catalizadores y variables tales como la proporción de catalizador, tiempo de reacción de 2 horas y temperatura de $60^\circ C$ se lograron rendimientos de 87,5% de biodiesel²¹.

c. Intensidad del mezclado

La intensidad de mezclado es importante al comienzo de la reacción dado que al alimentar los reactivos al reactor se forma un sistema de dos fases líquidas inmiscibles entre el aceite y la solución alcohol/catalizador¹⁷. Por esto la agitación crea pequeñas partículas del alcohol que se dispersan en el interior del aceite

²¹ (Ordóñez, 2013)

obteniendo unas grandes áreas de contacto entre los dos fluidos. Para el caso de la transesterificación se producen dos fases cuando se detiene la agitación, glicerina en la parte inferior y el biodiesel en la parte superior. Algunos reportes establecen que los rangos de velocidad de agitación para el proceso están entre 150 RPM y 1200 RPM²¹.

TABLA N° 2.2

CONDICIONES DE OPERACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL
POR CATÁLISIS HOMOGÉNEA.

Aceite	Tipo de catalizador	Catalizador	[Catalizador] % w/w	Alcohol	Relación molar Alcohol:aceite	Tiempo, horas	Temperatura, °C	Rendimiento, Conversión, %	Referencia
Uso de	Ácido	H ₂ SO ₄	0.1	Metanol	3.6:1	40.0	63	33.3	Nye, 1983
				Etanol	3.3:1		73	73.3	
				1-Propanol	3.3:1		90	37.7	
				1-Butanol	3.6:1		80	34.6	
				2-Etanol	4.2:1		105	80.5	
Soya	Ácido	H ₂ SO ₄	1.0	Metanol	30:1	11.0	63	91.0	Freedman, 1984
Coca	Básico	NaOH	1.6	Metanol	6:1	38 min.	63	97.32	Karademir, 1996
						42 min.		98.18	
						50 min.		99.69	
Girasol refinado	Ácido	H ₂ SO ₄	2.3	Metanol	6.25:1	6.0	60	23.0	Pareda, 2003
						12.0		60.0	
	Básico	NaOH	1.1	Metanol	7.76:1	6.0	60	43.0	
						11.0		38.0	
Uso de	Básico	KOH	1.0	Metanol	6:1	0.5	25	93.0	Tomovic, 2003
								93.0	
Girasol	Básico	NaOH KOH NaOCH ₃ KOCH ₃	1.0	Metanol	6:1	4.0	63	86.71	Vicente, 2004
								91.67	
								98.33	
								98.46	
Palma	Básico	NaOH KOH	0.6 1.1	Metanol	12:1 7:1	1.5	60	98.4	Benjumea, 2004
								87.6	
Uso de	Básico	NaOH KOH NaOCH ₃ KOCH ₃ KOH	0.5 1.25 1.5	Metanol	6:1	2.0	63	77.0	Encinar, 2005
								94.0	
								73.0	
								88.0	
								74.0	
89.0									
82.5									
Girasol Coca Uso de	Básico	KOH	1.0	Metanol	6:1	1.0	25	96.0	Vicente, 2006
96.11									
97.23									
Uso de	Básico	NaOH	0.2 1.0	Metanol	5.4:1	1	62	92.7	Felizardo, 2006
								87.0	
Uso de	Ácido	H ₂ SO ₄	4.0	Metanol	16:1	1.0	51	27.0	Wang, 2006
						4.0		30.0	
						10.0		93.0	
Pisano	Ácido	H ₂ SO ₄	Alcohol 60:10:2 mol	Metanol Etanol Metanol Etanol Metanol Etanol Etanol	6:1	4.0	60	84.0	Meneghetti, 2006
							80	63.0	
							60	61.0	
							80	77.0	
							60	39.0	
							80	53.0	
							60	68.0	
80	46.0								
Girasol	Básico	KOH	1.5	Metanol	4.5 7.5	1.0	22	97.17	Vicente, 2007
							62	90.43	
							22	96.38	
							62	89.42	
Uso de	Básico	NaOH KOH	0.8% m/v 0.8% m/v 1.0% m/v 1.4% m/v	Metanol	8.9:1 8.9:1 6.7:1 8.9:1	1.0 1.5 1.0 1.5	60	94.0	Chirino, 2007
							83.0		
							92.0		
							90.0		
Pisano	Básico	NaOH	0.5 1.1 0.8 0.8	Metanol	9:1 9:1 12:1 13:1	2.0	22	89.0	Benedict, 2007
							22	78.0	
							30	83.0	
							30	81.0	
Pisano	Básico	NaOH	1.0 1.0 0.5 0.5	Metanol	12:1	1.5	40	91.69	Challa, 2007
							62	97.81	
							40	93.71	
							62	97.31	
Palma refinado	Básico	NaOH	1.0	Etanol	6:1	1.5	72	79.8	Marquez, 2007
Uso de	Básico	NaOH KOH	1.0	Etanol	12:1	1.0	60	63.5	Encinar, 2007
							78	74.2	
Soya Pisano Algodón	Básico	NaOH	Alcohol 34.6:1 mol	Metanol	3.2:1	1.0	60	87.0	Meneghetti, 2007
Girasol + Doméstico Restaurante	Básico	KOH	1.0	Metanol	9:1	1.0	62	98.16	Pérez, 2008
								97.79	
								95.74	

* Es aceite Virgen de girasol, y aceite usado doméstico y de restaurante

Fuente: (A. F. Rojas González, 2009)

2.2.13. Producción de biodiesel a partir de aceite de uso doméstico reciclado

a. Pretratamiento del aceite

Se realiza la reducción del grado de acidez para refinar los aceites y grasas, eliminando los ácidos grasos y fosfáticos. El aceite crudo y las grasas se precalientan, se dosifica el ácido fosfórico y precipitan gomas, compuestos orgánicos y otras impurezas (desgomado). A continuación, se añade soda cáustica (KOH) para neutralizar los ácidos grasos y el ácido fosfórico. Una vez neutralizado se separan las impurezas mediante decantación. El aceite desgomado se lava con agua caliente, se decanta y se seca al vacío. Con los efluentes se generan jabones (borras de neutralización) que se almacenan en pozas para su posterior comercialización.

b. Producción de biodiesel y glicerina

El aceite refinado obtenido en el proceso de pretratamiento se somete a un proceso de transesterificación haciéndolo reaccionar con metanol en presencia de una solución de hidróxido de sodio en metanol. Se obtienen 02 fases: Biodiesel combustible (metil éster) y glicerina cruda.

b.1 Preparación del metóxido:

Se prepara la solución NaOH en metanol en un reactor de disolución.

El metanol se bombea desde un tanque exterior.

b.2 Transesterificación:

El aceite tratado se somete directamente a una transesterificación en un reactor con agitación y calentamiento haciéndolo reaccionar con la solución de Metóxido. El alcohol no reaccionado se recupera mediante destilación, el metanol se envía al tanque de metanol recuperado y se reutiliza de nuevo.

b.3 Separación:

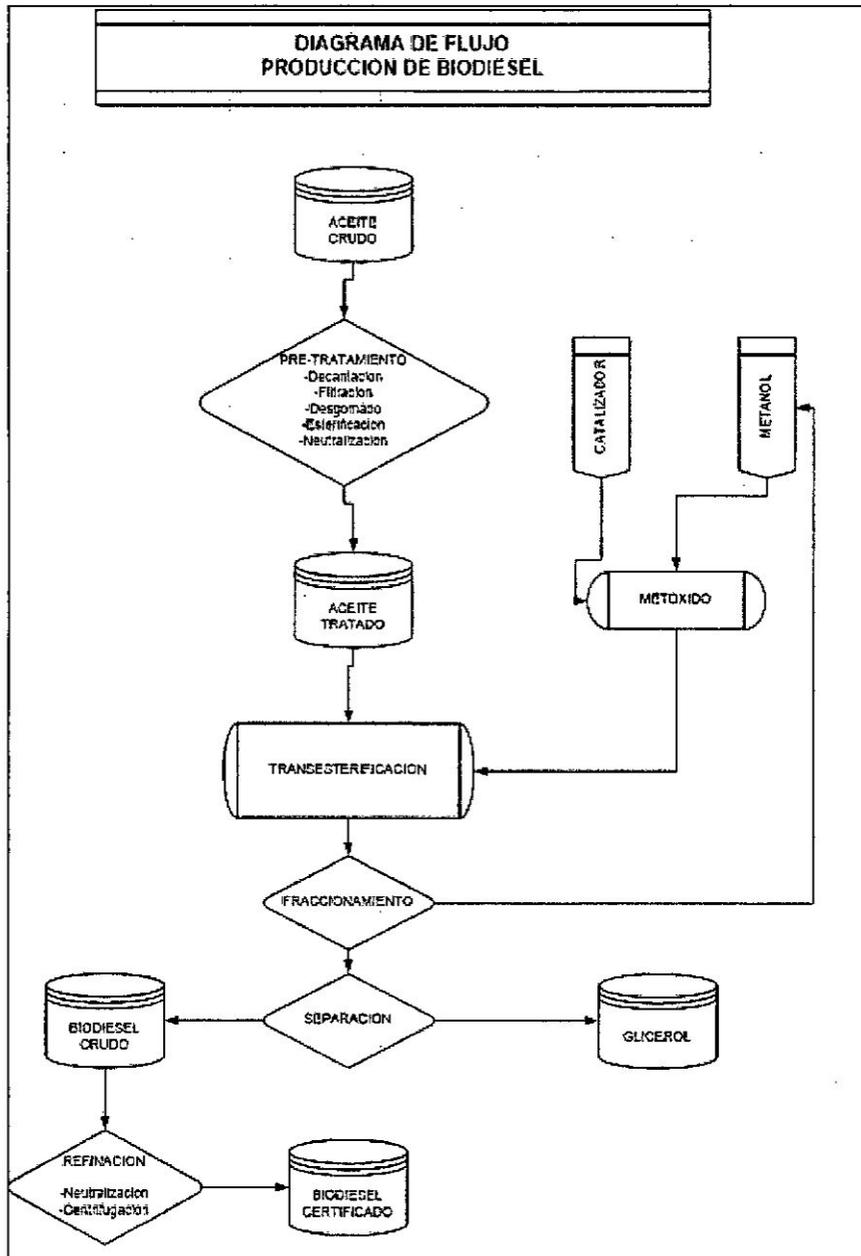
La mezcla transesterificada se envía al tanque de separación que permite la obtención de las fases de glicerina y de metil éster. El metil éster es centrifugado y es pasado a una columna de fraccionamiento para recuperar el metanol y se envía a la fase de refinación. La fase de glicerina se gestiona como residuo o como subproducto.

c. Refinación

El metil éster libre de metano se neutraliza, regulando su pH y se seca a 105 °C, se le retira cualquier impureza con un lavado en seco a través de un chiller para precipitar las estearinas. Una vez frío es pasado por una máquina centrífuga pulidora a los tanques finales para su expedición.

FIGURA 2.4

DIAGRAMA DE FLUJO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL.



Fuente: Heaven Petroleum Operators S.A.

2.3. Definición de términos básicos

1) **Capacidad calorífica:** Se define como la cantidad de calor necesaria para que aumente la unidad de masa su temperatura un grado. Se expresa en unidades de J/Kg-mol-K para el sistema internacional.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Calor_espec%C3%ADfico

2) **Flujo másico:** Es la cantidad de masa que fluye a través del sistema por unidad de tiempo, la cual se obtiene multiplicando el flujo volumétrico por la densidad del fluido.

Fuente: https://www.academia.edu/MECANICA_DE_FLUIDOS_I

3) **Flujo volumétrico:** Es aquel que se mide en unidades de volumen sobre tiempo, donde el volumen es el espacio que ocupa la materia.

Fuente: <http://www.correodelmaestro.com>

4) **Hidróxido de potasio (KOH):** También conocido como potasa cáustica, es un compuesto químico inorgánico que trabaja como base en las reacciones químicas:

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Hidróxido_de_potasio

5) **Hidróxido de sodio (NaOH):** También conocido como, hidróxido sódico, hidrato de sodio, soda cáustica o sosa cáustica. Utilizado en la fabricación de papel, tejidos, en la elaboración de lodos de perforación base agua.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Hidróxido_de_sodio

- 6) Máxima presión de trabajo admisible (MAWP):** La máxima presión de trabajo en un recipiente es la presión a la que está sometida el elemento más débil, correspondiente al esfuerzo máximo admisible en las condiciones de operación.
- Fuente: <http://recursosbiblio.url.edu.gt>
- 7) Metilato de sodio (MeNa):** También conocido como metóxido de sodio, con fórmula química CH_3ONa . Es empleado como reactivo a nivel industrial.
- Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Metóxido_de_sodio
- 8) Presión de operación:** La presión de operación es la presión de trabajo al cual está sometido el recipiente bajo condiciones normales de operación.
- Fuente: https://www.academia.edu/7116276/Diseño_y_Calculo_de_Recipientes_a_Presion
- 9) Presión de diseño:** La presión de diseño es aquella presión que se utiliza para diseñar el recipiente, esta presión de diseño es utilizada para garantizar la seguridad del equipo.
- Fuente: Compendio de cálculo estructural I, J. Massa/J. Giro/ A. Giudici
- 10) Reactor químico:** m. Quím. Recipiente diseñado para que en su interior se produzcan reacciones químicas o biológicas.

Fuente: Reactores químicos. Dr. Rafael Camarillo

11) Reacción de transesterificación: Proceso de intercambiar el grupo alcoxi de un alcohol, catalizadas mediante la adición de una base o un ácido.

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Transesterificacion>

12) Tiempo de mezclado: Se toma al tiempo de mezclado como el tiempo necesario para que se dé una reacción con cierto grado de conversión²².

13) Volumen del reactor: El volumen del reactor, es el volumen necesario para que una reacción se lleve a cabo²³.

²² (Fogler, 2008)

CAPITULO III

III. VARIABLES E HIPOTESIS

3.1. Variables de la investigación

Por su naturaleza, todas las variables identificadas son del tipo cuantitativas. Por su dependencia, la variable Y es dependiente y la variable X es independiente.

Es decir: $Y = F(X)$

3.1.1. Variable dependiente

Y = Producción de biodiesel

Definición conceptual: Actividades relacionadas a la gestión y el proceso de producción del biodiesel.

3.1.2. Variable independiente

X = Diseño de un reactor de químico.

Definición conceptual: Dimensionamiento del recipiente de almacenamiento, el sistema de calentamiento y el sistema de agitación.

3.2. Operacionalización de las variables

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Variable Independiente: Diseño de un Reactor de Químico	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de los diferentes tipos de Reactores 	<ul style="list-style-type: none"> • Presión • Temperatura • Viscosidad de la mezcla • Corrosividad de los reactantes • Tipo de alcohol • Tipo de Catalizador 	<ul style="list-style-type: none"> • Documentación • Fichas de observación.
	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de los sistemas de agitación en reactores 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de mezclado • Viscosidad de la mezcla • Potencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Documentación • Fichas de observación.
	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de los sistemas de calentamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Densidad • Tiempo de Reacción 	<ul style="list-style-type: none"> • Documentación
	<ul style="list-style-type: none"> • Costos de fabricación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación económica del proyecto 	<ul style="list-style-type: none"> • Documentación
Variable Dependiente: Producción de Biodiesel	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión de producción 	<ul style="list-style-type: none"> • Mano de obra de operadores de Planta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa y controlada

3.3. Hipótesis

3.3.1. Hipótesis general

El diseño de un reactor químico de 15,000 galones permitirá producir biodiesel a partir de aceite de uso doméstico reciclado, luego de construido el equipo.

3.3.2. Hipótesis específicas

- Las características de diseño de los sistemas de agitación y calentamiento nos permitirán realizar una mezcla homogénea óptima.
- Las ecuaciones de diseño y balance de masa a partir de datos experimentales nos permitirán dimensionar el reactor químico.
- Con el costo de los equipos y herramientas, podremos estimar el impacto económico para la construcción del reactor químico.

CAPITULO IV

IV. METODOLOGIA

4.1. Tipo de investigación

Según el propósito de la investigación se tiene lo siguiente:

Por su finalidad es del tipo tecnológico y nivel de investigación aplicada.

Sánchez y Reyes (2002; 18) afirma:

La investigación aplicada es llamada también constructiva o utilitaria, se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos teóricos a determinada situación concreta y las consecuencias prácticas que de ella deriven. La investigación aplicada busca conocer para hacer, para actuar, para construir, para modificar, le preocupa la aplicación inmediata sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de un conocimiento de valor universal.

4.2. Diseño de la Investigación

Según el propósito de la investigación el diseño de la investigación es no experimental.

Hernandez, Fernandez y Baptista (2001) afirman:

La investigación no experimental es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, es investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Lo que hacemos en la investigación no

experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.

4.2.1. Parámetros básicos de investigación

El reactor químico que se diseñará es un recipiente a presión de 15,000 GAL de capacidad nominal, en donde se llevará a cabo el proceso de transesterificación entre el aceite de uso doméstico reciclado y el metóxido (metanol-catalizador). La forma del recipiente constará de un cuerpo cilíndrico, un cabezal y un fondo del tipo toriesférico.

Los datos de entrada para realizar el diseño son:

- Presión de Operación
- Temperatura de Operación
- Volumen de Operación
- Presión de Diseño
- Temperatura de Diseño
- Volumen de diseño
- Eficiencia de la soldadura
- Esfuerzo del material
- Densidad del aceite de uso doméstico reciclado
- Densidad del biodiesel
- Densidad del agua
- Densidad del metanol
- Viscosidad del Aceite de uso doméstico reciclado

- Viscosidad del metanol
- Viscosidad del catalizador
- Peso específico del agua
- Peso específico del biodiesel

4.2.2. Etapas de la investigación

Primera etapa de la investigación

En la primera etapa de la investigación se recurrió a la revisión de la teoría vinculada a la variable de la investigación con el propósito de identificar algunos argumentos filosóficos, antecedentes de estudio y bases científicas.

Segunda etapa de la investigación

En la segunda etapa de la investigación, con la teoría y la información lograda en la primera etapa, se realizó un riguroso análisis de la información obtenida para generar la propuesta de solución al problema de investigación. Además, se definieron las especificaciones de diseño en base a la literatura revisada y nuestros objetivos.

Tercera etapa de la investigación

Se realizó una generación de conceptos, en donde se desarrolló una disgregación ideal de nuestro diseño, además de un análisis morfológico de las posibles soluciones.

Cuarta etapa de la investigación

Se realizaron cuadros comparativos de las soluciones encontradas para elegir la óptima y cumplir nuestros objetivos planteados inicialmente.

Quinta etapa de la investigación

Se realiza el diseño detallado del reactor químico, así como de sus subsistemas.

Sexta etapa de la investigación

Se realiza una estimación de los costos de fabricación del reactor químico y de los subsistemas que lo componen.

a. Investigación preliminar

Se realizó una búsqueda de información en libros, normas y artículos académicos los cuales fueron de gran ayuda para el diseño del recipiente y sus subsistemas. También se acudió a diversos catálogos de proveedores de planchas y perfiles metálicos, así como de equipos de eléctricos y de agitación. Además, se obtuvieron los valores de densidad y viscosidad del aceite de uso doméstico reciclado (Tabla N° 2.2), el metanol y el catalizador (KOH). En el Anexo 1 podremos encontrar la ficha MSDS del metanol y el catalizador.

b. Especificaciones de diseño

Para nuestro diseño final se deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

- ✓ Capacidad nominal de almacenamiento: 15,000 Gal.
- ✓ Temperatura de reacción: 60°C.
- ✓ Presión de operación: 4 bar
- ✓ Vida útil: 25 años.
- ✓ Capacidad de mezcla de solución con viscosidad entre 2 – 5 cP.
- ✓ Cumplimiento del estándar ASME Secc. VIII Div. 1
- ✓ Materiales existentes en el mercado local.

c. Generación de conceptos

c.1. Descomposición del equipo

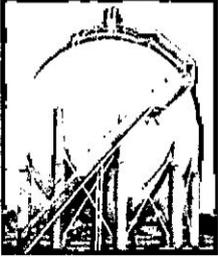
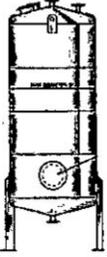
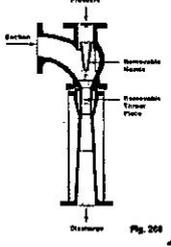
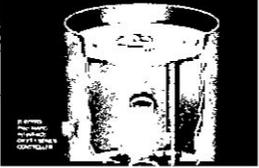
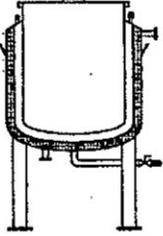
El reactor químico para la producción de biodiesel a partir de aceite de uso doméstico reciclado debe cumplir con las siguientes funciones:

- Agitación
- Calentamiento
- Almacenamiento

c.2 Alternativas de solución

TABLA N° 4.1

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Cr	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
ALMACENAMIENTO	 <p>RECTANGULAR</p>	 <p>ESFÉRICO</p>	 <p>CILÍNDRICO</p>
AGITACIÓN	 <p>AGITADOR MECANICO</p>	 <p>EYECTOR</p>	 <p>PULSADOR DE AIRE</p>
CALENTAMIENTO	 <p>ENCHAQUETADO</p>	 <p>SERPENTIN HELICOIDAL</p>	 <p>CALENTADOR ELECTRICO</p>

Fuente: Elaboración Propia

d. Selección de la Solución

d.1 Almacenamiento

Se tomaron cinco características básicas para la selección de la forma del cuerpo del tanque:

- Construcción
- Mezclado
- Ejecución de mantenimiento
- Diseño
- Estética y ergonomía

Se realizó una comparativa de los criterios, según la importancia de cada uno se les asignó un peso significativo:

1: Importante

2: Muy Importante

3: Doblemente importante

En la tabla N° 4.2 se puede observar el resultado de la comparación de criterio, así como el peso obtenido para cada uno:

TABLA N° 4.2

CUADRO COMPARATIVO DE CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL CUERPO

Criterios a evaluar	Construcción	Mezclado	Ejecución de Mantenimiento	Diseño	Estética y ergonomía	TOTAL	PESO
Construcción	1.00	2.00	2.00	3.00	3.00	11.00	0.36
Mezclado	0.50	1.00	1.50	2.00	2.00	7.00	0.23
Ejecución de Mantenimiento	0.50	0.75	1.00	1.50	1.50	5.25	0.18
Diseño	0.45	0.50	0.75	1.00	1.00	3.70	0.13
Estética y ergonomía	0.33	0.50	0.75	1.00	1.00	3.58	0.12
TOTAL						30.61	1.00

Fuente: Elaboración propia.

Cada alternativa fue evaluada de acuerdo a la perspectiva de diseño adquirida de la literatura revisada donde se asignaron los siguientes valores de puntuación:

- 1: Malo
- 2: Regular
- 3: Bueno
- 4: Muy Bueno

Seguidamente, se realizó una evaluación de cada criterio con su respectivo peso, de donde se seleccionó la alternativa con mayor puntuación. Los valores se muestran en la siguiente tabla N° 4.3:

TABLA N° 4.3

SELECCIÓN DE DISEÑO PARA EL CUERPO DEL RECIPIENTE

CRITERIOS	PESO	ALTERNATIVAS					
		Rectangular		Esférico		Cilíndrico	
Construcción	0.36	4	1.44	1	0.36	3	1.08
Mezclado	0.23	1	0.23	4	0.92	3	0.69
Ejecución de Mantenimiento	0.18	3	0.54	2	0.36	4	0.72
Diseño	0.13	3	0.39	1	0.13	4	0.52
Estética y ergonomía	0.12	1	0.12	3	0.36	3	0.36
TOTAL	1.00	2.72		2.13		3.37	

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos podemos ver que la mejor alternativa para realizar nuestro diseño es el de la forma cilíndrica vertical.

d.2 Sistema de Agitación

Para la selección de este sistema se evaluaron los sistemas indicados en la tabla N° 4.1, según los siguientes criterios:

- ✓ Costos de fabricación
- ✓ Vida útil
- ✓ Costos de operación
- ✓ Costos de mantenimiento

- ✓ Facilidad de mezclado
- ✓ Capacidad de mezclado

Para la selección del sistema de agitación se utilizó el mismo método de comparación que el de la selección del diseño del cuerpo del tanque. Los resultados se muestran en la tabla N° 4.4:

TABLA N° 4.4
CUADRO COMPARATIVO DE CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL
AGITADOR

Criterios a evaluar	Costos de construcción	Vida Útil	Costos de Operación	Costos de mantenimiento	Facilidad de Mezclado	Capacidad de mezclado	TOTAL	PESO
Costos de construcción	1.00	1.00	1.50	0.50	2.00	3.00	9.00	0.16
Vida Útil	1.00	1.00	1.50	2.00	0.75	0.50	6.75	0.12
Costos de Operación	3.00	3.00	1.00	3.00	2.00	3.00	15.00	0.27
Costos de mantenimiento	0.50	0.50	0.25	1.00	0.25	0.50	3.00	0.05
Facilidad de mezclado	2.00	2.00	0.50	2.00	1.00	0.50	8.00	0.15
Capacidad de mezclado	3.00	3.00	1.00	3.00	2.00	1.00	13.00	0.25
TOTAL							54.75	1.00

Fuente: Elaboración propia

La Tabla N° 4.5 muestra la evaluación realizada para las alternativas propuestas del sistema de agitación.

TABLA N° 4.5

SELECCIÓN DE DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN

CRITERIOS	PESO	ALTERNATIVAS					
		Agitador Mecánico		Eyectores		Pulsador de Aire	
Costos de construcción	0.16	1	0.16	1	0.16	4	0.64
Vida Útil	0.12	3	0.36	4	0.48	4	0.48
Costos de Operación	0.27	4	1.08	3	0.81	3	0.81
Costos de mantenimiento	0.05	2	0.10	2	0.10	2	0.10
Facilidad de mezclado	0.15	4	0.60	3	0.45	3	0.45
Capacidad de mezclado	0.25	3	0.75	2	0.50	1	0.25
TOTAL	1.00	3.05		2.50		2.73	

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N° 4.5 podemos observar que el agitador mecánico es la mejor alternativa para cumplir con la función de agitación.

d.3 Sistema de Calentamiento

Se realizó la evaluación de los sistemas indicados anteriormente para seleccionar el más adecuado para nuestro proceso:

- Interferencia con el proceso de mezcla
- Eficiencia
- Costo
- Facilidad de mantenimiento
- Facilidad de construcción

Para la selección del sistema de calentamiento se utilizó el mismo método de comparación anteriormente utilizado. Los resultados se muestran en la tabla 4.6:

TABLA N° 4.6

CUADRO COMPARATIVO DE CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

Criterios a evaluar	Interferencia con el mezclado	Eficiencia	Costo Inicial	Facilidad de mantenimiento	Facilidad de construcción	TOTAL	PESO
Interferencia con el mezclado	1.00	1.00	2.00	2.00	3.00	9.00	0.31
Eficiencia	1.00	1.00	2.00	2.00	3.00	9.00	0.31
Costo Inicial	0.50	0.25	1.00	1.00	1.50	4.25	0.15
Facilidad de mantenimiento	0.25	0.50	0.75	1.00	1.00	3.50	0.12
Facilidad de Construcción	0.33	0.33	0.75	0.75	1.00	3.16	0.11
TOTAL						28.91	1.00

Fuente: Creación propia

La Tabla N° 4.7 muestra la evaluación realizada para las alternativas propuestas del sistema de calentamiento.

TABLA N° 4.7

SELECCIÓN DE DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

CRITERIOS	PESO	ALTERNATIVAS					
		Chaqueta		Serpentín		Eléctrico	
Interferencia con el mezclado	0.31	4	1.24	1	0.31	2	0.62
Eficiencia	0.31	1	0.31	4	1.24	2	0.62
Costo Inicial	0.15	2	0.30	4	0.60	1	0.15
Facilidad de mantenimiento	0.12	1	0.12	2	0.24	4	0.48
Facilidad de Construcción	0.11	2	0.22	3	0.33	4	0.44
TOTAL	1.00	2.19		2.72		2.31	

Fuente: Creación propia

De la tabla encontramos que el serpentín de calentamiento es la mejor alternativa para cumplir con el calentamiento de la mezcla hasta la temperatura solicitada.

e. Solución Seleccionada

De los resultados obtenidos de las tablas se obtuvo lo siguiente:

- Almacenamiento: Recipiente Cilíndrico Vertical
- Sistema de Agitación: Agitador Mecánico
- Sistema de Calentamiento: Serpentín helicoidal de vapor

4.2.3. Detalles de la Investigación

a. Diseño del Recipiente

Para nuestro diseño, de la literatura revisada se escogió un reactor tipo batch (por lotes), ya que este tipo de equipos trabaja a condiciones isotérmicas y a volumen constante.

a.1 Selección del material

El material seleccionado para nuestro diseño del recipiente fue un material tal que asegure la confiabilidad del equipo además de evitar en mayor medida la corrosión y el desgaste prematuro del mismo. De la misma manera, se analizó el costo del material a elegir, con lo que se pudo determinar más adelante un análisis para la construcción del equipo. Por último, se revisó la disponibilidad, en nuestro mercado.

Analizando los elementos que reaccionarán en el equipo tenemos:

- ✓ Aceite de uso doméstico reciclado
- ✓ Metanol
- ✓ Hidróxido de Potasio

Con lo que podemos notar que disponemos de elementos corrosivos, por lo tanto, necesitaremos hacer uso del Acero Inoxidable, aunque el costo sea un poco mayor comparado con el acero al carbono, su contenido de cromo y níquel permite una alta resistencia a la oxidación.

El material seleccionado es de la familia de Aceros Austeníticos 300, fue el Acero Inoxidable 304, debido a la gran cantidad de aplicaciones que tiene, además de ser comercial, de bajo costo, y la principal característica, el bajo contenido de carbono con lo que evitaremos la precipitación de carburos a alta temperatura.

Por lo tanto, nos dirigimos a la norma ASME Sección II Parte D, donde encontraremos las propiedades mecánicas del acero inoxidable 304 las cuales se detallan en la tabla N° 4.8:

TABLA N° 4.8

PROPIEDADES MECÁNICAS ACERO INOXIDABLE 304

Composición Nominal	Forma del Producto	Especificación	Tipo/Grado	Esfuerzo a la tensión (ksi)	Esfuerzo a la fluencia (ksi)	Esfuerzo máximo admisible (ksi)
18Cr – 8Ni	Plancha	SA – 240	304	75	30	16.7

Fuente: ASME Secc. II Parte D -2015, Tabla 1A, pp. 86-88

a.2 Diseño del recipiente a presión

De la literatura revisada, se obtuvo que para producir biodiesel se requiere contar con una temperatura de operación de 60° y una presión de 4 bar, además para calcular la cantidad en peso de los reactantes, se hizo uso de la relación molar entre el aceite y el metanol de 1:6 (Tabla N° 2.2) y la relación KOH/aceite del 1% en peso, con lo cual obtenemos lo siguiente:

TABLA N° 4.9
RESULTADO DEL BALANCE ESTEQUIOMÉTRICO DE LOS
REACTANTES

Reactante	Masa (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Volumen (m ³)
Aceite de Uso Doméstico	32,254	926	34.83
KOH	316	2040	0.16
Metanol	5489	720	7.62

Fuente: Elaboración Propia

De los datos presentados, tenemos que la presión de operación en el reactor es de 4 bares, sin embargo, necesitamos definir una presión de diseño, con lo cual se consideró a la presión de prueba hidrostática como nuestra presión de diseño, resultando en lo siguiente:

$$P_{diseño} = P_{PruebaH} = 1.5 \times P_{operación}$$

$$P_{diseño} = 6 \text{ bar} \cong 90 \text{ psi}$$

Según parámetros de diseño de recipientes y columnas, podemos utilizar la siguiente relación:

$$\frac{H_L}{D} = 1$$

Donde:

H_L = Altura de líquido = 85% H_T , esto se toma para evitar derrames y es conocido como protección de sobrellenado.

H_T = Altura total del cuerpo del reactor

D = Diámetro del recipiente o columna

Entonces:

$$V_{operación} = V_{cilindro} + V_{fondo}$$

De la literatura revisada también podemos obtener que:

$$V_{operación} = V_{diseño} * 75\%$$

Reemplazando datos:

$$V_{operación} = 15000 * 75\%$$

$$V_{operación} = 11250 \text{ GAL} \cong 42.61 \text{ m}^3$$

Como el reactor químico tendrá cuerpo cilíndrico, cabezal y fondo toriesférico, tenemos lo siguiente:

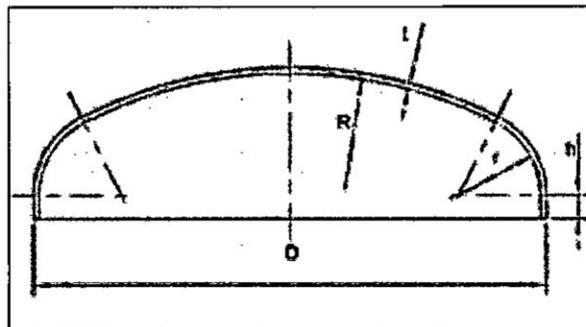
$$V_{cuerpo} = \frac{\pi}{4} * D^2 * H_L$$

Para hallar el volumen de las tapas toriesféricas, necesitamos:

$$V_{tapa} = 0.1 * D^3 + 0.7854 * h * D^2$$

FIGURA N° 4.1

DETALLES DE DISEÑO PARA UNA TAPA TORIESFÉRICA



Fuente: <https://www.dirind.com>

Donde:

h = altura del cabezal, $h \geq 50 \text{ mm}$

Tomando:

$h = 50 \text{ mm}$

$$V_{\text{torisférico}} = 0.1 * D^3 + 0.0393 * D^2$$

Entonces:

$$V_T = V_{\text{cilindro}} + V_{\text{torisférico}}$$

De la relación entre H_L y D podemos reemplazar en la fórmula:

$$42.586 = \frac{\pi}{4} * D^2 * D + 0.1 * D^3 + 0.0393 * D^2$$

$$D_1 = 3.622 \text{ m}$$

$$D_2 = -1.833 + 3.15i$$

$$D_3 = -1.833 - 3.15i$$

De lo obtenido, tomaremos el diámetro igual a 3.622 m, sin embargo, para nuestro diseño y teniendo en cuenta las medidas de plancha comercial, tenemos:

$$Pl \ 1.5 \times 6 \text{ m}$$

Entonces, para nuestro caso sabemos que:

Perímetro del cilindro = $\pi \times D$

$$\text{Perímetro} = \pi \times 3.622 = 11.379 \text{ m}$$

Con la medida de planchas que podemos adquirir, tomaremos un diámetro tal que nuestro perímetro sea 12m, por lo que obtenemos lo siguiente:

$$D = 3.82 \text{ m}$$

Para el cálculo de la altura total del cilindro, tenemos que: $H_L = H_T \times 85\%$

Entonces:

$$3.622 = H_T * 85\%$$

$$H_T = 4.26 \text{ m}$$

De la misma manera que para el diámetro, debido a las medidas de la plancha comercial seleccionaremos la siguiente altura total:

$$H_T = 4.5 \text{ m}$$

Cálculo del espesor del casco cilíndrico

Tomando como referencia la norma ASME Sección VIII División 1, en la parte UG-27 y UG-28, tenemos las ecuaciones de cálculo del espesor de pared:

- **Costura Longitudinal:**

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0.6P}$$

Donde:

P = Presión de diseño: 90 PSI

R = Radio interno del cilindro: 75.2"

S = Esfuerzo del material (AISI 304): 16,700 PSI

E = Eficiencia de la junta, según la norma UW – 12, del ASME, Secc. VIII Div. 1. Por lo que se tomará el examinado por zonas con un valor de **0.85**

Reemplazando datos, tenemos:

$$t = \frac{90 * 75.2}{16700 * 0.85 - 0.6 * 90}$$

$$t = 0.479"$$

$$t \cong 1/2"; \text{ comercial}$$

- **Costura Transversal**

De la misma manera, apoyándonos en la norma ASME en la sección para diseño de recipientes a presión, obtenemos la siguiente fórmula:

$$t = \frac{P * R}{S * E + 0.4P}$$

Reemplazando datos:

$$t = \frac{90 * 75.2}{16700 * 0.85 + 0.4 * 90}$$

$$t = 0.476"$$

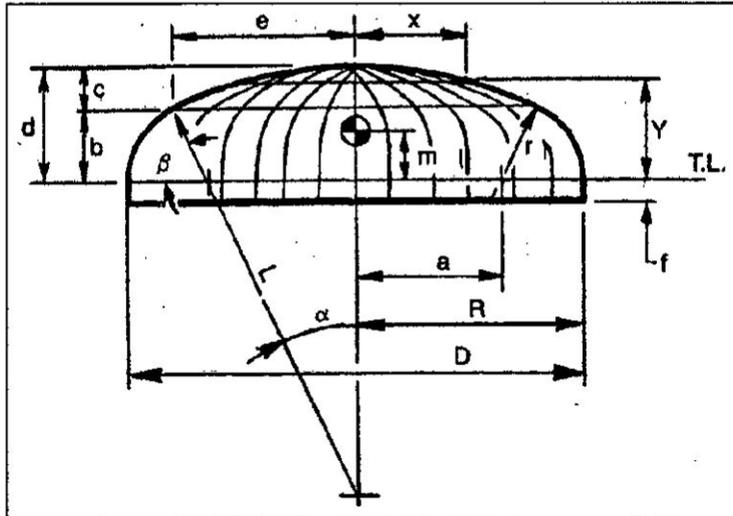
$$t \cong 1/2"; \text{ comercial}$$

Cálculo del espesor de pared de las tapas toriesféricas

De la misma manera que se utilizó la norma ASME en la sección VIII, División 1 para el cálculo del espesor de pared del cuerpo cilíndrico, utilizaremos lo correspondiente en la parte UG-32 para el cálculo del espesor de pared de las tapas toriesféricas de donde se obtiene la siguiente fórmula para el cálculo del espesor de pared:

FIGURA N° 4.2

DIAGRAMA DE TAPA TORIESFÉRICA



Fuente: Diseño y cálculo de recipientes a presión, J. M. León, 2001

Del gráfico anterior se tiene que $L = D$

Entonces, $L = 150.4''$

Luego, el valor de M se obtiene de la relación L/r , donde:

$$r = 6\% * D$$

De donde se obtiene:

$$r = 9.024''$$

Luego, la relación L/r :

$$\frac{L}{r} = 16.67 = 16\frac{2}{3}$$

Con el valor obtenido y según el "Manual de Recipientes a Presión"

de Megyesy, página 20, se utilizará la fórmula descrita

anteriormente:

$$t = \frac{0.885P * L}{S * E - 0.1 * P}$$

Donde:

P = Presión de diseño: 90 PSI

R = Radio interno del cilindro: 150.4"

S = Esfuerzo del material (AISI 304): 16,700 PSI

E = Eficiencia de la junta, según la norma UW – 12, del ASME, Secc. VIII Div. 1. Por lo que se tomará el examinado por zonas con un valor de **1.00**

Reemplazando datos:

$$t = 0.717''$$

$$t \cong 3/4''; \text{comercial}$$

De los resultados obtenidos, tanto para el espesor de pared del cuerpo cilíndrico como el de las tapas toriesféricas, para uniformizar espesores, se tomará el mayor espesor para ambos sectores:

$$\therefore t_{\text{seleccionado}} = 3/4'' - \text{Comercial}$$

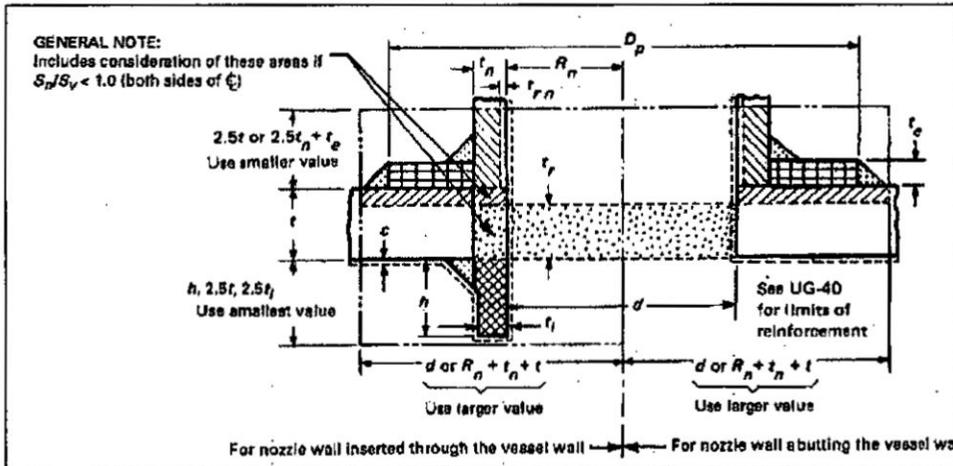
Diseño y dimensionamiento de aberturas

➤ Entrada de hombre

Se utilizó una entrada hombre de 20" de diámetro. Las dimensiones de estas entradas fueron tomadas de la norma ASME Sección VIII, División. 1 donde se debe tener en cuenta la nomenclatura indicada en la figura N° 4.3.

FIGURA N° 4.3

NOMENCLATURA PARA EL DISEÑO DE ABERTURAS



Fuente: ASME, Sección VIII, División 1, UG-37.1.

De acuerdo con lo indicado por el ASME, tenemos los siguientes términos utilizados en las fórmulas:

A = Área de refuerzo requerido en el plano bajo consideración. (in²)

A_1 = Área disponible para refuerzo por exceso de espesor en la pared del recipiente. (in²)

A_2 = Área disponible para refuerzo por exceso de espesor en la pared de la conexión. (in²)

A_3 = Área disponible para refuerzo cuando la conexión penetra dentro del recipiente. (in²)

A_{41} , A_{42} y A_{43} = Área transversal de las diversas soldaduras disponibles para refuerzo. (in²)

A_5 = Área transversal del elemento agregado para refuerzo. (in²)

$f_{r1} = S_n/S_v$ para conexiones insertadas a través de la pared del recipiente.

$f_{r2} = S_n/S_v$

$f_{r3} = \text{El menor de } (S_p \text{ o } S_n) / S_v$

$f_{r4} = S_p/S_v$ para conexiones insertadas a través de la pared del recipiente.

$S_n = \text{Esfuerzo/Tensión admisible (S) para el material de la conexión. (Psi)}$

$S_v = \text{Esfuerzo/Tensión admisible (S) para el material del recipiente. (Psi)}$

$S_p = \text{Esfuerzo/Tensión admisible (S) para el material del elemento de refuerzo. (Psi)}$

$t = \text{espesor especificado para la pared del recipiente (sin incluir sobre espesores por formado ni corrosión). (in)}$

$t_n = \text{espesor especificado para el cuello de la conexión menos el sobre espesor de corrosión y tolerancia de espesor en menos para el caso de tubos. (in)}$

$t_e = \text{espesor o altura del elemento de refuerzo. (in)}$

$t_i = \text{espesor de pared de la proyección interior de la conexión. (in)}$

$t_r = \text{espesor requerido para un cuerpo sin costura basado en refuerzos circunferenciales o de un cabezal conformado, usando } E = 1. (in)$

$t_{rn} = \text{espesor requerido para una conexión sin costura. (in)}$

R_n = Radio interno corroído de la conexión bajo consideración. (in)

d = diámetro interior de una abertura circular terminada o dimensión de una abertura no radial en el plano en consideración. (in)

D_p = Diámetro exterior del elemento agregado para refuerzo. (in)

W = Carga total soportada por las soldaduras de fijación.

$E = 1$ (según definición para t_r y t_{rn})

$E_1 = 1$ (cuando la abertura está sobre una plancha o junta categoría B o igual a 0,85 cuando la abertura está ubicada en una junta ERW o autógena)

F = Factor de compensación por variación de esfuerzos por presión interior en diferentes planos respecto del eje del recipiente.

h = Altura de la proyección de la conexión en el interior del recipiente. (in)

Tenemos los siguientes datos de diseño de la cabeza toriesférica:

Presión de Diseño (P) = 90 PSI

Radio interior del casquete (L) = 150.39"

Radio interior del recipiente (R) = 75.20"

Esfuerzo del material (S) = 16,700 PSI

Espesor de pared (t) = $\frac{1}{2}$ "

Cálculo del espesor del cuerpo del manhole

$$t_r = \frac{PLM}{SE - 0.6P}$$

Reemplazando datos:

$$t_r = 0.48''$$

Cálculo del espesor nominal de la boquilla

De la literatura revisada, encontramos que generalmente para aberturas de 20" se puede tomar como espesor de pared 5/8". De la misma manera se hizo uso de la fórmula otorgada por el ASME para corroborar nuestra selección de espesor.

$$t_{rn} = \frac{PLM}{SE - 0.6P}$$

Reemplazando datos:

$$t_{rn} = 0.06''$$

Por lo tanto, nuestro espesor asumido puede ser tomado en consideración ya que es de mayor valor que el encontrado con las fórmulas del ASME:

Cálculo del área de refuerzo requerido

$$A = dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1})$$

Reemplazando datos:

$$A = 9.57 \text{ in}^2$$

Cálculo del área de refuerzo disponible

$$A_1 = d(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1})$$

Reemplazando datos:

$$A_1 = 0.43 \text{ in}^2$$

Cálculo del área por exceso en la boquilla

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn})f_{r2}t$$

Reemplazando datos:

$$A_2 = 1.40 \text{ in}^2$$

Cálculo del área disponible por la proyección al interior

$$A_3 = 2 * h * t_i * f_{r2}$$

Reemplazando datos:

$$A_3 = 2.15 \text{ in}^2$$

Cálculo del área disponible para refuerzo

$$A_R = A_1 + A_2 + A_3$$

Donde:

$$A_R = 3.98 \text{ in}^2$$

Del ASME, Sección VIII, División 1 parte UG, tenemos que, si el área de refuerzo requerida es mayor que el área disponible, entonces se deberá tener que colocar una plancha de refuerzo.

$$A > A_R$$

$$A_{\text{refuerzo}} = A$$

$$A_{\text{refuerzo}} = 15.44 \text{ in}^2$$

Para determinar el diámetro externo del refuerzo a utilizar, asumiremos un espesor de plancha de 5/8".

$$t_e = 5/8"$$

Luego, el ancho del refuerzo sería de la siguiente forma:

$$\text{Ancho refuerzo} = \frac{A_{\text{refuerzo}}}{t_e}$$

$$\text{Ancho refuerzo} = 24.70 \text{ in}$$

Cálculo del diámetro externo del refuerzo

$$D_p = (\text{ancho reduerzo}) + d + 2t_n$$

Reemplazando datos:

$$D_p = 24.70 + 6.49 + 2(0.90) = 30.19 \text{ in}$$

Cálculo del short pan para la tapa

$$d_{sp} = d + 2t_n$$

Reemplazando datos:

$$d_{sp} = 6.49 + 2(0.90) = 21.25 \text{ in}$$

Número total de pernos (N)

Debido al diámetro de la abertura, se considerarán 20 pernos.

Cálculo de la carga total por perno

$$W = \frac{P * \pi * d^2}{4 * N}$$

Reemplazando datos, tenemos que:

$$W = 1,413.72 \text{ lbs}$$

De lo indicado en la norma ASME y en libros de diseño de aberturas, tenemos que el diámetro del círculo de los pernos es de 23".

Cálculo del brazo de momento en el empaque

$$hg = \frac{d_c - d_{sp}}{2}$$

Reemplazando datos:

$$hg = 0.88''$$

Cálculo del espesor de la tapa

$$t_t = d_{sp} * \sqrt{\left[\frac{C * P}{E * S} \right] + \left[\frac{1.9 * W * hg}{E * S * d_{sp}^3} \right]}$$

Reemplazando datos:

$$t_t = 0.93''$$

Donde seleccionamos como espesor 1".

➤ Cálculo de boquillas en el casco y en las tapas

✓ **Boquillas de 2"**

Cálculo del espesor del cuerpo

$$t_r = \frac{PLM}{SE - 0.6P}$$

Reemplazando datos:

$$t_r = 0.71''$$

Cálculo del espesor nominal de la boquilla

De la literatura revisada para boquillas de 2", tenemos que el espesor nominal de la boquilla es de 0.15".

Cálculo del espesor requerido para la boquilla

De la misma manera se hizo uso de la fórmula otorgada por el ASME para corroborar nuestra selección de espesor.

$$t_{rn} = \frac{PLM}{SE - 0.6P}$$

Reemplazando datos:

$$t_{rn} = 0.01''$$

Cálculo del área de refuerzo requerido

$$A = dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1})$$

Reemplazando datos:

$$A = 1.47 \text{ in}^2$$

Cálculo del área de refuerzo disponible

$$A_1 = d(E_1 t - F t_r) - 2t_n(E_1 t - F t_r)(1 - f_{r1})$$

Reemplazando datos:

$$A_1 = 0.08 \text{ in}^2$$

Cálculo del área por exceso en la boquilla

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn})f_{r2}t$$

Reemplazando datos:

$$A_2 = 0.56 \text{ in}^2$$

Cálculo del área disponible por la proyección al interior

$$A_3 = 2 * h * t_i * f_{r2}$$

Reemplazando datos:

$$A_3 = 0.62 \text{ in}^2$$

Cálculo del área disponible para refuerzo

$$A_R = A_1 + A_2 + A_3$$

Donde:

$$A_R = 1.25 \text{ in}^2$$

Del ASME, Sección VIII, División 1 parte UG, tenemos que, si el área de refuerzo requerida es mayor que el área disponible, entonces se deberá tener que colocar una plancha de refuerzo.

$$A > A_R$$

$$A_{\text{refuerzo}} = A$$

$$A_{\text{refuerzo}} = 1.47 \text{ in}^2$$

Para determinar el diámetro externo del refuerzo a utilizar, asumiremos un espesor de plancha de 1/2".

$$t_e = 1/2"$$

Luego, el ancho del refuerzo sería de la siguiente forma:

$$\text{Ancho refuerzo} = \frac{A_{\text{refuerzo}}}{t_e}$$

$$\text{Ancho refuerzo} = 2.94 \text{ in}$$

Cálculo del diámetro externo del refuerzo

$$D_p = (\text{ancho refuerzo}) + d + 2t_n$$

Reemplazando datos:

$$D_p = 3.13 \text{ in}$$

✓ **Boquillas de 3"**

Cálculo del espesor del cuerpo

$$t_r = \frac{PLM}{SE - 0.6P}$$

Reemplazando datos:

$$t_r = 0.71''$$

Cálculo del espesor nominal de la boquilla

De la literatura revisada para boquillas de 3", tenemos que el espesor nominal de la boquilla es de 0.22".

Cálculo del espesor requerido para la boquilla

De la misma manera se hizo uso de la fórmula otorgada por el ASME para corroborar nuestra selección de espesor.

$$t_{rn} = \frac{PLM}{SE - 0.6P}$$

Reemplazando datos:

$$t_{rn} = 0.01''$$

Cálculo del área de refuerzo requerido

$$A = dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1})$$

Reemplazando datos:

$$A = 2.19 \text{ in}^2$$

Cálculo del área de refuerzo disponible

$$A_1 = d(E_1 t - F t_r) - 2t_n(E_1 t - F t_r)(1 - f_{r1})$$

Reemplazando datos:

$$A_1 = 0.08 \text{ in}^2$$

Cálculo del área por exceso en la boquilla

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn})f_{r2}t$$

Reemplazando datos:

$$A_2 = 0.78 \text{ in}^2$$

Cálculo del área disponible por la proyección al interior

$$A_3 = 2 * h * t_i * f_{r2}$$

Reemplazando datos:

$$A_3 = 0.65 \text{ in}^2$$

Cálculo del área disponible para refuerzo

$$A_R = A_1 + A_2 + A_3$$

Donde:

$$A_R = 1.50 \text{ in}^2$$

Del ASME, Sección VIII, División 1 parte UG, tenemos que, si el área de refuerzo requerida es mayor que el área disponible, entonces se deberá tener que colocar una plancha de refuerzo.

$$A > A_R$$

$$A_{\text{refuerzo}} = A$$

$$A_{\text{refuerzo}} = 2.19 \text{ in}^2$$

Para determinar el diámetro externo del refuerzo a utilizar, asumiremos un espesor de plancha de 1/2".

$$t_e = 1/2''$$

Luego, el ancho del refuerzo sería de la siguiente forma:

$$\text{Ancho refuerzo} = \frac{A_{\text{refuerzo}}}{t_e}$$

$$\text{Ancho refuerzo} = 5.18 \text{ in}$$

Cálculo del diámetro externo del refuerzo

$$D_p = (\text{ancho refuerzo}) + d + 2t_n$$

Reemplazando datos:

$$D_p = 6.03 \text{ in}$$

✓ **Boquillas de 4"**

Cálculo del espesor del cuerpo

$$t_r = \frac{PLM}{SE - 0.6P}$$

Reemplazando datos:

$$t_r = 0.71''$$

Cálculo del espesor nominal de la boquilla

De la literatura revisada para boquillas de 4", tenemos que el espesor nominal de la boquilla es de 0.24".

Cálculo del espesor requerido para la boquilla

De la misma manera se hizo uso de la fórmula otorgada por el ASME para corroborar nuestra selección de espesor.

$$t_{rn} = \frac{PLM}{SE - 0.6P}$$

Reemplazando datos:

$$t_{rn} = 0.01''$$

Cálculo del área de refuerzo requerido

$$A = dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1})$$

Reemplazando datos:

$$A = 2.873 \text{ in}^2$$

Cálculo del área de refuerzo disponible

$$A_1 = d(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1})$$

Reemplazando datos:

$$A_1 = 0.15 \text{ in}^2$$

Cálculo del área por exceso en la boquilla

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn})f_{r2}t$$

Reemplazando datos:

$$A_2 = 0.85 \text{ in}^2$$

Cálculo del área disponible por la proyección al interior

$$A_3 = 2 * h * t_i * f_{r2}$$

Reemplazando datos:

$$A_3 = 0.71 \text{ in}^2$$

Cálculo del área disponible para refuerzo

$$A_R = A_1 + A_2 + A_3$$

Donde:

$$A_R = 1.71 \text{ in}^2$$

Del ASME, Sección VIII, División 1 parte UG, tenemos que, si el área de refuerzo requerida es mayor que el área disponible, entonces se deberá tener que colocar una plancha de refuerzo.

$$A > A_R$$

$$A_{\text{refuerzo}} = A$$

$$A_{\text{refuerzo}} = 2.87 \text{ in}^2$$

Para determinar el diámetro externo del refuerzo a utilizar, asumiremos un espesor de plancha de 1/2".

$$t_e = 1/2"$$

Luego, el ancho del refuerzo sería de la siguiente forma:

$$\text{Ancho refuerzo} = \frac{A_{\text{refuerzo}}}{t_e}$$

$$\text{Ancho refuerzo} = 5.74 \text{ in}$$

Cálculo del diámetro externo del refuerzo

$$D_p = (\text{ancho refuerzo}) + d + 2t_n$$

Reemplazando datos:

$$D_p = 6.84 \text{ in}$$

b. Diseño del Sistema de Agitación

b.1 Selección del agitador mecánico

El objetivo de seleccionar un agitador adecuado es lograr una agitación rápida y una mezcla homogénea para lograr la obtención del biodiesel en su mayor alto grado de pureza y así reducir los costes de refinación. Para determinar el tipo de agitador, nos

apoyamos en la figura N° 4.4, en donde debemos relacionar el volumen de nuestro reactor en el eje horizontal, con la viscosidad del fluido. Interceptando estos datos, obtendremos el tipo de agitador apropiado. Para ello debemos conocer los valores de viscosidad de la mezcla a agitar.

De los parámetros de entrada, tenemos:

$$\rho_{\text{aceite}} = 926 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{metanol}} = 720 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu_{\text{aceite}} = 3.72 \text{ cP}$$

$$\mu_{\text{metanol}} = 5.9 \text{ cP}$$

Con estos datos, hallaremos la densidad de la mezcla dentro del reactor

$$\rho_{\text{mezcla}} = \frac{\rho_1 * V_1 + \rho_2 * V_2}{V_t}$$

Reemplazando datos:

$$\rho_{\text{mezcla}} = 889.02 \text{ Kg/m}^3$$

Adicionalmente necesitamos conocer la fracción molar de cada reactante para conseguir la viscosidad dinámica de la mezcla, según la siguiente fórmula:

$$\mu_{\text{mezcla}} = \left[\sum X_i * \mu_i^{1/3} \right]^3$$

De la relación estequiométrica entre el aceite de uso doméstico y el metanol, obtuvimos lo siguiente:

$$X_{\text{aceite}} = 0.857$$

$$X_{\text{metanol}} = 0.143$$

Reemplazando datos:

$$\mu_{\text{mezla}} = 3.97 \text{ cP}$$

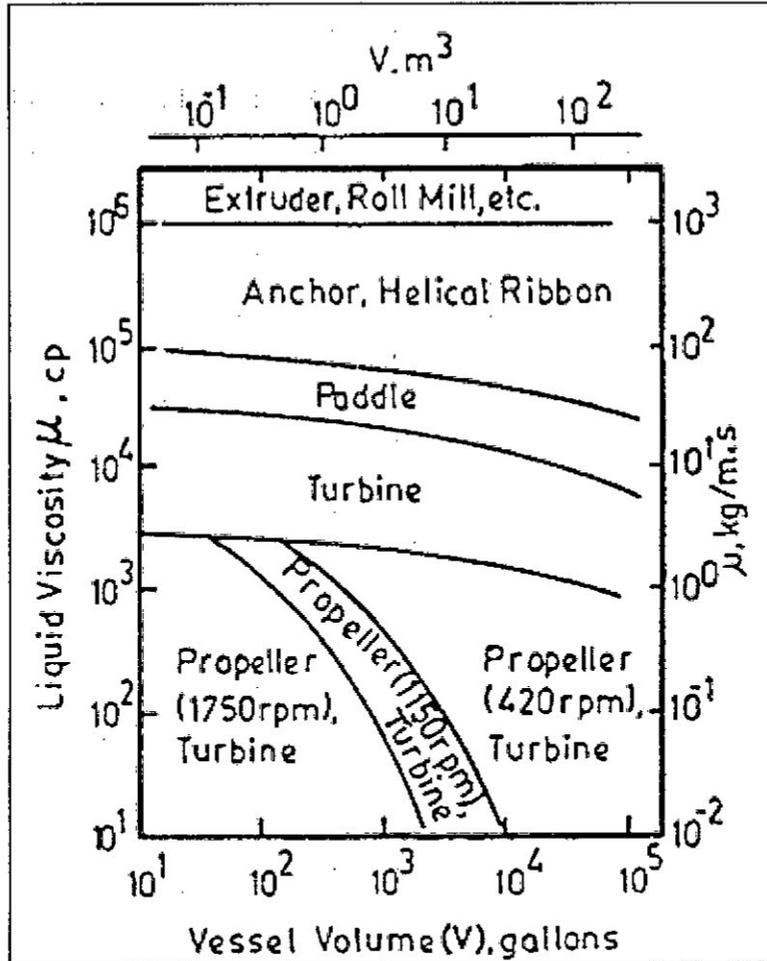
Conociendo la viscosidad de la mezcla, además de tener como volumen del tanque (15,000 Gal) se hace uso de la figura N° 4.4 en donde se obtienen 02 opciones a elegir, 01 agitador tipo hélice o un agitador tipo turbina.

Las hélices marinas se hacen pesadas cuando son grandes, además de no utilizarse como agitador de entrada superior, sino como agitador de entrada lateral.

Por lo que se decidió hacer uso de un agitador tipo turbina de aspas inclinadas a 45° ya que generan un patrón de flujo mixto, además de ser eficaces para el intercambio de calor con las paredes o el serpentín interno, se tiene un mayor porcentaje de turbulencia y funciona a media/baja velocidad.

FIGURA N° 4.4

DIAGRAMA DE SELECCIÓN DEL TIPO DE AGITADOR



Fuente: Penny, W.R. "Guide to trouble free mixers," pp 171, 1970.

Luego de conseguir los datos de viscosidad dinámica y densidad de la mezcla, debemos tener en cuenta también:

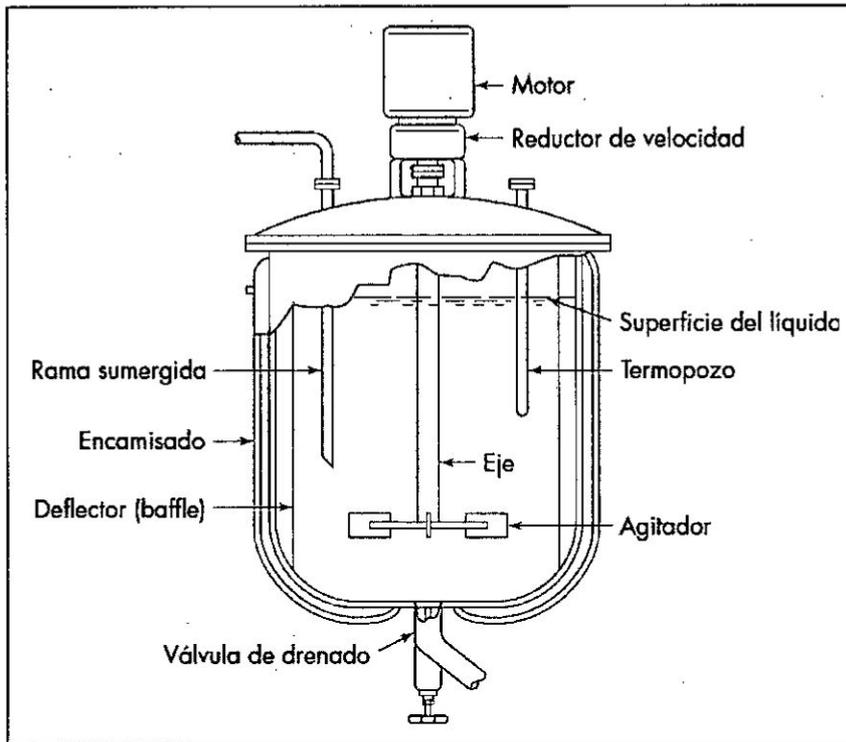
- Para el diseño del sistema de agitación, se consideró el uso de placas deflectoras las cuales nos ayudan a evitar los vórtices alrededor del eje y reducir los esfuerzos que actúan sobre eso.

- Para la selección del motor, se tomó en cuenta un rango de velocidades entre 100 – 300 RPM, los cuales fueron obtenidos de la literatura revisada. Del intervalo presentado se tomó 140 RPM como la velocidad de diseño de nuestro motor.
- Conociendo los compuestos a reaccionar, tenemos al KOH el cual es altamente corrosivo, por lo que de la misma manera que el reactor, se definió al acero inoxidable 304 L, como el material para los componentes del agitador que estén en contacto con la mezcla reactante.

b.2 Diseño del Agitador

Los líquidos se agitan con más frecuencia en algún tipo de tanque o recipiente, por lo general de forma cilíndrica y provista de un eje vertical. La figura N° 4.5 nos muestra una configuración estándar para el mezclado de los fluidos, de donde la parte superior puede estar abierta al aire, pero generalmente está cerrada.

FIGURA N° 4.5
CONFIGURACION TÍPICA DE UN REACTOR QUIMICO



Fuente: "Operaciones unitarias en Ingeniería Química", McCabe, 2007.

Para el diseño de nuestro agitador existieron distintas variables a considerar, las cuales se muestran en la figura N°4.6 y en la Tabla N° 4.10: el fondo del tanque es redondeado, no plano, para eliminar las esquinas o regiones agudas en las que no penetrarían las corrientes del fluido²⁴, el diámetro del tanque, diámetro de las paletas, altura del fluido, ancho, cantidad de placas deflectoras, distancia desde el fondo del TK hasta el impulsor, etc. Como punto

²⁴ (Warren L. McCabe, 2007)

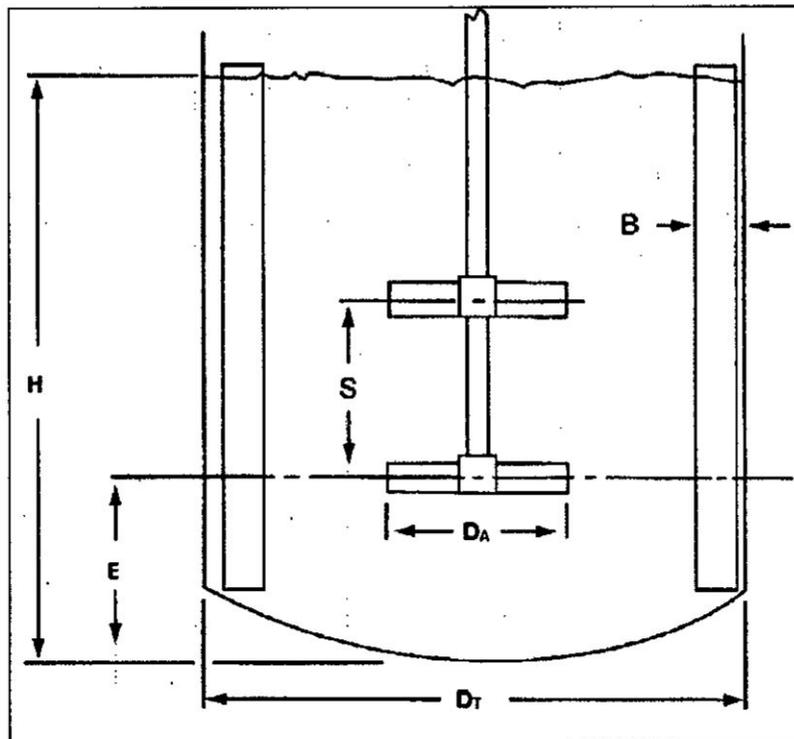
de partida, tomaremos las semejanzas geométricas estandarizadas:

TABLA N° 4.10
SEMEJANZAS GEOMÉTRICAS ESTANDARIZADAS PARA EL DISEÑO
DE AGITADORES MECANICOS

$\frac{D_A}{D_T} = \frac{1}{4}$	$\frac{H}{D_T} = 1$	$\frac{B}{D_T} = \frac{1}{12}$
$\frac{E}{D_A} = 1$	$\frac{W}{D_A} = \frac{1}{8}$	$\frac{S}{D_A} = 1$

Fuente: "Modeling of Chemical Kinetics and Reactor Design". Coker, 2001
FIGURA N° 4.6

CARACTERÍSTICAS PARA EL DISEÑO ESTÁNDAR DEL SISTEMA DE
AGITACIÓN DEL REACTOR QUÍMICO



Fuente: "Modeling of Chemical Kinetics and Reactor Design". Coker, 2001

Donde:

D_T = Diámetro del tanque.

H = Altura del líquido.

D_A = Diámetro del agitador.

B = Ancho de placa deflectora.

E = distancia del fondo del tanque hasta el rodete.

S = Separación entre agitadores.

W = Ancho de las aspas de la turbina o agitador de paletas.

Por lo general se utilizan 04 deflectores, además que el número de palas del agitador varía entre 4 y 16, pero generalmente son de 6 u 8.

De los datos, tenemos el $D_T = 3.82m$:

$$\frac{D_A}{D_T} = \frac{1}{4}$$

Reemplazando el dato del diámetro total, tenemos que:

$$D_A = 0.955 m$$

Seleccionaremos un diámetro del agitador de 1m.

Luego, podemos obtener los valores de

$$E = S = D_A = 1m$$

$$H = D_T = 3.82 m$$

De la misma manera, para calcular el ancho de la paleta y el ancho de los deflectores:

$$\frac{W}{D_A} = \frac{1}{8}$$

$$W = 0.125m$$

$$\frac{B}{D_T} = \frac{1}{12}$$

$$B = 0.318 m$$

b.3 Potencia Requerida del motor

Para conocer la potencia requerida del motor para el agitador, se debe conocer ciertas características del fluido a ser mezclado tales como la densidad, la gravedad, el diámetro del agitador y viscosidad. Otro factor importante a tener en cuenta es el tipo de impulsor, además de la velocidad de rotación de este. El reactor seleccionado es el del tipo turbina, tal como se indicó anteriormente.

Haciendo un análisis dimensional, la dependencia de la potencia requerida nos genera nuevos números adicionales, como el número de potencia, el número de Reynolds y el número de Froude.

Sin embargo, al contar nuestro diseño con deflectores, el número de Froude no interfiere en la determinación de los requisitos de potencia, ya que no se forman vórtices en tales sistemas.²⁵

b.3.1 Cálculo del número de Reynolds del agitador

Para hallar el número de Reynolds, recurrimos a la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{D_A * N * \rho}{\mu}$$

Reemplazando datos, tenemos lo siguiente:

$$Re = \frac{(1m) * \left(140 \frac{rev}{min} * \frac{1min}{60s}\right) * 889.02 \text{ Kg}/m^3}{0.0397 \text{ Kg}/m - s}$$

$$\therefore Re = 52251.38$$

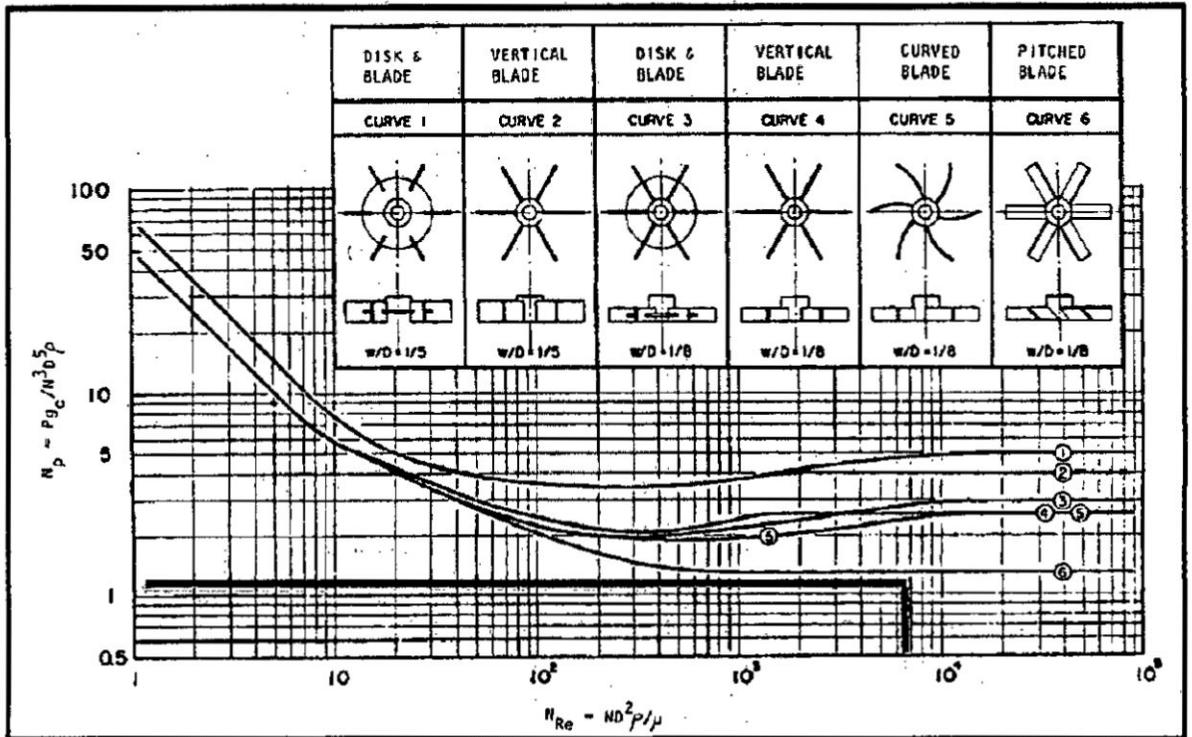
De donde podemos concluir que el flujo de trabajo de la solución es **turbulento**.

b.3.2 Determinación del Número de Potencia

Para determinar el Número de Potencia (N_p), haremos uso de los resultados obtenidos por "Bates Fondy & Corpstein, 1950), los cuales se presentan en la Figura N° 4.7, donde se obtiene el número de potencia a partir del número de Reynolds para distintos agitadores tipo turbina.

FIGURA N° 4.7

NÚMERO DE POTENCIA VERSUS NÚMERO DE REYNOLDS PARA LA SELECCIÓN DEL IMPULSOR DE LA TURBINA



Fuente: "Chemical Process Equipment – Selection and Design", Walas, 1990, pp 292.

Para nuestro caso haremos uso de la curva correspondiente al agitador "Pitched Blade" con la curva #6, de donde podemos seleccionar como número de potencia: 1.25.

b.3.3 Cálculo de la Potencia Requerida por el agitador

Para este caso, hacemos uso de la siguiente ecuación:

$$P = N_p * D_A^5 * N^3 * \rho$$

TABLA N° 4.11

SELECCIÓN DE MOTORREDUCTOR MARCA RAMSE

n ₂			90			100			120			140		
RELACION DE REDUCCIÓN (1)			20			17.5			15			12.5		
TAMAÑO	CÓDIGO MOTOR	PESO Kg	P ₁ KW	M ₂ Nm	fs	P ₁ KW	M ₂ Nm	fs	P ₁ KW	M ₂ Nm	fs	P ₁ KW	M ₂ Nm	fs
185	4131	254	7.5	676.4	2.87									
	4133	263	9	811.7	2.39	9	739.1	2.63						
	4134	270	11.25	1014.6	1.91	11.25	923.9	2.10	11.25	761.9	2.49			
	4164	303	14.9	1343	1.44	14.9	1223	1.59	14.9	1031	1.89	14.9	894.4	2.04
	4167	311	18.7	1686	1.15	18.7	1535	1.26	18.7	1294	1.5	18.7	1122	1.63
	4183	369				22.4	1839	1.05	22.4	1550	1.25			
	4167	389										29.78	1787	1.01

Fuente: Catálogo de Selección de motorreductores RAMSE

Por lo que seleccionaremos un motor de 18.7 KW o 25 HP, con las siguientes características:

MRS 185 A6 1 4167 140 B3 FR

- Cumple con la potencia y velocidad requerida para la agitación (140 RPM)
- Brida en posición vertical.
- Cumplimiento de las normas de fabricación internacional.

La potencia de entrada por unidad de volumen nos indica la intensidad de mezclado, la cual la podemos obtener al relacionar la potencia del motor por cada 1000 gal.

En nuestro caso obtenemos un valor de 1.67 HP/1000 gal lo cual es positivo ya que en los tanques de mezcla actual el valor promedio es de 1.7, por lo que podemos inferir que la agitación proporcionada posee una intensidad adecuada.

b.3.4 Cálculo del diámetro del eje de transmisión

Para determinar el diámetro del eje, se consideró lo siguiente:

- **Torque constante**

Además, apoyándonos de la norma ASME, hacemos uso de la siguiente ecuación:

$$D = \left[\frac{16\sqrt{3} * N_f}{\pi} * \left(\frac{T_m}{S_y} \right) \right]^{1/3}$$

De donde:

N_f = Factor de seguridad

P = Potencia consumida por el agitador

w = Velocidad angular

T_m = Torque medio

S_y = Resistencia a la fluencia del material

De la ecuación, necesitaremos seleccionar el material para el eje. Para lo cual, debido a que el agitador estará en contacto con la solución corrosiva, haremos uso del Acero Inoxidable 304L, el cual cumple con nuestro propósito de preservación del agitador, además de ser un material altamente comercial.

De la sección II, Parte D del ASME, tomamos los siguientes valores para el acero SAE 304L:

- **Esfuerzo de Fluencia (S_y): 227.5 MPa**

De la misma manera, calculamos el torque al cual estará sujeto el agitador:

$$T = \frac{P}{w}$$

Reemplazando datos:

$$T = \frac{P}{RPM} = \frac{14,054.9}{140 \frac{rev}{min} * \frac{1 min}{60 s} * \frac{2\pi rad}{1 rev}}$$
$$\therefore T = 958.67 N.m$$

Además, de la literatura podemos considerar un factor de seguridad de 2.5 para nuestro eje del agitador.

Reemplazando valores en la fórmula para el cálculo del eje del agitador:

$$D = \left[\frac{16\sqrt{3} * 2.5}{\pi} * \left(\frac{958.67}{227.5 * 10^6} \right) \right]^{1/3}$$
$$\therefore D = 45.3 \text{ mm}$$

Para nuestro fin, seleccionaremos una barra comercial de 2".

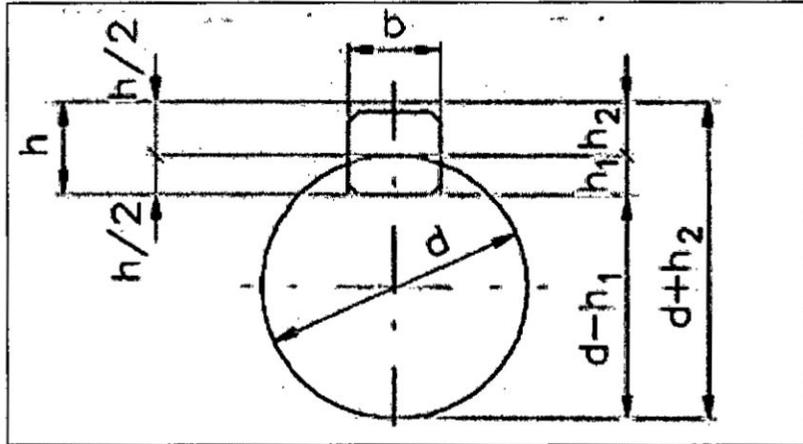
b.3.5 Cálculo de la chaveta

Para realizar el acoplamiento entre el motor y el eje del agitador, se utilizó una chaveta plana de acero inoxidable 304L.

En el Anexo 3 se muestra las chavetas estándar, según la norma DIN 6885. Para nuestro caso, con un eje de 2" se utilizó una chaveta con las siguientes características: b x h x L (mm).

FIGURA N° 4.8

CARACTERÍSTICAS PARA LA SELECCIÓN DE UNA CHAVETA



Fuente: DIN 6885

16 mm x 10 mm x Longitud (L)

Para determinar la longitud de nuestra chaveta se debe conocer lo siguiente:

N_s = Factor de seguridad, consideraremos un valor igual a 2.

L = Longitud mayor, entre L_s y L_c

L_s = Longitud de la chaveta por esfuerzo cortante

L_c = Longitud de chaveta por esfuerzo de compresión

En nuestro caso, tanto el esfuerzo cortante como el de compresión son iguales:

$$S_s = S_c = 0.50 * S_y$$

$$S = 113.75 \text{ MPa}$$

Determinando la longitud de la chaveta por falla de cortadura:

$$L_s = \frac{4 * T * N_s}{S_s * b * D}$$

$$L_S = \frac{4 * 2 * 958.67 \text{ N.m}}{113.75 * 16 * 2 * 25.4}$$

$$\therefore L_S = 83 \text{ mm}$$

Seguidamente, calculamos la longitud de chaveta por esfuerzo de compresión, para ello necesitamos primero conocer el esfuerzo por compresión mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma_{comp} = \frac{F}{A_{comp}} = \frac{2 * T}{D * l * \frac{h}{2}}$$

Reemplazando valores:

$$\sigma_{comp} = \frac{2 * 958.67 \text{ N.m}}{2 * 25.4 * 1.5 * 2 * 25.4 * \frac{10}{2}}$$

$$\therefore \sigma_{comp} = 99.06 \text{ N/mm}^2$$

Para determinar la longitud de chaveta debido a la fuerza de compresión:

$$L_c = \frac{2 * T * N_S}{D * h * \sigma_{comp}}$$

$$L_c = \frac{2 * 958.67 * 2}{2 * 25.4 * 10 * 99.06}$$

$$\therefore L_c = 76.2 \text{ mm}$$

De donde la longitud a seleccionar será la mayor:

$$\therefore L = 76.2 \text{ mm}$$

b.3.6 Cálculo de la tasa de circulación interna

Los agitadores realizan la misma función que las bombas, pero sin carcasa. La tasa de circulación interna es la cantidad de flujo

perpendicular al área de descarga del impulsor, la cual se calculó mediante la siguiente fórmula:

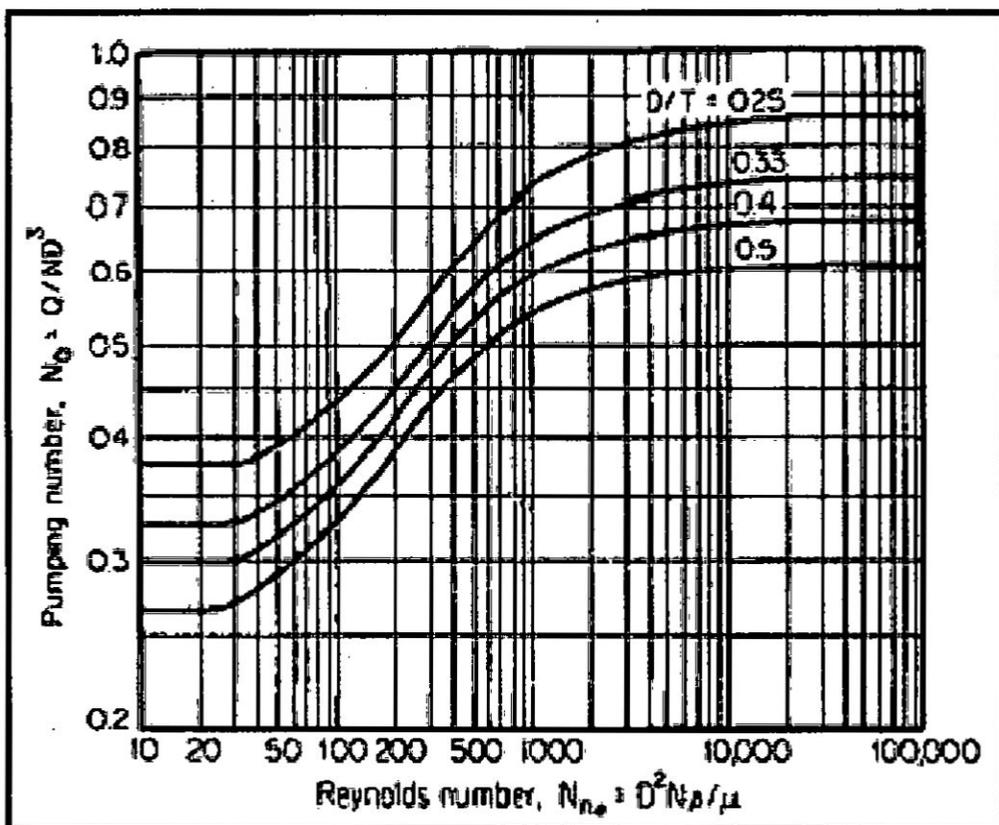
$$Q = N_Q * N * D^3$$

Donde:

N_Q = Número de flujo o número de bomba, el cual varía en función al número de Reynolds para distintas relaciones de D_A/D_T para el tipo de agitador turbina.

FIGURA N° 4.9

NÚMERO DE FLUJO VERSUS NÚMERO DE REYNOLDS



Fuente: "Chemical Process Equipment – Selection and Design", Walas, 1990

A partir de la figura N° 4.9 y para un número de Reynolds de 5×10^4 , relación de diámetros de 0.26, encontramos que el $N_Q = 0.86$ aproximadamente. Con este dato, reemplazamos en la fórmula mencionada anteriormente.

$$Q = 0.86 * 140 * \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * 1 \text{ m}^3$$

$$\therefore Q = 2.00 \text{ m}^3/\text{s}$$

b.3.7 Calidad de mezclado

La velocidad lineal superficial – la tasa volumétrica de circulación interna por unidad de sección transversal del tanque es adoptada como una medida de la calidad del mezclado²⁵.

La tabla N° 4.12 muestra la relación de esta velocidad con la mezcla de líquidos.

La velocidad lineal superficial se calculó como sigue:

$$V = \frac{Q}{A_T}$$

$$V = \frac{2.00}{\pi * \frac{3.82^2}{4}}$$

$$\therefore V = 0.17 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0.56 \text{ ft}/\text{s}$$

²⁵ (Walas, 1990)

TABLA N° 4.12
GRADOS DE AGITACIÓN SEGÚN LA VELOCIDAD LINEAL
SUPERFICIAL

pie/s	Descripción
0.1 – 0.2	<p>Bajo grado de agitación; una velocidad de 0.2 pie/s:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) mezclará líquidos miscibles a la uniformidad cuando la diferencia de gravedad específica es menor a 0.1 b) mezclará líquidos miscibles a la uniformidad si la relación de viscosidades es menor a 100 c) establecerá movimiento del líquido a través del recipiente d) producirá una superficie plana, pero en movimiento
0.3 – 0.6	<p>Agitación moderada. Característica de la mayoría de la agitación utilizada en el procesamiento químico; una velocidad de 0.6 pie/s:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) mezclará líquidos miscibles a la uniformidad cuando la diferencia de gravedad específica es menor a 0.6 b) mezclará líquidos miscibles a la uniformidad si la relación de viscosidades es menor a 10,000 c) suspenderá s trazas de sólido (menos del 2%) con velocidades de sedimentación de 2 - 4 pies/min. d) Producirá una superficie ondulante a bajas viscosidades.
0.7 – 1.0	<p>Alto grado de agitación; una velocidad de 1.0 pie/s:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) mezclará líquidos miscibles a la uniformidad cuando la diferencia de gravedad específica es menor a 1.0 b) mezclará líquidos miscibles a la uniformidad si la relación de viscosidades es menor a 100,000 c) suspenderá s trazas de sólido (menos del 2%) con velocidades de sedimentación de 4 - 6 pies/min. d) Producirá una superficie ondulada a bajas viscosidades.

Fuente: "Chemical Process Equipment – Selection and Design", Walas, 1990

Con el resultado obtenido y comparando con lo expreso en la tabla N° 4.12 podemos notar que nuestra mezcla tendrá una agitación moderada.

b.4 Cálculo de la abertura para el sistema de agitación

Tenemos los siguientes datos de diseño de la cabeza toriesférica:

Presión de Diseño (P) = 90 PSI

Radio interior del casquete (L) = 150.39"

Radio interior del recipiente (R) = 75.20"

Esfuerzo del material (S) = 16,700 PSI

Espesor de pared (t) = 3/4"

Cálculo del espesor del cuerpo de la tapa

$$t_r = \frac{PLM}{2SE - 0.2P}$$

Reemplazando datos:

$$t_r = 0.714"$$

Cálculo del espesor nominal

De la literatura revisada, encontramos que generalmente para aberturas de 12" se puede tomar como espesor de pared 5/8". De la misma manera se hizo uso de la fórmula otorgada por el ASME para corroborar nuestra selección de espesor.

$$t_{rn} = \frac{PLM}{SE - 0.6P}$$

Reemplazando datos:

$$t_{rn} = 0.407"$$

Por lo tanto, nuestro espesor asumido puede ser tomado en consideración ya que es de mayor valor que el encontrado con las fórmulas del ASME.

Cálculo del área de refuerzo requerido

$$A = dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1})$$

Reemplazando datos:

$$A = 7.5 \text{ in}^2$$

Cálculo del área de refuerzo disponible

$$A_1 = d(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1})$$

Reemplazando datos:

$$A_1 = 0.43 \text{ in}^2$$

Cálculo del área por exceso en la boquilla

$$A_2 = 5(t_n - t_{rn})f_{r2}t$$

Reemplazando datos:

$$A_2 = 2.81 \text{ in}^2$$

Cálculo del área disponible por la proyección al interior

$$A_3 = 2 * h * t_i * f_{r2}$$

Reemplazando datos:

$$A_3 = 2.813 \text{ in}^2$$

Cálculo del área disponible para refuerzo

$$A_R = A_1 + A_2 + A_3$$

Donde:

$$A_R = 6.05 \text{ in}^2$$

Del ASME, Sección VIII, División 1 parte UG, tenemos que si el área de refuerzo requerida es mayor que el área disponible, entonces se deberá tener que colocar una plancha de refuerzo.

$$A > A_R$$

$$A_{\text{refuerzo}} = A$$

$$A_{\text{refuerzo}} = 7.5 \text{ in}^2$$

Para determinar el diámetro externo del refuerzo a utilizar, asumiremos un espesor de plancha de 5/8".

$$t_e = 5/8"$$

Luego, el ancho del refuerzo sería de la siguiente forma:

$$\text{Ancho refuerzo} = \frac{A_{\text{refuerzo}}}{t_e}$$

$$\text{Ancho refuerzo} = 12.00 \text{ in}$$

Cálculo del diámetro externo del refuerzo

$$D_p = (\text{ancho refuerzo}) + d + 2t_n$$

Reemplazando datos:

$$D_p = 18.75 \text{ in}$$

c. Diseño del Sistema de Calentamiento

Para realizar el diseño térmico del serpentín necesitamos determinar el área de transferencia de calor requerida y variar la temperatura del contenido por una temperatura especificada en un intervalo de tiempo.

Consideraciones iniciales

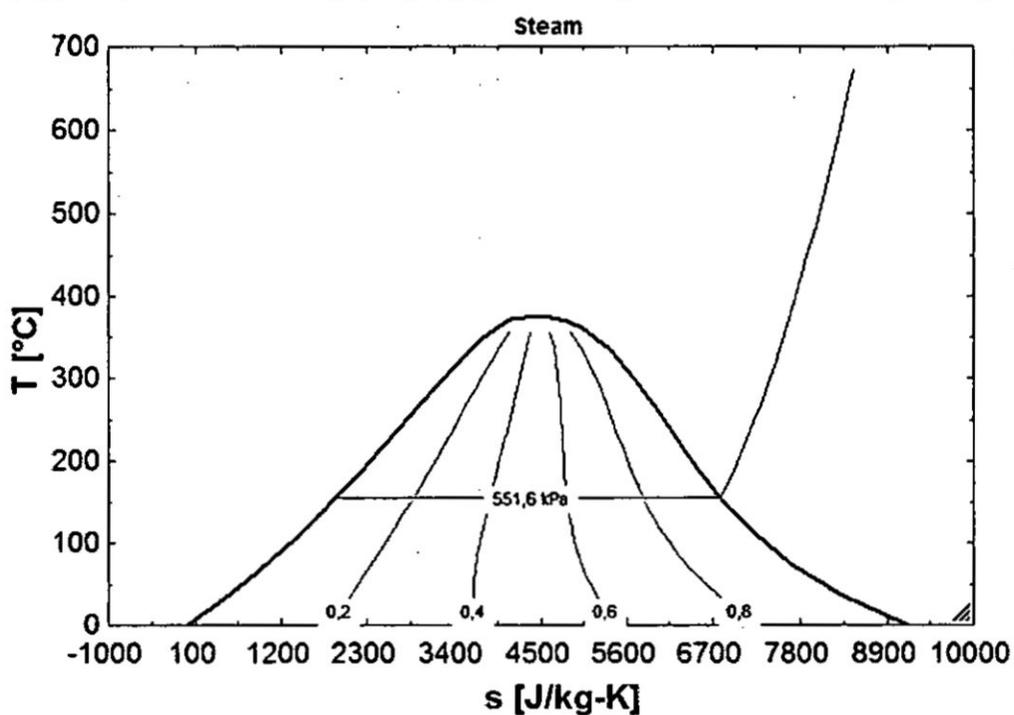
El aceite y el metóxido ingresan al tanque de mezcla a 20°C y deben calentarse hasta 60°C en 120 minutos. Se requiere determinar el flujo de vapor necesario para proveer el calor

requerido en este proceso. El diseño del serpentín se realizó para la masa de solución contenida hasta el nivel normal de llenado.

El fluido para el calentamiento es el vapor de agua, el cual es suministrado por una caldera que opera a 80 psig, enviando el vapor con una calidad del 100% y saliendo como líquido saturado (calidad igual a cero).

FIGURA N° 4.10

PROCESO QUE ATRAVIESA EL VAPOR SATURADO

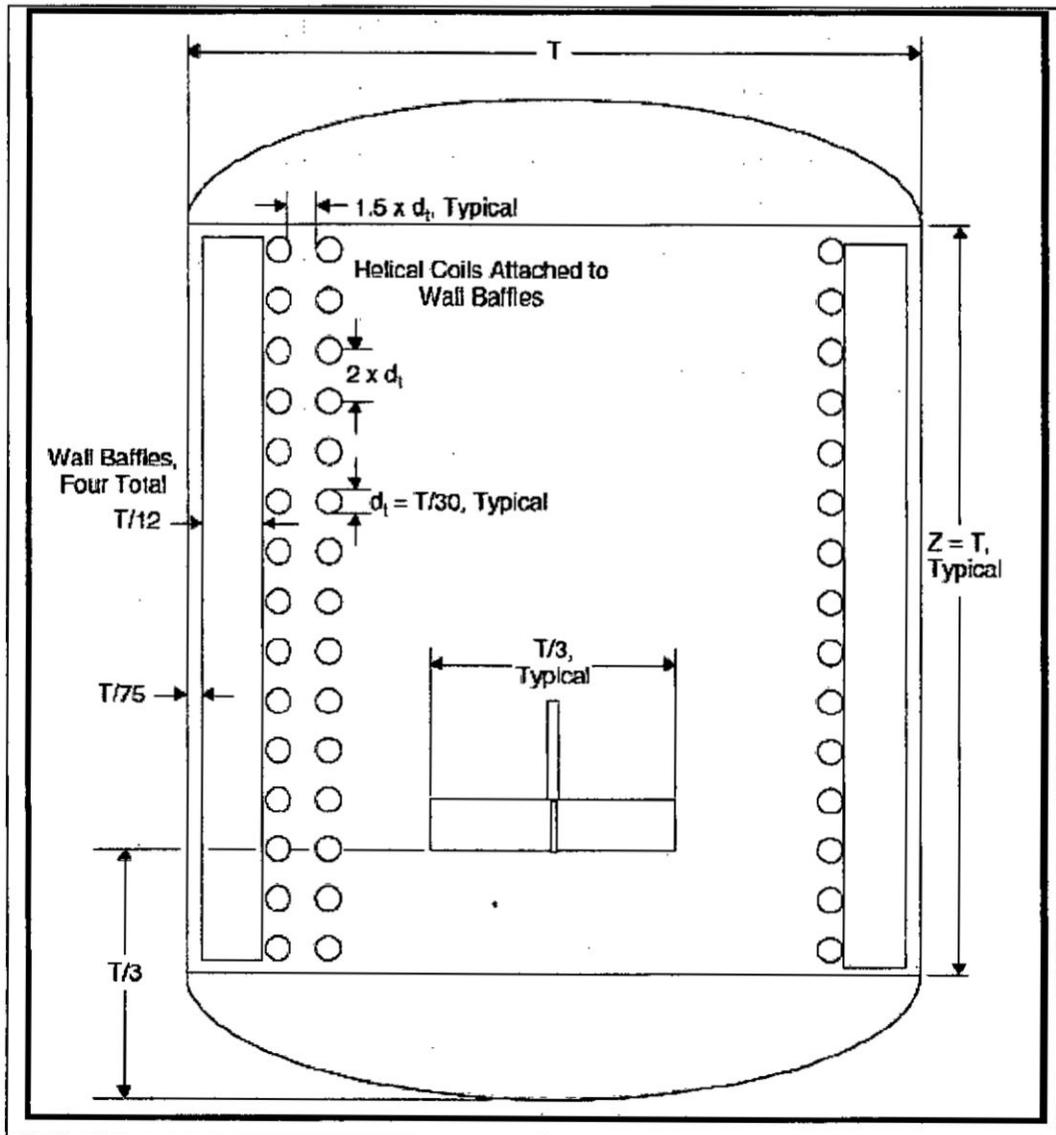


Fuente: Diseño y simulación de un Tanque Mezclador de 10,000 gal para la elaboración de aceites lubricantes." E. Ricaurte, 2016.

Se eligió como material del serpentín a la tubería AISI 304L, debido a la corrosión generada por el catalizador.

La figura N° 4.11 muestra una configuración estándar de un tanque agitado y calentado mediante un serpentín helicoidal sumergido.

FIGURA N° 4.11
CONFIGURACIÓN GENERAL DE UN SERPENTÍN HELICOIDAL
DENTRO DE UN REACTOR QUÍMICO



Fuente: "Handbook of Industrial Mixing". Paul, Atiemo-Obeng, & Kresta, 2004.

Para el cálculo se consideró lo siguiente:

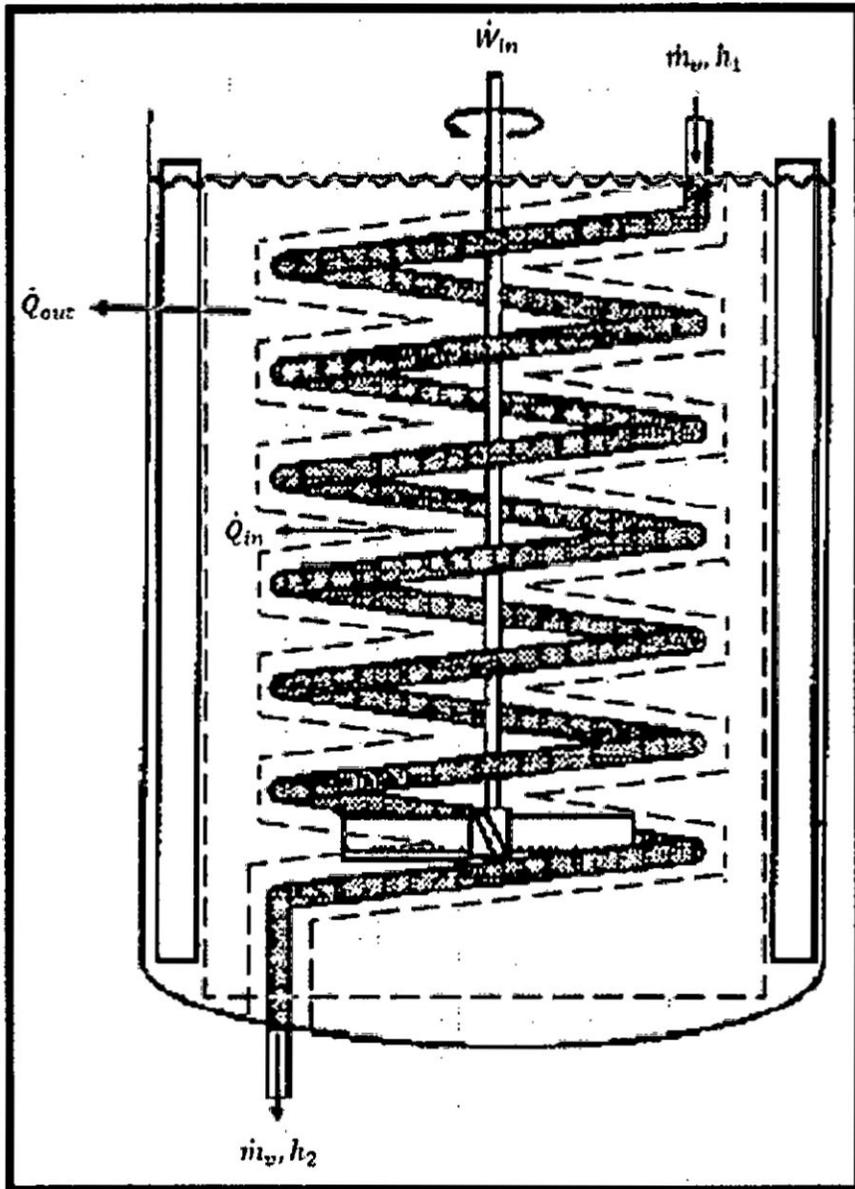
- ✓ El caudal del fluido de calentamiento es constante.
- ✓ Los calores específicos de los fluidos son constantes a determinada temperatura promedio.
- ✓ El medio de calentamiento tiene temperatura constante.
- ✓ El proceso no genera calor.
- ✓ La variación en la energía cinética y potencial es despreciable.
- ✓ El coeficiente global de transferencia de calor (U) es constante.

c.1 Balance de Energía

Para el diseño del intercambiador de calor o serpentín de calentamiento, cuya función es transferir energía térmica desde un fluido de alta temperatura hacia otro fluido con baja temperatura y ambos fluidos en movimiento dentro del equipo, se realizó un balance de energía tomando como base la 1ra Ley de la Termodinámica. Se definió una masa de control que comprende el fluido de proceso y un volumen de control que comprende el serpentín de vapor.

FIGURA N° 4.12

MASA DE CONTROL Y VOLUMEN DE CONTROL DEL SISTEMA



Fuente: "Modeling of Chemical Kinetics and Reactor Design". Coker, 2001

Sabemos que:

$$Q_{\text{absorbido (mezcla)}} = Q_{\text{cedido (H}_2\text{O)}}$$

$$Q_{\text{absorbido}} = m_{\text{mezcla}} * CE_{\text{mezcla}} * (t_2 - t_1)$$

$$Q_{\text{cedido}} = -m_{\text{H}_2\text{O}} * CE_{\text{H}_2\text{O}} * (T_1 - T_2)$$

c.2 Cálculo del flujo másico de la mezcla

$$\dot{m}_{\text{mezcla}} = \frac{V_{\text{mezcla}} * \rho_{\text{mezcla}}}{t}$$

De donde:

V_{mezcla} = Volumen de la mezcla (m^3)

ρ_{mezcla} = Densidad de la mezcla (Kg/m^3)

t = Tiempo (horas)

Reemplazando datos, tenemos que:

$$\dot{m}_{\text{mezcla}} = \frac{42.61 \text{ m}^3 * 889.02 \text{ Kg}/\text{m}^3}{2 \text{ hr}}$$

$$m_{\text{mezcla}} = 21,648.21 \text{ Kg}/\text{hr}$$

c.3 Cálculo del flujo másico del agua

Para calcular el flujo másico del agua se tendrán las siguientes consideraciones:

- flujo volumétrico de 50 GPM o $11.4 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Densidad del agua $1,000.00 \text{ Kg}/\text{m}^3$.

Sabemos que:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}} * \rho_{\text{H}_2\text{O}}$$

Reemplazando datos:

$$m_{H_2O} = 11,363.64 \text{ Kg}/m^3$$

c.4 Cálculo de la temperatura final del agua

Para ello tenemos que:

$$T_2 = T_1 - \left(\frac{m_{mezcla} * CE_{mezcla}}{m_{H_2O} * CE_{H_2O}} \right) * (t_2 - t_1)$$

Reemplazando datos:

$$T_2 = 155.6 - \left(\frac{21648.21 * 0.285}{11363.64 * 1} \right) * (60 - 20)$$

$$T_2 = 133.88 \text{ } ^\circ\text{C}$$

TABLA N° 4.13

CUADRO DE BALANCE DE ENERGÍA

	REACTOR QUIMICO	UNIDADES
Temperatura de salida de la mezcla (t ₂)	60.0	°C
Temperatura de ingreso de la mezcla (t ₁)	20.0	°C
Flujo Másico de la mezcla (m' mezcla)	11363.6	Kg/Hr
Calor absorbido por la mezcla (Q _{absorbido mezcla})	542937	BTU/Hr
Flujo Volumétrico del agua (V _{H2O})	11.4	m ³ /Hr
Densidad del agua (ρ _{H2O})	1000.0	kg/m ³
Flujo Másico del agua (m' H _{2O})	11363.4	Kg/Hr
Temperatura de ingreso del vapor de agua al serpentín (T ₁)	155.6	°C
Calor Especifico de la mezcla (CE _{mezcla})	0.3	Btu/Lb-°F
Calor Especifico del agua (CE _{H2O})	1.0	BTU/Lb-°F
Temperatura de salida del liquido saturado del serpentín (T ₂)	133.8	°C
Calor cedido por el agua (Q _{cedido H2O})	-542937	BTU/Hr

Fuente: Elaboración Propia

c.5 Cálculo de la Diferencia de Temperatura Media Logarítmica (MLDT)

Se sabe que:

$$Q = \dot{m} * CE * \Delta T^\circ = U * A * MLDT$$

De donde:

$$MLDT = \frac{((T_1 - t_2) - (T_2 - t_1))}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)}$$

Reemplazando datos:

$$MLDT = 104.47^\circ C$$

TABLA N° 4.14

CUADRO DE TEMPERATURAS EN EL PROCESO DE REACCIÓN

	REACTOR QUIMICO	UNIDADES
Temperatura de salida de la mezcla (t ₂)	60	°C
Temperatura de ingreso de la mezcla (t ₁)	20	°C
Temperatura de salida del líquido saturado del serpentín (T ₂)	134	°C
Temperatura de ingreso del vapor de agua al serpentín (T ₁)	156	°C
T ₁ -t ₂ (°C)	96	°C
T ₂ -t ₁ (°C)	114	°C
Diferencia de Temperatura Media Logarítmica (MLDT)	104.47	°C

Fuente: Elaboración Propia

c.6 Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia de Calor

Según consideraciones de diseño, de la literatura revisada, se encontraron valores entre 19.37 y 61.64 BTU/hr-pie² °F, de donde consideraremos un valor promedio:

	REACTOR QUIMICO	UNIDADES
Coefficiente Global de Calor (U)	40.51	BTU/hr-pie ² °F

c.7 Cálculo del área de transferencia de calor

Se conoce que:

$$A_t = \frac{Q_{\text{absorbido mezcla}}}{U * MLDT}$$

TABLA N° 4.15

CUADRO DE CÁLCULO DE ÁREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR

	REACTOR QUIMICO	UNIDADES
Calor absorbido por la mezcla ($Q_{\text{absorbido mezcla}}$)	542937.2	BTU/hr
Coefficiente Global de Calor (U)	40.51	BTU/hr-pie ² °F
Diferencia de Temperatura Media Logaritmica (MLDT)	104.47	°C
Área de Transferencia de calor (A_t)	128.31	pie ²
	11.92	m ²

Fuente: Elaboración Propia

c.8 Dimensiones del Serpentin

El material seleccionado para el serpentín de calentamiento es el Acero Inoxidable AISI 304, ASTM A-312, sin costura, Sch 10. Los tamaños nominales de tubería recomendados para esta aplicación son: 1 ½", 2" y 2 ½", los cuales se muestran en la tabla N° 4.17.

Para realizar el cálculo de la longitud y número de tubos necesarios para cada caso, se hizo uso de las siguientes fórmulas:

$$P = (\phi * \pi) * 0.0254$$

$$L_t = \frac{A_T}{P}$$

TABLA N° 4.16

**SELECCIÓN DE DIÁMETRO DE TUBERÍA PARA EL SERPENTÍN
HELICOIDAL**

	Medida	Unidades
Diámetro nominal (ϕ nominal)	1.5	pulg
Perímetro (p)	0.12	m
Longitud total de tubería (Lt)	99.57	m
Numero de tubos de 6 m	16.6	Unid.
Diámetro nominal (ϕ nominal)	2.0	pulg
Perímetro (p)	0.16	m
Longitud total de tubería (Lt)	74.68	m
Numero de tubos de 6 m	12.45	Unid.
Diámetro nominal (ϕ nominal)	2.5	pulg
Perímetro (p)	0.20	m
Longitud total de tubería (Lt)	59.74	m
Numero de tubos de 6 m	9.96	Unid.

Fuente: Elaboración propia

Se decidió usar tuberías de 2" para el desarrollo del serpentín helicoidal.

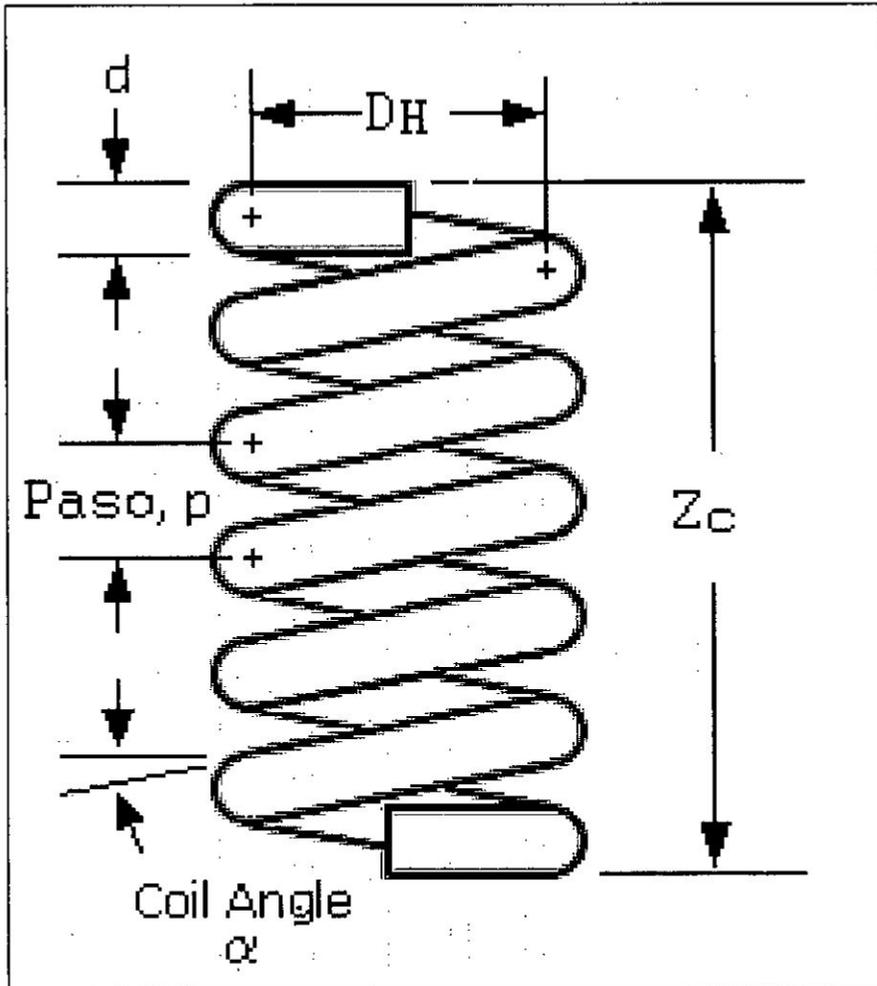
c.9 Diseño de la geometría del serpentín helicoidal

Con el diámetro de la tubería y la longitud del serpentín, se realizó el cálculo de las demás dimensiones para el diseño del serpentín.

La figura N° 4.13 muestra las dimensiones que definen a un serpentín helicoidal.

FIGURA N° 4.13

DIMENSIONES GENERALES DE UN SERPENTÍN HELICOIDAL



Fuente: Diseño y simulación de un Tanque Mezclador de 10,000 gal para la elaboración de aceites lubricantes." E. Ricaurte, 2016

Debido a que el serpentín debe sujetarse a una base de 6 mm de espesor en el filo de los deflectores, los cuales son de un ancho de 380 mm más una separación de 60 mm, y el diámetro exterior de la tubería es de 60.3 mm, el diámetro de la hélice se obtuvo de la

resta entre el diámetro del tanque y las cuatro longitudes mencionadas anteriormente:

$$D_H = 3820 - 2 * (318) - 2 * (60) - 2 * (6) - 60.3 = 2971.7 \text{ mm}$$

De la figura N° 4.14, obtenemos que la altura para el serpentín debe ser aproximadamente 0.65 de la altura del líquido "Z", que es 3.622 m.

Por lo tanto:

$$Z_C \approx 2355 \text{ mm}$$

La longitud total de la hélice cilíndrica se define como:

$$L_H = N * \sqrt{p^2 + (\pi * D_H)^2} = 74.68 \text{ m}$$

La altura de la hélice se obtiene de la siguiente fórmula:

$$Z_C = N * p + d = 2355 \text{ mm}$$

Para obtener el ángulo de la hélice, tenemos que:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi * D_H} \right)$$

De donde:

L_H: Longitud de la hélice o del serpentín.

N: Número de espirales

p: Paso del serpentín

D_H: Diámetro de la hélice

Resolviendo las 03 fórmulas presentadas anteriormente, obtenemos lo siguiente:

N	7.995
p	286.99
α	1.76°

Para una mayor facilidad en la construcción, se establecieron las siguientes dimensiones finales, según la tabla N° 4.17:

TABLA N° 4.17

DIMENSIONES DEL SERPENTÍN HELICOIDAL

Dimensión	Valor Final
Número de espirales, N	8
Paso del serpentín, p	287 mm
Diámetro de la hélice, D_H	2972 mm
Altura del serpentín, Z_c	2355 mm
Ángulo de la hélice	1.76°
Longitud del serpentín, L_H	7468 mm

Fuente: Elaboración Propia

c.10 Determinación del coeficiente convectivo de transferencia de calor del lado del fluido de servicio

Dado que el vapor saturado atraviesa el proceso de condensación, el coeficiente convectivo interno será un coeficiente convectivo para flujo bifásico, por lo que se debió utilizar una correlación para condensación en tuberías horizontales.

La tabla N° 4.18, muestra la aplicación y desviación media de tres correlaciones generales para flujo bifásico.

TABLA N° 4.18

DESVIACIÓN MEDIA PARA CORRELACIONES DE FLUJO BIFÁSICO

Correlación	Aplicación	Desviación Media
Chen - Cooper	Tuberías verticales	22.4 %
Kandlikar	Tuberías verticales y horizontales	46.0%
Shah	Tuberías verticales y horizontales	17.3%

Fuente: Shah, 2005

Se decidió hacer uso de la correlación de Shah, por ser la más consistente y aplicable tanto a tubos verticales y horizontales, la cual tiene la siguiente forma:

$$\psi = \frac{h_{TP}}{h_l}$$

$$\psi = 1 + \frac{3.8}{Z^{0.95}}$$

$$h_l = 0.023 * Re_m^{0.8} * Pr_m^{0.4} * \frac{k_f}{D}$$

$$Z = \left(\frac{1}{X} - 1\right)^{0.8} * pr^{0.4}$$

$$Re_L = \frac{G * D}{\mu_m}$$

$$pr = \frac{p}{pc}$$

De donde:

Ψ : Parámetro adimensional de correlación.

h_{TP} : Coeficiente convectivo de transferencia de calor bifásico.

h_L : Coeficiente convectivo asumiendo la masa total fluyendo como líquido.

Z: Parámetro de correlación para transferencia de calor en condensación.

μ : Viscosidad dinámica.

X: Calidad del vapor.

pr: Presión reducida.

Re_L: Número de Reynolds asumiendo la masa total fluyendo como líquido.

Pr: Número de Prandtl.

G: Velocidad másica.

D: Diámetro de la tubería.

p: presión de trabajo.

p_c: Presión crítica.

De las ecuaciones anteriormente mencionadas, podemos obtener la siguiente ecuación general:

$$h_{TP} = h_l \left[(1 - X)^{0.8} + \frac{3.8 * X^{0.76} * (1 - X)^{0.04}}{pr^{0.38}} \right]$$

De la correlación de Shah, también se obtuvo la siguiente integración de ecuaciones aplicada para una longitud de tubería y obtener el coeficiente medio de transferencia de calor en la región de condensación²⁶.

²⁶ (Kakac, 2012)

$$h_{TPm} = \frac{1}{L} * \int_0^L h_{TP} dL$$

Para el caso de una variación lineal de la calidad en un rango de 0% a 100%, tenemos que:

$$h_{TPm} = h_l * \left(0.55 + \frac{2.09}{pr^{0.38}} \right)$$

c.11 Determinación del coeficiente convectivo de transferencia de calor del lado del fluido de proceso

Las correlaciones encontradas en la bibliografía revisada para el cálculo del coeficiente convectivo de transferencia de calor del lado del fluido de proceso son todos de la forma:

$$Nu = h * \frac{T}{k} = a * Re^{\frac{2}{3}} * Pr^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{\mu_b}{\mu_s} \right)^{0.14}$$

De donde:

a: Constante que depende del tipo de agitador y superficie de calentamiento.

Re: Número de Reynolds en el filo del agitador.

Pr: Número de Prandtl del fluido.

μ_b : Viscosidad dinámica del fluido de proceso.

μ_s : Viscosidad dinámica del fluido de proceso evaluada a la temperatura superficial, T_s .

T: Diámetro del recipiente.

k: Conductividad térmica del fluido

La tabla N° 4.19 muestra los valores de "a" para los distintos tipos de agitadores y superficies de calentamiento en tanques²⁷.

TABLA N° 4.19
VALORES DEL COEFICIENTE "A" PARA LOS AGITADORES Y SUPERFICIES DE CALENTAMIENTO

Agitador	Superficie de Calentamiento	a
Turbina	Chaqueta	0.62
Turbina	Serpentín	1.50
Paletas	Chaqueta	0.36
Paletas	Serpentín	0.87
Ancla	Chaqueta	0.46
Hélice	Chaqueta	0.54
Hélice	Serpentín	0.83

Fuente: Shah, 2005

A partir de las dimensiones establecidas para el tanque, el agitador y el serpentín helicoidal, se realizaron los planos de construcción los cuales se encuentran en el anexo 5.

d. Diseño de los soportes del reactor químico

Para el diseño de los soportes del reactor químico se requirió conocer el peso de lo siguiente:

- ✓ Peso del tanque
- ✓ Peso del serpentín de calentamiento
- ✓ Peso del eje del agitador
- ✓ Peso del impulsor
- ✓ Peso del fluido

²⁷ (Oldshue, 1983)

- ✓ Peso del motorreductor
- ✓ Peso de los rodamientos
- ✓ Peso del acoplamiento
- ✓ Peso de las placas deflectoras
- ✓ Carga de viento
- ✓ Carga Sísmica

d.1 Cálculo de pesos

➤ Peso del Reactor

Diámetro: 3.82 m

Altura cilíndrica: 4.5 m

Posee 02 tapas toriesféricas

Material: Acero inoxidable AISI 304

Peso total del reactor: 3,239 Kg

➤ Peso del Serpentín

Se utilizarán aproximadamente 12.5 tubos, de 2" de diámetro y 6 m cada uno, material AISI 304.

Peso total del serpentín: 175.35 Kg

➤ Peso del eje, acoples y chaveta

Para el cálculo del peso del eje, se consideró lo siguiente:

Diámetro del eje: 2"

Material: AISI 304L

Tipo: Barra redonda

Peso Total, eje, acoples y chaveta: 65.78 Kg

➤ **Peso del fluido**

Dentro del recipiente se tendrá 03 reactantes: el aceite reciclado, el metanol y el KOH, lo cual mediante la agitación y el calentamiento nos dará como resultado el biodiesel, por lo que haremos uso de la densidad de la mezcla obtenida anteriormente, además del volumen de operación, con lo cual obtendremos el peso del fluido:

$$\rho = 889.02 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso del fluido} = 37,881.14 \text{ Kg}$$

➤ **Peso del motorreductor**

Del manual de selección del motorreductor, tenemos que:

$$\text{Peso del motorreductor} = 311 \text{ Kg}$$

➤ **Peso de las placas deflectoras**

Las medidas de las placas deflectoras son 4,500 x 318 x 6 mm =

$$71.33 \text{ Kg}$$

Se trata de 04 deflectores, por lo que el peso total será:

$$\text{Peso total de los deflectores: } 285.33 \text{ Kg}$$

➤ **Peso total del tanque y accesorios**

Sumando los pesos calculados anteriormente, tenemos que el peso total es: 41,957.60 Kg.

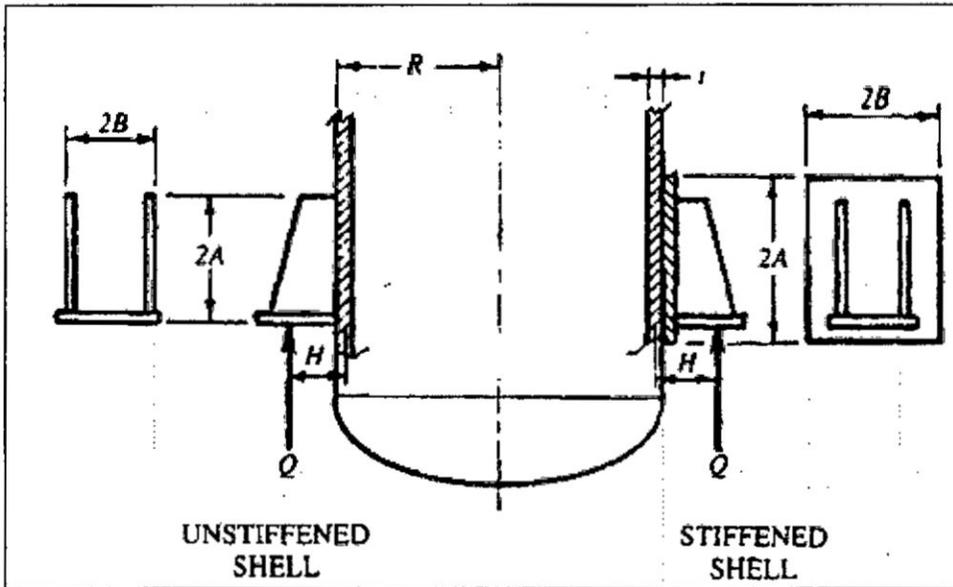
A modo de seguridad, tomaremos un valor igual al 110 % del peso calculado anteriormente:

$$\text{Peso de Diseño (W)} = 53,725.76 \text{ Kg}$$

d.2 Cálculo de los soportes

FIGURA N° 4.14

SOPORTES TIPO ZAPATA



Fuente: "Diseño de un recipiente a presión con un sistema de agitación para el procesamiento de biodiesel de e M3 de capacidad." J. Manrique, 2006

Cálculo de las cargas por viento "V"

Para el cálculo de las cargas generadas por el viento, se considerará lo siguiente:

Presión de diseño del viento P_v : 40 Psf

Coefficiente de forma C_f : 0.6

Del API 653, tenemos que:

$$V = P_v * C_f * D * H$$

Reemplazando datos, obtenemos lo siguiente:

$$V = 4.44 \text{ Klb}$$

Para el cálculo del momento debido a fuerzas del viento:

$$M_V = V * h_1$$

Donde:

h_1 = Brazo de palanca

En nuestro caso:

$h_1 = 14.11 \text{ ft}$

$$\therefore M_v = 752 \text{ Ksi}$$

Diseño del perfil de los soportes del reactor

Para el diseño del soporte, se consideró lo siguiente:

Diámetro del Recipiente "D" = 150"

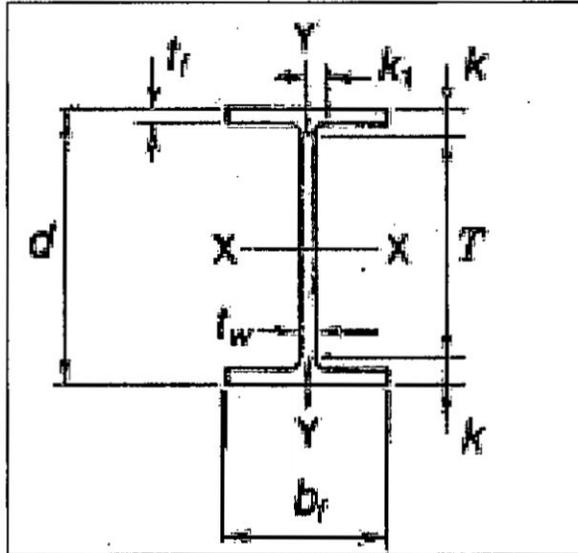
Altura del cilindro = 177.17"

Altura de la tapa toriesférica = 75.20"

Se realizó el cálculo asumiendo distintos perfiles, de donde se seleccionó el siguiente: **W6 x 12**. Las características del perfil seleccionado fueron tomadas del AISC Ed. 9 pp 1-32, 1-33.

FIGURA N° 4.15

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL SELECCIONADO



Fuente: AISC 9na Edición

$$L = 157.48''$$

$$r_{\min} = 2.46''$$

$$A = 3.55 \text{ in}^2$$

$$K = 0.625$$

$$C = 3''$$

$$I = 22.1 \text{ in}^4$$

$$d = 6$$

$$b = 4$$

Número de soportes = 4

El material seleccionado para los soportes fue el Acero Estructural

ASTM A36, el cual posee las siguientes características:

$$E = 29,000 \text{ Ksi}$$

$$S_y = 36 \text{ Ksi}$$

Hallando el peso en cada estructura:

$$P = \frac{W}{n} = \frac{53,726.26}{4} * 0.2248 = 30.19 \text{ Klb}$$

Tomando como referencia las fórmulas de diseño de columnas y miembros a compresión señaladas por el AISC en el capítulo 5, tenemos que conocer la relación de esbeltez, la cual viene determinada de la siguiente manera:

$$\lambda = \frac{Kl}{r}$$

Reemplazando datos:

$$\lambda = 40.01$$

Luego hallamos la relación de esbeltez a compresión, la cual viene representada de la siguiente manera:

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}}$$

Reemplazando datos:

$$\lambda_c = 126$$

Con los datos obtenidos, se debe cumplir lo siguiente:

$$\lambda < \lambda_c \rightarrow \text{Cumple!}$$

Usaremos la siguiente fórmula, para el cálculo del esfuerzo admisible:

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(\lambda^2)}{2\lambda_c^2}\right] S_y}{FS}$$

Donde:

FS = Factor de seguridad; el cual se obtiene de la siguiente manera:

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3\lambda}{8\lambda_c} - \frac{\lambda^3}{8\lambda_c^3}$$

Reemplazando datos:

$$FS = 1.78$$

Por lo tanto, el esfuerzo admisible:

$$F_a = 19.19 \text{ Ksi}$$

Hallando el esfuerzo en cada soporte, tenemos lo siguiente:

$$\frac{P}{A} = \frac{30.19 \text{ Klb}}{3.55 \text{ in}^2}$$

$$\frac{P}{A} = 8.51 \text{ Ksi}$$

Ahora calculamos el momento al que estará sujeto cada soporte:

$$M = \frac{P * D}{2}$$

Reemplazando datos:

$$M = 2,270 \text{ lb} - \text{in}$$

Para el cálculo del esfuerzo máximo por cada columna, usaremos la siguiente fórmula:

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{P}{A} + \frac{Mc}{I * 1000}$$

Reemplazando datos:

$$F_{m\acute{a}x} = 8.81 \text{ Ksi}$$

Por lo tanto, comparando esfuerzos:

$$F_{m\acute{a}x} < F_a$$

¡La viga seleccionada es correcta!

d.3 Cálculo de los pernos

Según lo indicado por el AISC, el material para los pernos de anclaje debe ser el ASTM A307 Gr B7, además se indican las siguientes fórmulas para seleccionar el diámetro del espárrago:

Momento de vuelco:

$$M = \frac{PD}{2} = 2,270 \text{ lb} - \text{in}$$

Diámetro medio de pernos:

$$D_b = D + \frac{c}{2}$$

$$D_b = 156''$$

Área resistente del perno:

$$A_b = \frac{\left[\left(\frac{1}{F_a * P} \right) * \left(\frac{16 * M}{D_b - 4 * P} \right) \right]}{2}$$

$$A_b = 0.73 \text{ in}^2$$

∴ Diámetro del espárrago seleccionado = 1"

Para el cálculo de la longitud de los espárragos, podemos considerar:

$$L_b = 12d_b$$

Reemplazando datos:

$$L_b = 12 * 1 = 12'' <> 30.48 \text{ cm}$$

Se tomará una longitud de 40 cm por espárrago.

e. Análisis de Costos

La tabla N° 4.20 muestra el listado necesario para la construcción del reactor químico con sus sistemas de calentamiento y agitación con los precios de mercado actual.

TABLA N° 4.20

COSTOS DE FABRICACIÓN

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	P-Unit. US\$	P-Total US\$
MATERIALES					
1	Planchas Ac. Inox C-304 - 3/4" x 1500mm x 6000mm (Casco)	7	Planchas	1'559.00	10'913.00
2	Planchas Ac. Inox C-304 - 3/4" x 1500mm x 6000mm (Tapas y cuello de Manholes)	4	Planchas	1'961.60	7'846.40
3	Planchas Ac. Inox C-304 - 1" x 1.53 mt x 1.50 mt (Tapas de Manholes)	1	Plancha	1'912.50	1'912.50
4	Tubo Ac. Inox. C-304 - Ø4" x 6.10 mt - SCH 40S	1	Tubos	484.65	484.65
5	Tubo Ac. Inox. C-304 - Ø3" x 6.10 mt - SCH 40S	1	Tubos	337.57	337.57
6	Tubo Ac. Inox. C-304 - Ø2" x 6.10 mt - SCH 40S	14	Tubos	166.04	2'324.59
7	Bridas Ac. Inox. C-304 - Ø4" - 150 #	4	Pzas	75.00	300.00
8	Bridas Ac. Inox. C-304 - Ø3" - 150 #	2	Pzas	52.00	104.00
9	Bridas Ac. Inox. C-304 - Ø2" - 150 #	6	Pzas	33.00	198.00
10	Viga ASTM A36 - "H" 6"15# - 6.00 mts	4	Pzas	154.01	616.03
11	Barra redondo Ac. Inox C-304 - Ø2" x 3mt	2	Barra	58.20	116.40
12	Codo Ac. Inox. C-304 - Ø2" x 90° - SCH 40S	8	Pzas	10.00	80.00
13	Codo Ac. Inox. C-304 - Ø2" x 180° - SCH 40S	16	Pzas	20.00	320.00
14	Espárragos Ø5/8" - Inox ASTM	48	Pzas	3.50	168.00

	A 193 - B7				
15	Tuercas Ø5/8" - ASTM A 194 - 2H	96	Pzas	1.50	144.00
16	Espárragos Ø1" x 1.20 mt- ASTM A 307 - B7	16	Pzas	17.75	284.00
17	Tuercas Ø1" - 2H	32	Pzas	0.62	19.84
18	Motorreductor A/C lineal 25HP	1	motor	1'574.67	1'574.67
Sub total por Materiales US\$					27'743.65
MANO DE OBRA Y SERVICIOS					
19	01 calderero, 02 Soldadores ASME, 02 Esmeriladores	8	semanas	787.88	6'303.03
Sub total por Mano de Obra US\$					6'303.03
SERVICIOS DE TERCEROS					
20	Fabricación de 02 Tapas Tipo ASME en Acero Inoxidable	2220	Kg	1.80	3'996.00
21	Radiografiado de Cordones de soldadura	20	placas	60.00	1'200.00
Sub total por Servicios de Terceros US\$					5'196.00
Ítem	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	Cantidad	Unidad	P-Unit. US\$	P-Total US\$
22	02 máquinas de Soldar Tig	2	MES	700.00	1'400.00
23	Tecla de 7.0 Ton	3	UND	150.00	450.00
24	Combas de 10 Lb	3	UND	12.00	36.00
25	Escuadra de 24 pulg	3	UND	5.00	15.00
26	Regla metálica	2	UND	4.00	8.00
27	Tapones para Oídos	5	UND	1.00	5.00
28	Fresa Metálica	2	UND	15.00	30.00
29	Esmeriles de 4 1/2"	2	UND	75.00	150.00
30	Turbineta pequeña	1	UND	85.00	85.00
31	Caretas de Soldar	2	UND	10.00	20.00
32	Caretas de Esmerilar	2	UND	8.00	16.00
33	Mandil de cuero	2	UND	6.00	12.00
34	Guantes de Badana	8	pares	3.50	28.00
35	Guantes de Hilo	4	pares	3.50	14.00
36	Lentes de protección	10	UND	3.50	35.00
Sub total por Equipo y Herramientas US\$					2'304.00
Ítem	CONSUMIBLES	Cantidad	Unidad	P-Unit. US\$	P-Total US\$
37	Soldadura de Aporte Ø3/32 " x 1.00 mt de long. - calidad 308	164.00	KG	13.00	2'132.00
38	Soldadura de Aporte Ø1/8 " x	164.00	KG	12.52	2'053.28

4.3. Población y Muestra

La población y muestra representan lo mismo, ya que se trata de un único objeto de estudio el cual está representado por el diseño del reactor químico para la producción de biodiesel a partir de aceite de uso doméstico reciclado.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas utilizadas fueron las siguientes:

TABLA N° 4.21

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TECNICAS	INSTRUMENTOS
Investigación Documentaria	Revisión bibliográfica Revistas Científicas Libros físicos y digitales
Observación	Fichas de Observación Hoja de datos de productos (MSDS) Especificaciones técnicas del producto
Descripción	Evaluación económica

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO V

V. RESULTADOS

5.1. Almacenamiento

La tabla N° 5.1 detalla las especificaciones obtenidas al aplicar las fórmulas de diseño según el ASME Sección VIII División I para el reactor químico de 15,000 Gal.

TABLA N° 5.1

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DEL REACTOR QUÍMICO

DEFINICIÓN	DETALLE
Capacidad Total	15,000 Gal
Capacidad Nominal	11,250 Gal
Vida útil	25 años
Diámetro	3.82 m
Altura del Cuerpo	4.5 m
Altura Total	6.18 m
Material	Acero Inoxidable 304
Espesor de plancha	$\frac{3}{4}$ "
Tipo de Techo	Domo Toriesférico
Tipo de fondo	Domo Toriesférico
Diámetro del Manhole	20"
Peso	3 ton

Fuente: Elaboración Propia

5.2. Sistema de Agitación

La tabla N° 5.2 detalla las especificaciones finales del reactor químico en función de su sistema de agitación.

TABLA N° 5.2

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN

DEFINICIÓN	DETALLE
Método de Agitación	Agitador Mecánico
Tipo de Agitador	Turbina de aspas inclinadas 45°
Número de Aspas	4
Diámetro del Agitador	1 m
Velocidad del Agitador	140 RPM
Potencia del Motor	25 HP
Velocidad lineal superficial	0.17 m/s
Diámetro del Eje	2" NPT

Fuente: Elaboración Propia.

5.3. Sistema de calentamiento

La tabla N° 5.3 detalla las especificaciones de diseño del reactor químico en función de su sistema de calentamiento.

TABLA 5.3

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO SISTEMA DE CALENTAMIENTO

DEFINICIÓN	DETALLE
Método de Calentamiento	Serpentín helicoidal interno
Calor Absorbido/Cedido	542'937.21 BTU/hr
Material de la Tubería	Acero Inoxidable AISI 304
Área de Transferencia de Calor	11.92 m ²
Diámetro de la Tubería	2" NPT Sch 40
Longitud de la Tubería	74.68 m
Tiempo de Calentamiento	120 min
Flujo másico de vapor	11'363.64 Kg/hr
Coefficiente Global de Transferencia	40.51 BTU/hr-ft ² °F
Diámetro de la hélice	2972 mm
Paso del Serpentín	287 mm
Número de Espirales	8
Altura del Serpentín	2355 mm

Fuente: Elaboración Propia

5.4. Estimación de costos de materiales, mano de obra, herramientas y equipos para la construcción del reactor químico y sus sistemas.

Costo Total	\$52'227.26
--------------------	--------------------

CAPITULO VI

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación de la hipótesis con los resultados

- Mediante el cálculo y selección de equipos según las consideraciones de diseño básicas como temperatura de 60°C y 90 PSI se puede asegurar la producción de biodiesel a partir de aceite de uso doméstico reciclado y metóxido en un reactor químico.
- Con un agitador mecánico de álabes tipo turbina, 45° de inclinación y un serpentín helicoidal como sistema de calentamiento, se puede asegurar una mezcla óptima teniendo en cuenta el tiempo de residencia, la temperatura y la presión de la mezcla en el reactor químico.
- Mediante el uso de las ecuaciones de diseño según el ASME Sección VIII División I, ecuaciones de diseño termodinámico, ecuaciones de diseño estructural y los balances de masa, como la relación en peso de los reactantes, obtenido de la literatura revisada se realizó un correcto dimensionamiento del reactor químico.

6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares

- ✓ De la tesis "Diseño del Módulo de Transesterificación de una Planta Piloto para Producción de Biodiesel a Partir de Aceites Usados de Cocina", se puede observar que el diseño del reactor químico resulta de un tiempo de residencia de la mezcla de 1.5 horas,

además de considerar como material de trabajo el AISI 304, el uso de un agitador mecánico tipo turbina recto, una resistencia térmica como sistema de calentamiento, tapa tipo toriesférica y fondo cónico a diferencia de la presente investigación donde se seleccionó un agitador mecánico con álabes de 45° de inclinación, un serpentín helicoidal como sistema de calentamiento, fondo y tapa tipo toriesféricas, además de tener en cuenta el tiempo de residencia de 2 horas. En ambos casos la presión de diseño es de 90 PSI, sin embargo, la capacidad de producción es diferente lo cual puede incurrir en el tiempo de residencia de la mezcla dentro del reactor.

- ✓ De la tesis "Diseño de un Recipiente a Presión con un Sistema de Agitación para el Procesamiento de Biodiesel de 3m³ de Capacidad", se tiene una presión de diseño de 57 PSI tomando como sustento la presión atmosférica como presión de operación, además de diseñar un enchaquetado como sistema de calentamiento a diferencia de la presente investigación donde de la literatura revisada se tiene que la presión de diseño es de 90 PSI y tener el serpentín helicoidal como sistema de calentamiento.
- ✓ De la tesis "Análisis técnico y económico sobre producción, almacenamiento y transporte de biodiesel en Perú", se tiene como dato la preferencia de material de acero inoxidable debido a una mayor resistencia a la corrosión en comparación con el acero al

carbono convencional, dato que se tomó como referencia en la presente investigación.

- ✓ De la tesis "Diseño de un Reactor de Transesterificación para la Producción de Biodiesel", se puede observar el análisis químico llevado a cabo por la reacción, el balance estequiométrico que atraviesan los reactantes los cuales sirvieron para dimensionar el reactor químico de la presente investigación para el balance de masa y tener el peso de cada reactante para la producción del biodiesel.
- ✓ De la tesis "Producción de Biodiesel a Partir del Aceite Crudo de Palma: Diseño y Simulación de Dos Procesos Continuos" se tiene el estudio tecnológico entre dos tipos de proceso una con pretratamiento y la otra con esterificación previa la cual genera mayor cantidad de biodiesel de donde se adoptó el uso del segundo proceso para nuestro diseño en donde se asume una previa esterificación del aceite de uso doméstico reciclado para la obtención del biodiesel al 98.5%.
- ✓ De la tesis "Diseño de reactores de prepolimerización y polimerización para la producción de ácido poliláctico en una planta industrial", se tiene una simulación del sistema de agitación donde se confirma una mayor velocidad en las aspas de la turbina del reactor y la disminución de la viscosidad del fluido en las zonas cercanas al agitador, razón por la cual consideramos la selección

CAPITULO VIII

VIII. RECOMENDACIONES

- Realizar un programa de mantenimiento del reactor y de sus sistemas con la finalidad de preservar el equipo y conseguir en gran medida una mezcla homogénea para la producción de biodiesel.
- Buscar y evaluar económicamente la aplicación de nuevos materiales para el diseño del reactor como la composición entre vidrio fusionado y acero con lo que la vida útil del reactor se alargaría, así como su mantenimiento.
- Realizar una investigación para la recuperación del glicerol crudo obtenido al finalizar la reacción química dándole un mayor valor agregado.
- Realizar END en las juntas soldadas, considerando un radiografiado al 100% para evitar alguna porosidad y posible futuro pit de corrosión.

CAPÍTULO IX

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ALBERS HANNAH, GUILFOYLE BEN, THELEN MELANIE Y WALKER COLE. 2015. **"Converting waste restaurant grease into clean biodiesel."** Michigan, EE. UU.: Calvin College, 2015.
2. A. F. ROJAS GONZÁLES, E. G. **"Variables de operación en el proceso de transesterificación de aceites vegetales: una revisión - catálisis química."** Revista Ingeniería E Investigación, Pp 1 - 6, 2009.
3. ACOSTA FERNANDO, CASTRO PAULA Y CORTIJO ELSA. **"Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiesel a pequeña escala."** Lima, 2008.
4. ALENEZI, R. S. **"Improved biodiesel manufacture at low temperature and short reaction time."** Renew Energy, Pp 242-248, 2013.
5. AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. **"Manual of steel construction: load & resistance factor design."** Chicago, AISC. 2001.
6. ANASTAPOULOS, G. D. **"Synthesis of biodiesel from tobacco and waste frying oil using heterogeneous $\text{KHCO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ catalyst."** Pp 1-14, 2013.
7. ASME B1.20.1 **"Pipe threads, general purpose."** 2013.
8. ASME B16.1 **"Pipe flanges and flanged fittings cast iron."** 2013.

9. ASME B16.5 **"Pipe flanges and flanged fittings steel from ½ "to 24" diameter."** 2013.
10. ASME B31.1 **"Power piping."** 2013.
11. ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE, SECCIÓN VIII, DIVISIÓN 1. 2015.
12. B. V. KARLEKAR, R. M. DESDMOND. **"Transferencia de calor"** Editorial Interamericana, 1985.
13. BARRIGA MORENO, EDUARDO ANTONIO. 2011 **"Diseño del módulo de transesterificación de una planta piloto para producción de biodiesel a partir de aceites usados de cocina."** Tesis Ingeniero Mecánico. Pontificia Universidad Católica Del Perú, 23p – 25p, 2011.
14. BEER T., T GRANT Y CAMPBELL PK. 2007. **"Biodiesel could reduce greenhouse gas emissions."** Australia: Csiro, 2007.
15. BIODISOL. **"La producción de biodiesel."** Disponible En: [Http://Www.Biodisol.Com](http://www.biodisol.com) Artículo Web. Consultada El 05 de mayo del 2017.
16. BIOINGENIERÍA, **"Reactor tipo batch"** Disponible: [Https://Sites.Google.Com/Site/Bioingenieriauv15/Unidad-2-Biorreactores-y-su-aplicacion/2-1-Reactor-Tipo-Batch](https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/Unidad-2-Biorreactores-y-su-aplicacion/2-1-Reactor-Tipo-Batch), Artículo Web. Consultada El 01 de septiembre del 2017.
17. BOURNAY L., CASANAVE D., DELFORT B., HILLION G., CHODORGE J.A. 2005. **"New heterogeneous process for biodiesel"**

production: a way to improve the quality and the value of the crude glycerin produced by biodiesel plants.” Catalysis Today, 190–192, 2005.

- 18. BULLA PEREIRA EDWIN ALBERTO. 2014 “Diseño del proceso de producción del biodiesel a partir de aceites.” Colombia, 2014.**
- 19. CASTRO J., VERA M. “Diseño de reactores de prepolimerización y polimerización para la producción de ácido poliláctico en una planta industrial.” Cartagena de Indias, 2012.**
- 20. COELLO J., CASTRO P. “La Alternativa el biodiesel: oportunidades y puntos por resolver para la producción y uso de biodiesel en el Perú.” Revista Perú Económico, Volumen XXIX, N° 11. Lima: Apoyo Publicaciones, 2006.**
- 21. COKER. “Modeling of chemical kinetics and reactor design.” Houston, Texas: Gulf Professional Publishing. 2001.**
- 22. COLMENAR SANTOS A., CASTRO GIL M.A. “Biblioteca multimedia de las energías renovables.” Madrid: IDAE, N/D. Consultada El 09 de mayo del 2017.**
- 23. D. STUHLBARG. “Methods for calculating heat loss from tanks and the sizing of tank coils have been, Estados Unidos” 1959.**
- 24. E. RICAURTE. “Diseño y simulación de un tanque mezclador de 10,000 gal para la elaboración de aceites lubricantes.” 2016.**

25. **ESPINOZA MONTES CIRO, 2010. "Metodología de la investigación tecnológica."** Huancayo, Imagen Gráfica S.A.C., 2010. Primera Edición.
26. **EUGENE F. MEGYESY. "Manual de recipientes a presión diseño y cálculo."** Primera Edición 1989.
27. **FOGGLER, S. "Elementos de ingeniería de las reacciones químicas."** Pearson Education, 2008.
28. **FRANK P. INCROPERA Y DAVID P. DE WITT. "Fundamentos de transferencia de calor."** Cuarta Edición.
29. **G. MENDOW, N. S. "Biodiesel production by two-stage transesterification with ethanol."** Bioresour Technology, Pp 22, 2011
30. **GLYCERIN TRADERS. "especificaciones para el biodiesel b100 – astm d6751-07."** [Http://Www.Glycerintraders.Com](http://www.glycerintraders.com)
31. **HERBÉ LAMOUREUX, JÉRÔME. 2007. "Diseño conceptual de una planta de biodiesel."** Tesis Ingeniero Civil Mecánico. Universidad De Chile. Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas. Santiago De Chile. 157 P., 2007.
32. **HERNANDEZ, FERNANDEZ Y BAPTISTA. "Metodología de la investigación."** Editorial Mc Graw Hill. Mexico. 2001.
33. **J. M. LEÓN. "Diseño y cálculo de recipientes a presión."** 2001.
34. **J. MANRIQUE. "Diseño de un recipiente a presión con un sistema de agitación para el procesamiento de biodiesel de 3 m3 de capacidad."** 2006.

35. KAKAC, S. L. **"Heat exangers: selection, rating and thermal design."** Boca Raton: Crc Press. 2012.
36. KMEC ENGINEERING, **"Desgomado"** Disponible En: <Http://Www.Refinaciondeaceites.Com/Desgomado-De-Aceite.Html>, Artículo Web. Consultada El 09 de mayo del 2017
37. L. A. S. DO NASCIMENTO, R. S. **"Conversion of waste produced by the deodorization of palm oil as feedstock for the production of biodiesel using catalyst prepared from waste material."** Bioresour. Technology, 2011.
38. LEVENSPIEL. **"Ingeniería de las reacciones químicas."** México: Limusa S.A, 2004.
39. LIU, X. P. **"Calcium methoxide as a solid base catalyst for the transesterification of soybean oil to biodiesel with methanol."** Fuel, Pp 1076 – 1082, 2008
40. LIZANA ROJAS, DIEGO. 2007 **"Pre diseño de una planta piloto de biodiesel a partir de aceites reciclados de cocina con fines I+D."** Máster Europeo En Energías Renovables. Universidad De Zaragoza. Zaragoza 75 P., 2007.
41. M. G. JANG, D. K. **"Biodiesel from crude canola oil by two-step enzymatic processes."** Renewable Energy, 1-6, 2011.
42. MA F., CLEMENTS L.D., HANNA M.A. 1998. **"The effects of catalyst, free fatty acids, and water on transesterification of beef tallow."** Transactions Of The American Society Of Agricultural Engineers, 1998.

43. MANGESH, G. KULKARNI Y AJAY, K. DALAI 2006 "Waste cooking oils an economical source for biodiesel: a review. american chemical society." Canada, 2006.
44. MARLEN C. ALFONSO LORENZO, R. C. (2007). "Situación mundial de la producción de biodiesel: desarrollo actual en cuba." Programa De Desarrollo Energético Sostenible. CITMA.
45. MATTHYS D. 2003. "Producing biodiesel, a simple affair? A practical guide to read before building your plant." Ghent, Bélgica: American Soybean Association. 23 pp., 2003.
46. MEHER L.C., VIDYA SAGAR D., NAIK S.N. 2006 "Technical aspects of biodiesel production by transesterification – a review." Renewable and Sustainable Energy Reviews, 248-268., 2006.
47. OLDSHUE, J. Y. "Fluid mixing technology." New York: Mcgraw-Hill. 1983.
48. ORDÓÑEZ, B. C.-P. "Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina." Universidad Nacional de Colombia: Biotecnología., Volumen 15, Número 1, p. 61-70, 2013.
49. PAUL, ATIEMO-OBENG, & KRESTA. "Handbook of industrial mixing". John Wiley & Sons, Inc. 2004.
50. PENNY, W. R. "Guide to trouble free mixers." Houston, Texas: Gulf Professional Publishing: Pp 171, 1970.
51. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, RAE. Disponible En: [Http://Dle.Rae.Es/](http://dle.rae.es/) Consultada El 09 De Mayo Del 2017.

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGIA
<p>Problema General ¿Cómo diseñar un reactor químico de 15,000 Gal para producir biodiesel a partir de aceite de uso doméstico reciclado?</p> <p>Problemas Específicos ✓ ¿Cómo diseñar los sistemas de agitación y de calentamiento óptimos para que la reacción química generada en el reactor dé como resultado una mezcla homogénea? ✓ ¿Cómo dimensionar el reactor químico mediante el uso de ecuaciones de diseño y balances de masa con datos experimentales obtenidos de la literatura? ✓ ¿Cuánto sería el costo de los equipos y herramientas para la construcción del reactor químico?</p>	<p>Objetivo General</p> <ul style="list-style-type: none"> Diseñar un reactor de químico de 15,000 Gal para producir biodiesel a partir de aceite de uso doméstico reciclado. <p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Diseñar los sistemas de agitación y de calentamiento óptimos para que la reacción química generada en el reactor dé como resultado una mezcla homogénea. Dimensionar el reactor químico mediante el uso de ecuaciones de diseño y balances de masa a partir de datos experimentales obtenidos de la literatura. Realizar una estimación económica de los equipos y herramientas para la construcción del reactor químico. 	<p>Hipótesis General > El diseño de un reactor químico de 15,000 galones permitirá producir biodiesel a partir de aceite de uso doméstico reciclado, luego de construido el equipo.</p> <p>Hipótesis Específica > Las características de diseño de los sistemas de agitación y calentamiento nos permitirán realizar una mezcla homogénea óptima. Las ecuaciones de diseño y balance de masa a partir de datos experimentales nos permitirán dimensionar el reactor químico. Con el costo de los equipos y herramientas, podremos estimar el impacto económico para la construcción del reactor químico.</p>	<p>Variable Independiente Diseño de un Reactor de Químico</p> <p>Variable Dependiente Producción de Biodiesel</p>	<p>Indicadores Independientes</p> <ul style="list-style-type: none"> Presión Temperatura Viscosidad de la mezcla Corrosividad de los reactantes Velocidad de mezclado Potencia Densidad Tipo de alcohol Tipo de Catalizador Tiempo de Calentamiento Evaluación económica del proyecto <p>Indicadores Dependientes</p> <ul style="list-style-type: none"> Mano de obra de operadores de Planta. Cumplimiento de las normas aplicables al proceso. 	<p>Tipo de Investigación Tipo: Tecnológico Nivel: Aplicada</p> <p>Diseño de Investigación No experimental</p> <p>Técnicas Investigación documentaria, descripción, observación.</p> <p>Instrumentos Documentación, observación presencial, fichas de observación.</p>

ANEXO 2: MSDS METANOL E HIDRÓXIDO DE POTASIO



METANOL

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Revisión: Agosto de 2016 – Versión: 5

SECCIÓN 1 - IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

1.1 Identificador del producto

Nombre del producto: METANOL

1.2 Usos pertinentes identificados y usos desaconsejados

Recomendaciones de Uso: Disolvente, combustible, materia prima.

1.3 Datos del proveedor de la Ficha de Datos de Seguridad

GTM México	Boulevard Benito Juárez #75 Col. San Mateo Cuauhtepac, Tultitlán, Estado de México CP 54948.
Transmerquim de Guatemala S. A.	Km 26.4 carretera al Pacífico, Amatitlán, Guatemala
GTM El Salvador S. A.	Km 7 ½, Antigua Carretera Panamericana, Soyapango San Salvador
Grupo Transmerquim S. A. de C.V. (Honduras)	Bo. La Guardia, 33 calle, 2da Ave. Frente al IHCAFE, SO. San Pedro Sula, Honduras.
Transmerquim de Nicaragua S. A.	Cuesta del plomo, 800mts, Managua
GTM Costa Rica	Del servicentro Cristo Rey en Ochomogo de Cartago, 800 mts hacia el este. Costa Rica
GTM Panamá	Los Andes No.1, San Miguelito. Panamá, Panamá.
GTM Colombia S. A.	Carrera 46 No 91-7 Bogotá, Colombia.
Transmerquim del Perú S. A.	Av. Rep. de Panama 3535 Oficina 502 San Isidro. Perú
GTM Ecuador	Av. De los Shyris N32-218 y Eloy Alfaro, Ed. Parque Central, Of. 1207
GTM Argentina	Encarnación Ezcurra 365 – Piso 4 – Oficina C Puerto Madero, C.A.B.A – C1107CLA – Argentina
GTM do Brasil	Praia de Botafogo nº 228 / sala 610, Ala B, Botafogo. CEP 22250-040 Rio de Janeiro, RJ, Brasil

1.4 Teléfono de emergencias

México :	+52 55 5831 7905 – SETIQ 01 800 00 214 00
Guatemala:	+502 6628 5858
El Salvador:	+503 2251 7700
Honduras:	+504 2564 5454
Nicaragua:	+505 2269 0361 – Toxicología MINSA: +505 22897395
Costa Rica:	+506 2537 0010 – Emergencias 911. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028
Panamá:	+507 512 6182 ÷ Emergencias 911
Colombia:	+018000 916012 – Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)
Perú:	+511 614 65 00
Ecuador:	+593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1
Argentina:	+54 11 4611 2007 – 0800 222 2933
Brasil:	+55 21 3591 1868

SECCIÓN 2 – IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

CLASIFICACIÓN según el Sistema Globalmente Armonizado

Líquido inflamable (Categoría 2)

Toxicidad aguda, oral (Categoría 3)

Toxicidad aguda, inhalación (Categoría 3)

Toxicidad aguda, cutánea (Categoría 3)

Toxicidad específica en determinados órganos – exposición única (Categoría 1)

2.2 Elementos de la etiqueta

Pictograma:

Palabra de advertencia: PELIGRO



Indicaciones de peligro:

H225 - Líquido y vapores muy inflamables.

H301 - Tóxico en caso de ingestión.

H311 - Tóxico en contacto con la piel.

H331 - Tóxico si se inhala.

H370 - Provoca daños en los órganos.

Consejos de prudencia:

P210 - Mantener alejado del calor, superficies calientes, chispas, llamas al descubierto y otras fuentes de ignición. No fumar.

P264 - Lavarse cuidadosamente después de la manipulación.

P270 - No comer, beber o fumar mientras se manipula este producto.

P280 - Usar guantes, ropa y equipo de protección para los ojos y la cara.

P301 + P330 + P331 - EN CASO DE INGESTIÓN: Enjuagar la boca. NO provocar el vómito.

P303 + P361 + P353 - EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada. Enjuagar la piel con agua o ducharse.

P304 + P340 - EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración.

P370 + P378 - En caso de incendio: Utilizar niebla de agua, espuma, polvo químico seco o dióxido de carbono (CO₂) para la extinción.

P403 + P233 - Almacenar en lugar bien ventilado. Mantener el recipiente herméticamente cerrado.

P405 - Guardar bajo llave.

2.3 Otros peligros

Ninguno.

SECCIÓN 3 - COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

3.1 Sustancia

Metanol (CAS 67-56-1): > 99% - Flam. Liq. 2; Acute Tox. 3; STOT SE 1

3.2 Mezcla

No aplica.

SECCIÓN 4 - PRIMEROS AUXILIOS

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Medidas generales:

Evite la exposición al producto, tomando las medidas de protección adecuadas. Consulte al médico, llevando la ficha de seguridad.

Inhalación:

Traslade a la víctima y procúrele aire limpio. Manténgala en calma. Si no respira, suminístrele respiración artificial. Si presenta dificultad respiratoria, suminístrele oxígeno. Llame al médico.

Contacto con la piel:	Lávese inmediatamente después del contacto con abundante agua, durante al menos 20 minutos. Quítese la ropa contaminada y lávela antes de reusar.
Contacto con los ojos:	Enjuague inmediatamente los ojos con agua durante al menos 20 minutos, y mantenga abiertos los párpados para garantizar que se aclara todo el ojo y

los tejidos del párpado. Enjuagar los ojos en cuestión de segundos es esencial para lograr la máxima eficacia. Si tiene lentes de contacto, quíteselas después de los primeros 5 minutos y luego continúe enjuagándose los ojos. Consultar al médico.

Ingestión:	NO INDUZCA EL VÓMITO. Dé de beber agua. Nunca suministre nada oralmente a una persona inconsciente. Llame al médico. Si el vómito ocurre espontáneamente, coloque a la víctima de costado para reducir el riesgo de aspiración.
------------	--

4.2 Principales síntomas y efectos, tanto agudos como retardados

Inhalación: Puede irritar la nariz, la boca y la garganta. La sobreexposición puede provocar dolor de cabeza, náuseas, somnolencia, vómitos, visión borrosa, ceguera, coma y muerte.

Contacto con la piel: Causa irritación. La exposición repetida o prolongada puede provocar resequedad y formación de grietas. Nocivo si se absorbe a través de la piel.

Contacto con los ojos: El vapor puede irritar los ojos. El contacto con el líquido puede provocar irritación grave y posible daño ocular.

Ingestión: Puede provocar irritación, náuseas y vómitos. Incoordinación, depresión del sistema nervioso central. Daño al nervio óptico.

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente.

Nota al médico: Tratamiento específico para metanol. Para más información, consulte a un Centro de Intoxicaciones.

SECCIÓN 5 - MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

5.1 Medios de extinción

Usar polvo químico seco, espuma resistente al alcohol, arena o CO₂. Utilizar el producto acorde a los materiales de los alrededores. NO USAR chorros de agua directos.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o mezcla

El recipiente sometido al calor puede explotar inesperadamente y proyectar fragmentos peligrosos. Los vapores son más pesados que el aire y se pueden esparcir por el suelo.

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

5.3.1 Instrucciones para extinción de incendio:

Rocíe con agua los recipientes para mantenerlos fríos. Enfríe los contenedores con chorros de agua hasta mucho después de que el fuego se haya extinguido. Combata el incendio desde una distancia máxima o utilice soportes fijos para mangueras o reguladores.

Prevenga que el agua utilizada para el control de incendios o la dilución ingrese a cursos de agua, drenajes o manantiales.

Retírese inmediatamente si sale un sonido creciente de los mecanismos de seguridad de las ventilaciones, o si el tanque se empieza a decolorar. SIEMPRE manténgase alejado de tanques envueltos en fuego.

El producto caliente puede ocasionar erupciones violentas al entrar en contacto con el agua, pudiendo proyectarse material caliente y provocar serias quemaduras.

5.3.2 Protección durante la extinción de incendios:

Utilice equipo autónomo de respiración. La ropa de protección estructural de bomberos provee protección limitada en situaciones de incendio ÚNICAMENTE; puede no ser efectiva en situaciones de derrames.

En derrames importantes use ropa protectora contra los productos químicos, la cual esté específicamente recomendada por el fabricante. Esta puede proporcionar poca o ninguna protección térmica.

5.3.3 Productos de descomposición peligrosos en caso de incendio:

En caso de incendio puede desprender humos y gases irritantes y/o tóxicos, como monóxido de carbono y otras sustancias derivadas de la combustión incompleta.

SECCIÓN 6 - MEDIDAS EN CASO DE DERRAME ACCIDENTAL

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

6.1.1 Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia

Evitar fuentes de ignición. Evacuar al personal hacia un área ventilada.

6.1.2 Para el personal de emergencias

Eliminar todas las fuentes de ignición (no fumar, no usar bengalas, chispas o llamas en el área de peligro). Detenga la fuga si puede hacerlo sin riesgo. Todos los equipos usados para manipular el producto debe estar conectado a tierra. No toque ni camine sobre el material derramado. Se puede utilizar espuma para reducir la emisión de vapores. No permitir la reutilización del producto derramado. Tener en cuenta la información y recomendaciones de las secciones 5 y 7. Utilizar el equipo de protección recomendado en el punto 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

Contener el líquido con un dique. Prevenir la entrada hacia vías navegables, alcantarillas, sótanos o áreas confinadas.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Recoger el producto utilizando arena, vermiculita, tierra o material absorbente inerte y limpiar o lavar completamente la zona contaminada. Disponer el agua y el residuo recogido en envases señalizados para su eliminación como residuo químico.

SECCIÓN 7 – MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

7.1 Precauciones para una manipulación segura

Prohibido comer, beber o fumar durante su manipulación. Evitar contacto con ojos, piel y ropa. Lavarse los brazos, manos, y uñas después de manejar este producto. El uso de guantes es recomendado. Facilitar el acceso a duchas de seguridad y lavaojos de emergencias.

Utilizar equipamiento y ropa que evite la acumulación de cargas electrostáticas. Controlar y evitar la formación de atmósferas explosivas.

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Condiciones de almacenamiento: Almacenar en un área limpia, seca y bien ventilada. Proteger del sol. No fume, sude o haga cualquier trabajo que pueda producir llamas o chispas en el área de almacenamiento. Manténgase lejos de oxidantes fuertes.

Materiales de envasado: el suministrado por el fabricante.

Productos incompatibles: Agentes oxidantes fuertes, ácidos y bases, acetaldehído, óxido de etileno, isocianatos y metales activos.

SECCIÓN 8 – CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

8.1 Parámetros de control

CMP (Res. MTESS 295/03):	200 ppm
CMP-CPT (Res. MTESS 295/03):	250 ppm
CMP-C (Res. MTESS 295/03):	N/A
TLV-TWA (ACGIH):	200 ppm
TLV-STEL (ACGIH):	250 ppm
PEL (OSHA 29 CFR 1910.1000):	200 ppm
IDLH (NIOSH):	6000 ppm
REL-TWA:	200 ppm
REL-STEL:	250 ppm

Viscosidad cinemática (20°C):	0,69 cSt
Constante de Henry (20°C):	0,461 Pa.m ³ /mol
Log Koc:	N/D
Propiedades explosivas:	No explosivo. De acuerdo con la columna 2 del Anexo VII del REACH, este estudio no es necesario porque: en la molécula no hay grupos químicos asociados a propiedades explosivas.
Propiedades comburentes:	De acuerdo con la columna 2 del Anexo VII del REACH, este estudio no es necesario porque: la sustancia, por su estructura química, no puede reaccionar de forma exotérmica con materias combustibles.

9.2 Información adicional

Otras propiedades: Mr: 32.04 g/mol

SECCIÓN 10 – ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

10.1 Reactividad

No se espera que se produzcan reacciones o descomposiciones del producto en condiciones normales de almacenamiento. No contiene peróxidos orgánicos. El metanol puede ser corrosivo para plomo y aluminio y atacar a algunos plásticos y cauchos. No reacciona con el agua.

10.2 Estabilidad química

No provoca reacciones peligrosas si se manipula y se almacena con arreglo a las normas. Almacenado a temperaturas ambiente normales (de -40°C a +40°C), el producto es estable y no requiere estabilizantes.

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

El material no desarrollará polimerización peligrosa.

10.4 Condiciones que deben evitarse

Evitar el calor, llamas abiertas y fuentes de ignición.

10.5 Materiales incompatibles

Agentes oxidantes fuertes, ácidos y bases, acetaldehído, óxido de etileno, isocianatos y metales activos.

10.6 Productos de descomposición peligrosos

En caso de calentamiento puede desprender vapores irritantes y tóxicos. En caso de incendio, ver la Sección 5.

SECCIÓN 11 – INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda:	LD50 oral (rata, OECD 401): 1187 - 2769 mg/kg LD50 der (conejo, OECD 402): > 2000 mg/kg LC50 inh. (rata, 4hs., OECD 403): 85,3mg/l
Irritación o corrosión cutáneas:	Irritación dérmica (conejo, OECD 404): Score: 0/4 - no irritante
Lesiones o irritación ocular graves:	Irritación ocular (conejo, OECD 405): Score: 1/4 - no irritante
Sensibilización respiratoria o cutánea:	Sensibilidad dérmica (cobayo, OECD 406): no sensibilizante Sens. Resp. (cobayo, OECD 403): no sensibilizante
Mutagenicidad, Carcinogenicidad y toxicidad para la reproducción:	

No se dispone de información sobre ningún componente de este producto, que presente niveles mayores o iguales que 0,1%, como carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la IARC (Agencia

Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos). No es una sustancia o mezcla con componentes sometidos a control según la Resolución 415/2002 de la Superintendencia de Riesgos de Trabajo.
MUTAGENICIDAD y GENOTOXICIDAD (OECD 476): Teratógeno posible. Genotoxicidad negativa.
TOXICIDAD REPRODUCTIVA (OECD SIDS): No hay evidencias suficientes.

Efectos agudos y retardados:

Vías de exposición: Inhalatoria, contacto dérmico y ocular.

Inhalación: Puede irritar la nariz, la boca y la garganta. La sobreexposición puede provocar dolor de cabeza, náuseas, somnolencia, vómitos, visión borrosa, ceguera, coma y muerte.

Contacto con la piel: Causa irritación. La exposición repetida o prolongada puede provocar resequedad y formación de grietas. Nocivo si se absorbe a través de la piel.

Contacto con los ojos: El vapor puede irritar los ojos. El contacto con el líquido puede provocar irritación grave y posible daño ocular.

Ingestión: Puede provocar irritación, náuseas y vómitos. Incoordinación, depresión del sistema nervioso central. Daño al nervio óptico.

SECCIÓN 12 – INFORMACIÓN ECOLÓGICA

12.1 Toxicidad

LC50 (L. macrochirus, EPA-660/3-75-009, 96hs.): > 100 mg/l

EC50 (D. magna, OECD 202, 96hs.): > 100 mg/l

EC50 (P. subcapitata, OECD 201, 96hs.): > 100 mg/l

IC50 (Barro activado, OECD 209, 3hs.): > 100 mg/l

NOEL (O. mossambicus, OECD 204, 90d.): > 10 mg/l

NOEC (Daphnia magna, QSAR, 21d.): > 10 mg/l

12.2 Persistencia y degradabilidad

BIODEGRADABILIDAD: 99% OECD; BOD 80% ThOD - el producto es biodegradable.

12.3 Potencial de bioacumulación

Log K_{ow} : -0,82/0,66

BIOACUMULACIÓN EN PECES – BCF (OCDE 305): N/D

Cuando se libera en el aire metanol, se espera que la fase en aerosol sea degradada por reacción con radicales hidroxilo producidos fotoquímicamente, con una vida media estimada de 17,8 días.

Cuando se elimina en el suelo, se espera que el metanol se biodegrade fácilmente y se filtre en las aguas subterráneas.

Cuando se elimina en el agua, se espera que tenga una vida media de entre 1 y 10 días.

12.4 Movilidad en el suelo

Log K_{oc} : N/D

CONSTANTE DE HENRY (20°C): 0,461 Pa.m³/mol

Distribución (%): AIRE: 73,3 - AGUA: 15,6 - SUELO: 11,1 - SEDIMENTO: 0,02.

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

Esta sustancia/mezcla no cumple los criterios PBT del anexo XIII del reglamento REACH.

Esta sustancia/mezcla no cumple los criterios mPmB del anexo XIII del reglamento REACH.

12.6 Otros efectos adversos

AOX y contenido de metales: No contiene halógenos orgánicos ni metales.

SECCIÓN 13 – CONSIDERACIONES PARA DESECHO

Tanto el sobrante de producto como los envases vacíos deberán ser eliminarse según la legislación vigente en materia de Protección del Medio ambiente y en particular de Residuos Peligrosos (Ley Nacional N° 24.051 y sus reglamentaciones). Deberá clasificar el residuo y disponer del mismo mediante una empresa autorizada. Los contenedores vacíos pueden contener residuos y ser por tanto peligrosos. No intente rellenar o limpiar contenedores sin poseer las instrucciones apropiadas. Los tambores vacíos se deben purgar, drenar

completamente y almacenar de manera segura hasta que se reacondicionen o eliminen adecuadamente. Los contenedores vacíos deben reciclarse, recuperarse o eliminarse a través de contratistas debidamente calificados o autorizados y en concordancia con las regulaciones oficiales. NO PRESURICE, NI CORTE, SUELDE CON METALES DUROS NI BLANDOS O CON SOLDADURA FUERTE, NI BARRENE, RECTIFIQUE O EXPONGA ESOS CONTENEDORES A CALOR, LLAMA, CHISPAS, ELECTRICIDAD ESTÁTICA O A OTRAS FUENTES DE IGNICIÓN PUES PODRÍAN EXPLOTAR Y CAUSAR DAÑOS O LA MUERTE.

Procedimiento de disposición: incineración.

SECCION 14 – INFORMACION PARA EL TRANSPORTE

14.1 TRANSPORTE TERRESTRE

Nombre Apropriado para el Transporte:	METANOL	
N° UN/ID:	1230	
Clase de Peligro:	3 (6.1)	 
Grupo de Embalaje:	II	
Código de Riesgo:	336	
Cantidad limitada y exceptuada:	ADR: 1L / E2	R.195/97: 100 Kg

14.2 TRANSPORTE AÉREO (ICAO/IATA)

Nombre Apropriado para Embarque:	METANOL	
N° UN/ID:	1230	
Clase de Peligro:	3 (6.1)	 
Grupo de Embalaje:	II	
Instrucciones para aviones de pasajeros y carga:	Y341, 1L / 352, 1L	
Instrucciones para aviones de carga:	364, 60L	
CRE:	3L	
Disposiciones especiales:	A104 - A113	

14.3 TRANSPORTE MARÍTIMO (IMO)

Transporte en embalajes de acuerdo al Código IMDG

Nombre Apropriado para el Transporte:	METANOL	
UN/ID N°:	1230	
Clase de Peligro:	3 (6.1)	 
Grupo de Embalaje:	II	
EMS:	F-E; S-D	
Estiba y Segregación:	Categoría B	
Contaminante Marino:	NO	
Nombre para la documentación de transporte:	UN1230; METHANOL; 3 (6.1); II	

SECCIÓN 15 – INFORMACIÓN SOBRE LA REGLAMENTACIÓN

Sustancia no peligrosa para la capa de ozono (1005/2009/CE).

Contenidos orgánicos volátiles de los compuestos (COV) (2004/42/CE): N/D

SECCIÓN 16 – OTRAS INFORMACIONES

16.1 Abreviaturas y acrónimos

N/A: no aplicable.	REL: Límite de Exposición Recomendada.
N/D: sin información disponible.	PEL: Límite de Exposición Permitido.
CAS: Servicio de Resúmenes Químicos	INSHT: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
IARC: Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer	ETA: estimación de la toxicidad aguda.
ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.	DL ₅₀ : Dosis Letal Media.
TLV: Valor Límite Umbral	CL ₅₀ : Concentración Letal Media.
TWA: Media Ponderada en el tiempo	CE ₅₀ : Concentración Efectiva Media.
STEL: Límite de Exposición de Corta Duración	CI ₅₀ : Concentración Inhibitoria Media.
	¡: Cambios respecto a la revisión anterior.

16.2 Principales referencias bibliográficas y fuentes de datos

Esta hoja de seguridad cumple con la normativa nacional expresada:

México: NOM-018-STSS-2000, NMX-R-019-SCFI-2011 y ACUERDO-NOM-018-DOF-060913.
 Guatemala: Código de Trabajo, decreto 1441
 Honduras: Acuerdo Ejecutivo No. STSS-053-04
 Costa Rica: Decreto N° 28113-S
 Panamá: Resolución #124, 20 de marzo de 2001
 Colombia: NTC 445, 22 de Julio de 1998
 Ecuador: NTE INEN 2 266:200

Reglamento (CE) 1272/2008 sobre Clasificación, etiquetado y envasado de las sustancias químicas y sus mezclas, y sus modificatorias.
 Reglamento (CE) 1907/2006 relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), y sus modificatorias.
 Dir. 91/689/CEE de residuos peligrosos y Dir. 91/156/CEE de gestión de residuos.
 Acuerdo europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías peligrosas por carretera (ADR 2015).
 Reglamento relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril (RID 2015).
 Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG 34 ed.), IMO, Resolución MSC 90/28/Add.2.
 Código IBC/MARPOL, IMO, Resolución MEPC 64/23/Add.1.
 Regulaciones de la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA 56 ed., 2015) relativas al transporte de mercancías peligrosas por vía aérea.
 Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos, quinta edición revisada, 2015 (SGA 2015).
 International Agency for Research on Cancer (IARC), clasificación de carcinógenos. Revisión: 23/03/2015.

16.3 Clasificación y procedimiento utilizado para determinar la clasificación de la mezcla

Procedimientos de acuerdo al SGA/GHS Rev. 5.
 La clasificación se ha efectuado en base a análogos químicos y a información del producto.
 SECCIÓN 2: clasificación por analogía con otros productos, y en base a datos del producto.
 SECCIÓN 9: datos del producto.
 Inflamabilidad: conforme a datos de ensayos.
 SECCIÓN 11 y 12: analogía con otros productos.
 Toxicidad aguda: método de cálculo de estimación de toxicidad aguda.
Clasificación NFPA 704 Clasificación HMIS®



SALUD	1
INFLAMABILIDAD	3
PELIGROS FÍSICOS	0
PROTECCIÓN PERSONAL	G

16.4 Exención de responsabilidad

La información indicada en esta Hoja de Seguridad fue recopilada e integrada con la información suministrada en las Hojas de Seguridad de los proveedores de materia prima. La información relacionada con este producto puede variar, si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular en procesos específicos. La información contenida aquí se ofrece solamente como guía para la manipulación de este producto específico y ha sido elaborada de buena fe por personal técnico capacitado. Esta hoja de seguridad no pretende ser completa o exhaustiva, incluso la manera y condiciones de uso y de manipulación pueden implicar otras consideraciones adicionales no contempladas en este documento.

16.5 Control de cambios

Agosto de 2016 . Se crea la FDS según el Sistema Globalmente Armonizado.

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD HIDROXIDO DE POTASIO

1. Identificación de la sustancia/preparado y de la sociedad o empresa

1.1 Identificación de la sustancia o del preparado

Denominación:

Potasio Hidróxido 85% *lentejas

1.2 Sinónimo:

1.3 Uso de la sustancia o preparado:

Usos: para usos de laboratorio, análisis, investigación y química fina.

1.4 Identificación de la sociedad o empresa:

CONTROL TÉCNICO Y REPRESENTACIONES, S.A. DE C.V.

Av. Lincoln No. 3410 Pte. Col. Mitras Norte

www.ctr.com.mx

Tels. (81) 8158 0600, 8158 0628, 8158 0633

e-mail : ctrscientific@infosel.net.mx

Apdo. Postal 044-C Monterrey N.L. C.P. 64320, México

2. Identificación de los peligros

Clasificación de la sustancia o de la mezcla.

Pictogramas de peligrosidad



Palabra de advertencia

Peligro

Frases de peligro

Noctivo en caso de ingestión.

Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

Frases de precaución

Lavarse...concienzudamente tras la manipulación.

No respirar el polvo/el humo/el gas/la niebla/los vapores/el aerosol. No comer, beber ni fumar durante su utilización.

Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección.

EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico si se encuentra mal.

EN CASO DE INGESTIÓN: Enjuagarse la boca. NO provocar el vómito.

3. Composición/Información de los componentes

Denominación: Potasio Hidróxido 85%

*lentejas Fórmula: KOH M.= 56,11

4. Primeros auxilios

4.1 Indicaciones generales:

En caso de pérdida del conocimiento nunca dar a beber ni provocar el vómito.

4.2 Inhalación:

Trasladar a la persona al aire libre. En caso de que persista el malestar, pedir atención médica.

4.3 Contacto con la piel:

Lavar abundantemente con agua. Quitarse las ropas contaminadas. En caso de irritación, pedir atención médica.

4.4 Ojos:

Lavar con agua abundante (mínimo durante 15 minutos), manteniendo los párpados abiertos. Pedir inmediatamente atención médica.

4.5 Ingestión:

Beber agua abundante. Evitar el vómito (existe riesgo de perforación). Pedir inmediatamente atención médica. No neutralizar.

5. Medidas de lucha contra incendio

5.1 Medios de extinción adecuados:

Los apropiados al entorno.

5.2 Medios de extinción que NO deben utilizarse:

5.3 Riesgos especiales:

Incombustible.

5.4 Equipos de protección:

6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones individuales:

No inhalar el polvo. Evitar el contacto con la piel, los ojos y la ropa.

6.2 Precauciones para la protección del medio ambiente:

Prevenir la contaminación del suelo, aguas y desagües.

6.3 Métodos de recogida/limpieza:

Recoger en seco y depositar en contenedores de residuos para su posterior eliminación de acuerdo con las normativas vigentes. Neutralizar con ácido sulfúrico diluido.

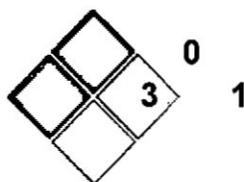


HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD HIDROXIDO DE POTASIO

UN 1813 Clase: 8 Grupo de embalaje:
II Aéreo (ICAO-IATA):
Denominación técnica: Hidróxido potásico,
sólido UN 1813 Clase: 8 Grupo
de embalaje: II Instrucciones de embalaje:
CAO 816 PAX 814

15. Información Reglamentaria

16. Otra información



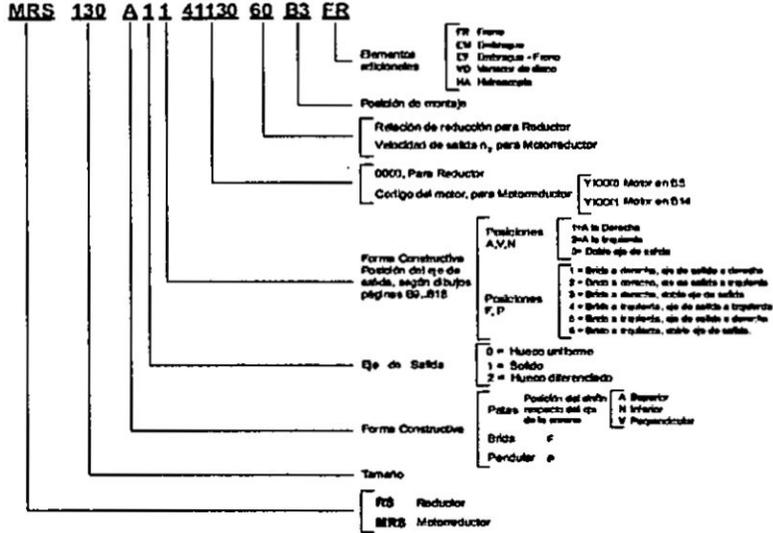
Grados de NFPA: Salud: 3 Inflamabilidad: 0 Reactividad: 1

Renuncia:

CTR Scientific proporciona la información contenida aquí de buena fe, sin embargo, no hace ninguna representación en cuanto a su integridad o exactitud. Es intención que se utilice este documento sólo como una guía para el manejo del material con la precaución apropiada, por una persona adecuadamente capacitada en el uso de este producto. Los individuos que reciban la información deben ejercer su juicio independiente al determinar la conveniencia del producto para un uso particular. CTR SCIENTIFIC, NO GESTIONA O DA GARANTÍA ALGUNA, EXPRESA O IMPLÍCITA, INCLUYENDO SIN LIMITACIÓN CUALQUIER GARANTÍA DE COMERCIABILIDAD, O CONVENIENCIA PARA UN PROPÓSITO PARTICULAR, CON RESPECTO A LA INFORMACIÓN EXPUESTA EN EL PRESENTE DOCUMENTO O DEL PRODUCTO AL QUE SE REFIERE LA INFORMACIÓN. POR CONSIGUIENTE, CTR SCIENTIFIC, NO SERÁ RESPONSABLE DE DAÑOS QUE RESULTEN DEL USO O CONFIANZA QUE SE TENGA EN ESTA INFORMACIÓN.

ANEXO 3: SELECCIÓN DE MOTORREDUCTOR RAMFE

7.1 DESIGNACION DE LOS REDUCTORES Y MOTORREDUCTORES SINFIN CORONA



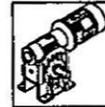
POSICIONES DE MONTAJE

FORMA CONSTRUCTIVA	MRS...A	B3	B6	B7	B8	V5	V6
	MRS...V	B3	B6	B7	B8	V5	V6
	MRS...N	B3	B6	B7	B8	V5	V6
	MRS...F	B5	B51	B52	B53	V1	V3
	MRS...P	B5	B51	B52	B53	V1	V3

TAMAÑO	185		215		255		280	
RELACIÓN REDUCCIÓN	M_2		P_1		M_2		P_1	
	η							
70	1853	7.03	2570	9.54	3980	14.57	5370	19.52
	69		70.5		71.5		72	
60	2070	8.95	2880	12.1	4410	18.5	5950	24.7
	73		74		75		75.5	
50	2218	10.7	2940	14	4450	20.1	6000	28
	76		77		78		78.5	
45	2270	12.3	2980	16	4480	23.75	6050	31.87
	77		78		79		79.5	
40	2323	14	3020	18.13	4520	28.6	6100	35.71
	78		78.5		80		80.5	
35	2340	15.51	3000	18.83	4500	29.1	6110	38.6
	79		80		81.5		82.5	
30	2380	18.4	3040	23.43	4540	34.4	6130	48.17
	80		81.5		83		83.5	
25	1920	16.8	2650	23	4080	35.18	5510	47.18
	84		84.5		85		85.6	
20	1944	21.5	2670	26.43	4120	45.1	5580	60.5
	85		85.5		86		86.6	
*17.5	1948	23.72	2570	32.13	4120	49	5560	65.71
	86		87		88		88.6	
15	1852	28.2	2690	38.77	4130	58.3	5570	78.1
	87		88		89		89.6	
*12.5	1830	30.49	2510	41.34	3870	63	5220	84.46
	88		89		90		90.6	
10	1720	36.4	2390	50	3700	76.6	4990	102.7
	89		90		91		91.6	
*6.75	1440	44.4	2000	60.99	3080	83.2	4170	125
	90		91		92		92.6	

7.2 TABLA DE SELECCION PARA REDUCTORES SINFIN CORONA

(1) $\eta_1 = 1800$
 $f_s = 1$



Para velocidades de entrada menores a 1800 rpm, los pares (torques) de salida y las potencias de entrada relacionadas en la tabla varían de acuerdo a los siguientes factores:

P_1	$M_2 \times$	$P_1 \times$	M_2
1200	1.1	0.8	0.66
600	1.17	0.7	0.50
720	1.25	0.61	0.49
580	1.33	0.52	0.395
450	1.42	0.45	0.25
360	1.5	0.38	0.19

M_2 [daNm] 1Kgf m = 0.98 daNm
 P_1 [Kw] 1Hp = 0.746Kw

7.3 TABLAS DE SELECCIÓN PARA MOTORREDUCTORES SINFIN CORONA

TAMAÑO	CÓDIGO MOTOR	n_2	25 (2)						30			35			40		
			PEGO Kg	70		60		50			45						
				P_1 KW	M_2 Nm	f_s											
185	4113	228	4.92	1296	1.42	4.92	1143	1.8									
	4114	230	5.6	1476	1.25	5.6	1301	1.6	5.6	1161	1.9						
	4131	257				7.5	1742	1.19	7.5	1555	1.42	7.5	1378	1.64			
	4133	263							9	1866	1.18	9	1654	1.37			
4134	270										11.25	2068	1.1				
215	4131	330	7.5	2019	1.27	7.5	1766	1.62	7.5	1575	1.86	7.5	1395	2.13			
	4133	339	9	2423	1.06	9	2120	1.35	9	1890	1.55	9	1676	1.77			
	4134	346				11.25	2650	1.08	11.25	2353	1.24	11.25	2095	1.42			
	4164	355									14.9	2774	1.07				
255	4164	485				14.9	3567	1.24	14.9	3171	1.4	14.9	2810	1.59			
	4167	493							18.7	3979	1.11	18.7	3527	1.27			
	4183	551									22.4	4224	1.06				
280	4164		14.9	4098	1.31	14.9	3561	1.66	14.9	3191	1.68	14.9	2828	2.13			
	4167		18.7	5143	1.04	18.7	4494	1.32	18.7	4005	1.49	18.7	3549	1.7			
	4183					22.4	5383	1.11	22.4	4797	1.25	22.4	4251	1.42			
	4187										29.78	5651	1.06				

- (1) Los valores indicados son nominales; para los valores reales ver sección 7.4 pág. 85.
(2) Para velocidades de salida $n_2 < 25$ RPM se pueden obtener utilizando motores de baja velocidad o con unidades de pre-reducción (Consultar a nuestro Departamento de Ingeniería). Ver tabla No.7.

1 Kgf m = 9.8 Nm, 1 HP = 0.746Kw

B3

7.3 TABLAS DE SELECCION PARA MOTORREDUCTORES SINFIN CORONA

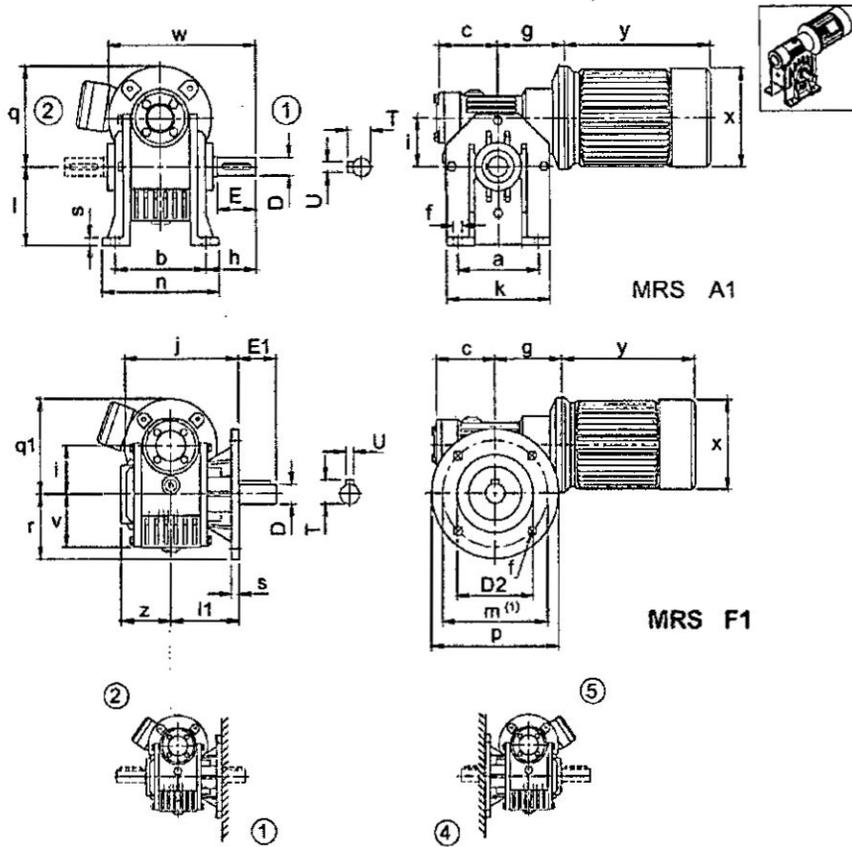
n ₂		45			50			60			70			
RELACION DE REDUCCION (1)		40			35			30			25			
TAMARO	CODIGO MOTOR	PESO Kg	P ₁ KW	M ₂ Nm	fs	P ₁ KW	M ₂ Nm	fs	P ₁ KW	M ₂ Nm	fs	P ₁ KW	M ₂ Nm	fs
185	4131	254	7.5	1241	1.87	7.5	1131	2.06	7.5	955	2.46	7.5	859.5	2.23
	4133	263	9	1489	1.56	9	1358	1.72	9	1146	2.05	9	1031	1.86
	4134	270	11.25	1861.3	1.25	11.25	1697.5	1.38	11.25	1432.5	1.64	11.25	1288.8	1.49
	4164	303				14.9	2248	1.04	14.9	1897	1.24	14.9	1707	1.12
215	4131	306	7.5	1249	2.42	7.5	1146	2.84				9	1037	2.55
	4133	315	9	1499	2.01	9	1375	2.2	9	1167	2.6	9	1037	2.55
	4134	322	11.25	1873.8	1.61	11.25	1718.8	1.76	11.25	1458.8	2.08	11.25	1296.3	2.04
	4164	355	14.9	2482	1.22	14.9	2276	1.33	14.9	1932	1.57	14.9	1718	1.54
	4187	363				18.7	2857	1.06	18.7	2425	1.25	18.7	2156	1.23
4183	421							22.4	2805	1.05	22.4	2582	1.03	
255	4164	485	14.9	2529	1.79	14.9	2319	1.95	14.9	1968	2.31	14.9	1727	2.36
	4167	493	18.7	3174	1.42	18.7	2910	1.55	18.7	2470	1.84	18.7	2168	1.88
	4183	551	22.4	3803	1.19	22.4	3486	1.29	22.4	2959	1.53	22.4	2597	1.57
	4187	571				29.78	3933.3	1.15	29.78	3452.2	1.51	29.78	3452.2	1.18
280	4164		14.9	2545	2.4	14.9	2347	2.6	14.9	1980	3.1			
	4167		18.7	3194	1.91	18.7	2946	2.07	18.7	2485	2.47	18.7	2183	2.52
	4183		22.4	3826	1.59	22.4	3529	1.73	22.4	2977	2.06	22.4	2615	2.11
	4187		29.78	5086.7	1.2	29.78	4632.2	1.3	29.78	3956.7	1.55	29.78	3476.7	1.58
	4207					37.3	5877	1.03	37.3	4957	1.24	37.3	4356	1.26
	4220								44.5	5914	1.04	44.5	5196	1.06

n ₂		90			100			120			140			
RELACION DE REDUCCION (1)		20			17.5			15			12.5			
TAMARO	CODIGO MOTOR	PESO Kg	P ₁ KW	M ₂ Nm	fs	P ₁ KW	M ₂ Nm	fs	P ₁ KW	M ₂ Nm	fs	P ₁ KW	M ₂ Nm	fs
185	4131	254	7.5	876.4	2.67									
	4133	263	9	811.7	2.39	9	739.1	2.63						
	4134	270	11.25	1014.6	1.91	11.25	923.9	2.10	11.25	781.9	2.49			
	4164	303	14.9	1343	1.44	14.9	1223	1.59	14.9	1031	1.89	14.9	894.4	2.04
	4167	311	18.7	1886	1.15	18.7	1535	1.26	18.7	1294	1.5	18.7	1122	1.63
	4183	369				22.4	1839	1.05	22.4	1550	1.25	22.4	1388	1.36
4187	389										29.78	1787	1.01	
215	4164	355	14.9	1351	1.97	14.9	1237	2.15	14.9	1043	2.56	14.9	904.5	2.77
	4167	363	18.7	1696	1.57	18.7	1553	1.71	18.7	1309	2.04	18.7	1136	2.21
	4183	421	22.4	2032	1.31	22.4	1861	1.43	22.4	1568	1.7	22.4	1359	1.84
	4187	441				29.78	2473	1.07	29.78	2084	1.28	29.78	1808	1.39
	4207	501							37.3	2612	1.02	37.3	2264	1.1
255	4164	485	14.9	1359	3.03									
	4167	493	18.7	1706	2.41	18.7	1571	2.62						
	4183	551	22.4	2044	2.01	22.4	1882	2.18	22.4	1586	2.6	22.4	1375	2.81
	4187	571	29.78	2717	1.51	29.78	2502	1.64	29.78	2109	1.95	29.78	1828	2.12
	4207	631	37.3	3403	1.21	37.3	3134	1.31	37.3	2641	1.56	37.3	2289	1.68
	4220	681	44.5	4060	1.01	44.5	3739	1.1	44.5	3151	1.31	44.5	2731	1.41
4224	706							56	3968	1.04	56	3438	1.12	
280	4183		22.4	2058	2.7									
	4187		29.78	2736	2.03	29.78	2519	2.21	29.78	2123	2.62			
	4207		37.3	3427	1.62	37.3	3156	1.76	37.3	2659	2.09	37.3	2306	2.26
	4220		44.5	4089	1.35	44.5	3765	1.47	44.5	3173	1.75	44.5	2750	1.89
	4224		56	5145	1.08	56	4738	1.17	56	3993	1.39	56	3460	1.5

(1) Los valores indicados son nominales; para los valores reales ver sección 7.4 pág. B5.
 (2) Para velocidades de salida n₂ < 25 RPM se pueden obtener utilizando motores de baja velocidad o con unidades de pre-reducción (Consultar a nuestro Departamento de Ingeniería). Ver tabla No.7.

1 Kgfm = 9.8 Nm, 1 HP = 0.746 Kw

7.6 MOTORREDUCTORES SINFIN CORONA
DIMENSIONES Y FORMAS CONSTRUCTIVAS

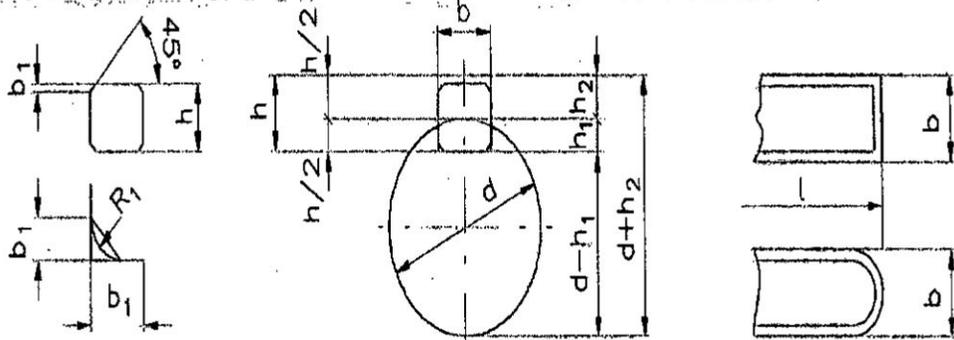


TAMAÑO	MC TOR	a	b	c	D	D2	E1	f	g	h	i	J	k	l	m	n	p	q	q1	r	s	T	U	v	w	w1	x	y	z
MRS-185	1.2	300	270	240	80	300	121	23	334	177	185	341	405	280	191	400	350	368	368	225	24	85	34*	205	462	462	267	407	150
	1.0				150				394			366						380	360						467	467	324	519	
	2.0								394			366						350	360						467	467	380	580	
MRS-215	1.2				100				344			366						398	398						451	451	267	407	
	1.0	350	300	254	200	361	175	23	398	241	215	391	450	320	215	475	400	390	390	275	24	106	1-1.8*	235	566	566	324	519	170
	2.0								412			416						380	390						596	596	380	580	
MRS-255	1.0				110				425			419						430	430						595	595	324	519	
	1.8	400	326	296	210	485	176	27	425	257	255	419	538	380	244	570	416	430	430	300	30	116	1-1.8*	275	595	595	380	580	175
	2.5								439			444						455	455						620	620	410	635	
									469			469						480	480						645	645	470	680	

(1) - Para tamaños MRS-185 F a MRS-255 F, 8 agujeros espaciados a 45°.

ANEXO 4: SELECCIÓN DE CHAVETAS MEDIANTE DIN 6885

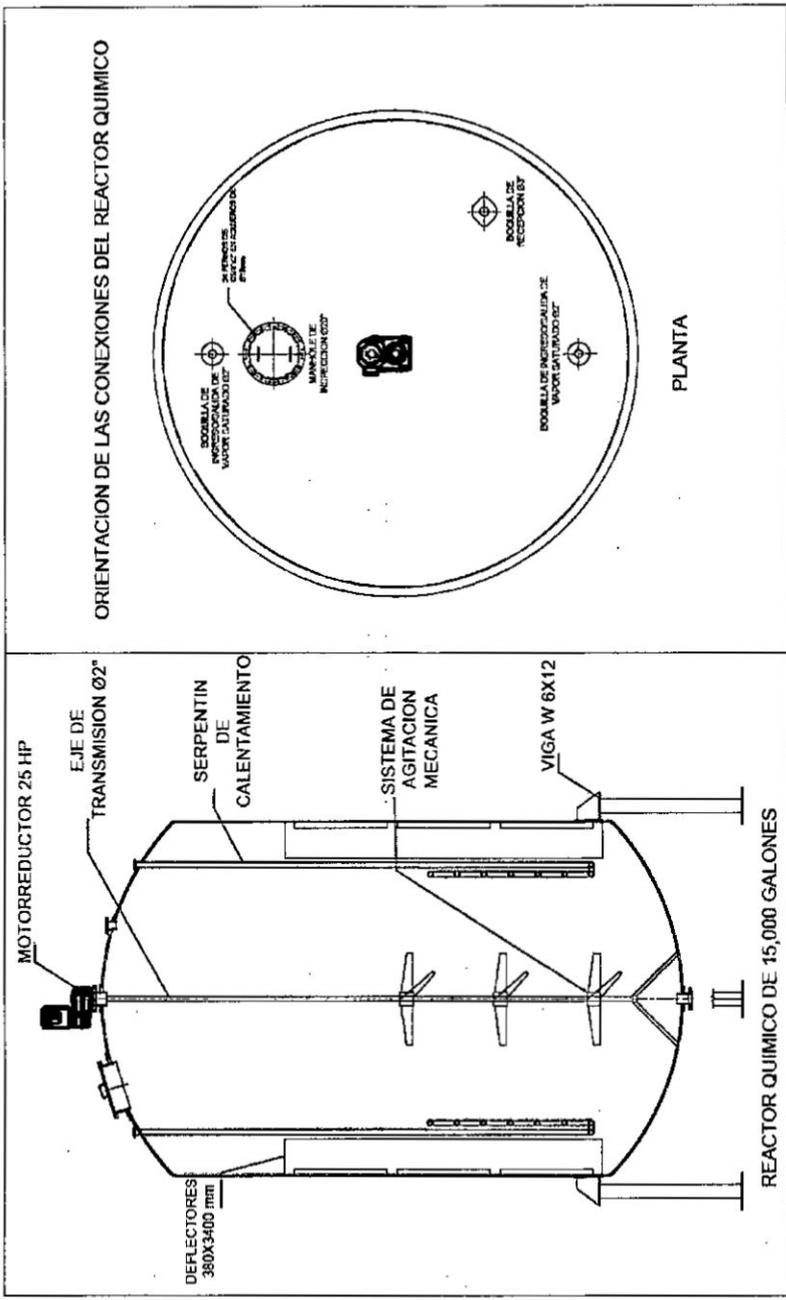
Chavetero para chavetas paralelas



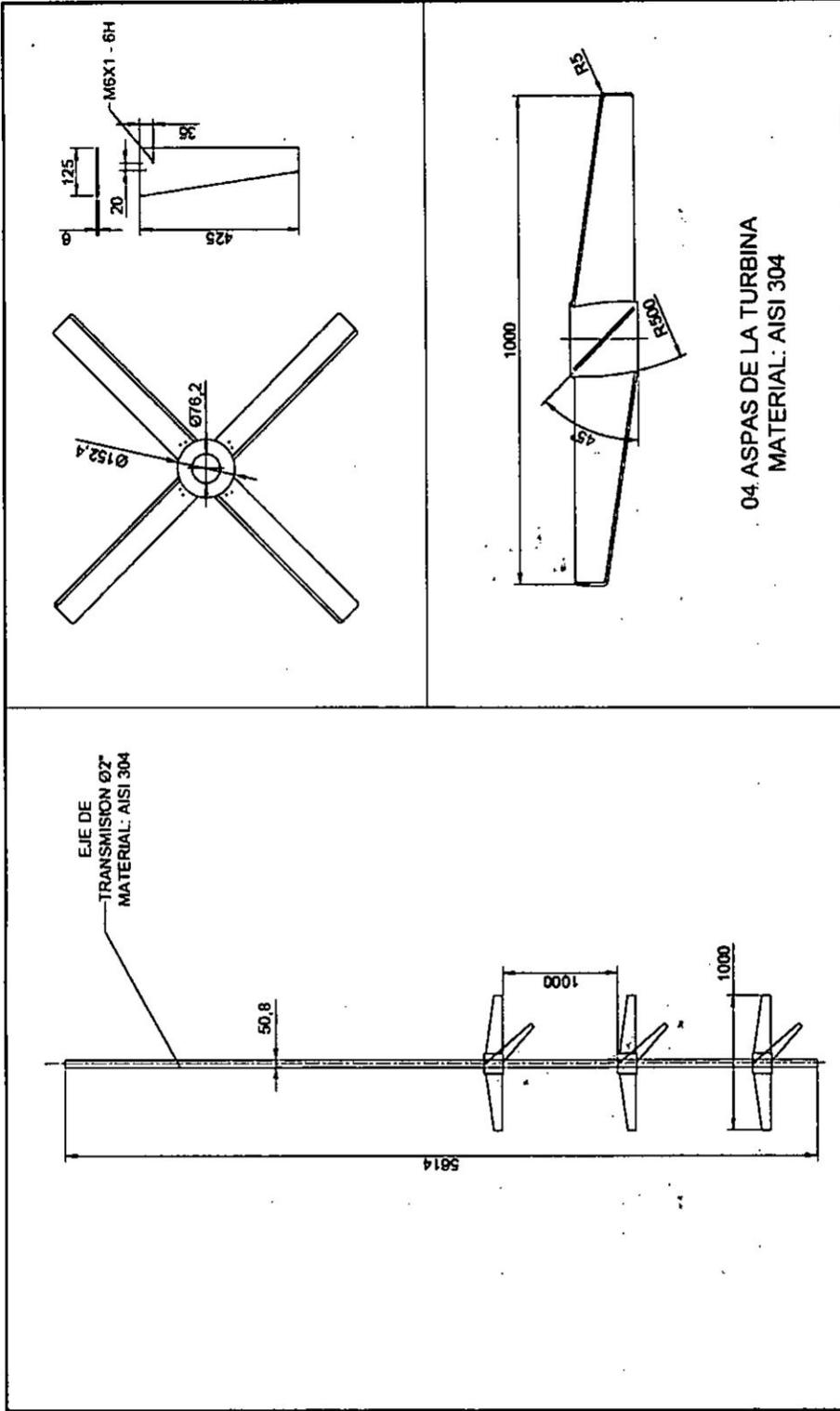
Dimensiones en mm.

Diámetro del eje d		Sección de la chaveta b X h	Ancho b, tolerancia					Profundidad				Chafilán R1	
			Nominal	Clase de ajuste del enchavetado			Eje h1		Cubo h2				
				Más de	hasta	Libre	Normal	Ajustado	Nominal	Toler.	Nominal	Toler.	Mfn.
			Eje h9	Cubo D10	Eje n9	Cubo JS9	Eje y Cubo p9/P9						
10	12	4X4	4					2,5		1,8		0,08	0,16
12	17	5X5	5	+0,030	+0,078	0	±0,015	3	+0,1	2,3	+0,1	0,16	0,25
17	22	6X6	6		+0,030	-0,030		3,5		2,8		0,16	0,25
22	30	8X7	8	+0,036	+0,098	0	±0,018	4		3,3		0,16	0,25
30	38	10X8	10		+0,040	-0,036		5		3,3		0,25	0,40
38	44	12X8	12					5		3,3		0,25	0,40
44	50	14X9	14	+0,043	+0,120	0	±0,0215	5,5		3,8		0,25	0,40
50	58	16X10	16		+0,050	-0,043		6		4,3		0,25	0,40
58	65	18X11	18					7	+0,2	4,4	+0,2	0,25	0,40
65	75	20X12	20					7,5	0	4,9	0	0,40	0,60
75	85	22X14	22	+0,052	+0,149	0	±0,026	9		5,4		0,40	0,60
85	95	25X14	25		+0,065	-0,052		9		5,4		0,40	0,60
95	110	28X16	28					10		6,4		0,40	0,60
110	130	32X18	32					11		7,4		0,40	0,60
130	150	36X20	36					12		8,4		0,70	1,00
150	170	40X22	40	+0,062	+0,180	0	±0,031	13		9,4		0,70	1,00
170	200	45X25	45		+0,080	-0,062		15		10,4		0,70	1,00
200	230	50X28	50					17		11,4		0,70	1,00
230	260	56X32	56					20	+0,3	12,4	+0,3	0,70	1,00
260	290	63X32	63	+0,074	+0,220	0	±0,037	20	0	12,4	0	1,20	1,60
290	330	70X36	70		+0,100	-0,074		22		14,4		1,20	1,60
330	380	80X40	80					25		15,4		2,00	2,50
380	440	90X45	90	+0,087	+0,260	0	±0,0435	28		17,4		2,00	2,50
440	500	100X50	100		+0,120	-0,087		31		19,5		2,00	2,50

ANEXO 5: PLANOS DE FABRICACION

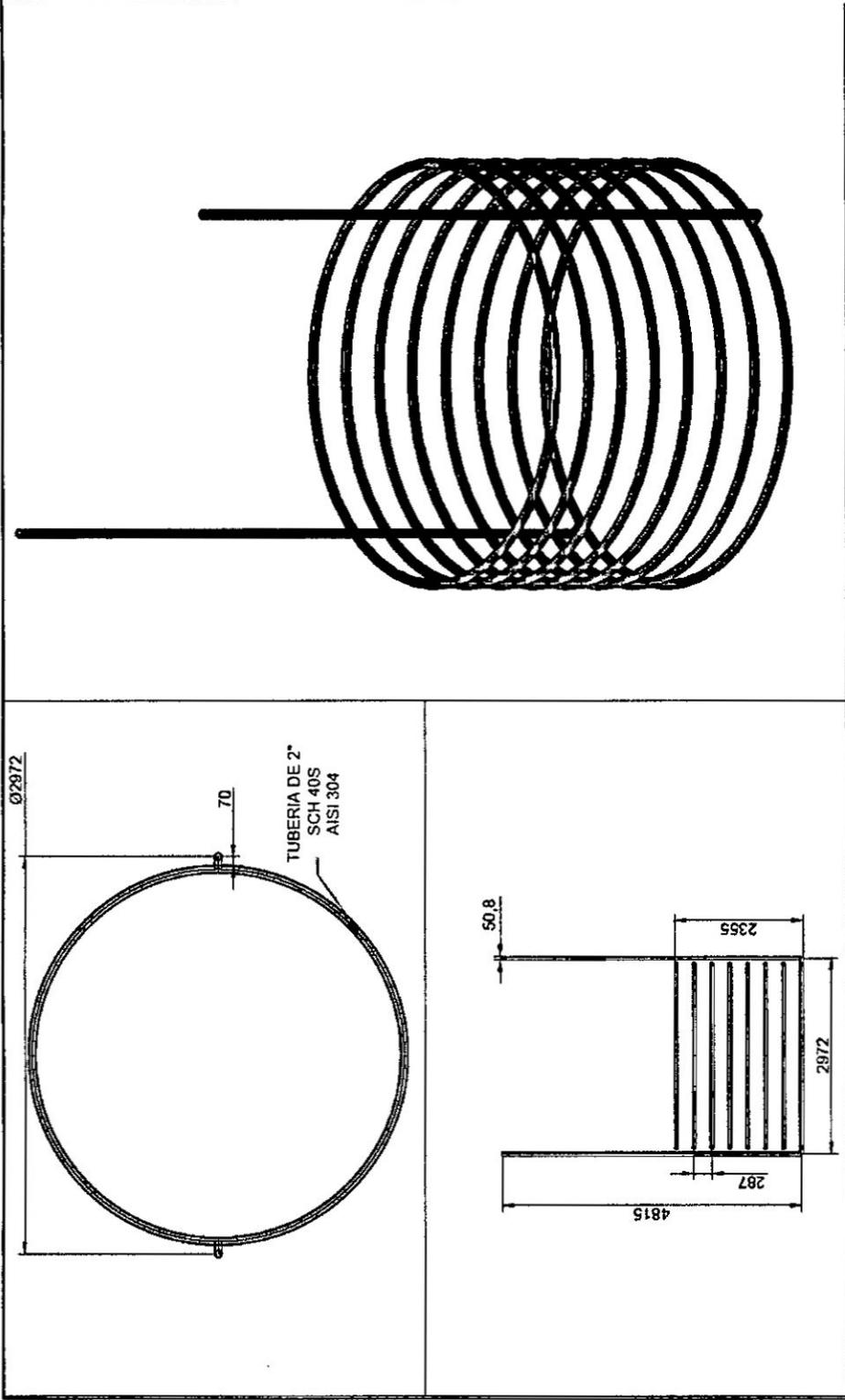


		ROBERTH SALLAGO ESPINOZA INGENIERO EN INGENIERIA INDUSTRIAL Y DE CONSTRUCCIONES DE EDIFICIOS PLAN DE DISEÑO DEL REACTOR QUIMICO	
N°	REVISION	REV.	APROB.
FECHA	FECHA	PLANO N°	TITULO
N°	REV.	APROB.	FECHA
FECHA	FECHA	PLANO N°	TITULO

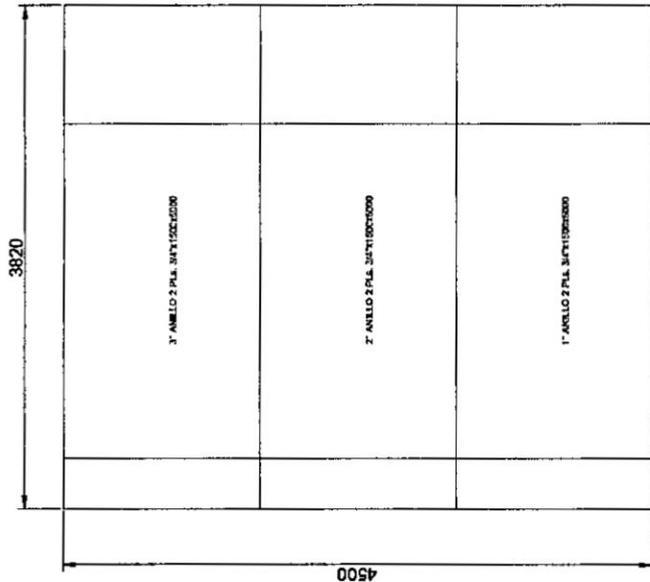


04. ASPAS DE LA TURBINA
MATERIAL: AISI 304

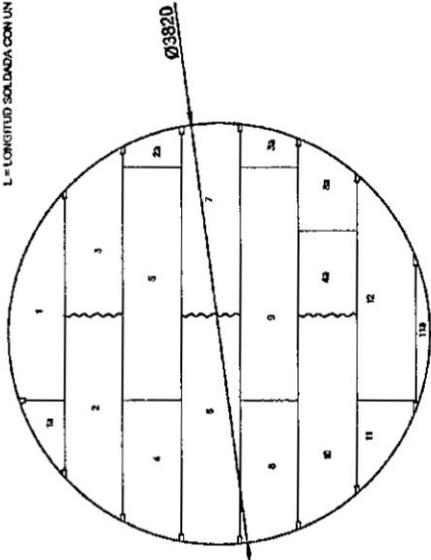
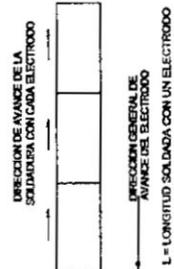
	ROBERTH SALLAGO ESPINOZA <small>INGENIERO EN MECÁNICA DE MAQUINAS Y EQUIPOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y MECÁNICA - CENTRO DE MAQUINARIA</small>		<small>PROYECTO N°</small>	<small>NO. 17789-02</small>
	<small>FECHA</small>	<small>NO. 17789-02</small>	<small>FECHA</small>	<small>NO. 17789-02</small>
<small>REV. N°</small>	<small>REV. N°</small>	<small>REV. N°</small>	<small>REV. N°</small>	<small>REV. N°</small>
<small>REVISION</small>	<small>REVISION</small>	<small>REVISION</small>	<small>REVISION</small>	<small>REVISION</small>
<small>APROB.</small>	<small>APROB.</small>	<small>APROB.</small>	<small>APROB.</small>	<small>APROB.</small>
<small>FECHA</small>	<small>FECHA</small>	<small>FECHA</small>	<small>FECHA</small>	<small>FECHA</small>
<small>NUMERICAL</small>	<small>NUMERICAL</small>	<small>NUMERICAL</small>	<small>NUMERICAL</small>	<small>NUMERICAL</small>
<small>PLANO N°</small>	<small>PLANO N°</small>	<small>PLANO N°</small>	<small>PLANO N°</small>	<small>PLANO N°</small>
<small>TITULO</small>	<small>TITULO</small>	<small>TITULO</small>	<small>TITULO</small>	<small>TITULO</small>



 FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA	PROFESOR: ROBERTH SALLAGO ESPINOZA PROFESOR ASISTENTE: ROBERTO ESPINOZA ASISTENTE TECNOLÓGICO: ROBERTO ESPINOZA		PLAN: SERPENTIN DE CALENTAMIENTO	FECHA: NOV/2017	MODELO: 2/1		NO. 21/09-202...	REV. 02/09
	PLANO N°	TÍTULO	APROB.:	FECHA:	REVISION:	REV.:	N°	



DISTRIBUCION DE PLANCHAS DEL CASCO



ORDEN DE SOLDADURA DE LA CABEZA TORRESFERICA

SOLDADURA PREVA A LA COLCACACION DEL PRIMER ANILLO LONG. MAX. 300mm

- PRIMERA SOLDADURA
- SEGUNDA SOLDADURA
- TERCERA SOLDADURA
- CUARTA SOLDADURA

	ROBERTH SALLAGO ESPINOZA		TÍTULO
	PROYECTO: DISEÑO DE LA RECONSTRUCCION DE EL CASCO PARA LA PROTECCION DE LOS TRABAJADORES A PARTIR DE UN MODELO DE UNO	PLANOS: DISTRIBUCION DE PLANCHAS	FECHA: 15/05/2017
DE: ING. EN MECANICA	PARA:	AUTOPROYECTO	REVISION
REV.	APROB.	FECHA	FECHA
N°	REV.	APROB.	FECHA