

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA OBTENCIÓN
CONTINUA DE BIODIESEL MEDIANTE CAVITACIÓN HIDRODINÁMICA.**

**BRAYAN ANDRÉS RODRÍGUEZ HERREÑO
JAMES RONALD VERA ROZO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2016

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA OBTENCIÓN
CONTINUA DE BIODIESEL MEDIANTE CAVITACIÓN HIDRODINÁMICA.**

**BRAYAN ANDRÉS RODRÍGUEZ HERREÑO
JAMES RONALD VERA ROZO**

**Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Mecánico**

Director

**OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA
Ingeniero Mecánico**

Codirector

**Dr. FREDY AUGUSTO AVELLANEDA VARGAS
Ingeniero Químico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

A Dios por permitirme vivir cada día en plenitud.

A mi madre, María Aida Herreño, por su apoyo incondicional, su cariño y por enseñarme que después de caer te puedes levantar siendo aún más fuerte, por darme a entender que en el acto de ayudar a los demás se encuentra la mayor satisfacción.

A mi padre, Antonio Jesús Rodríguez Sánchez, por ser un ejemplo a seguir por motivarme a ser excelente en lo que hago, por mostrarme que las bendiciones llegan a quienes son nobles de corazón.

A mis hermanos por su amistad, consejos y apoyo durante mis años de vida.

A mi prima, Consuelo Zambrano Plata, por creer en mí, por apoyarme durante toda mi carrera universitaria.

Y finalmente a todos mis familiares y amigos con quienes atravesé esta etapa, por estar ahí en los buenos y malos momentos.

BRAYAN ANDRÉS RODRÍGUEZ HERREÑO

DEDICATORIA

*A Dios por brindarme día a día bendiciones.
A mi madre, “Panchita”, por acompañame en este camino y
brindarme su apoyo, confianza y cariño.*

*A mi padre, José Virgilio Vera, por su apoyo y enseñanza
para ser siempre el mejor saliendo adelante.*

*A mi hermano Oscar por su amistad y por estar conmigo
en cada momento brindándome apoyo.
A mis abuelos quienes siempre han estado presentes brindándome
un cariño sincero y un apoyo incondicional.*

*A mi novia Adriana Serrano, por su gran amor y cariño,
siendo con “mi chinita” la motivación para culminar este proyecto de grado.*

*Y finalmente a todos mis familiares, compañeros y amigos
quienes con su compañía apoyo y asesoría han logrado
que este proyecto se lleve a cabo.*

JAMES RONALD VERA ROZO

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Omar Gelvez, ingeniero Mecánico, director del proyecto por su motivación a innovar, a llevar nuestro conocimiento a nuevas áreas de trabajo, por su respaldo, acompañamiento y asesoría constantemente a lo largo del desarrollo de esta tesis de grado.

Al Doctor Fredy Augusto Avellaneda Vargas, Ingeniero Químico, codirector del proyecto por su acompañamiento desde la ingeniería de procesos y responsable de la gestión de las pruebas realizadas, además de la motivación por culminar de la mejor manera esta tesis de grado.

A Jaime Jaimés Estévez, Ingeniero Químico, por su acompañamiento en el desarrollo del lavado y secado de las muestras obtenidas.

A la Doctora Elena Stashenko, a la M. Sc. Deyanira Caballero Méndez y al CENIVAM por su apoyo y disposición para la realización de las cromatografías.

A la estudiante Karen Juliana Ramírez Vargas de Ingeniería química, por su apoyo en la preparación de las muestras de las cromatografías.

BRAYAN ANDRES RODRIGUEZ HERREÑO

JAMES RONALD VERA ROZO

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	25
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	26
1.1. ANTECEDENTES	26
1.1.1. Los biocombustibles	27
1.1.2. El Biodiesel.	27
1.2. IDENTIFICACIÓN DE LA SITUACION PROBLEMA	30
1.3. JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA	31
1.3.1. Ambiental.	32
1.3.2. Social.	32
1.3.3. Económica.	33
2. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	34
OBJETIVO GENERAL	34
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	34
3. PRODUCCIÓN DEL BIODIÉSEL.....	37
3.1. TRANSESTERIFICIÓN.....	38
3.2. COMPONENTES BASE	40
3.2.1. Aceites vegetales y tradicionales (primera generación).....	40
3.2.2. Aceites alternativos (segunda y tercera generación).	41
3.3. REACTIVOS	41
3.3.1. Metanol.	41

3.4. ACELERANTES.....	42
3.4.1. Acelerantes químicos.....	42
3.4.2. Acelerantes físicos.....	42
3.1.4. Subproducto.....	44
3.5. MÉTODOS INDUSTRIALES DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL.....	44
3.5.1. Proceso discontinuo para la obtención de biodiésel.	45
3.5.2. Proceso continuo para la obtención de biodiesel.....	46
3.6. NUEVAS TECNOLOGIAS PARA LA PRODUCCCIÓN DE BIODIÉSEL	47
3.6.1. Reactor por ondas de choque (SPR).	47
4. DISEÑO EN DETALLE DEL SISTEMA DE PRODUCCION DE BODIESEL....	52
4.1. DISEÑO DEL SPR.....	53
4.1.1. Verificación del Umbral de Blake. Se calcula asumiendo la.....	53
4.1.2. Determinación de Potencia.....	54
4.1.3. Diseño de las Bridas.....	61
4.1.4. Diseño del eje.....	61
4.1.5. Diseño del Cuerpo.....	62
4.1.6. Diseño del rotor.....	63
4.2. COMPONENTES.....	64
4.2.1. Estructura.....	64
4.2.2. Tanques.....	65
4.2.3. Válvula motorizada.....	68
4.2.4. Cavitador SPR.....	70
4.2.5. Bomba de Engranajes	71
4.2.6. Válvula de estrangulamiento.....	73

4.2.7. Embudo de Separación.....	73
4.2.8. Tubería.....	75
4.2.9. Sistema de control de llenado.....	76
4.2.10. Sistema de control de arranque motor SPR.....	78
4.2.11. Sistema de agitación.....	79
4.2.12. Empaques.....	83
5. POST PROCESO	85
5.1. LAVADO DE BIODIÉSEL.....	85
5.1.2. Segundo y tercer lavado.	87
5.1.3. Comparación entre los lavados.....	88
5.2. SECADO.....	89
6. PRUEBAS.....	90
6.1. PRUEBAS DESARROLLADAS EN EL PROTOTIPO	91
6.2. PRUEBAS PARA CARACTERIZACIÓN DEL BODIESEL OBTENIDO	93
6.2.1. Densidad.....	93
6.2.2. Rendimiento Volumétrico.	94
6.2.3. Medición de pH.	95
6.2.4. Punto de Nube.....	95
6.2.5. Cromatograma.....	96
6.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	97
7. COSTOS.....	100
7.1. COSTOS DE FABRICACION	100
7.2. COSTOS DE OPERACIÓN	100

8. CONCLUSIONES	103
9. RECOMENDACIONES	104
BLIBLIOGRAFÍA.....	105
ANEXOS	107

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1 Suministro mundial de petróleo vs. consumo.	26
Figura 2. Precio del biodiesel con respecto al diésel en Colombia.	30
Figura 3. Costos de producción de biodiésel en pesos por litro en México.	31
Figura 4. Esquema general del sistema.....	35
Figura 5. Producción de biodiésel.....	38
Figura 6 Reacción de transesterificación de un triglicérido genérico.	39
Figura 7 Pasos del proceso de reacción de transesterificación.	39
Figura 8. Patrones de flujo de agitación axial.	43
Figura 9. Efecto de la temperatura en la transesterificación.	44
Figura 10 Métodos industriales de producción de biodiésel.	45
Figura 11 Proceso convencional de obtención de biodiesel.	46
Figura 12. Reactor por ondas de choque (SPR).....	47
Figura 13. Fuerzas en los orificios del rotor.	49
Figura 14. Transferencia de materia en la interface por efecto de la cavitación. ...	50
Figura 15 Comparación de la mezcla con el método tradicional.....	51
Figura 16. Sistema de producción de biodiesel por cavitación hidrodinámica.	52
Figura 17. Diagrama del cálculo de potencia.....	54
Figura 18. Estructura del prototipo.....	65
Figura 19. Alturas del tanque de premezclado.....	68
Figura 20. Prototipo CAD y físico de la válvula motorizada.	69
Figura 21. Curva característica de la válvula motorizada de descarga.....	70
Figura 22. Reactor por ondas de choque (SPR).....	71
Figura 23. Bomba Surgeflo.	72
Figura 24. Válvula de Aguja.	73
Figura 25. Embudos de separación.	74
Figura 26. Embudo de separación 5L.....	75

Figura 27. Manguera Flexco de 3/8.	75
Figura 28. Sistema de control.	76
Figura 29. Diagrama Grafcet del sistema de control.	77
Figura 30. Circuito de potencia y control del motor.	79
Figura 31. Semejanzas geométricas de un agitador tipo hélice.	80
Figura 32. Hélice del sistema de agitación.	81
Figura 33. Sistema de agitación.	83
Figura 34. Empaques.	84
Figura 35. Proceso general de obtención de biodiésel.	85
Figura 36. Medición de pH al biodiésel.	86
Figura 37. Primer lavado del biodiésel.	86
Figura 38. Segundo lavado del biodiésel.	87
Figura 39. Tercer lavado del biodiésel.	88
Figura 40. Comparación de los tres lavados del biodiésel.	88
Figura 41. Secado del biodiésel.	89
Figura 42. Medición del pH al biodiésel después del post proceso.	89
Figura 43. Esquema del sistema mostrando los dos tipos de Bypass.	92
Figura 44. Picnómetro de 5 [mL].	93
Figura 45. Medición de densidad del biodiésel.	94
Figura 46. Prueba Punto de Nube.	96

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Propiedades típicas de los combustibles diésel y biodiesel.	28
Tabla 2. Variación de Parámetros en SPR	48
Tabla 3. Coeficientes de rugosidad.....	58
Tabla 4. Datos técnicos motor WEG.....	60
Tabla 5. Especificaciones del sistema de transmisión de potencia.....	60
Tabla 6. Resistencia tracción SAE1045.....	61
Tabla 7. Datos de la perfilera de la estructura.	65
Tabla 8. Especificaciones de los tanques.	66
Tabla 9. Datos de la válvula motorizada.	69
Tabla 10. Especificaciones del cavitador SPR.....	70
Tabla 11. Especificaciones de la bomba Surgeflo FP-12.....	72
Tabla 12. Descripción de los embudos de separación.....	74
Tabla 13. Siglas del diagrama Grafcet.	76
Tabla 14. Componentes del sistema de control del motor.	78
Tabla 15. Especificaciones geométricas del sistema de agitación.....	81
Tabla 16. Especificaciones del motor del sistema e agitación.	79
Tabla 17. Parámetros químicos en las pruebas.....	90
Tabla 18. Condiciones de las pruebas del prototipo.	92
Tabla 19. Cromatografía de la prueba P003.....	97
Tabla 20. Resultados de las pruebas 2 y 3.....	98
Tabla 21. Caracterización del biodiesel obtenido.....	98

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
ANEXO A DATOS TECNICOS MOTOR MONAFASICO ½ [HP].....	108
ANEXO B. PLANOS GENERALES.....	113
ANEXO C. PLANOS REACTOR POR ONDAS DE CHOQUE (SPR).	124
ANEXO D. REDONDO EJE SAE 1045.....	133
ANEXO E.PERFILES CUADRADO Y L.....	135
ANEXO F. LAMINA ACERO INOXIDABLE 304 18.....	138
ANEXO G. VALVULA NAPOLI 38.	140
ANEXO H. CERTIFICADO METANOL Y NaOH.	142
ANEXO I. COSTOS FABRICACIÓN.....	145
ANEXO J. COSTOS KWH ESSA.....	148
ANEXO K. UMBRAL DE BLAKE.....	150
ANEXO L. PESO MOLAR DE LA PALMA.	151
ANEXO M. CODIGO ARDUINO.	152
ANEXO N. CROMATOGRAFIAS DE GASES PRUEBAS P002 - P003.....	155
ANEXO O. CARACTERISTICAS SERVO MG995.....	165
ANEXO P REQUERIMIENTOS DEL BIODIESEL DE PALMA SEGUN LA NORMA NE 14214.....	168
ANEXO Q. CATALOGO MANGUERA 3/8 [in].	169
ANEXO R. CATALOGO VALVULA HOKE 1/4 [IN]	170
ANEXO S. MANUAL DE OPERACIÓN.....	174

GLOSARIO

- **Afinidad:** La afinidad química también puede referirse a la tendencia de un átomo o compuesto para combinarse por una reacción química con átomos o compuestos de composición distinta.
- **Biodiesel:** Combustible con propiedades muy similares al diésel (ACPM) convencional, producido con materia prima renovable, ya sean aceites oleaginosos, de fritura, o grasas animales.
- **Cavitación:** Es un efecto hidrodinámico, que tiene como consecuencia la caída súbita de presión, causando un burbujeo producto de que algunas moléculas alcanzan la presión de vapor del líquido y se conviertan en vapor para posteriormente impresionarse en una mezcla de dos fases.
- **Cavitador SPR (Shockwave Power Reactor):** La tecnología de los reactores de ondas de choque (SPR) aprovecha la fuerza poderosa de la cavitación para aplicar energía a los fluidos.
- **Decantación:** Proceso físico de separación de dos fluidos miscibles, donde se precipita el más pesado, y permite su separación por medio de un drenaje donde se ha dispuesto el fluido.
- **Ésteres:** Componente producto de la reacción de transesterificación, este componente puede ser de etilo o metil, según sea el tipo de alcohol. Después a los post procesos se le conoce con el nombre de biodiésel.
- **Embudo de separación:** Es un elemento de vidrio que se puede encontrar en los laboratorios, y que se emplea para separar dos líquidos inmiscibles. En la

parte superior presenta una embocadura taponable por la que se procede a cargar su interior. En la parte inferior posee un grifo de cierre o llave de paso que permite regular o cortar el flujo de líquido a través del tubo que posee en su extremo más bajo.

- **Emulsificación:** Es el proceso de mezclar dos líquidos inmiscibles. El enfoque principal de emulsificar es la dispersión de la fase discontinua en gotas preferentemente finas.
- **Glicerina:** Producto derivado de la transesterificación, es secundario ya que su proporción es poca, es usado en la industria cosmética o grasas de tratamiento animal.
- **Hidróxido de sodio (NaOH):** Conocido comercialmente como soda caustica, es un componente químico tipo básico, el cual funciona como catalizador en el proceso de transesterificación acelerando la reacción.
- **Metanol:** El compuesto químico metanol, también conocido como alcohol de madera o alcohol metílico (o raramente alcohol de quemar), es el alcohol más sencillo. A temperatura ambiente se presenta como un líquido ligero (de baja densidad), incoloro, inflamable y tóxico que se emplea como anticongelante, disolvente y combustible. Su fórmula química es CH_3OH (CH_4O).
- **Metilésteres:** Componentes producto de la reacción de combinación prolongada de aceite con un alcohol metílico. La medida de este componente arroja la eficiencia del proceso de obtención de biodiesel.
- **Metóxido de sodio:** Solución entre el Metanol y el hidróxido de sodio, con unas determinadas proporciones de relación peso volumen.

- **Misibilidad:** es un término usado en química que se refiere a la propiedad de algunos líquidos para mezclarse en cualquier proporción, formando una disolución. En principio, el término es también aplicado a otras fases (sólidos, gases), pero se emplea más a menudo para referirse a la solubilidad de un líquido en otro.
- **Transesterificación:** Es el proceso de intercambiar el grupo alcoxi de un alcohol. Estas reacciones son frecuentemente catalizadas mediante la adición de un ácido o una base.

NOMENCLATURA

A_{CS}	Área de contacto del sello.
μ_S	Coefficiente de fricción del sello.
C	Coefficiente de rugosidad.
X_R	Compresión del resorte.
KL	Constante de la hélice.
K_R	Constante del resorte.
ρ	Densidad
Da	Diámetro de la hélice.
ϕ_{eje}	Diámetro del eje del SPR.
ϕ_{SPR}	Diámetro del rotor.
ϕ_{extS}	Diámetro externo del sello.
ϕ_{Eq}	Diámetro hidráulico.
E	Distancia entre la hélice y el fondo del tanque.
η_T	Eficiencia de transmisión.
KF	Factor a la entalla.
CL	Factor de carga por fricción.
CC	Factor de confiabilidad.
N	Factor de seguridad.
C_{SUP}	Factor de superficie.
CS	Factor de tamaño.
F_p	Fuerza de presión interna.
\nexists	Número de cavitación.
Re	Número de Reynolds.
W_{oil}	Peso molar del aceite.
$W_{Metanol}$	Peso molar del metanol.
P_v	Presión de vapor.
Sut	Punto de fluencia.

R_{Molar}	Relación molar.
S_E	Resistencia a la tracción.
S_y	Resistencia última a la tracción.
Q	Sensibilidad a la entalla.
ω	Velocidad angular.
μ_T	Viscosidad cinemática turbulenta.
μ	Viscosidad cinemática.
ν_T	Viscosidad dinámica turbulenta.
ν	Viscosidad dinámica.

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA OBTENCIÓN CONTINUA DE BIODIESEL MEDIANTE CAVITACIÓN HIDRODINÁMICA.¹

AUTORES: Brayan Andrés Rodríguez Herreño
James Ronald Vera Rozo²

Palabras Claves: Biodiesel, Cavitador Hidrodinámico, Prototipo, Reactor de ondas de choque.

Dada la necesidad que existe de buscar nuevas alternativas para reducir el impacto ambiental producto del uso de combustibles fósiles, se han planteado varias posibles soluciones, entre ellas el uso de combustibles alternativos como lo es el biodiésel. Tradicionalmente el biodiesel es obtenido mediante agitación mecánica y a 60 °C durante 75 minutos lo que acarrea altos costos de producción, con el fin de reducir el tiempo de reacción y por ende los costos, se diseñó y construyó un sistema prototipo para la obtención continua de biodiesel, utilizando el principio de cavitación hidrodinámica como acelerante físico.

El sistema de cavitación hidrodinámica se basa en un reactor de ondas de choque en donde se produce un intersticio y se masifica su cavitación debido a la sinergia de este con el calentamiento y la agitación dentro del reactor, esto realizado a una temperatura ambiente y una presión atmosférica, usando aceite de palma refinado, metanol y hidróxido de sodio como insumos. Para la correspondiente verificación del prototipo se realizó su caracterización donde se tuvo en cuenta la cromatografía de dos muestras obtenidas en éste, donde se midió su correspondiente porcentaje de ésteres metílicos presentes, teniendo como resultado muestras con un porcentaje del 92.8% en FAME, un rendimiento de un 86.2 % en volumen, un punto de nube de 14 [°C], una densidad de 868.86 [Kg/m³] y un pH de 6.13 a un caudal de 0.2 [LPM].

¹ Trabajo de Grado

² Facultad De Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Autores: Brayan Andrés Rodríguez Herreño (barh_18@hotmail.com) y James Ronald Vera Rozo (jamesrvr27@gmail.com). Director Omar Armando Gelvez Arocha, Codirector Fredy Augusto Avellaneda Vargas.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE FOR OBTAINING BIODIESEL CONTINUOUS CAVITATION HYDRODYNAMICS.

AUTHORS: Brayan Andres Rodriguez Herreño
James Ronald Vera Rozo³

KEYWORDS: Biodiesel, Cavitation Hydrodynamics, Prototype, Shockwave power reactor.

According to the necessity to reduce the environmental impact resulting from the use of fossil fuels, they have raised several possible solutions, including the use of alternative fuels such as the biodiesel. Traditionally is obtained the biodiesel by mechanical agitation and 60 ° C for 75 minutes which steer to high production costs, in order to reduce the reaction time and therefore costs, designed and built a prototype system for the continuous preparation of biodiesel, using the principle of hydrodynamic cavitation as physical accelerant.

The hydrodynamic cavitation system is based on a shock wave reactor power where a gap occurs and its cavitation is massified due to the synergy of this with the heating and stirring inside the reactor, this done at an ambient temperature and pressure Atmospheric, using refined palm oil, methanol and sodium hydroxide as inputs. For the corresponding verification of the prototype, its characterization was carried out where the chromatography of two samples obtained in this one was taken into account, where its corresponding percentage of methyl esters present was measured, resulting in samples with a percentage of 92.8% in FAME, a yield Of 86.2% by volume, a cloud point of 14 [°C], a density of 868.86 [kg/m³] and a pH of 6.13 at a flow rate of 0.2 [LPM].

³ Facultad De Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Autores: Brayan Andrés Rodríguez Herreño (barh_18@hotmail.com) y James Ronald Vera Rozo (jamesrvr27@gmail.com). Director Omar Armando Gelvez Arocha, Codirector Fredy Augusto Avellaneda Vargas.

INTRODUCCIÓN

En vista de los problemas ambientales que existen actualmente por la liberación de contaminantes, debido al uso de combustibles fósiles, se hace indispensable buscar nuevas formas de mantener una seguridad energética, pero con una visión más amigable con el ambiente.

Los biocombustibles son una alternativa para usar fuentes de energía reusables, pero el uso de éstos está limitado por el momento dado su costo de producción, es con este motivo que se debe buscar nuevas tecnologías que permitan tener una producción más limpia y económica, por esta razón se presentará el proceso de diseño, construcción y puesta en marcha de un sistema prototipo que utiliza el principio de cavitación hidrodinámica, para acelerar la reacción de transesterificación, la cual está asociada a la producción de biodiesel. La generación de la cavitación se hace por medio de un dispositivo denominado reactor por ondas de choque (SPR).

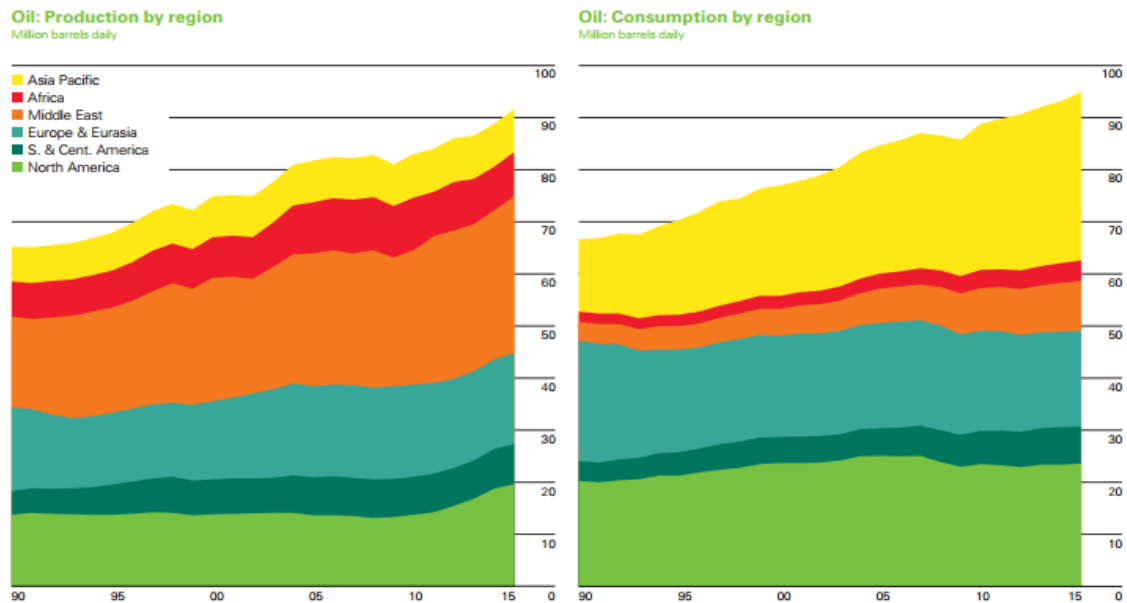
Adicionalmente se realiza el lavado y secado del biodiesel, con el fin de prepararlo para la fase de caracterización.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES

La disminución evidente de las reservas de petróleo, su directo impacto en la seguridad energética mundial y el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero causada por el uso excesivo de combustibles fósiles, ocasionan una preocupación por los efectos nocivos que estos factores acarrearán en el ambiente y la salud.⁴

Figura 1 Suministro mundial de petróleo vs. consumo.



Fuente: Disponible en BP *Statistical Review of World Energy June 2016. 65th edition.*

⁴ IPCC. Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático. Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. 2011. ISBN 978-92-9169-331-3. p. 7.

Es por esta preocupación que surgen nuevas fuentes energéticas, como la energía solar, eólica y biomasa. En búsqueda de satisfacer de manera paralela el uso del petróleo, uno de estas posibles soluciones se basa en la obtención de combustibles a partir de materias orgánicas denominados biocombustibles.

1.1.1. Los biocombustibles. Éstos son combustibles de origen biológico obtenidos de manera renovable a partir de restos orgánicos que proceden normalmente de semillas oleaginosas, maíz, trigo y azúcar.⁵

La primera rama de los biocombustibles es el bioetanol, el cual es un alcohol obtenido de materias primas azucaradas, amiláceos o la celulosa. La segunda rama de los biocombustibles es el biodiesel, el biodiesel se puede obtener de cualquier grasa animal o vegetal, pero es común obtenerlo de plantas oleaginosas, como la palma africana, la soja, etc.⁶

1.1.2. El Biodiesel. En un combustible constituido químicamente por ésteres de alquilo, de metilo o de etilo, con cadenas largas de ácidos grasos. Se obtiene mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación, éste puede ser un sustituto total o parcial del diésel, ya que sus propiedades físicas y químicas son muy similares.⁷

El biodiésel puede mezclarse con diésel procedente del refinamiento del petróleo en diferentes cantidades, se utilizan notaciones abreviadas según el porcentaje por volumen de biodiésel en la mezcla: B100 en caso de utilizar sólo biodiésel, u otras notaciones como B5, B15, B30 o B50, donde la numeración indica el porcentaje por volumen de biodiésel en la mezcla.

⁵ NUÑEZ GARCÍA, María y GARCÍA TRIÑANES. Pablo. BIOCMBUSTIBLES: Bioetanol y biodiesel. Universidad de Santiago de Compostela. Departamento de Ingeniería Química. p.1.

⁶ *Ibíd.* p.1.

⁷ STRATTA, José. Biocombustibles: los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel. Investigación y Desarrollo – Departamento de Capacitación y Desarrollo de Mercado, 2000. p. 5.

Tabla 1. Propiedades típicas de los combustibles diésel y biodiésel.

Propiedad	Biodiésel	Diésel
Metil éster	>96,5%	0
Densidad a 15° C	Mín 0.86 – máx. 0.90 g/cc	Mín. 0.82 – máx. 0.845 g/cc
Viscosidad a 40° C	Mín. 3.5 – máx. 5.0 mm ² /s	Mín. 2 – máx 4.5 mm ² /s
Flash point	>110° C	>55° C
Número de cetano	>51	46 - 51
Carbono residual	<0.3%	>0.15%
Glicerol libre	< 0.02%	
Contenido de monoglicérido	< 0.8%	
Contenido de diglicérido	< 0.2%	
Contenido de triglicérido	< 0.2%	
Número ácido (mg KOH/g)	< 0.5	< 0.3
Poder calorífico	33,175 Mj/l	35,700 Mj/l

Fuente: Especificaciones de ECOPETROL.

1.1.2.1. Ventajas del biodiésel.

- El biodiésel se produce se a partir de cultivos que abundan en Colombia, como lo es la palma africana.⁸
- El biodiésel es biodegradable en solución acuosa cerca del 95% de éste desaparece en 28 días.⁹
- La combustión de biodiésel reduce en cera de un 79% las emisiones de dióxido de carbono comparado con la combustión del diésel de petróleo.¹⁰

⁸ CONVENIO INTERINSTITUCIONAL DE COOPERACIÓN UPME-INDUPALMA-CORPODIB. Programa estratégico para la producción de biodiésel -combustible automotriz- a partir de aceites vegetales. p.324.

⁹ Ibíd. p.324.

¹⁰ ESPINOZA DE AQUINO, Wendy, et al. Los biocombustibles. ¿Cómo ves? Revista de divulgación de la ciencia de la UNAM. México. No. 123.

- El biodiesel tiene su punto de inflamación por encima de 110° C, por eso no está clasificado como material peligroso, siendo su almacenamiento y manipulación segura.¹¹
- No contiene ni benceno, ni otras sustancias aromáticas cancerígenas (hidrocarburos aromáticos policíclicos).¹²
- El biodiesel por ser de origen de aceites vegetales, tiene un alto poder de lubricación, alargando la vida de los motores, reduciendo el ruido en los mismos.¹³
- El biodiesel, es el único combustible renovable alternativo en los motores diésel, es totalmente compatible para ser usado en cualquier motor diésel, sea cual sea su antigüedad y estado.¹⁴

1.1.2.2. Desventajas del biodiesel.

- A bajas temperaturas se puede empezar a solidificar y formar cristales, que pueden obstruir los conductos del combustible y causar daño en el motor.¹⁵
- Baja tasa de retorno energético (EROI) la cual es aproximadamente 5,5 respecto a 16 del petróleo en la actualidad.¹⁶

¹¹ Universidad Politécnica de Cataluña. Estudio de la viscosidad y densidad de diferentes aceites para su uso como biocombustible. [En línea] [Fecha de consulta 29/08/2016]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/9403/3.3.%20Biodiesel.pdf?sequence=5&isAllowed=y>. p.27.

¹² *Ibíd.* p.27.

¹³ *Ibíd.* p.27.

¹⁴ *Ibíd.* p.28.

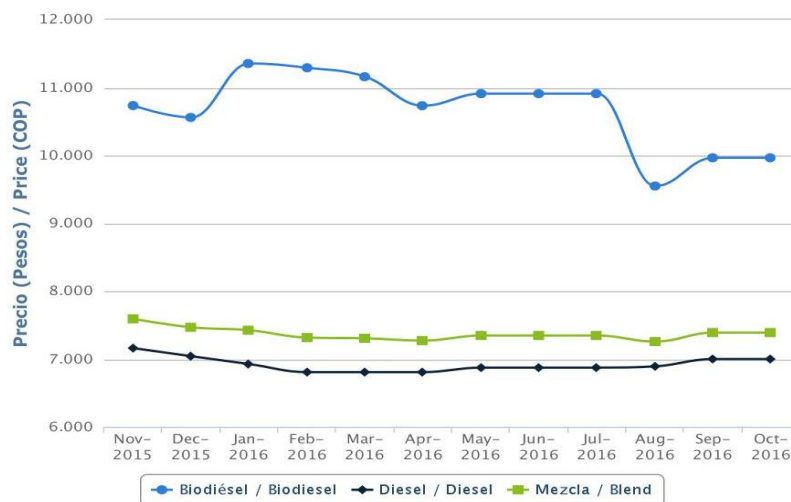
¹⁵ *Ibíd.* p.28.

¹⁶ RISK AND WELL-BEING. *One reason we struggle to grow: Energy return on investment (EROI)*. 2013. [En línea] [Fecha de consulta 29/08/2016]. Disponible en: <https://therationalpessimist.com/2013/04/07/one-reason-we-struggle-to-grow-energy-return-on-investment-eroi/>

1.2. IDENTIFICACIÓN DE LA SITUACION PROBLEMA

El principal problema con la producción de biodiésel es su alto costo con respecto al precio del diésel fósil, el factor predominante que define esto es el costo de la materia prima y en segunda medida los procesos de producción no optimizados. La figura 2 muestra claramente la brecha entre el precio del biodiesel y el diésel fósil.

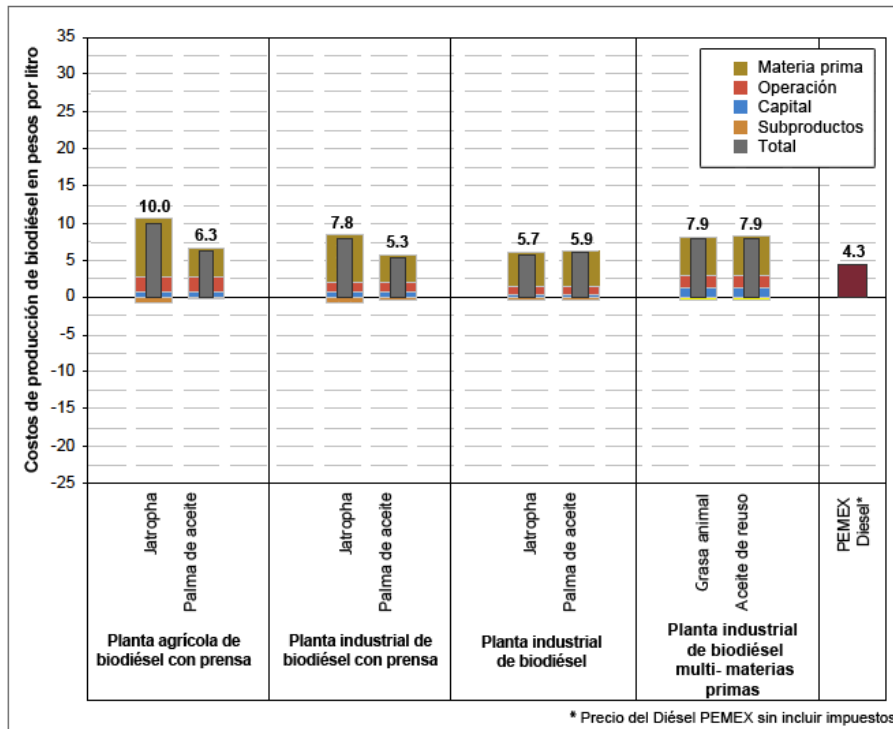
Figura 2. Precio del biodiesel con respecto al diésel en Colombia.



Fuente: Federación Nacional de Biocombustibles. Disponible en: <http://www.fedebio.combustibles.com/>

En un estudio realizado en México y que se presentan a continuación, se puede observar que el precio del biodiesel se debe en su gran mayoría al costo de su materia prima.

Figura 3. Costos de producción de biodiésel en pesos por litro en México.



Fuente: Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. México. Disponible en: <http://www.bioenergeticos.gob.mx/bio/index.php/biodiesel/costos-del-proceso-de-produccion.html>

1.3. JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

Es necesario buscar nuevas tecnologías y materias primas que permitan obtener un biodiesel limpio y apto para su mezcla con diésel, pues esto proporciona beneficios de tipo:

- Ambiental
- Social
- Económico

Que justificaran su implementación.

1.3.1. Ambiental. Dadas las tendencias mundiales de implementar los biocombustibles, se inicia la reglamentación del uso de un porcentaje de biodiesel en el diésel que se pone a la venta en Colombia, más exactamente para el departamento de Santander el Ministerio de Minas y Energía, bajo la resolución número 181120 de junio 28 de 2010, establece que el porcentaje de biodiesel en la mezcla debe ser de un 10% (B10), lo cual según un estudio realizado por la Universidad del Norte, y que se presenta en el documento “Emisiones gaseosas y opacidad del biodiesel de palma” las emisiones de Monóxido de carbono (CO) se reducen en un 8,9% y las emisiones de Dióxido de carbono (CO₂) en un 1%, estos valores pueden no parecer muy altos, pero se debe recordar que estos datos son solo para una mezcla con 10% de biodiesel y que a medida que aumenta la proporción del biodiesel las emisiones de estos gases se reduce aún más¹⁷.

También se debe mencionar que el beneficio ambiental no solo se ve reflejado con el uso de los biocombustibles, también se ve reflejado en su producción; según un estudio publicado por Erik J. Nelson, de la Universidad de Minnesota, en su documento “*Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels*”, las emisiones de gases de efecto invernadero son reducidas en un 41% en la producción e implementación del biodiesel, comparado con los combustibles de orígenes fósiles. En este mismo estudio se menciona que una de las ventajas ambientales que posee el biodiesel es que es una fuente de energía reciclable y, por lo tanto, inagotable.

1.3.2. Social. Siendo Colombia un país con características óptimas para la producción de palma africana y con ello la ventaja de producir Biodiesel, en búsqueda de llegar a ser uno de los grandes productores a nivel mundial

¹⁷ TYLER, Nick “Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia”. Universidad de los Andes-Colombia, University College London-Reino Unidos, Abril de 2013, p. 31.

asegurando su contenido alimentario, se ha venido desarrollando un programa de biodiesel por parte de Ecopetrol. Donde el gobierno incentivo a la comunidad empresarial, en la implementación de cultivos y la producción de biocombustibles, cumplimiento con las metas del gobierno en cuanto al uso de energías alternativas, así generar nuevos empleos, motivando a la investigación acerca de la estructura y el comportamiento de la cadena productiva de manera que se puedan encontrar los problemas presentes en la actualidad.

1.3.3. Económica. Existen ciertas implicaciones económicas en la utilización de biodiesel, algunas de las ventajas que ofrecen son obtener una mejor seguridad energética y así disminuir la dependencia de los combustibles fósiles. Su uso también reduce los costos de importación de países con déficit energético y ofrece una mejor balanza comercial.

Además el uso de biodiesel ayuda a generar desarrollo y empleo en zonas apartadas, mediante el aprovechamiento de tierras las cuales no son destinadas al sector agrícola y para garantizar esto, se dan beneficios a las entidades que produzcan biocombustibles, como lo establece en Colombia las leyes 788 de 2002¹⁸ y 939 de 2004¹⁹, que contemplan exenciones tributarias, la ley 1111 de 2006²⁰ que establece una deducción del impuesto de renta en un 40% de las inversiones en activos fijos reales productivos en proyectos agroindustriales²¹.

¹⁸ COLOMBIA. MINISTERIO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES (**MinTIC**). Ley 788. (27, diciembre, 2002). Por la cual se expiden normas en materia tributaria y penal del orden nacional y territorial; y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2002. No. 45.046.

¹⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Ley 939. (31, diciembre, 2004). Por medio de la cual se subsanan los vicios de procedimiento en que incurrió en el trámite de la Ley 818 de 2003 y se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en Motores diésel y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2004.

²⁰ COLOMBIA. MINISTERIO DE COMERCIO INDUSTRIA Y TURISMO. Ley 1111. (27, diciembre, 2006). Por la cual se modifica el estatuto tributario de los impuestos administrados por la Dirección de

Impuestos y Aduanas Nacionales. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2006. No. 46494.

²¹ TYLER. Op. Cit., p. 3

2. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

OBJETIVO GENERAL

En concordancia con la misión de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander de; fomentar una cultura enfocada al desarrollo de procesos tecnológicos que permitan disminuir el impacto ambiental y la conservación de los recursos naturales; con la investigación y aplicación de tecnología para el desarrollo de un prototipo de obtención de biodiesel a partir de aceite de palma y metóxido de sodio (Alcohol + NaOH) por medio de cavitación hidrodinámica.

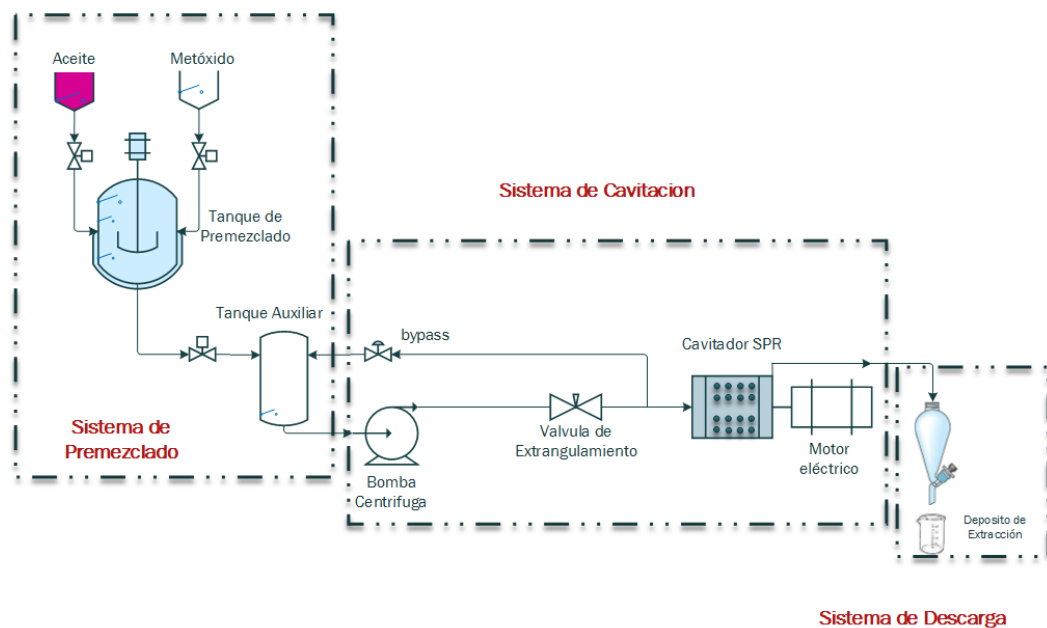
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseño y construcción de un prototipo para obtención continua de biodiesel mediante cavitación hidrodinámica. Que constará:
 - **PREMEZCLADO.** Este subsistema contara con dos tanques de suministro, servo válvulas, sensores de nivel y un tanque de premezclado el cual contara con una agitación constante, y medidores de nivel para garantizar su correcto control. Los dos tanques de suministro manejaran un volumen de 5 [L] y 2,5 [L] los cuales almacenaran aceite y Metóxido respectivamente. Las servoválvulas realizaran la mezcla apropiada para garantizar una relación molar de 3:1 Alcohol-Aceite. El tanque de premezclado manejara un volumen de 3 [L] garantizando el nivel mínimo para su proceso continuo.
 - **CAVITACIÓN:** El subsistema de cavitación contará con una bomba la cual me permita impulsar el fluido con un caudal de 4 [L/h] a través de los sistemas

de cavitación, una válvula de estrangulamiento y cavitador hidrodinámico tipo SPR (Shockwave Power Reactor), el cual tendrá un volumen de 500 [mL].

- **DESCARGA.** El subsistema de descarga contempla un embudo de separación con una capacidad de 1 [L], el cual buscara separar la glicerina del biodiesel.

Figura 4. Esquema general del sistema.



- Comparar el tiempo de reacción usando el sistema de cavitación hidrodinámica, con una transesterificación convencional que según la literatura consultada no presenta cambios significativos luego de 75 minutos.²²

²² AVELLANEDA VARGAS, Fredy. Producción y caracterización de biodiésel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal. Tesis Doctoral. Ingeniería Química. Tarragona. Universitat Rovira I Virgili. Departamento de Ingeniería Química. 2010.p225

- Medir el porcentaje de metilésteres, acidez, densidad y punto de nube, del combustible obtenido a partir aceite de palma y metóxido de sodio por cavitación hidrodinámica.

3. PRODUCCIÓN DEL BIODIÉSEL.

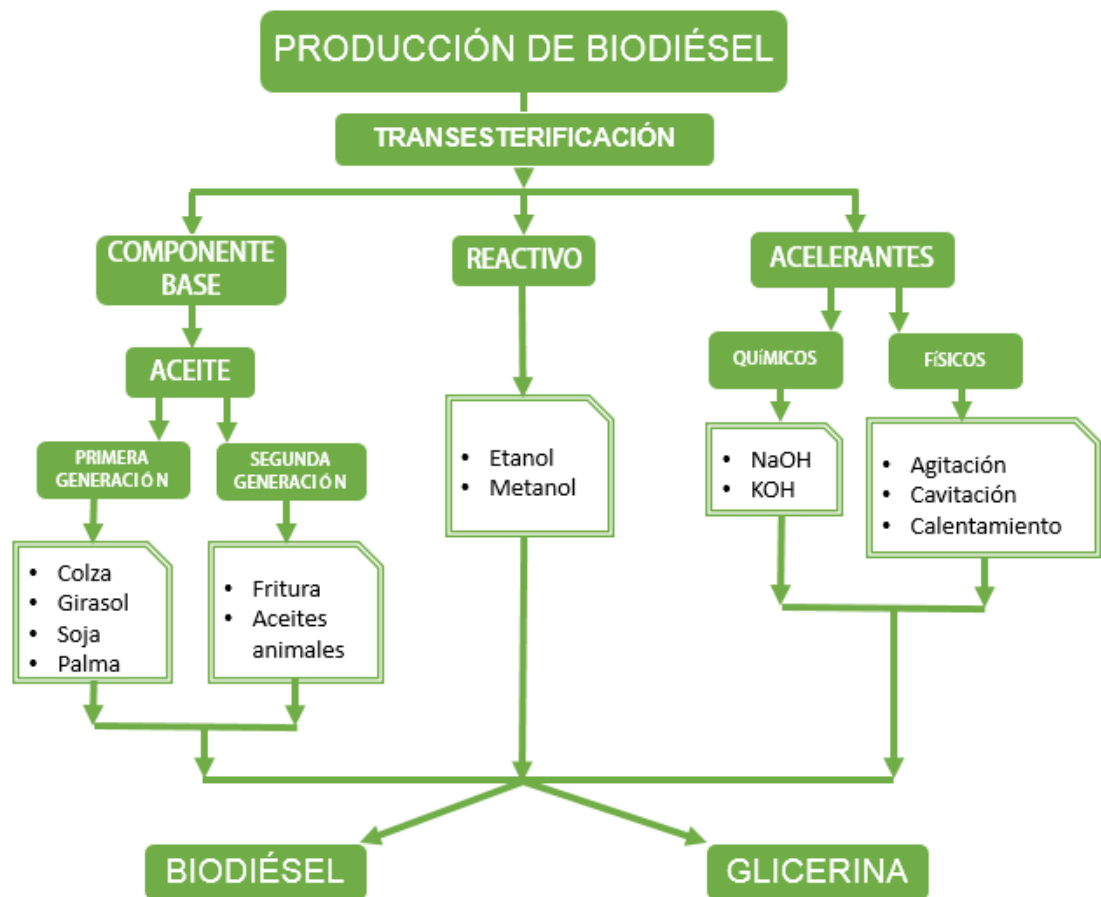
Para producir biodiésel se requiere una mezcla de varios componentes, su materia base es el aceite, el cual está formado por cadenas de ácidos grasos que forman los triglicéridos. Éste debe mezclarse junto con un alcohol para obtener los ésteres alquílicos.

Adicional a esta mezcla es indispensable usar acelerantes químicos y físicos. Los acelerantes químicos suelen ser catalizadores básicos como el hidróxido de sodio (NaOH) y/o potasio (KOH). Y como acelerantes físicos se encuentra el calentamiento, la agitación y la cavitación.²³

Del resultado de la mezcla de aceite con alcohol y la presencia de los acelerantes, se obtiene el biodiésel como producto principal y la glicerina como subproducto.

²³ Ibíd. p. 62.

Figura 5. Producción de biodiésel.



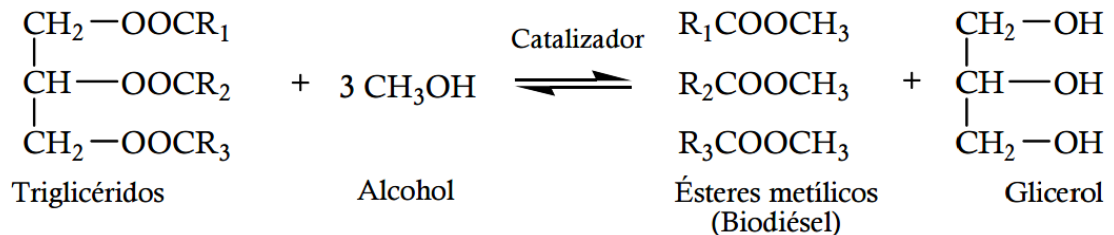
3.1. TRANSESTERIFICACIÓN

El método más usado para la obtención de biodiesel es la reacción de transesterificación de aceites y grasas con alcoholes de bajo peso molecular (generalmente metanol), en presencia de un catalizador (usualmente hidróxido de sodio).

La transesterificación consiste en el desplazamiento del alcohol de la estructura del triglicérido mediante la incorporación de otro alcohol de cadena corta. Este

desplazamiento supone la separación de las tres moléculas de ácidos grasos que forman el triglicérido, quedando éstas como esteres (biodiesel).²⁴

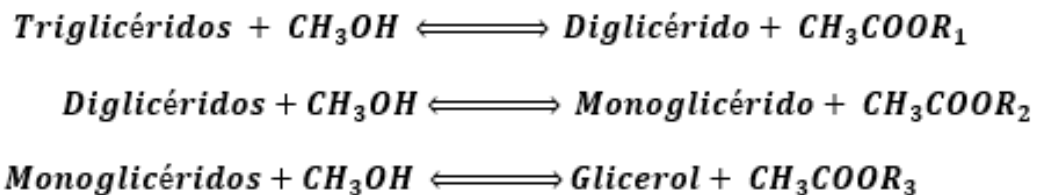
Figura 6 Reacción de transesterificación de un triglicérido genérico.



R₁, R₂, R₃: Cadenas alifáticas

El proceso de transesterificación ocurre mediante el desarrollo de tres reacciones en serie respecto al aceite y en paralelo respecto al alcohol, las cuales son reversibles, como se puede observar en la figura 7.

Figura 7 Pasos del proceso de reacción de transesterificación.



Los triglicéridos son convertidos en diglicéridos, a continuación, los diglicéridos se convierten en monoglicéridos y finalmente en glicerina. Estequiométricamente se necesitan tres moles de metanol por cada mol de aceite, pero para poder garantizar una reacción completa, en la producción de biodiesel se usa una relación de 6 moles de metanol por cada mol de aceite.²⁵

²⁴ SANCHEZ SANCHEZ, Nuria. Obtención de biodiesel mediante transesterificación de aceite de ricino y grasas animales. Aprovechamiento energético de la glicerina como subproducto del proceso. Tesis doctoral. España. Universidad de Extremadura. 2005. p. 353.

²⁵ Ibíd. p.27

Cuando la transesterificación se realiza con metanol e hidróxido de sodio, ésta se denomina transesterificación homogénea básica.

3.2. COMPONENTES BASE

En la producción de biocombustibles siempre es utilizada una fuente renovable y biodegradable, en el caso del biodiesel se usa normalmente aceites oleaginosos y aceites derivados de otros procesos como lo son de fritura, para ello existe una pequeña clasificación de las materias primas, en primera y segunda generación.²⁶

3.2.1. Aceites vegetales y tradicionales (primera generación). La primera generación son aceites extraídos de semillas oleaginosas como lo son el aceite de soya, palma, colza, girasol entre otras, hay más de 300 especies de plantas que pueden producir aceite apto para la elaboración de biodiésel.²⁷

El aceite de palma se obtiene del mesocarpio de la fruta, es uno de los aceites más usados para la producción de biodiésel y del cual se obtiene cerca de un 45% de los aceites de cocina.

Los principales parámetros por los cuales este aceite es seleccionado como alternativa de materia prima para la elaboración de biodiésel, se debe a dos factores importantes:

- Su producción está ya estandarizada y es la que genera mayor aceite por hectárea, además de tener una vida más prolongada.
- Las cadenas carbonadas y ácidos grasos que presenta, son los ideales para la fabricación de biodiesel.

²⁶ CARDENAS VARGAS, Rogelio. Biorefinerías para la producción de biocombustibles de segunda generación. Tesis Doctoral. España. Universidad Politécnica de Valencia. Diciembre 2012. p. 7.

²⁷ *Ibíd.* p.1

3.2.2. Aceites alternativos (segunda y tercera generación). En la segunda generación de materia prima encontramos los aceites alternativos o desechos de otros procesos, como lo son en este caso los aceites de fritura, algunas grasas animales y microalgas, el uso de estos aceites se encuentra aún en estudio y son bastante prometedores, ya que sus rendimientos son mayores respecto a las materias primas de primera generación, además que su costo es menor por ser desecho o producto de otro proceso industrial²⁸.

3.3. REACTIVOS

En la producción de biodiésel siempre se encuentra presente un alcohol el cual intercambia el grupo alcoxi con el aceite, permitiendo de esta manera formar los esteres alquílicos²⁹.

3.3.1. Metanol. El Metanol o alcohol metílico CH_3OH a condiciones atmosféricas y temperaturas ambientales presenta una condición de líquido fluido e inflamable, siendo su punto de ebullición $65\text{ [}^\circ\text{C]}$. Es el alcohol normalmente usado para realizar la transesterificación debido a que rompe con mayor facilidad los enlaces que forman los triglicéridos.³⁰

²⁸ *Ibíd.* p.3.

²⁹ CANTERO VARGAS, Katty y ARCHILA, John Faber. Simulación de un Proceso de Producción de Biodiesel por Lotes a Través de Medios Químicos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2010. p.39.

³⁰ *Ibíd.* p.40.

3.4. ACELERANTES

Los acelerantes pueden ser de tipo químico o físico, es de suma importancia que estén siempre presentes pues si no la reacción sería mucho más lenta y presentaría posibles emulsiones.³¹

3.4.1. Acelerantes químicos. El hidróxido de sodio (NaOH) es uno de los catalizadores más usados en la industria por la relación de peso molar baja, lo que indica una menor cantidad de gramos para obtener el número de moles necesario en una reacción, su peso molar es 40 [gr/mol].³²

3.4.2. Acelerantes físicos. Son procesos controlables que influyen de manera directa en la reacción de transesterificación aportando energía y, logrando de esta manera la disminución en tiempos de reacción.

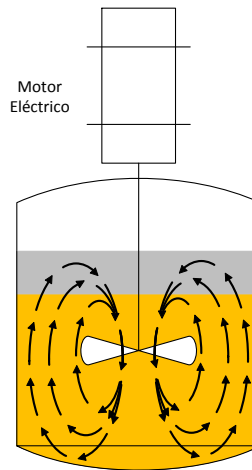
3.4.2.1. Agitación. El proceso de transesterificación necesita de una constante agitación puesto que, al inicio de la reacción el aceite y el alcohol forman dos fases inmiscibles. Dado que la concentración de triglicéridos en el metanol es poca, el rendimiento inicial de la reacción es baja. Es por este motivo que al inicio, la reacción es controlada por el mecanismo de transferencia de materia, es allí que la agitación se hace muy importante pues aumenta el grado de mezcla entre las dos fases y permite acelerar la velocidad de la transesterificación.³³

³¹ *Ibíd.* p.38.

³² CANTERO VARGAS. *Op. cit.* p.29.

³³ DINIS VICENTE, Ana. *Obtención de biodiesel por transesterificación de aceites vegetales: nuevos métodos de síntesis.* Tesis doctoral. España. Universidad de Extremadura. 2012. P. 323.

Figura 8. Patrones de flujo de agitación axial.



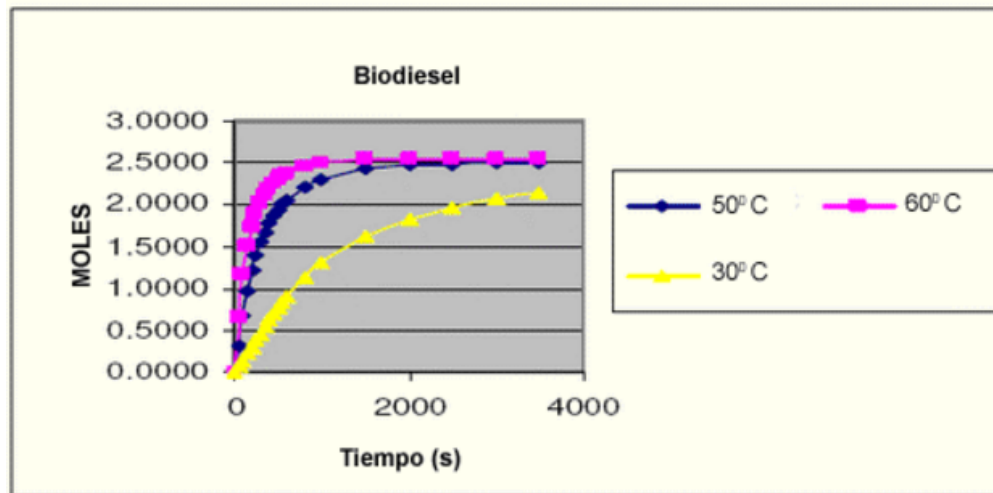
3.4.2.2. Cavitación. Se define como la formación y colapso de burbujas de vapor en un fluido y es causado por el descenso local de la presión por debajo de la presión de saturación del fluido a la temperatura del líquido (presión de vapor).³⁴ Cuando la cavitación es producto de una fuerza mecánica, el fenómeno se denomina cavitación hidrodinámica.

Su influencia en la transesterificación está relacionada con la liberación de energía producto de la implosión de las burbujas, lo cual permite que se rompan los enlaces del componente base y el reactivo, de esta manera se acelera la reacción.

3.4.2.3. Calentamiento. La temperatura a la que usualmente se lleva el proceso convencional de transesterificación está limitada por la temperatura de ebullición del alcohol (60°C cuando se usa metanol). El rendimiento de la reacción es directamente proporcional a la temperatura del medio, puesto que la disminución de la viscosidad del aceite.

³⁴ CRUZ, Franco. Análisis de las variables de la cavitación en bombas centrífugas horizontales. Trabajo de grado. Ingeniero Mecánico. México D.F. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. 2013. p.2.

Figura 9. Efecto de la temperatura en la transesterificación.



Fuente: DÍAZ GARCÍA, Armando y SOTOLONGO PÉREZ, José. Simulación digital de la reacción de transesterificación. Cuba. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar22/HTML/articulo02.htm>

Sin embargo es importante tener en cuenta que si la temperatura se lleva por encima de un punto óptimo, la conversión de biodiesel disminuye ya que las elevadas temperaturas aceleran la reacción de saponificación de los triglicéridos.³⁵

3.1.4. Subproducto. El único derivado secundario del proceso de transesterificación es la glicerina. Este es un alcohol con tres grupos hidroxilos (OH), es usado en procesos industriales para la obtención ceras, lacas, jabones.³⁶

3.5. MÉTODOS INDUSTRIALES DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

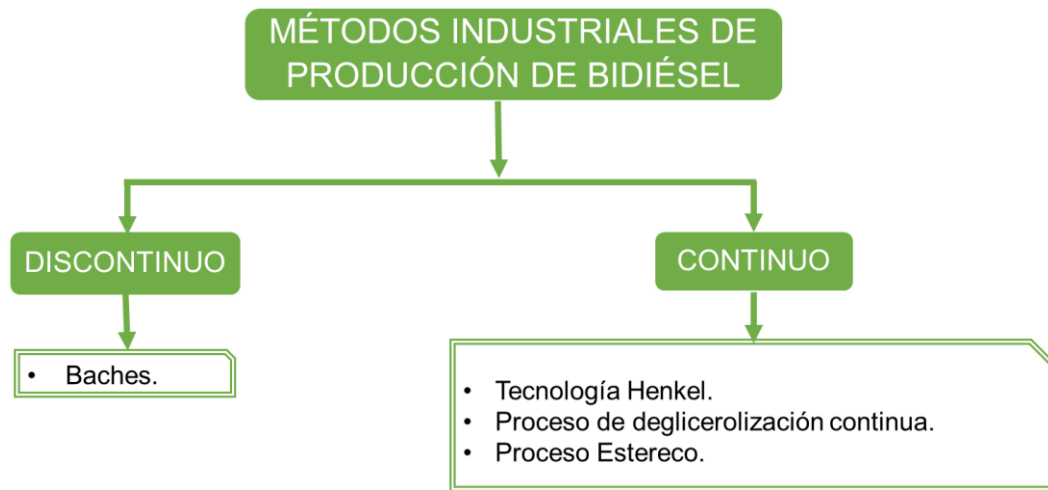
Los equipos convencionalmente usados en el proceso de producción de biodiesel son reactores, bombas, tanques con agitación, centrífugas, y tanques de

³⁵Darnoko y D. Zhu. Kinetics of Palm Oil Transesterification in a Batch Reactor, JAOCS, vol. 77, No. 12, p. 1263-1267, 2000.

³⁶ CANTERO VARGAS. Op. cit. p.40.

almacenamiento, entre otros. Pero es precisamente en el reactor donde se da la reacción química de transesterificación, estos reactores pueden diseñarse para operación de manera discontinua o continua³⁷.

Figura 10 Métodos industriales de producción de biodiésel.

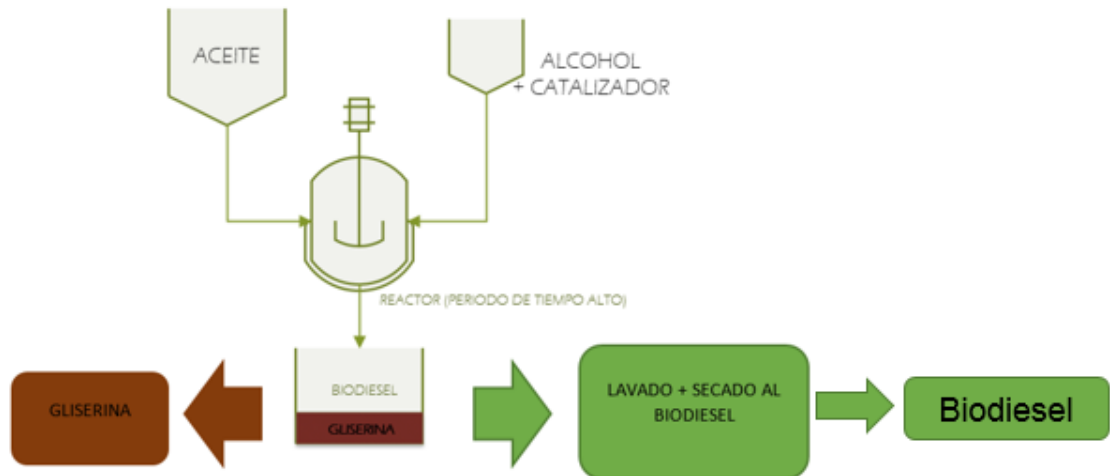


3.5.1. Proceso discontinuo para la obtención de biodiésel. El método de producción discontinuo más importante es el método por baches, su característica principal es que la reacción ocurre en un reactor estático, donde los tiempos de permanencia pueden llegar a alcanzar los 90 minutos. En el caso de la producción de biodiesel se da mediante la mezcla de aceite, alcohol y un catalizador como se observa en la figura 11. Entre sus desventajas se encuentran los altos tiempos de reacción y que al ocurrir una falla en el proceso causará la pérdida total del biodiésel.³⁸

³⁷ CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL DE LA BIOTECNOLOGÍA Y PRODUCCIÓN LIMPIA CORPODIB. Estado del arte de las tecnologías de producción de biodiesel, [en línea]. [Fecha de consulta 5/09/2016]. Disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/Biodiesel/Capitulo%207.pdf>

³⁸ CANTERO VARGAS. Op. cit. p.39.

Figura 11 Proceso convencional de obtención de biodiesel.



3.5.2. Proceso continuo para la obtención de biodiesel. Un proceso de producción continuo es aquel en el cual la reacción se da de manera paralela con el transporte de la mezcla, de tal forma que se garantice un suministro constante de biodiésel. Una manera de poder garantizar un proceso continuo es realizando una variación del proceso por baches, en el cual se hace uso de reactores agitados en serie como el caso de la tecnología Henkel, el proceso de desglicerolización continua y el proceso de producción Estereco.³⁹

La principal desventaja es que la reacción sigue ocurriendo en reactores estáticos y en caso de falla en tan solo un reactor ocasionaría la pérdida del biodiésel teniendo en cuenta que es un proceso en serie.

³⁹ CONVENIO INTERINSTITUCIONAL DE COOPERACIÓN UPME-INDUPLAMA-CORPODIB. Op. cit. p.332-335.

3.6. NUEVAS TECNOLOGIAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

Hoy día surge la necesidad de innovar en la búsqueda de obtener biodiésel a un bajo costo y cortos tiempos de producción. Es por esta razón que surge el estudio de dispositivos que aceleren de manera notable la reacción de transesterificación tales como: reactores supercríticos, reactores de ultrasonido, microondas y reactores con cavitación hidrodinámica.

Un dispositivo usado en la cavitación hidrodinámica es el reactor por ondas de choque, en el cual ocurren procesos en sinergia de calentamiento, agitación y cavitación.⁴⁰

3.6.1. Reactor por ondas de choque (SPR). Éste es un dispositivo tipo rotor-estator, cuya tecnología se basa en un rotor con cavidades que hacen girar un fluido de trabajo. Este diseño permite que un flujo continuo de líquido se reponga en las múltiples cavidades, es decir que no ocurra estancamiento cuando este rotor gira.⁴¹

Figura 12. Reactor por ondas de choque (SPR)



⁴⁰ HAO FENG. Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing. Washington: Springer, 2011. p. 190.

⁴¹ Ibíd. p.193.

Los principales parámetros que influyen en la operación son los siguientes:

1. La velocidad del rotor.
2. Diámetro del rotor.
3. Caudal de flujo en el SPR.
4. Propiedades de líquido, por ejemplo, resistencia a la tracción, peso específico.
5. Geometría interna SPR.

Un resumen de las relaciones entre estos parámetros se observa a continuación. Con todas las demás variables constantes restantes:

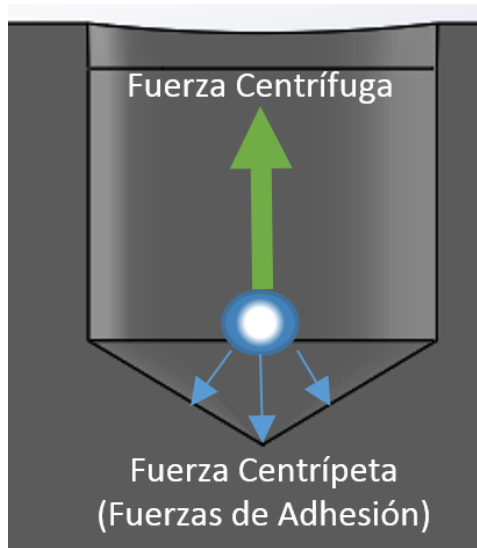
Tabla 2. Variación de Parámetros en SPR

↑Velocidad de Rotación	↑ Salida de Calor
↑Diámetro del Rotor	↑ Salida de Calor
↑Caudal	↓ ΔT
↑Resistencia a la tensión	↑ Salida de Calor
↑Peso Específico del fluido	↑ Salida de Calor

3.6.1.1. Cavitación. La cavitación es producida por las fuerzas centrífugas que se contrarrestan con las fuerzas centrípetas en el interior del orificio. Las fuerzas centrífugas son ocasionadas por la velocidad del rotor, las cuales inducen a que el fluido quiera salir y, las fuerzas centrípetas están relacionadas con las fuerzas de adhesión del fluido en la parte inferior de los orificios, las cuales impiden la fuga del fluido.⁴²

⁴² *Ibíd.* p. 195.

Figura 13. Fuerzas en los orificios del rotor.



La cantidad de energía necesaria para que ocurra una cavitación inminente, está relacionada con la resistencia a la tracción o la tensión máxima que un fluido puede soportar sin que se rompa. El estiramiento producto de las fuerzas centrífuga y centrípeta crea una zona de baja presión en la parte inferior de los agujeros. Con el tiempo, las zonas de baja presión generan las cavidades que se expanden y colapsan, liberando una gran cantidad de energía mecánica, propagándose en forma de una onda de choque.⁴³

El colapso asimétrico de las burbujas logra afectar las condiciones de contorno entre las fases de aceite y metanol lo que causa la emulsificación de estos, llevando a una mezcla intensa de los reactivos en la interface.⁴⁴

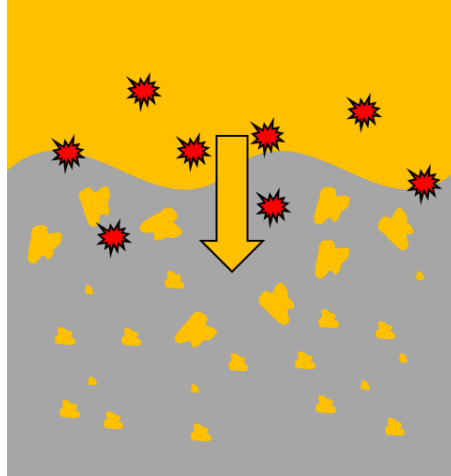
Este aumento de la velocidad de la reacción también es favorecido por el aumento de temperatura que causa la cavitación, por lo cual es posible reducir los requisitos

⁴³ *Ibíd.* p. 194.

⁴⁴ Neto da Silva, F., Salgado Prata, A., Rocha Teixeira, J., *Technical feasibility assessment of oleic sunflower methyl ester utilization in Diesel bus engines*. Citado por VICENTE PARDAL, Ana. Op. cit p. 42.

de funcionamiento del sistema de manera global, en términos de temperatura, tiempo y presión.

Figura 14. Transferencia de materia en la interface por efecto de la cavitación.



El colapso de la burbuja promueve la incursión de los triglicéridos en el metanol, debido al rompimiento de la interface que existe entre estos.

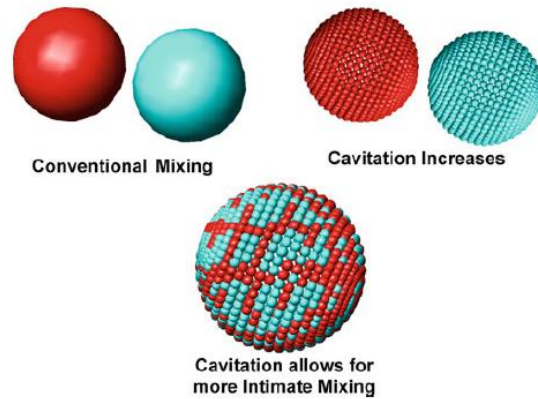
3.6.1.2. Calentamiento. Se produce un aumento en la temperatura del fluido al pasar por el cavitador SPR, este es causado por la liberación de energía durante la implosión de las burbujas en el fluido, al ser esta liberación uniforme por efectos de la agitación, no existe un gradiente de temperatura, es decir que no hay puntos calientes ni fríos.⁴⁵

3.6.1.3. Agitación. Cuando la cavitación ocurre con una frecuencia de giro alta se genera una mezcla bastante intensa debido a la liberación de energía aplicada a un volumen limitado de líquido. Cuando las burbujas producto de cavitación colapsan y producen ondas de choque, las poderosas fuerzas que se generan cortan el fluido

⁴⁵ HAO FENG. Op. Cit. p. 197.

en tamaños microscópicos. Esto aumenta el área de contacto superficial entre los líquidos y gases que se deben mezclar, lo que maximiza la eficiencia del proceso.⁴⁶

Figura 15 Comparación de la mezcla con el método tradicional



Fuente: HAO FENG. Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing. Washington: Springer, 2011. p. 198.

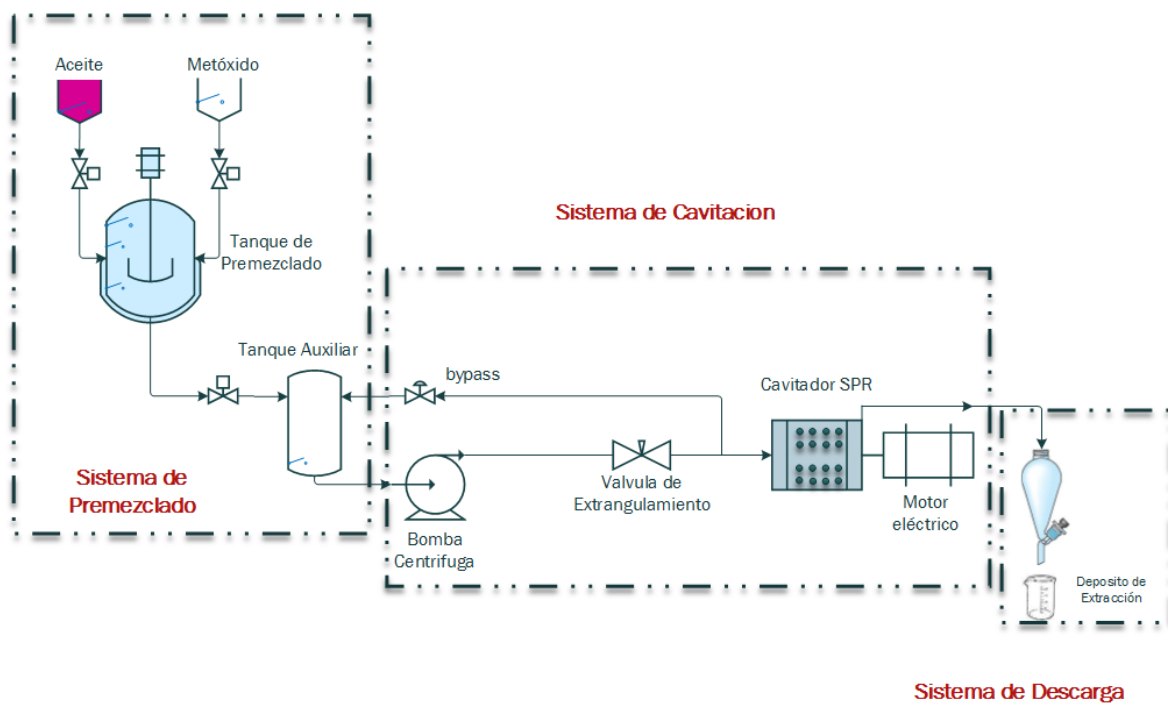
⁴⁶ HAO FENG. Op. Cit. p. 198.

4. DISEÑO EN DETALLE DEL SISTEMA DE PRODUCCION DE BIODIESEL

El prototipo consta en tres subsistemas básicos, el primero es el subsistema de dosificación en el cual los tanques de almacenamiento envían el aceite y metóxido de sodio a un tanque de premezclado en el cual se hace una agitación para tener una mezcla previa de los reactivos, luego esta mezcla pasa al subsistema de cavitación, en el que los reactivos son impulsados por una bomba de engranajes y pasan por un reactor de ondas de choque (SPR), que permite acelerar la reacción de transesterificación.

Finalmente se lleva a un subsistema de decantación el cual permite separar la glicerina del biodiesel obtenido, para su posterior proceso de lavado y secado (Ver figura 16).

Figura 16. Sistema de producción de biodiesel por cavitación hidrodinámica.



A continuación se presenta el proceso de diseño y selección de los diferentes elementos del prototipo.

4.1. DISEÑO DEL SPR

El diseño del reactor de ondas de choque (SPR) se llevó a cabo por etapas, con el fin de lograr cumplir los requerimientos y restricciones que se expondrán a continuación.

- Las revoluciones del eje no deben superar las 3600 [rpm].
- El diámetro del rotor debe adaptarse a las dimensiones disponibles en el mercado para el material prolón, siendo esta de 5 [in] de diámetro.
- La temperatura de operación no debe superar los 70 [°C].
- El caudal de operación máximo es de 2 [LPM].
- La presión de operación es la presente en la ciudad de Bucaramanga ($P_{out}=90.65$ KPa)

4.1.1. Verificación del Umbral de Blake. Se calcula asumiendo la mezcla como aceite, e ignorando la presión de vapor por estar la temperatura del sistema por debajo de la temperatura de evaporación (Ver Anexo K).

$$\Psi = \frac{P_0 - P_v}{0.5 \times \rho \times \mu^2} = \frac{90659.2}{0.5 \times 903.4 \times 0.004^2} = 12.54 * 10^6$$

- Presión en Atmosférica en Bucaramanga $P_0 = 90659.2$ [Pa]
- Densidad del aceite de palma $\rho = 903.4$ [$\frac{Kg}{m^3}$]
- Viscosidad del aceite de palma $\mu = 0.004$ [Pa * s]

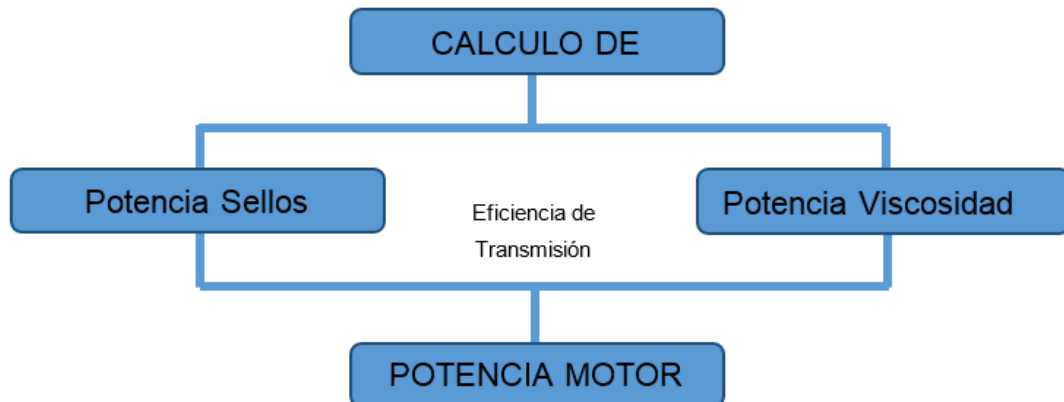
El valor obtenido es del orden de 10^6 lo que nos indica que se encuentra en total turbulencia, además, que estará ocurriendo una cavitación inminente.⁴⁷

4.1.2. Determinación de Potencia. Los factores que determinan la potencia que consume el SPR son, vencer las fuerzas viscosas del aceite con método reaccionando (el cual se aproximará como si fuera solo aceite) y las fricciones presentes en el sistema tales como los sellos mecánicos. Además de la inercia que presenta el sistema.

Para iniciar el diseño es pertinente reseñar que se realizó la selección de un diámetro tentativo de 5/8 [in] en el eje, pues este es el diámetro de los sellos mecánicos que tienen fácil disponibilidad en el mercado local, si se requiere aumentar el diámetro, se hará posterior a la fase de cálculos.

En el siguiente diagrama encontraremos el procedimiento de cálculo de potencia.

Figura 17. Diagrama del cálculo de potencia.



Los parámetros a tener en cuenta en el cálculo de potencia son:

⁴⁷ HAO FENG. HAO FENG. Op. Cit. p. 192.

- Revoluciones del eje ($RPM = 3600 [rpm]$).
- Diámetro del rotor SPR ($\phi_{SPR} = 0,1 [m]$).
- Diámetro del eje ($\phi_{eje} = 15.88 [mm]$).
- Diámetro Externo del sello ($\phi_{extS} = 30 [mm]$).
- Presión Interna de SPR ($P_{int} = 2 bar$).
- Coeficiente aproximado del sello ($\mu_S = 0,23$).
- Densidad del aceite de palma ($\rho_{oil} = 903,2 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$).

Con estos datos calculamos las velocidades lineales en los puntos de interés para la determinación de la potencia en cada punto.

$$\omega = RPM * 2 * \frac{\pi}{60} = 377 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

$$Vel_{SPR} = \omega * \frac{\phi_{SPR}}{2} = 18.35 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$V_{sello} = \omega * \frac{\phi_{extS}}{2} = 5.67 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Calculamos la Fuerza del resorte y de la fricción para cada sello mecánico.

- I. Constante del resorte: $K_R = 18 \left[\frac{Kg}{s^2} \right]$
- II. Compresión del resorte: $X_R = 0.02 [m]$
- III. Fuerza producida por el resorte: $F_{Resorte} = K_R * X_R = 0.36 [N]$
- IV. Área de contacto de sello: $A_{CS} = \frac{\pi}{4} * (\phi_{extS}^2 - \phi_{eje}^2) = 0,0005124 [m^2]$
- V. Fuerza de la presión interna: $F_P = P_{int} * A_{CS} = 102.5 [N]$
- VI. Normal a las fuerzas: $N_S = F_{Resorte} + F_P = 102.8 [N]$
- VII. Fuerza en el sello: $F_{Sello} = \mu_S * N_S = 23.65 [N]$
- VIII. Potencia del sello: $Pot_R = 2 * F_{Sello} * V_{sello} = 268.2 [W] = 0.3596 [HP]$

La mayor cantidad de potencia se invierte en vencer las inercias del sistema y en los sellos mecánicos como lo podemos ver en el resultado obtenido, esto se debe a que el material a base carbón tiene una fricción de $\mu_S = 2.5^{48}$ la cual es bastante elevada para ser un contacto directo, este coeficiente se ve afectado por la presencia de aceite, pero para los cálculos no se tiene en cuenta pues se toma como condición crítica el arranque en vacío.

$$Pot_R = 0.36 [HP]$$

Para el cálculo de la fuerza viscosa primero verificamos que el fluido se encuentra en un régimen turbulento. Para ello se debe encontrar el diámetro hidráulico siendo este la diferencia de los diámetros del rotor y la carcasa.

$$\phi_{Eq} = 0.006 [m]$$

Con este diámetro podremos calcular el Reynolds mediante la siguiente ecuación.

$$Re = Vel_{SPR} * \frac{\phi_{Eq}}{\mu}$$

Para la viscosidad del aceite de palma se realizó una comparación con la mayoría de las propiedades dispuestas en los textos además de realizarse la medición del aceite en laboratorio mediante la norma D-445.

La viscosidad dinámica de la palma es según este estudio en promedio:

⁴⁸ IJASA. DIVISION INDUSTRIAL CATALOGO SELLOS MECANICO. TIPO 21. Montevideo-Uruguay, 2014. p. 3.

$$\nu = 4.44 * 10^{-6} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

Con este dato podemos realizar el cálculo del Reynolds teniendo en cuenta la densidad del aceite de palma y obteniendo $Re=25.472$, el cual es un régimen de total turbulencia. Por lo cual se debe realizar una corrección a la viscosidad, calculándola nuevamente de acuerdo a una condición de fluido totalmente turbulento. Esta viscosidad turbulenta presenta múltiples cambios los cuales están relacionados directamente con la variación en la temperatura.⁴⁹

$$\nu_T = C * V * L$$

Donde:

- C: Coeficiente de rugosidad.
- V: Velocidad del fluido en la superficie.
- L: Longitud donde se desarrolla.

El material con el cual fue construido el rotor del SPR es el prolón por lo cual debe tenerse en cuenta su rugosidad que se asumirá como 120 debido a que no se encuentran estudios relacionados con este tipo de material y se hace la similitud respecto a los coeficientes de la ecuación de Hazen-Williams la cual encontramos en la tabla 3, asumiendo como material mampostería lisa.

⁴⁹ OROZCO, Sergio Andrés. VISCOCIDAD TURBULENTA. INTRODUCCION MOVIMIENTO TURBULENTO [online]. 2016. no. 1 [citado 2016-10-01], pp. 9-9. Disponible en: <<http://webserver.dmt.upm.es/zope/DMT/docencia/mecanica-de-fluidos-ii/material/intrturb.pdf>>. ISSN 1048-6542. 2015

Tabla 3. Coeficientes de rugosidad.

Valores del coeficiente C de la fórmula de Hazen-Williams	
Tipo de tubo	C
Tubos sumamente rectos y lisos	140
Tubos muy lisos	130
Madera lisa, mampostería lisa	120
Acero nuevo roblonado, arcilla vitrificada	110
Hierro fundido viejo, ladrillo ordinario	100
Acero roblonado viejo	95
Hierro viejo mal estado	60-80

Fuente: OROZCO, Sergio Andrés. ECUACION DE HAZEN-WILLIAMS. FUNDAMENTOS DEL FLUJO EN TUBERIAS [online]. 2016. no. 1 [citado 2016-10-01], pp. 9-9. Disponible en: <fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/flujo_entuberias/ confinado/confinado.htm>. ISSN 1048-6542. 2015

Desarrollando la ecuación de la viscosidad turbulenta se tiene:

$$v_T = C * V * L = 120 * 18.35 * \pi * 0.1 * 0.057 = 40.5 \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

Notamos que esta tiene un aumento de casi diez veces su valor nominal, por lo cual es de tener en cuenta a la hora de realizar los cálculos, además de que con ello podemos tomar bases para determinar el cambio de temperatura dentro del SPR tan solo por la fricción del sistema.

Con esta corrección calculamos la fuerza de corte como si fuese un fluido Newtoniano.

$$\mu_T = \left(\frac{v_T}{\rho_{oil}} \right)$$

$$F_{viscosa} = \mu_T * A_{flujo} * \frac{Vel_{SPR}}{\frac{0,006}{2}} = 0.1231 [N]$$

En el área de flujo se tiene en cuenta todo el ancho del SPR, este valor es bastante bajo. Este valor es de gran importancia para el coeficiente de transferencia de calor y desgaste del equipo.

Calculamos la potencia y la sumamos al valor de la fricción para obtener la potencia total.

$$Pot_{SPR} = F_{viscosa} * Vel_{SPR} = 2.378 [W]$$

$$Pot_T = Pot_{SPR} + Pot_R = 270.5 [W]$$

Como en el montaje se va tener un sistema de transmisión por correas para lograr la velocidad de los requerimientos de diseño. Además, se dispone de poca área de instalación, se realiza el cálculo de potencia asumiendo una eficiencia de transmisión del 85%.

$$\eta_T = 0,85$$

$$Pot_{Motor} = \frac{Pot_T}{\eta_T} = 318.3 [W]$$

$$Pot_{Motor} = 0.4268 [Hp]$$

4.1.2.1. Selección del motor. Calculada la potencia es indispensable seleccionar el motor para lo cual se tendrá en cuenta la disposición eléctrica la cual es 110V lo que exige que sea a una corriente monofásica. La Selección se llevó acabo en el

sitio web de motores WEG. Obteniendo como resultado un motor Monofásico para uso general IP21, el cual está regido para la norma NEMA, con una potencia de ½ [Hp] y las siguientes especificaciones:

Tabla 4. Datos técnicos motor WEG.

Referencia	NEMA 56-IP21
Potencia [Hp]	½
Velocidad Nominal [rpm]	1720
Frecuencia [Hz]	60
Polos	4
Voltaje [V]	
Masa Aproximada [Kg]	11
Factor de Servicio	1.25

Descripciones adicionales del motor ver ANEXO A.

4.1.2.2. Selección Sistema de Transmisión de Potencia. El sistema de transmisión de potencia seleccionado es de tipo flexible, por correa tipo A, debido a que en los requerimientos del prototipo la velocidad del rotor es de 3600 [rpm] y el motor seleccionado es de 1800 [rpm].

Tabla 5. Especificaciones del sistema de transmisión de potencia.

	MOTOR	SPR
Velocidad [rpm]	1800	3600
Diámetro Polea [in]	3	1.5
Numero Canales	1	
Torque [lb*ft]	0.7292	0,3646
Potencia [Hp]	0.5	

4.1.3. Diseño de las Bridas. Los diseños de las bridas se realizan de acuerdo a la presión de operación, siendo esta muy baja debido a que se realiza la descarga a una presión atmosférica, como criterio de diseño se tomó la geometría y no el espesor de las bridas. Ver Anexo C para consultar la geometría.

4.1.4. Diseño del eje. Para la determinación del diámetro mínimo del eje se realizó bajo una condición de carga dinámica con fatiga, el diseño se hizo para vida infinita (100000 ciclos). Los requerimientos de diseño están dispuestos en la tabla 6.

Tabla 6. Resistencia tracción SAE1045

CRITERIO	VALOR
Resistencia a la tracción (S_E) [psi]	95000
Punto de fluencia (S_{ut}) [psi]	60000

El material con el cual se desarrolló el eje fue acero 1045 debido a su disponibilidad en el mercado (ver Anexo D).

Antes de iniciar los cálculos es primordial tener presente los factores en el cálculo de un eje sometido a fatiga. S_E representa la corrección de la resistencia a tracción y es el producto de los siguientes elementos:

$$S_E = 0,5 * S_{ut} * CC * CL * CS * C_{SUP}$$

- Factor de confiabilidad para un 99% $CC = 0,814$
- Factor de carga para fricción $CL = 1$
- Factor de tamaño el cual se itera para ser calculado $CS = 0,879 * (\phi_{Eje})^{-0,107}$
- Factor de superficie $C_{SUP} = A * \left(\frac{S_{ut}}{1000}\right)^B$; $A = 2,7$; $B = -0,265$ para un elemento mecanizado.

- Sensibilidad a la entalla $Q = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{A_2}{R}}}$; $A_2 = 0,093^2$; $R = 0,05$; $KT = 1,89$
- Factor a la entalla $KF = 1 + Q * (KT - 1)$

$$\phi_{Eje} = \left(\left(32 * \frac{N}{PI} \right) * \sqrt{\left(\left(\left(KF * \frac{M_R}{SE} \right)^2 + \left(\frac{3}{4} \right) * \left(\frac{T_{eje}}{S_y} \right)^2 \right) \right)} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Bajo esta ecuación es que se determina el diámetro mínimo del eje tomando como factor de seguridad $N=15$ debido a ser un elemento crítico en la máquina. Con estos cálculos obtenemos un diámetro de 0.3 [in] lo que está muy por debajo del supuesto para los sellos. En conclusión, el eje dispuesto presenta un correcto dimensionamiento debido a que al corregir el diámetro nos arroja un factor de seguridad bastante elevado como lo es 6 veces el calculado inicialmente. Para ver específicamente el dimensionamiento del eje ver Anexo C.

4.1.5. Diseño del Cuerpo. El diseño de este componente se realizó teniendo la presión de operación y además, que fuese translucido para poder observar la geometría interna. Para ello se buscó un material que estuviera disponible con facilidad y fuera económico; además, de tener una buena resistencia. Por esta razón se seleccionó el acrílico para construir el cuerpo del SPR.

Se encontró disponible en un diámetro de 12 [mm] y 3 [mm] de espesor lo cual fue idóneo para realizar el diseño adicional de los demás componentes. A continuación, se verifica su resistencia mediante el cálculo de esfuerzos. Tomando como máxima presión 2 bares y con un factor de seguridad el cual se determinará.

Solo se tendrá en cuenta los esfuerzos tangenciales debido a que la compresión que sufre se ignorará, por esta ser de ajuste por tolerancia y además ser un recipiente a baja presión.

- Diámetro del Acrílico $\phi = 0.12 [m]$
- Espesor del Acrílico $t = 0.003 [m]$
- Resistencia ultima del acrílico $S_y = 3040 [MPa]$
- Presión que operación $P = 0.2 [MPa]$

$$\frac{S_y}{N} = \sigma = P * \frac{\phi}{2t}$$

Se tiene en cuenta la ecuación de esfuerzos tangenciales las cual nos arroja un factor de seguridad $N=7600$, que es más que suficiente.

4.1.6. Diseño del rotor. El diseño del rotor se llevó a cabo de una manera empírica y buscando una distribución que cumpliera las recomendaciones del texto “*Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*”⁵⁰, el cual basa sus teorías en cálculos experimentales. Este diseño es novedoso y busca principalmente que la cavitación se produzca directamente en las cavidades. La sujeción del eje se realiza por un ajuste forzado puesto que el prolón permite un poco de deformaciones plásticas.

⁵⁰ HAO FENG. Ibíd. p. 198.

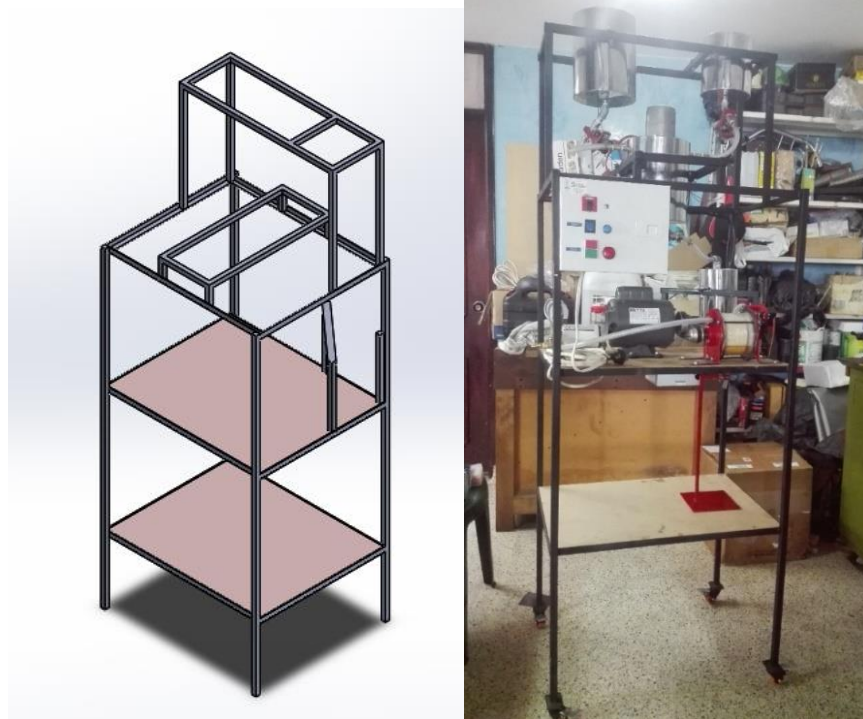
4.2. COMPONENTES

Se presentan los componentes que forman el sistema de producción de biodiesel, se presenta su especificación técnica y el motivo de su selección. Para las dimensiones y especificaciones más detalladas de los componentes remitirse al Anexo B.

4.2.1. Estructura. La estructura se desarrolló en perfilaría $\frac{3}{4}$ [in] de acero comercial, los perfiles usados fueron el cuadrado y el perfil en L, el diseño de la estructura se realizó de acuerdo a los requerimientos los cuales fueron: sujetar rígidamente los tanques, permitir el desmonte de los componentes principales como lo son la bomba, el motor y el SPR.

Como soportes se usó láminas de 16 mm de MDF para disminuir vibraciones, además se realizó el montaje de la estructura sobre cuatro ruedas siliconadas con freno para realizar el transporte del banco con facilidad. Finalmente se presenta la estructura desarrollada en CAD y en físico:

Figura 18. Estructura del prototipo.



A continuación, se muestra la especificación técnica de los perfiles de acero usados:

Tabla 7. Datos de la perfilaría de la estructura.

PERFIL	DIMENSIONES [mm]	Espesor [mm]	MATERIAL
Cuadrado	20 x 20	1.5	SAE 1010
L	20 x 20	2	A240ES

En el Anexo B encontrara las dimensiones y los detalles de su construcción, y en el Anexo E encontrara el catálogo de la perfilaría.

4.2.2. Tanques. El principal criterio de diseño son los volúmenes descritos en los objetivos, ya que la presión en este caso no jugaba un papel importante, pues los tanques no deben ser presurizados. El prototipo contempla cuatro tanques, los cuales fueron dimensionados y diseñados de la siguiente manera.

4.2.2.1. Material. El material seleccionado fue el acero inoxidable 305 debido a que cumpla con los requerimientos de ser un material inerte antes los reactivos a utilizar. Al ser una presión atmosférica se selecciona el calibre que permita su operación de soldadura, por lo cual se construyó de calibre 18. Para especificaciones técnicas de las láminas usadas ver Anexo F.

4.2.2.2. Volumen. El primer parámetro para determinar la geometría que cumpla los volúmenes de los tanques especificados en los objetivos fue el pipe comercialmente más encontrado en la industria. Los volúmenes se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Especificaciones de los tanques.

TANQUE	DIAMETRO [cm]	ALTURA UTIL [cm]	VOLUMEN [L]
Aceite	17.78	20	4.96
Metóxido	15.24	16.5	3
Pre Mezcla	17.78	20	4.96
Reserva	12.7	16.4	2

A todos los tanques se les realizó una perforación de 16 [mm] de diámetro a 3,5[cm] de altura respecto a su base para instalar un sensor de nivel, el cual se abrirá o cerrará respecto al nivel que tenga en ese momento. Al tanque de premezclado se le realizaron dos perforaciones adicionales las cuales tienen que ver con la mezcla de aceite y metóxido de sodio en las proporciones que cumpla con las especificaciones de diseño (relación molar 6:1). Estas se realizaron teniendo en cuenta los siguientes cálculos.

- Relación Molar Tomada: $R_{Molar} = 6$
- Diámetro del tanque 18 [cm].
- Altura máxima 18,5 [cm].

- Volumen del tanque: $V_{tanque} = \left(\frac{\pi}{4}\right) * \Phi_{tanque}^2 * h_{max}$
- Densidad del metanol 792 $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$
- Peso Molar del metanol $W_{Metanol} = \frac{32,04}{1000} \left[\frac{Kg}{mol}\right]$
- Densidad del Aceite 918 $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$
- Peso Molar del Aceite $W_{oil} = 0,8496 \left[\frac{Kg}{mol}\right]$

Los cálculos para las alturas de los sensores del tanque de premezclado se realizan para garantizar una relación molar de 6 a 1 por ello debemos llevar todo el contenido de aceite y metanol a moles. Para ello tenemos:

$$\begin{aligned}
 R_{Molar} &= \frac{mol_{metanol}}{mol_{oil}} & \rho_{oil} &= \frac{M_{oil}}{V_{oil}} \\
 mol_{oil} &= \frac{M_{oil}^{51}}{W_{oil}} & V_{tanque} &= V_{oil} + V_{Metanol} \\
 mol_{metanol} &= \frac{M_{Metanol}}{W_{Metanol}} & R_{Vol} &= \frac{V_{oil}}{V_{Metanol}} \\
 \rho_{Metanol} &= \frac{M_{Metanol}}{V_{Metanol}} & V_{oil} &= \left(\frac{\pi}{4}\right) * \Phi_{tanque}^2 * h_{oil} \\
 & & V_{Metanol} &= \left(\frac{\pi}{4}\right) * \Phi_{tanque}^2 * h_{Metanol}
 \end{aligned}$$

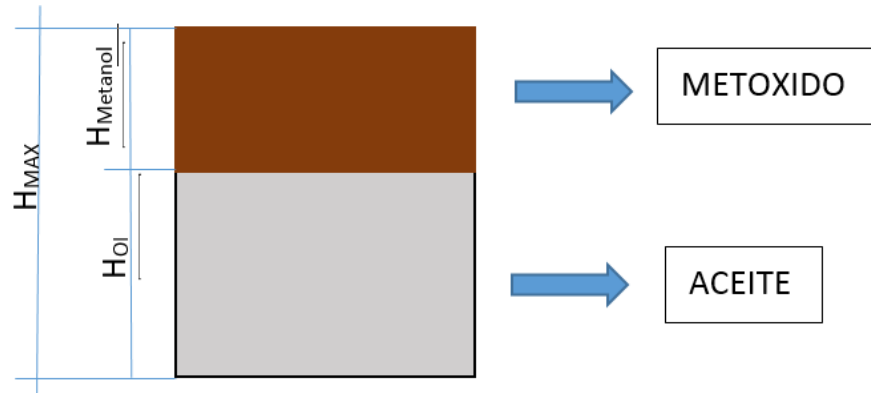
Con estos cálculos proceso a realizar la solución de ecuaciones simultaneas obteniendo como resultado. Las dos alturas la del metanol y la del aceite.

$$h_{Metanol} = 0,03794 [m]$$

$$h_{oil} = 0,1471 [m]$$

⁵¹ Ver Anexo L. Peso molar de la palma.

Figura 19. Alturas del tanque de premezclado.



4.2.2.3. Sistema de Cierre. El sistema de cierre de estos tanques se realizó por una tapa brida la cual se seleccionó por su geometría y no por su presión de operación. El sistema de cierre se lleva a cabo por un empaque de neopreno y cuatro tornillos espaciados uniformemente.

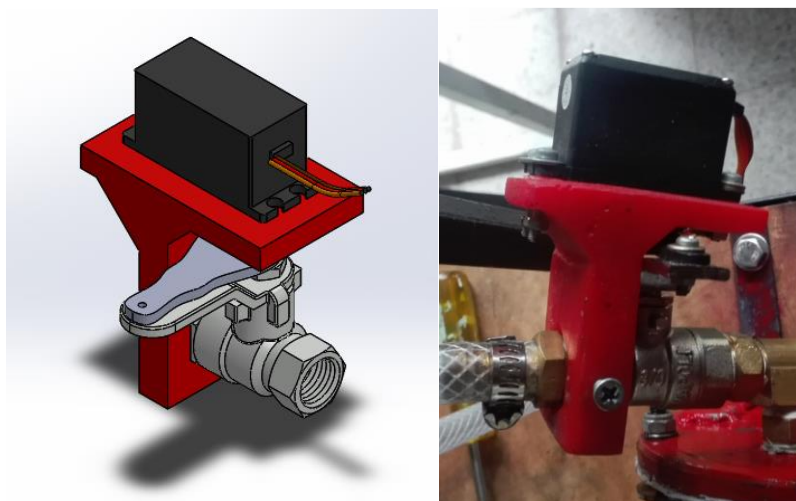
4.2.2.4. Sistema de Sujeción. El sistema de sujeción del tanque se lleva a cabo por dos pestañas soldadas a la estructura del tanque estas se colocaron de un calibre más grueso para garantizar así que la estructura se encontrara más rígida. Las dos pestañas van perforadas y sujetadas por medio de tornillos a la estructura del prototipo. Para ver detalles geométricos ver Anexo B.

4.2.3. Válvula motorizada. La válvula motorizada se construyó teniendo en cuenta que las disponibles en el mercado tienen un costo bastante elevado. Esta válvula contempla el uso de un servomotor de torque 13.5 [Kg*cm], una válvula de bola de 3/8 [in] y un soporte en resina el cual permite realizar la sujeción de los componentes y de esta manera permitir la apertura o el cierre de la válvula.

Tabla 9. Datos de la válvula motorizada.

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
SOPORTE	Realizado en resina para unir los dos componentes
VALVULA	Válvula de bola 3/8 [in] para uso general
SERVOMOTOR	Servo motor MG995 (Ver Anexo O)

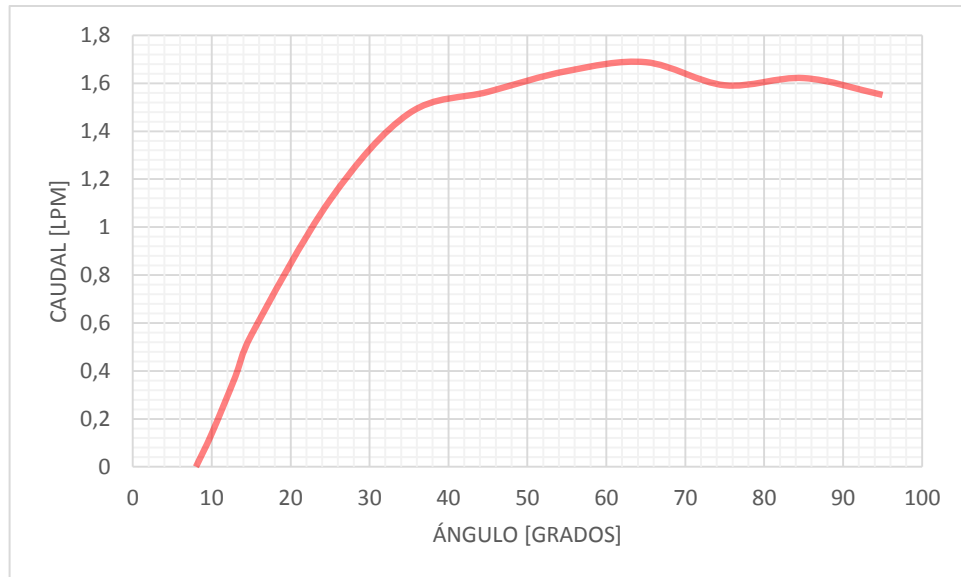
Figura 20. Prototipo CAD y físico de la válvula motorizada.



El modelo se puede observar en la figura 20. (Para datos dimensionales ver Anexo B, válvula ver Anexo G).

Esta válvula motorizada fue la utilizada en la línea de descarga del reactor por ondas de choque, para hacer la regulación del caudal de éste, para eso fue necesario hacer una caracterización del caudal, según el ángulo de apertura de la válvula, lo cual es mostrado en la siguiente curva.

Figura 21. Curva característica de la válvula motorizada de descarga.



4.2.4. Cavitador SPR. El SPR fue diseñado en el apartado 5.1. A continuación, se presenta una descripción con las especificaciones principales del elemento además de las recomendaciones en su uso.

Tabla 10. Especificaciones del cavitador SPR.

Elemento	Valor	Descripción
Volumen	0.5[L]	Es el volumen que se encuentra disponible dentro del componente.
Potencia	0.5[Hp]	Es la potencia que requiere para desarrollar la velocidad nominal.
Velocidad	3440[rpm]	Es la velocidad real a la que opera.
Tipo de Transmisión	Correa	Se usa un sistema de poleas con correa Tipo A
Caudal Máximo	2[LPM]	Caudal máximo recomendado para producir la reacción.
Temperatura máxima	100[°C]	Máxima temperatura para un rendimiento óptimo.

Figura 22. Reactor por ondas de choque (SPR).



4.2.5. Bomba de Engranajes. La selección de la bomba se hace bajo los siguientes dos parámetros: caudal de operación y viscosidad del fluido a manejar. Dados los parámetros del diseño del cavitador SPR lo ideal es usar una bomba que tenga un caudal de operación de 2 [LPM] y que pueda transportar un fluido con una viscosidad muy cercana a la del aceite de palma ($40 \text{ mm}^2/\text{s}$ a 40°C), pues este sería el punto más crítico de operación.

Ya que en el mercado no se pueden encontrar bombas de exactamente estas características, se implementó una bomba de engranajes, y se realizó un sistema por Bypass para la regulación del caudal, las especificaciones de la bomba SURGEFLO se presentan en la tabla 11.

Tabla 11. Especificaciones de la bomba Surgeflo FP-12.

SURGEFLO FP-12		
	Unidad	Valor
Voltaje	Voltios	12
Flujo	[LPM]	12
	[GPM]	3,2
Presión	[Mpa]	0,3
Altura máxima	[m]	3
Corriente de diseño	[A]	10
Corriente máxima	[A]	15
Acoples de entrada	[in]	1/2
Tamaño	[cm]	21,5*13,5*11
Peso	[Kg]	2,48
Piñones	Bronce	
Aplicaciones típicas: Transporte de fluidos (Diésel, lubricantes, líquidos viscosos)		

Figura 23. Bomba Surgeflo.



4.2.6. Válvula de estrangulamiento. Este componente es usado para regular el caudal de salida de la bomba, el principal motivo para seleccionar una válvula de aguja es que están son excelentes reguladoras de caudal y generan una gran caída de presión. La válvula que se seleccionó se muestra en la figura 24.

Figura 24. Válvula de Aguja.



4.2.7. Embudo de Separación. Este componente es primordial para realizar la última fase del proceso ya que permite retirar la glicerina formada en la reacción de transesterificación. El embudo facilita favorablemente la separación de estos dos compuestos por diferencia de densidades, como lo podemos observar en la figura 25. Para la fase de pruebas se usaron dos embudos cuyas características se presentan en la tabla 12.

Figura 25. Embudos de separación.

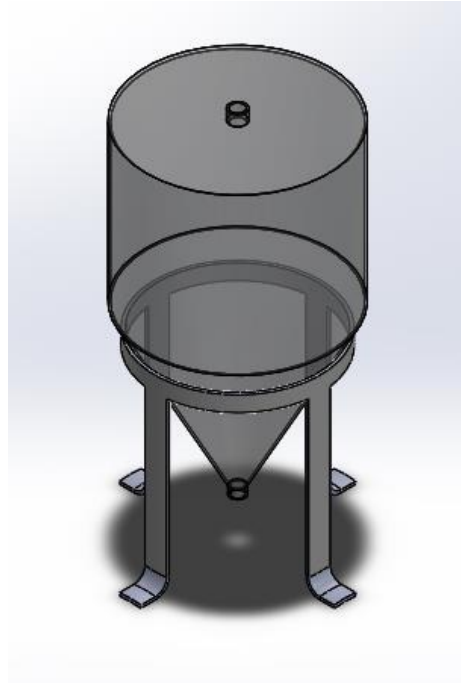


Tabla 12. Descripción de los embudos de separación.

MARCA	VOLUMEN [mL]	Tipo de apertura
GLASSCO	500	Válvula con orificio en teflón.
LMS(Germany)	1000	

Adicional al uso de estos dos embudos se realizó la construcción de un tanque de decantación de 5 [L], para poder tener la capacidad de separar el volumen total del tanque de premezclado. La especificación del calibre es igual a la de los demás tanques del prototipo. Además, su plano se encuentra en el Anexo B y en la figura 26 se observa su geometría.

Figura 26. Embudo de separación 5L.



4.2.8. Tubería. Para el sistema de transporte se usó una manguera FLEXCO de un diámetro nominal de 3/8 [in], su principal característica es que es inerte ante los reactivos utilizados, y al ser flexible ofrece una gran capacidad de ajustarse al banco.

Figura 27. Manguera Flexco de 3/8.



4.2.9. Sistema de control de llenado. Está conformado por seis sensores de nivel y cuatro servoválvulas, como se muestra en la figura 28, la función de este sistema es permitir tener una relación molar de alcohol-aceite de 6:1, y posteriormente mantener un proceso continuo hasta agotar los insumos de los tanques de almacenamiento.

La secuencia de operaciones necesaria para hacer el control está representado diagrama de Grafcet mostrado en la figura 29. Para poder entender que significa cada sigla se presenta la tabla 13, una vez realizado el diagrama de procesos se programó en el lenguaje de ARDUINO y este se muestra en el Anexo M.

Figura 28. Sistema de control.

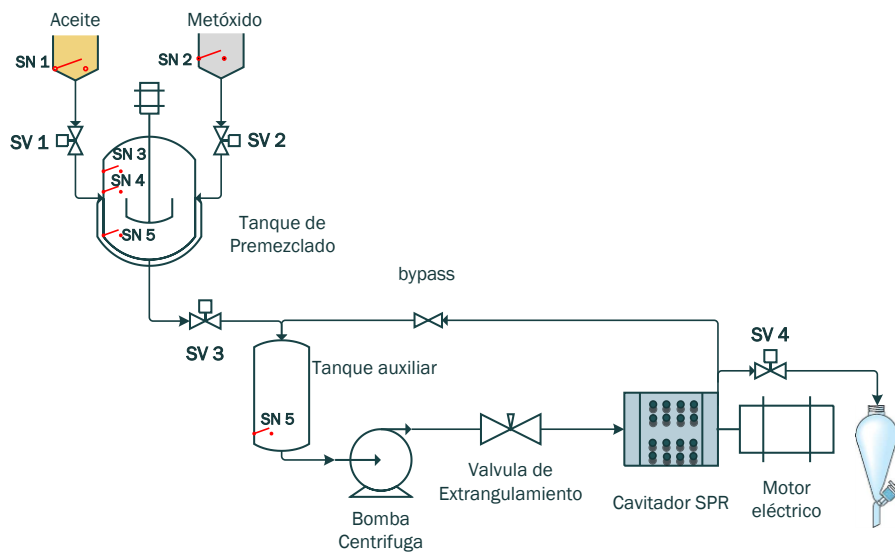
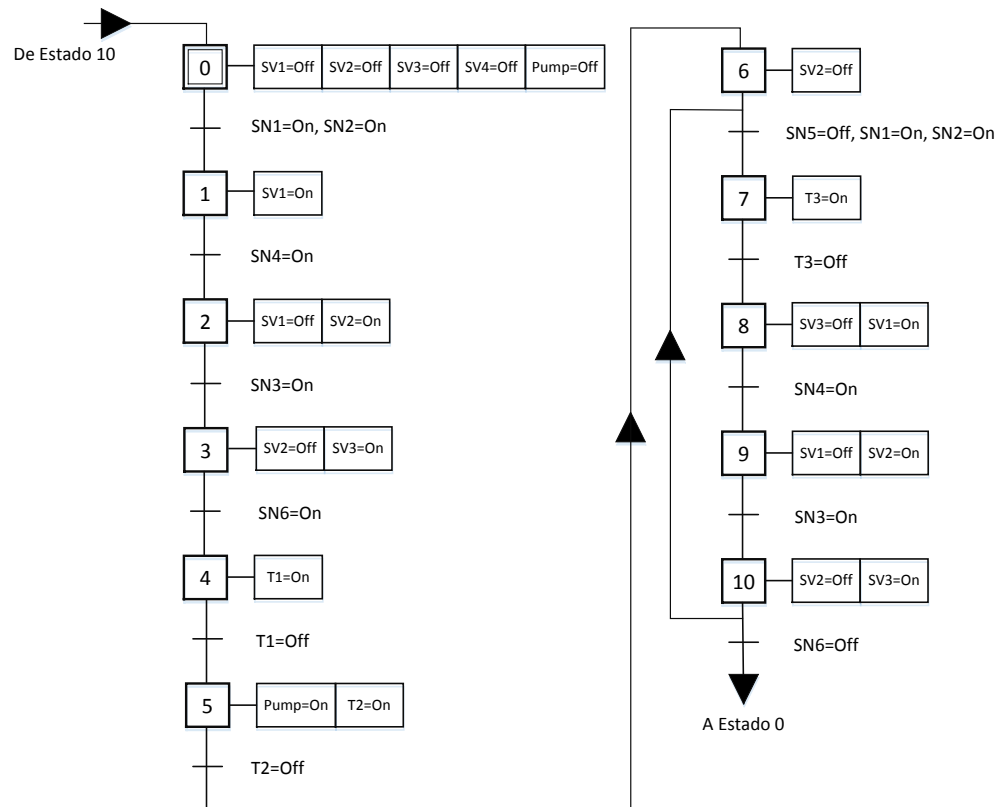


Tabla 13. Siglas del diagrama Grafcet.

		Para ARDUINO
SN1	Sensor de nivel del tanque de aceite.	i[1]
SN2	Sensor de nivel del tanque de metóxido.	i[2]
SN3	Sensor de nivel superior del tanque de premezclado.	i[3]
SN4	Sensor de nivel intermedio del tanque de premezclado.	i[4]

SN5	Sensor de nivel inferior del tanque de premezclado.	i[5]
SN6	Sensor de nivel del tanque auxiliar.	i[6]
SV1	Servoválvula del tanque de aceite.	servo1
SV2	Servoválvula del tanque de metóxido.	servo2
SV3	Servoválvula del tanque de premezclado.	servo3
SV4	Servoválvula de control y salida del cavitador SPR	servo4
T1	Temporizador de llenado del tanque auxiliar.	
T2	Temporizador de llenado del cavitador SPR.	
T3	Temporizador de vaciado del tanque de premezclado.	

Figura 29. Diagrama Grafset del sistema de control.



La secuencia consiste en determinar si existen reactivos dentro de los tanques de almacenamiento, para poder llevarlos al tanque de premezclado, una vez se ha

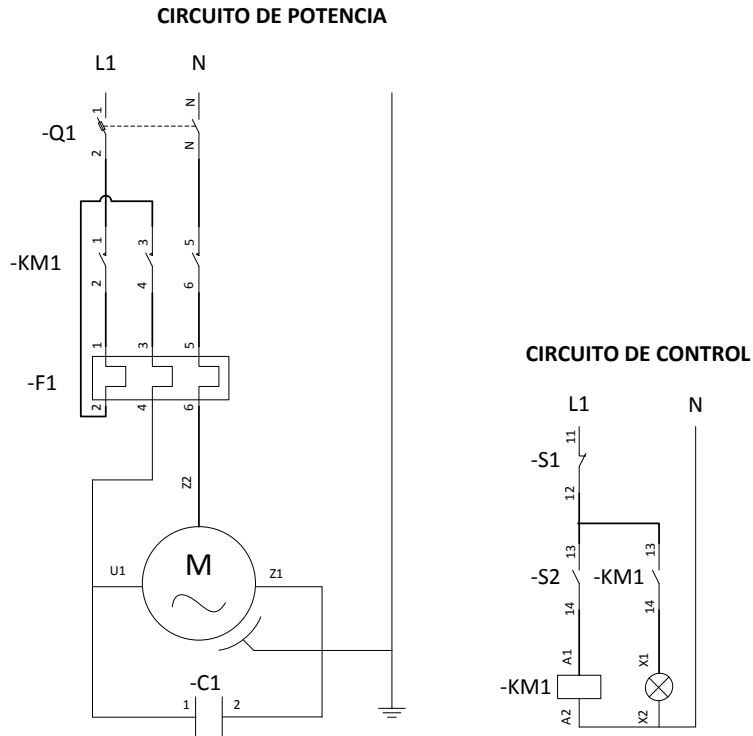
llenado el tanque de premezclado y se tiene la correspondiente relación de reactivos, estos son llevados al tanque auxiliar, de este tanque la mezcla de los reactivos es impulsado por la bomba de engranajes hasta llenar el cavitador SPR e inmediatamente se abre la válvula de control que permite regular el caudal de operación del sistema, cuando el tanque de premezclado se encuentra vacío se vuelve a hacer el correspondiente proceso de llenado del mismo, manteniendo la continuidad del proceso gracias a la reserva de reactivos que se encuentra en el tanque auxiliar. El sistema se apaga en su totalidad cuando no se encuentra más reservas en el tanque auxiliar.

4.2.10. Sistema de control de arranque motor SPR. Este sistema es básicamente el circuito de protección y control del motor que esta acoplado al cavitador SPR, a continuación, se describen los elementos utilizados y el esquema de potencia y control del mismo.

Tabla 14. Componentes del sistema de control del motor.

Cantidad	Denominación	Marca	Modelo
1	Contactador 3P 12A/AC3	CHINT	NC1-3-12-10-230
1	Relé térmico 10A	CHINT	NR2-25-4
1	Pulsador resante verde 1NA	CHINT	NP2-EA31
1	Pulsador resante Rojo 1NA	CHINT	NP2-EA41
1	Contacto 1NC para pulsador	CHINT	NP2-BE 102

Figura 30. Circuito de potencia y control del motor.



4.2.11. Sistema de agitación. Este sistema es de gran importancia, pues permite tener un premezclado de los reactivos, de tal manera que al pasar por el sistema de cavitación se pueda obtener una reacción uniforme.

4.2.11.1. Cálculo de dimensiones. Lo primero que se debe realizar para diseñar el sistema de agitación es el cálculo de las dimensiones del agitador, para ello se usan las semejanzas geométricas de un agitador tipo hélice.

Figura 31. Semejanzas geométricas de un agitador tipo hélice.

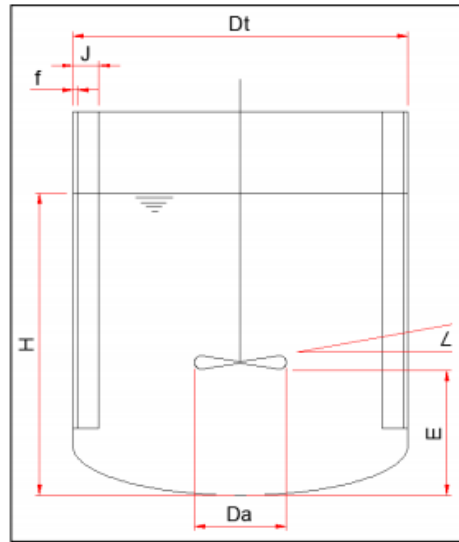


Tabla 6.2 Semejanzas geométricas impulsor tipo hélice.

$H / Dt=1$	$Da / Dt=0.33$	$E / Dt=0.33$
$\leq 25^\circ$	$J / Dt=0.1$	$f/ J=0.02$

Fuente: CASTILLO, Bladimir. Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. Universidad del Bío-Bío. Departamento de Ingeniería Mecánica. 2013. P. 29.

Se debe aclarar que para el caso mostrado en esta tesis, la altura del fluido (H) está determinada por el volumen de aceite y metanol necesario para obtener la relación de reactivos correcta, y el diámetro del tanque es normalizado de 7[in], los cuales son valores muy cercanos según recomendaciones de las semejanzas geométricas. Debido al uso de los sensores de nivel que se requieren en el tanque de premezclado, no se implementaron baffles.

Con estas especificaciones ya dadas, se calcula el diámetro de la hélice y su altura respecto al fondo del tanque.

$$Da = Dt * 0,33 \rightarrow Da = 17,78 * 0,33 = 5,87[cm]$$

$$E = Dt * 0,33 \rightarrow E = 17,78 * 0,33 = 5,87[cm]$$

Como se debe normalizar el diámetro de la hélice, se implementó una hélice de 7 [cm] de diámetro.

Figura 32. Hélice del sistema de agitación.



Tabla 15. Especificaciones geométricas del sistema de agitación.

Altura del fluido	H	18,5 [cm]
Diámetro del tanque	Dt	17,78 [cm]
Diámetro de la hélice Calculada	Da	7 [cm]
Diámetro de la hélice instalada	Dai	10 [cm]
Altura de la hélice	E	5,87 [cm]
Espesor del tanque	f	1.2 [mm]

4.2.11.2. Cálculo de potencia. Una vez calculadas las dimensiones del sistema de agitación se debe calcular la potencia consumida, para eso se deben tener en cuenta el número adimensional de Reynolds (Re).

$$Re = \frac{Nd^2\rho}{\mu}$$

$N =$ velocidad de rotación [rps]

$d =$ diámetro del agitador [m]

$\rho =$ densidad del fluido [kg/m^3]

$\mu =$ Viscosidad [Pa. s]

Se debe mencionar que los cálculos se hacen para las propiedades del aceite, pues en el tanque de premezclado el volumen es casi totalmente ocupado por el aceite, y en este punto aún no ha comenzado la reacción de manera efectiva.

$$N = 21,67 \text{ [rps]}$$

$$\rho = 918 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$d = 0,07 \text{ [m]}$$

$$\mu = 0,004 \text{ [Pa.s]}$$

$$Re = \frac{21,67 * (0,07)^2 * 918}{0,004} = 24365$$

Para calcular el consumo de potencia cuando $Re > 10000$ se usa la siguiente ecuación. Asumiendo una eficiencia del motor de 0,85 para calcular la potencia del motor se tiene.

$$P_{agi} = KT * N^3 * D_a^5 * \rho$$

$$P_{agi} = \text{potencia del agitador [watts]}$$

$$D_a = \text{diámetro del agitador [m]}$$

$$N = \text{velocidad de rotación [rps]}$$

$$\rho = \text{Densidad [kg/m}^3\text{]}$$

$$KT = 1 \text{ para agitadores de helices de mas de 5 aspás }^{52}$$

$$P_{agi} = 1 * 21,67^3 * 0,07^5 * 918 = 15,69 \text{ [watts]}$$

$$Pot_{motor} = \frac{15,69}{0,85} = 18,5 \text{ [watts]}$$

4.2.11.3. Selección del motor. Para la velocidad de rotación seleccionada se buscó un motor que tuviese la potencia necesaria para generar la agitación del sistema, el motor que se seleccionó se muestra en la figura 33 y sus especificaciones se presentan en la tabla 16.

⁵² CASTILLO, Bladimir. Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. Universidad del Bío-Bío. Departamento de Ingeniería Mecánica. 2013. P. 29.

Figura 33. Motor del sistema de agitación.



Tabla 16. Especificaciones del motor del sistema e agitación.

Oriental Motor E1535-444	
Potencia	80/85[watt]
Frecuencia	50/60 [Hz]
Voltaje	110 [V]
Rpm	1250/1500 [Rpm]
Capacitor	12 [μ F]

4.2.12. Empaques. Los empaques son requeridos para hacer un sello de los tanques y el cavitador SPR, para evitar tanto la fuga de la mezcla como de los vapores del metóxido de sodio que son tóxicos. Estos son fabricados en láminas de neopreno de 1/16 [in].

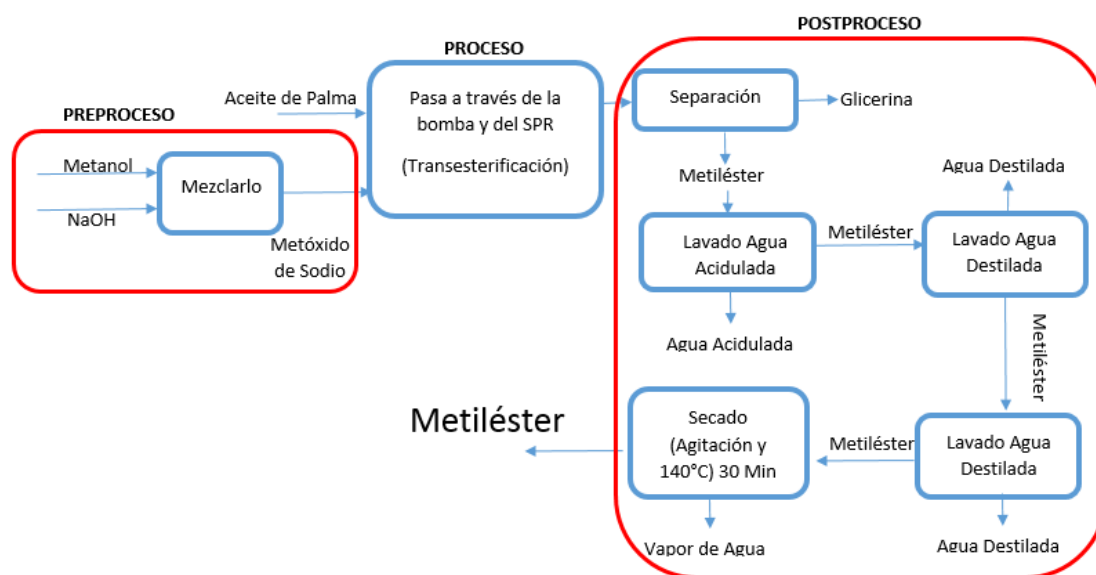
Figura 34. Empaques.



5. POST PROCESO

Posterior a todo proceso de transesterificación se debe realizar la separación en los embudos de decantación; seguido de un post proceso el cual consiste básicamente en acondicionar el biodiésel a los requerimientos básicos para su distribución y venta como biodiesel en el mercado. Los procesos de lavado y secado se realizan en cadena como lo muestra la figura 35. A continuación, se describirá cada proceso por separado.

Figura 35. Proceso general de obtención de biodiésel.



5.1. LAVADO DE BIODIÉSEL

Este proceso es primordial para eliminar impurezas, además de bajar el índice de acidez. Se describirá los tres lavados debido a que tiene unas condiciones particulares; como se verá más adelante en las imágenes. Las condiciones que se usaran en cada uno de los lavados es una temperatura del agua destilada de 60[°C] y un volumen de agua es aproximadamente la tercera parte del biodiésel.

5.1.1. Primer lavado. Inicia con la preparación de agua acidulada con ácido sulfúrico hasta obtener un pH aproximadamente de 2 en el agua, posteriormente midiendo el pH del metiléster como se observa en la figura 36. Seguido esto se realiza el lavado con el agua acidulada como lo muestra la figura 37.

Figura 36. Medición de pH al biodiésel.



Figura 37. Primer lavado del biodiésel.



Posterior a introducir el agua en el embudo de separación se realiza una agitación hasta producir una mezcla de los dos componentes uniformemente, para dejarlos separar de nuevo por un periodo aproximadamente de 15 minutos.

En este primer lavado se realiza una pequeña inspección visual en donde se nota claramente la coloración blanca en el agua, debido a que se lleva con ella

impurezas, parte de jabones, gomas, y algunos otros componentes presentes en las muestras.

5.1.2. Segundo y tercer lavado. Antes de iniciar el lavado se realiza la medición del pH al metiléster el cual debe estar en el rango de 6-7; si esto no ocurre se debe adicionar en el segundo lavado una parte de agua acidulada y otra de agua destilada. El segundo lavado y el tercer lavado se realiza como el procedimiento del primer lavado pero esta vez adicionando agua destilada en su totalidad o parcial según sea el caso. En la inspección posterior a la decantación se busca que el agua presente, tenga una coloración translúcida, debido a que si esto no ocurre se deberá realizar un cuarto lavado.

Figura 38. Segundo lavado del biodiésel.



Figura 39. Tercer lavado del biodiésel.



5.1.3. Comparación entre los lavados. Del lavado que se realiza al biodiésel depende también su porcentaje FAME el cual es crucial al momento de realizar su distribución, pues en base a él se evalúa la calidad. En la figura 40 notamos el cambio de coloración en cada lavado.

Figura 40. Comparación de los tres lavados del biodiésel.



5.2. SECADO

El procedimiento de secado se lleva a cabo para evaporar el agua producto del lavado, este proceso se hace en una plataforma de calentamiento y agitación, elevando la temperatura del metiléster hasta los 140 [°C] y agitando a 640 [rpm] por un tiempo de 30 minutos, como se observa en la figura 41.

Posterior a este tiempo se deja en una agitación hasta alcanzar una temperatura no superior a los 30 [°C] y se verifica finalmente el resultado de su acidez como se observa en la figura 42.

Figura 41. Secado del biodiésel.



Figura 42. Medición del pH al biodiésel después del post proceso.



6. PRUEBAS

En este capítulo se describirán las pruebas que se realizaron al prototipo. Además, se muestra la metodología de pruebas de caracterización de las muestras obtenidas, tales como: densidad, acidez, porcentaje de metilésteres y punto de nube.

Para el desarrollo de las diez pruebas, se tuvo como factores fijos dos parámetros, los cuales son: la relación molar de alcohol y la concentración de catalizador. Estos datos son tomados con base a investigaciones previamente realizadas en el estudio denominado *“producción y caracterización de biodiesel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal”*⁵³

Tabla 17. Parámetros químicos en las pruebas.

REACTIVOS	PARAMETRO	VALOR	DESCRIPCIÓN
METANOL	RELACION MOLAR METANOL:ACEITE	6:1	Cantidad molar de metanol por cada mol de aceite refinado de palma, se usa un exceso del doble para garantizar la reacción.
HIDROXIDO DE SODIO.	CONCENTRACION DE CATALIZADOR (p/p)	0.6 %	Es la masa de catalizador, esta se calcula con respecto a la masa de aceite.

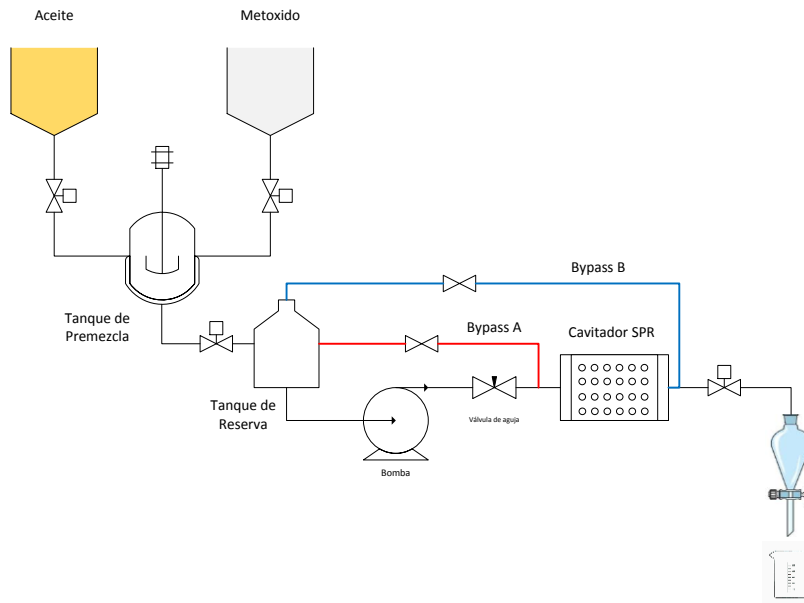
⁵³ AVELLANEDA VARGAS, Fredy. Op. cit p. 118.

6.1. PRUEBAS DESARROLLADAS EN EL PROTOTIPO

Para verificar que el prototipo cumple requerimientos establecidos en la planeación, se realizaron diez pruebas variando diferentes parámetros, como el tiempo de agitación, el caudal de operación, la temperatura de entrada del aceite y usando línea de bypass de diferentes puntos. A continuación, se presenta un resumen de las condiciones de las pruebas.

- Prueba 1. Se usa el Bypass A durante 5 minutos para poder observar la influencia de la bomba de engranajes en la reacción.
- Prueba 2. Se realiza una corrida del sistema con 5 minutos de agitación y usando el Bypass A.
- Prueba 3. Se hace una prueba por el Bypass A con 15 minutos de agitación con el fin de observar la influencia de la agitación.
- Prueba 4. Se hace la prueba por el Bypass A con 5 minutos de agitación, incrementando en caudal a 1,1 [LPM].
- Prueba 5. Se hace la prueba por el Bypass A con 5 minutos de agitación, incrementando en caudal a 1,5 [LPM].
- Prueba 6. Se precalienta el aceite y se usa el Bypass A con un caudal de aproximadamente 0,2 [LPM] para observar la influencia del calentamiento.
- Prueba 7. Se usa el aceite a temperatura ambiente a través del Bypass B, con el fin de hacer que la mezcla tenga mayor tiempo de reacción.
- Prueba 8. Se precaliente el aceite y las demás condiciones permanecen igual a las de la prueba 7.
- Prueba 9. Se usan las condiciones de la prueba 8 incrementando el caudal a 0,9 [LPM].
- Prueba 10. Se realizó un ensayo similar a las descrita en la prueba 2 y una vez se decantó la muestra se volvió a hacer el mismo procedimiento.

Figura 43. Esquema del sistema mostrando los dos tipos de Bypass.



A continuación se muestra la tabla 18 con las condiciones de las pruebas realizadas.

Tabla 18. Condiciones de las pruebas del prototipo.

CONDICIONES DE LAS PRUEBAS								
Prueba	Método	Tamb [°C]	Toil [°C]	Tout [°C]	Caudal [LPM]	Caudal [LPH]	Bypass	Fecha
1	Prototipo	27	27	32,6	-	-	A	28/09/2016
2	Prototipo	29	29	32,2	0,19	11,4	A	30/08/2016
3	Prototipo	28	28	35,4	0,2	12	A	31/08/2016
4	Prototipo	27	27	31,2	1,1	66	A	08/09/2016
5	Prototipo	28	28	30,4	1,5	90	A	09/09/2016
6	Prototipo	27	64	42	0,2	12	A	20/09/2016
7	Prototipo	27	28	37,2	0,22	13,2	B	20/09/2016
8	Prototipo	28	70	45,1	0,12	7,2	B	21/09/2016
9	Prototipo	28	29	39	0,2	12	B	21/09/2016
10	Prototipo	27	56	46,5	0,9	54	B	30/09/2016

6.2. PRUEBAS PARA CARACTERIZACIÓN DEL BIODIESEL OBTENIDO

Para la caracterización de las muestras obtenidas después del lavado y secado se midió su densidad, acidez, punto de nube y porcentaje de metilésteres. De estas anteriores, la más importante es la medición de los metilésteres presentes, por medio de una cromatografía, pues es la prueba que permite tener una mayor claridad de la calidad del biodiésel.

6.2.1. Densidad. El proceso de medición se realizó mediante el método convencional, usando el picnómetro para medir el peso de un determinado volumen y finalmente calcular así su densidad a una temperatura ambiente de 25[°C]. Este procedimiento se realizó con una balanza de cuatro cifras decimales, además con un picnómetro previamente calibrado de 5 [mL] como se observa en la figura 44.

Figura 44. Picnómetro de 5 [mL]



El procedimiento de cálculo fue mediante la siguiente ecuación, usando los datos mostrados en la figura 45.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{4.3489 \text{ grs}}{5 \text{ mL}} = 0.86978 \frac{\text{grs}}{\text{mL}} = 869.78 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho = 869.78 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Figura 45. Medición de densidad del biodiésel.



El resumen de todas las densidades obtenidas durante la fase de pruebas se podrá encontrar en tabla 21.

6.2.2. Rendimiento Volumétrico. Este rendimiento volumétrico indica la cantidad de biodiésel obtenido respecto a la cantidad de materia prima y reactivo utilizado. A

continuación, se presenta un cálculo tipo para las condiciones anteriormente mencionadas de la fase de pruebas.

$$\%_{Biodiesel} = \frac{V_{Biodiesel}}{V_{Aceite} + V_{Alcohol}} * 100 = \frac{1090 [mL]}{1070 [mL] + 197.1[mL]} * 100 = 86.7 \%$$

$$\%_{Biodiesel} = 86.7 \%$$

6.2.3. Medición de pH. El pH de las muestras se controló durante su fase de lavado, buscando dejarlo entre los rangos de 6 a 7. El procedimiento de medición fue:

1. Realizar la calibración del equipo, mediante dos muestras estándar, una a 4pH y otra a 7pH.
2. Limpieza con agua destilada del electrodo.
3. Exposición por un periodo de aproximadamente 2 minutos del electrodo a la muestra para una medición promedio.

6.2.4. Punto de Nube. El punto de nube indica la temperatura mínima a la cual el biodiésel empieza a cristalizarse, lo que lo convierte en un grave problema para los motores.

El desarrollo de la medición se realizó mediante una exposición de las muestras a condiciones de temperatura baja, aproximadamente -15 [°C] hasta lograr observar un cambio en la viscosidad y color de la muestra.

Figura 46. Prueba Punto de Nube.



En la figura 46 se observa cómo se realizó la medición del punto de nube y cuál es la condición final del biodiesel; posterior a su exposición a un baño a la temperatura del hielo. Los resultados de las tomas realizadas se pueden ver en la tabla 21.

6.2.5. Cromatograma. Esta prueba también es conocida como medición del FAME que se realiza con una cromatografía de gases, basada en la norma UNE-EN 14103 FAME⁵⁴. A continuación, se muestra el resumen de una de las cromatografías realizadas.

⁵⁴ UNE NORMA ESPAÑOLA- NORMA EUROPEA. *Fat And Oil Derivatives - Fatty Acid Methyl Esters (Fame) - Determination Of Ester And Linolenic Acid Methyl Ester Contents*. UNE-EN 14103 FAME. Madrid, España. Norma Europea, 2003.

Tabla 19. Cromatografía de la prueba P003.

PRUEBA P003				
P003-A			P003-B	
Tiempo	Area		Tiempo	Area
5,413	105	Tetradecanoato de metilo	5,413	106,8
7,318	4371	Hexadecanoato de metilo	7,318	4439
7,542	20,2		7,542	20,4
9,632	474,3	Octadecanoato de metilo	9,637	481,6
10,073	5331,6	Cis-9-Octadecanoato de metilo	10,072	5412,5
10,76	1117,6	9,12-Octadecanoato de metilo	10,761	1134,5
11,924	10,8	9,12,15-Octadecanoato de metilo	11,922	12,7
13,278	46		13,278	46,7
21,565	72,3		21,566	73,2
8,367	2429,3		8,366	2466,7
suma	13978,1		suma	14194,1
masa	246		masa	246
concentracion	9,6083		concentracion	9,6083
volumen	5		volumen	5
*	4,753962		*	4,754287
**	0,195291		**	0,195291
Fame	92,84043	%FAME	92,84	Fame
				92,84678

Las cromatografías fueron realizadas con el apoyo de la Escuela de Ingeniería Química y se presentan en el Anexo N.

6.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De las diez pruebas ejecutadas solo fue posible realizar las cromatografías de dos de estas, debido a inconvenientes con la disponibilidad de los cromatógrafos de la universidad, a las ocho pruebas restantes se le realizó la caracterización correspondiente.

En la tabla 20 se muestra la caracterización de las pruebas 2 y 3 de las cuales se observa que la prueba que se realizó con 15 minutos de agitación presenta un mayor contenido de metilésteres, este valor no está muy lejano al solicitado por la norma EN 14214, que requiere que el contenido de metilésteres presentes en el biodiésel sea mínimo del 96,5%.

Algo que se debe mencionar es que durante las primeras experiencias de lavado el biodiésel de aciduló, pero esto fue corregido para las demás muestras con la estandarización del lavado.

Tabla 20. Resultados de las pruebas 2 y 3.

Prueba	Nomenclatura	pH	Densidad [kg/m ³]	Punto de nube [°C]	Rendimiento	%FAME	Tiempos de reacción
2	P002	5,80	863,37	13	86,7	90,3	8 min
3	P003	6,13	868,86	14	86,2	92,8	15 min

Tabla 21. Caracterización del biodiesel obtenido.

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS						
Prueba	pH	Densidad [kg/m ³]	Punto de nube ⁵⁵ [°C]	Rendimiento	Observaciones	Tiempo de reacción [min]
1	6,68	871,37	13	85,4	Prueba de influencia de la bomba en el bypass A de 5 minutos Tiempo total (8:37)	5
4	5,43	870,58	14	85,9	Se trabaja a un caudal de 1,1 [LPM].	7:30
5	6,86	855,23	13	86,8	Se trabajó con el caudal máximo de operación	7

⁵⁵ CUELLAR SÁNCHEZ, Mónica. Características del Biodiesel de palma y las mezclas. FEDEPALMA. [En línea] [Fecha de consulta 10/10/2016]. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/files/Caracteristicas%20del%20Biodi%C3%A9sel%20y%20sus%20mezclas%20V1.pdf>

6	6,52	873,24	13	87,2	Se hace una corrida normal ingresando el aceite precalentado.	8
7	6,12	862,31	14	85,5	Se utiliza el bypass después del cavitador SPR.	8
8	7,01	869,78	13	87,6	Se utiliza el bypass después del cavitador SPR y aceite precalentado	8
9	6,13	853,28	14	78,6	Se realizó el proceso normal, se decantó y se volvió a pasar por el sistema.	16
10	7,05	866,47	12	86,8	Se utiliza el bypass después del cavitador SPR y aceite precalentado	7:45

7. COSTOS

Se presentan los costos totales de la fabricación del prototipo y los costos preliminares de producción de un litro de biodiesel a una tasa de 0.2 [LPM].

7.1. COSTOS DE FABRICACION

Los costos de fabricación del sistema de producción de biodiesel se desarrollaron de acuerdo al Anexo J, a continuación, se presenta un resumen de los costos por conceptos y el costo general.

Tabla 22. Resumen de costos de fabricación del prototipo.

CONCEPTO	VALOR
EQUIPOS ADQUIRIDOS	\$ 2.386.826
MATERIALES	\$ 610.404
MANUFACTURA	\$ 555.000
MANO DE OBRA	\$ 138.000
ENSAMBLE	\$ 200.000
	\$ 3.890.230

7.2. COSTOS DE OPERACIÓN

Los costos de operación están basados en un caudal de 0,2 [LPM], teniendo en cuenta un rendimiento de 86% es decir que se debe agregar un volumen total de tal manera que el 86% de este volumen se convierte en biodiesel y, el 14% restante en glicerina. Esto se da cuando el volumen de aceite es de 0,924 [L] y el volumen de metanol es 0,238 [L], para un volumen total de 1,163 [L].

Tomando un caudal de 0,2 [LPM], de esta manera se tiene que al prototipo le toma 5,8 [min] procesar los reactivos, con este tiempo se calculó el consumo de potencia por agitación, el consumo de potencia de la bomba y el consumo de potencia del cavitador SPR con la siguiente tabla y los costos de insumos.

Teniendo en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$Pot_{ele} = V * I \text{ [watts]}$$

$$Energía_{ele} = Pot_{ele}[\text{kw}] * Tiempo_{uso}[\text{h}]$$

Y teniendo en cuenta que para el 2016 en la ciudad de Bucaramanga 1[KWh] tiene un valor de 479\$.

Tabla 23. Costos de energía consumida por el prototipo por litro de biodiésel.

	Corriente	Voltaje Rms	Potencia Eléctrica [kw]	Potencia Eléctrica [kwh]	Costo en pesos
Bomba	5	5	0,025	0,002	\$ 1,149
Agitación	0,85	128	0,109	0,011	\$ 5,029
Cavitador SPR	8,4	128	1,075	0,104	\$ 49,82
				0,101	\$ 55,59

El costo de los insumos se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 24. Costos de insumos para producir un litro de biodiesel.

Costos de insumos por litro de biodiesel			
	Precio unitario	Insumo usado	Costo total
Aceite⁵⁶	3056 [\$/L]	0,924 [L]	\$ 2.823,83
Metanol⁵⁷	15191 [\$/L]	0,238 [L]	\$ 3.615,46
Hidróxido de sodio⁵⁸	72,5 [\$/g]	5 [g]	\$ 362,50
			\$ 6.801,79

La tabla 24 muestra los costos totales de producción de 1 [L] de biodiésel.

Tabla 25. Costos totales de producción de un litro de biodiesel.

Costos totales	
Costos de energía	\$55,59
Costos de insumos	\$6.801,79
	\$6.857,38

⁵⁶ FEDEPALMA. Informe diario de precios y mercados. 5 de Octubre de 2016. No. 1549.

⁵⁷ METACOL. Estudio de factibilidad de para el montaje de una planta de metanol en Colombia. [En línea] [Fecha de consulta 5/10/2016]. Disponible en: <https://prezi.com/3ockst-yqvkg/metanol/>

⁵⁸ Ver costos en el Anexo J.

8. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un prototipo para la obtención de biodiesel de manera continua a partir de aceite de palma refinado como componente base y metóxido de sodio (Alcohol + NaOH) como reactivo, mediante cavitación hidrodinámica producida por un dispositivo denominado reactor de ondas de ondas de choque (SPR).
- El rendimiento de conversión de aceite refinado de palma y metóxido de sodio a biodiesel, con el uso del prototipo oscila entre 85 y 87%, comparado con el 88.5% obtenido en el proceso batch, es similar. A la misma concentración molar de alcohol y porcentaje de catalizador. El biodiesel obtenido presenta un contenido de metilésteres aproximadamente del 93%.
- Con la implementación de un reactor de ondas de choque el periodo de residencia de un volumen de control es aproximadamente 8 minutos, éste comparado con el de un proceso batch (75 a 90 minutos de residencia) es muy inferior, lo que es favorable económicamente debido a la reducción de tiempos de reacción.
- Los valores de densidad, acidez y punto de nube. Se encuentran en su mayoría dentro de lo establecido por la norma EN-14214. La cual indica las especificaciones que debe tener un biodiésel para remplazar el diésel.
- La cavitación, agitación y temperatura aportada por el reactor de ondas de choque (SPR) son favorables para el proceso de transesterificación, debido a que la separación del metiléster y la glicerina se da casi de manera instantánea al salir de este dispositivo. Además, también es favorable económicamente pues permite reducir la adquisición de equipos y el consumo de servicios industriales (combustibles).

9. RECOMENDACIONES

- Para obtener un control más preciso en cuanto a la mezcla de los reactivos se recomienda el uso de bombas dosificadoras, además que con el uso de las mismas se eliminaría el subsistema de alimentación y la inyección del aceite y el metóxido de sodio se haría directamente en el tanque auxiliar.
- Instalar dispositivos electrónicos para la medición de la presión, temperatura, revoluciones y caudal en el reactor por ondas de choque (SPR), con el fin de realizar un control más preciso de estas variables físicas y determinar así, la influencia de éstas en el porcentaje FAME del biodiésel obtenido.
- Se recomienda la instalación de dos flujómetros, uno en la línea de bypass y otro en la línea de descarga, los cuales permitan hacer un control más exacto del caudal de operación, al manipular el ángulo de la válvula de descarga.
- Se recomienda el uso del reactor por ondas de choque (SPR) a presiones mayores, para lograr eso se debería realizar pequeñas modificaciones al prototipo, pero aumentaría el número de cavitación.
- Se recomienda realizar un diseño de experimentos para hallar las mejores condiciones que permitan obtener un mayor rendimiento y un mayor porcentaje de FAME, esto se podría lograr experimentando con otros catalizadores como hidróxido de potasio (KOH) a diferentes porcentajes máxicos, otros alcoholes como etanol a diferentes relaciones molares, diferentes fuentes oleaginosas y destilando el producto, además mejorando las condiciones del lavado.

BLIBLIOGRAFÍA.

AVELLANEDA VARGAS, Fredy. Producción y caracterización de biodiésel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal. Tesis Doctoral. Ingeniería Química. Tarragona. Universitat Rovira I Virgili. Departamento de Ingeniería Química. 2010.

CANTERO VARGAS, Katty y ARCHILA, John Faber. Simulación de un Proceso de Producción de Biodiesel por Lotes a Través de Medios Químicos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2010. p.39.

CARDENAS VARGAS, Rogelio. Biorefinerías para la producción de biocombustibles de segunda generación. Tesis Doctoral. España: Universidad Politécnica de Valencia. Diciembre 2012

CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL DE LA BIOTECNOLOGÍA Y PRODUCCIÓN LIMPIA CORPODIB. Estado del arte de las tecnologías de producción de biodiesel, [en línea]. [Fecha de consulta 5/09/2016]. Disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/Biodiesel/Capitulo%207.pdf>

DINIS VICENTE, Ana. Obtención de biodiesel por transesterificación de aceites vegetales: nuevos métodos de síntesis. Tesis doctoral. España. Universidad de Extremadura. 2012.

HAO FENG. Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing. Washington: Springer, 2011. Cap 8.

OROZCO, Sergio Andrés. VISCOSIDAD TURBULENTA. INTRODUCCION MOVIMIENTO TURBULENTO [online]. 2016. no. 1 [citado 2016-10-01], pp. 9-9. Disponible en: <<http://webserver.dmt.upm.es/zope/DMT/docencia/mecanica-de-fluidos-ii/material/intrturb.pdf>>. ISSN 1048-6542. 2015

SALINAS BARRERA, Vicente Reinaldo. Fluidos bajo Cavitación Acústica en recintos finitos: Experimentos y Modelación. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencia con Mención en Física. Santiago: Universidad de Santiago de Chile. Facultad de ciencia. Departamento de Física. 2014. p. 5.

UNE NORMA ESPAÑOLA- NORMA EUROPEA. *Fat And Oil Derivatives - Fatty Acid Methyl Esters (Fame) - Determination Of Ester And Linolenic Acid Methyl Ester Contents*. UNE-EN 14103 FAME. Madrid, España. Norma Europea, 2003.

ANEXOS

ANEXO A DATOS TECNICOS MOTOR MONAFASICO ½ [HP]



Cliente : James Vera - Brayan Rodriguez

ANEXO A

TECHNICAL PROPOSAL

Motor monofásico de inducción - Rotor de jaula

Línea del producto : ODP - Aplicación General - NEMA 48 - 56

Catalog Number :

List Price : \$

Observaciones:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA OBTENCIÓN CONTINUA DE BIODIESEL MEDIANTE GAVITACIÓN HIDRODINÁMICA.

Ejecutante:
James Vera

Verificado:
Andres Rodriguez



HOJA DE DATOS

Motor monofásico de inducción - Rotor de jaula

Cliente : James Vera - Brayan Rodríguez
 Línea del producto : ODP - Aplicación General - NEMA 48 - 56

Garcasa : G56
 Potencia : 0,5 HP
 Frecuencia : 60 Hz
 Polos : 4
 Rotación nominal : 1720 rpm
 Deslizamiento : 4,44 %
 Voltaje nominal : 127/220 V
 Corriente nominal : 7,20/4,15 A
 Corriente de arranque : 38,1/22,0 A
 Ip/In : 5,3
 Corriente en vacío : 5,37/3,10 A
 Par nominal : 2,06 Nm
 Par de arranque : 350 %
 Par máxima : 230 %
 Categoría : --
 Clase de aislación : B
 Elevación de temperatura : 80 K
 Tiempo de rotor bloqueado : 8 s (caliente)
 Factor de servicio : 1,25
 Régimen de servicio : S1
 Temperatura ambiente : -20°C - +40°C
 Altitud : 1000 m
 Protección : IP21
 Masa aproximada : 11 kg
 Momento de inercia : 0,00203 kgm²
 Nivel de ruido : --

	Delantero	Trasero	Carga	Factor de potencia	Rendimiento (%)
Rodamiento	6203 ZZ	6202 ZZ	100%	0,63	63,2
Intervalo de lubricación	—	—	75%	0,55	61,0
Cantidad de grasa	—	—	50%	0,45	54,5

Observaciones:

DESEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA OBTENCIÓN CONTINUA DE BIODIESEL MEDIANTE GAVITACIÓN HIDRODINÁMICA.

Ejecutante
James Vera

Verificado
Andres Rodriguez



CURVAS CARACTERÍSTICAS EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA
Motor monofásico de inducción - Rotor de jaula

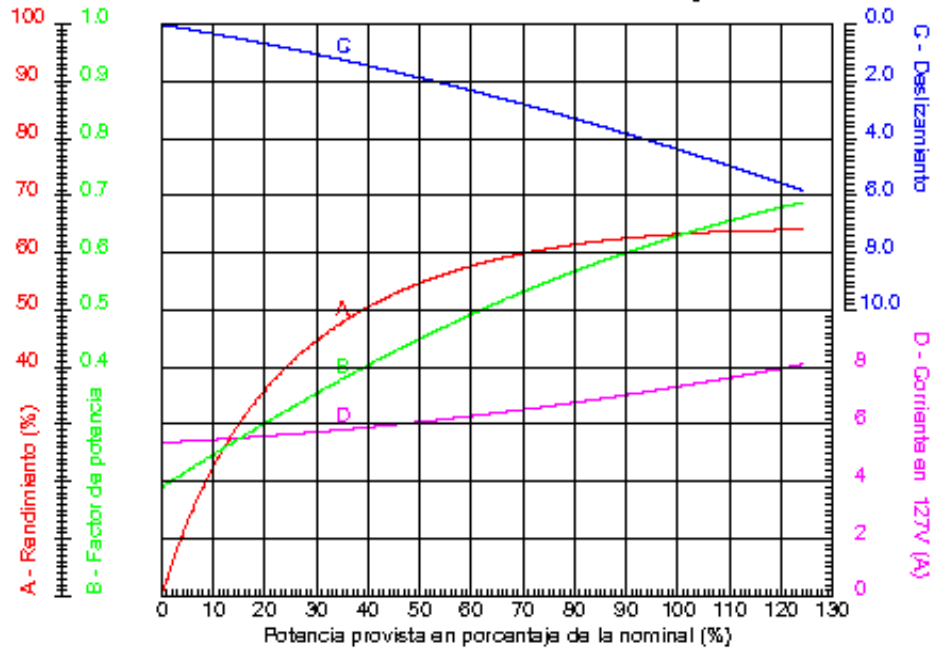


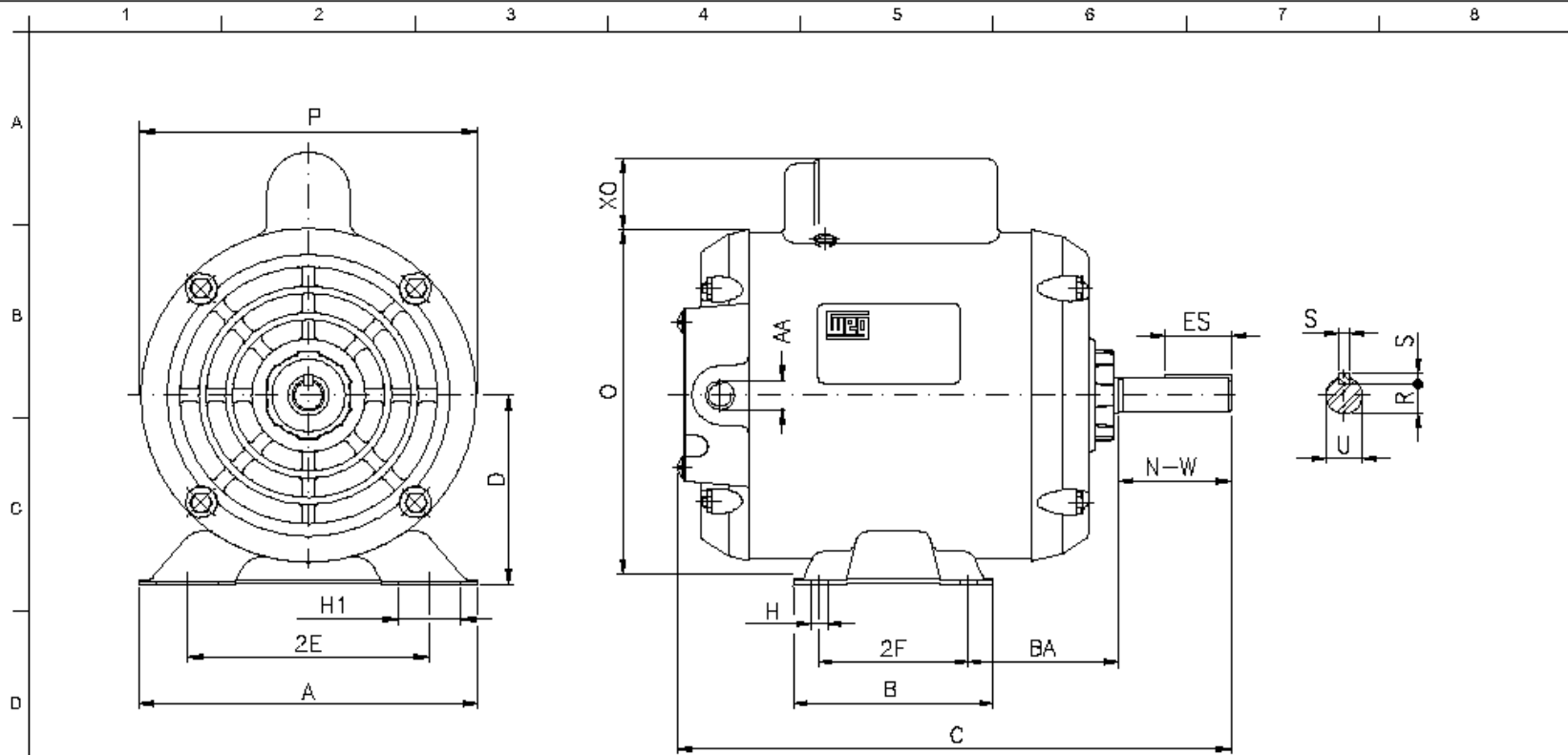
Table with 2 columns: Client (James Vera - Brayan Rodriguez) and Product Line (ODP - Aplicación General - NEMA 48 - 56).

Table with 4 columns: Enclosure (G56), Power (0,5 HP), Frequency (60 Hz), Nominal Speed (1720 rpm), Nominal Voltage (127/220 V), Nominal Current (7,20/4,15 A), Insulation Class (B), Service Factor (5,3), Service Factor (S1), Service Factor (1,25), Category (-), Starting Torque (350 %), Maximum Torque (230 %).

Observaciones:
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA OBTENCIÓN CONTINUA DE BIODIESEL MEDIANTE GAVITACIÓN HIDRODINÁMICA.

Empty box for additional notes or comments.

Table with 2 columns: Ejecutante (James Vera) and Verificado (Andres Rodriguez).



Observaciones: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA OBTENCIÓN CONTINUA DE BIODIESEL MEDIANTE CAVITACIÓN HIDRODINÁMICA.

Ejecutante: James Vera

Verificado: Andres Rodriguez

Cliente: James Vera - Brayan Rodriguez

ODP - Aplicación General - NEMA 48 - 56

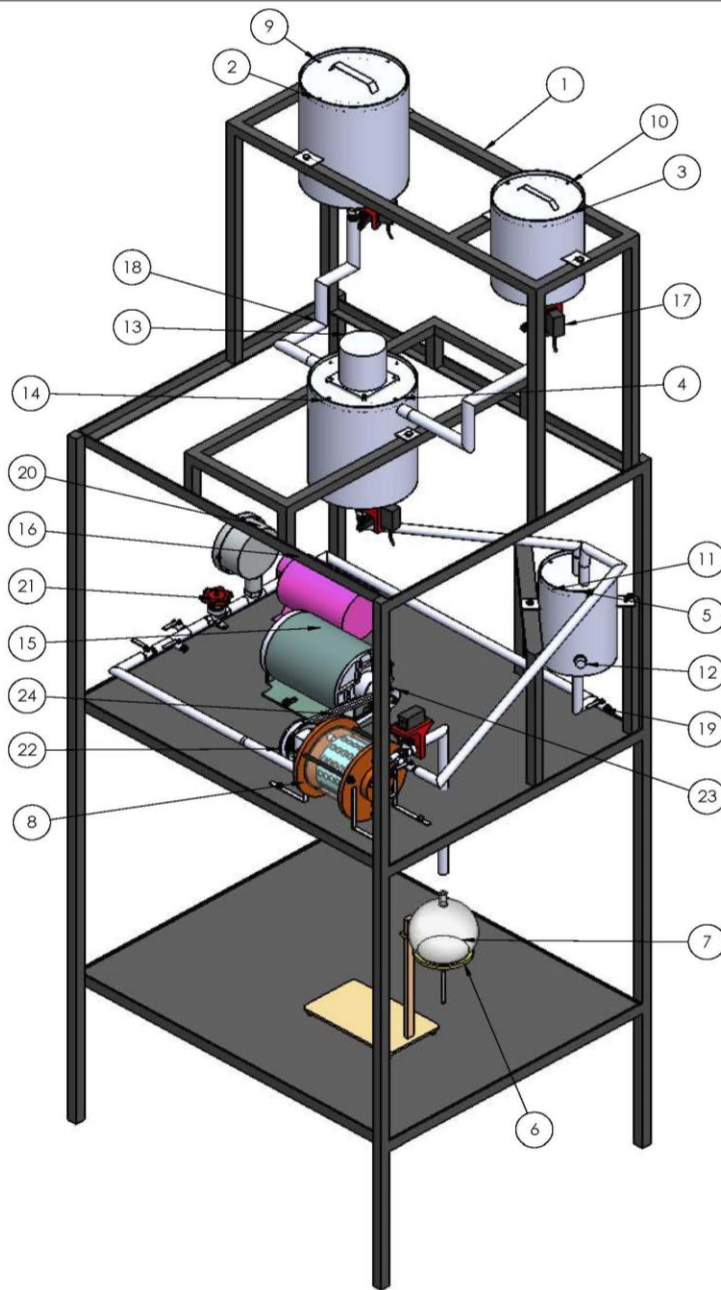
2E	2F	H	H1	BA
4.874	3.000	0.342	31	2.750
A	B	C	D	O
6.535	4.016	10.551	3.500	6.378
XO	P	ES	S	N-W
0.000	5.709	1.102	0.187	1.874
U	R	AA	AH	
0.6250	0.517	NPT 1/2"	2.063	

Motor monofásico de inducción
Carcasa C56 - IP21

19-OCT-2016
0001

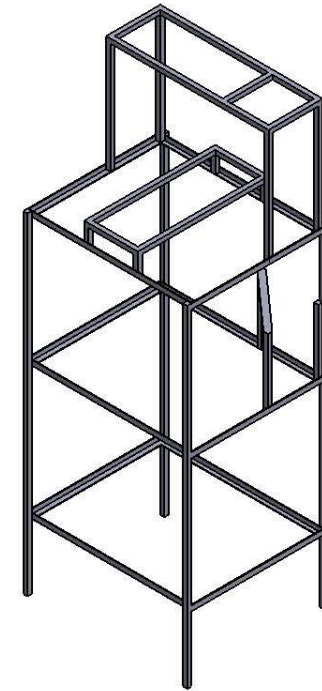
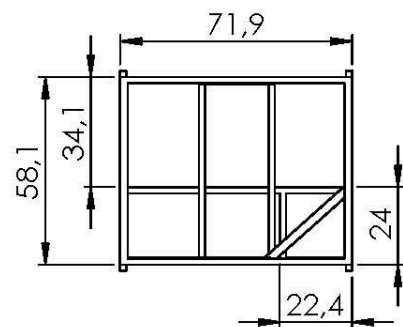
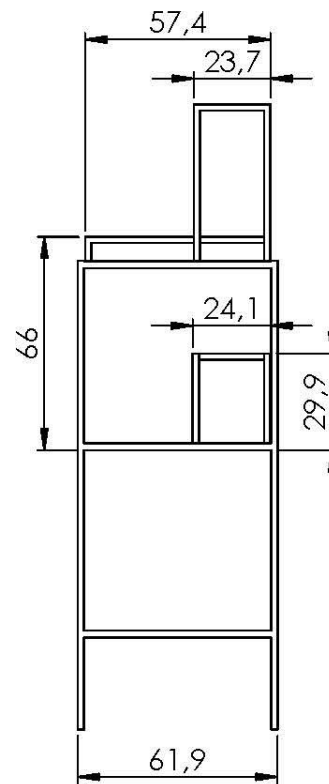
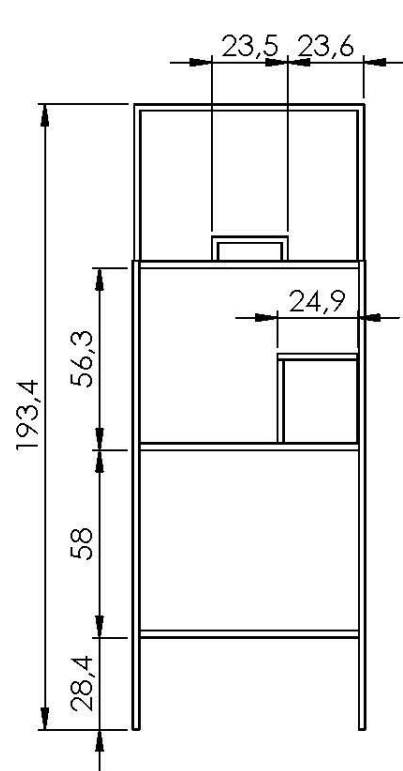


ANEXO B. PLANOS GENERALES.

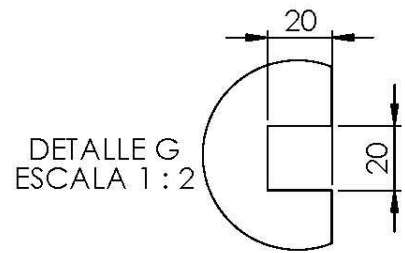


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Bastidor	Perfil Cuadrado y L A270ES	1
2	Tanque de Aceite	Lamina Calibre 18 AISI 204	1
3	Tanque de Alcohol	Lamina Calibre 18 AISI 204	1
4	Tanque de premezclado	Lamina Calibre 18 AISI 204	1
5	Tanque auxiliar	Lamina Calibre 18 AISI 204	1
6	Base del embudo		1
7	Embudo de separación	1000 mL	1
8	Cavitador SPR		1
9	Tapa tanque de aceite	Lamina Calibre 18 AISI 204	1
10	Tapa tanque de alcohol	Lamina Calibre 18 AISI 204	1
11	Tapa tanque de premezclado	Lamina Calibre 18 AISI 204	1
12	Sensor nivel		6
13	Motor eléctrico agitación	E1535-444 ORIENTAL MOTOR	1
14	Tapa tanque auxiliar	Lamina Calibre 18 AISI 204	1
15	Motor del cavitador	Motor Monofasico WEG 1/2 HP 110V/220V	1
16	Bomba de engranajes	SURGEFLO FP-12	1
17	Valvula Motorizada	Valvula 3/8 [in] y Servo Motor MG995	4
18	Tubería	Manguera FLEXCO 3/8[in]	1
19	Valvula 1/4	Válvula de bola	6
20	Manómetro	Vacuometro (12 [kPa])	1
21	Válvula de aguja		1
22	Polea del cavitador SPR	1.5 [in]	1
23	Polea del motor	3 [in]	1
24	Correa	Tipo A	1

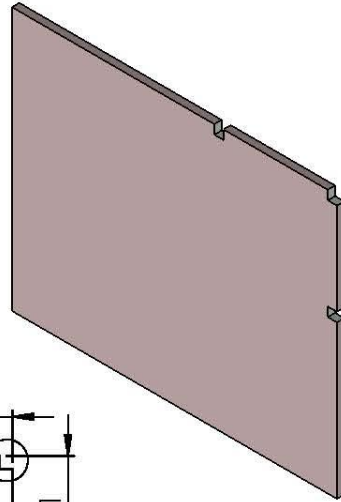
 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
FECHA: 03/10/2016 ESCALA 1:5	TITULO: PROTOTIPO
UNIDADES: [mm]	Autores: Brayan Andrés Rodríguez Herreño James Ronal Vera Roza
A2	



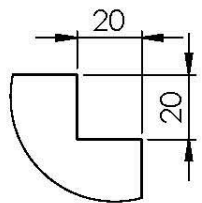
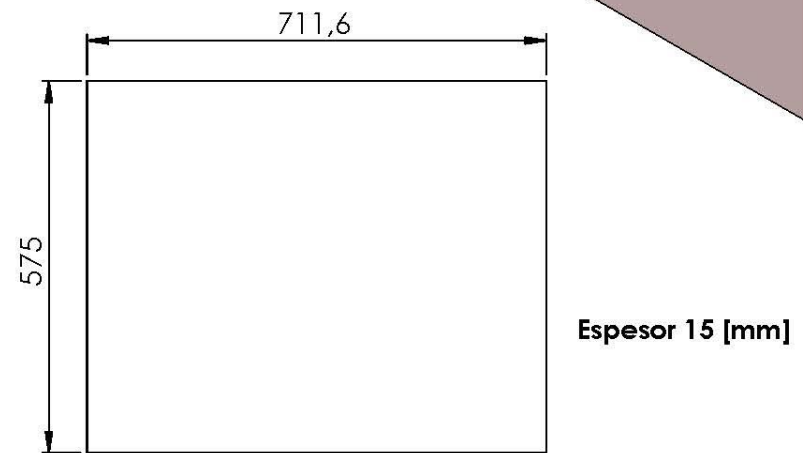
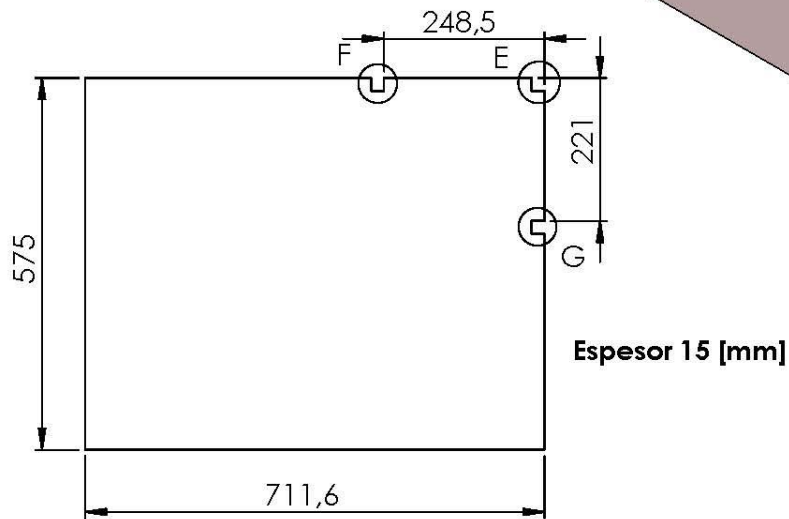
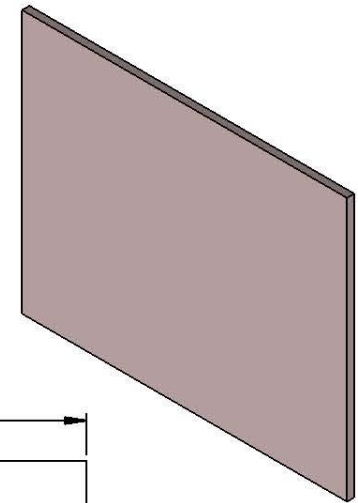
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FECHA: 03/10/2016		TÍTULO:	
ESCALA 1:20		BASTIDOR	
UNIDADES: [cm]		Autores: Brayan Andrés Rodríguez Herreño James Ronal Vera Roza	
A4			



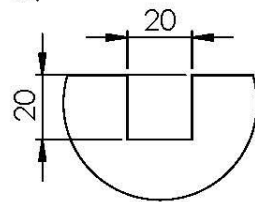
BASE SUPERIOR



BASE INFERIOR

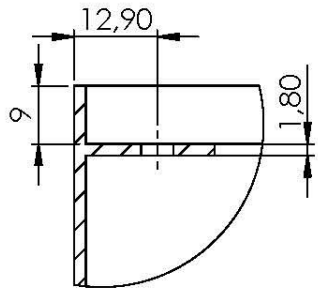


**DETALLE E
ESCALA 1:2**

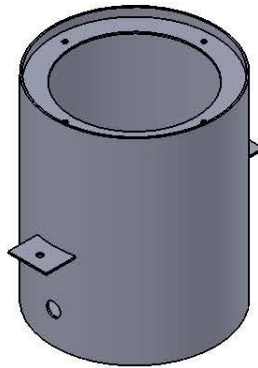


**DETALLE F
ESCALA 1:2**

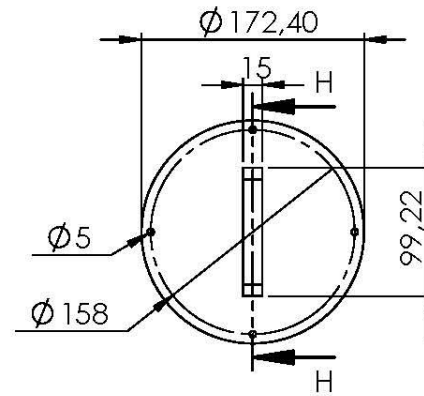
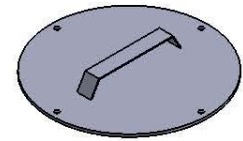
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FECHA: 03/10/2016		TÍTULO:	
ESCALA 1:5		BASES DE LA MESA	
UNIDADES: [mm]		Autores: Brayan Andrés Rodríguez Herreño	
A4		James Ronal Vera Rozo	



DETALLE E
ESCALA 1 : 1

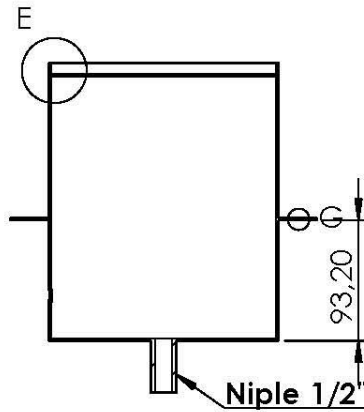
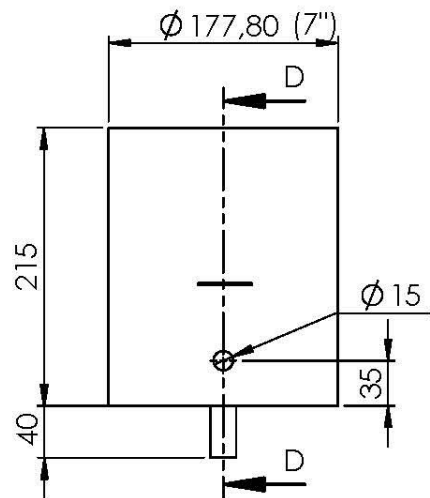


Lamina calibre 18



Lamina calibre 18

SECCIÓN H-H



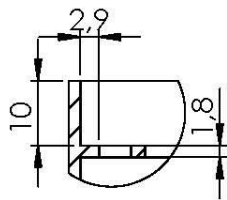
SECCIÓN D-D

Niple 1/2"

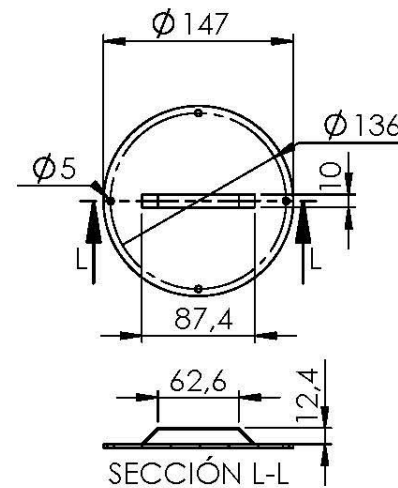
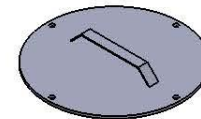
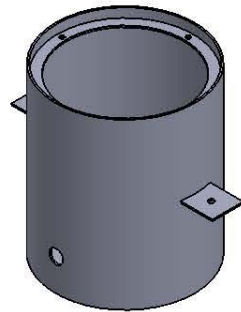


DETALLE G
ESCALA 1 : 1

 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 20/05/2016		TITULO:	
ESCALA 1:5		TANQUE DE ACEITE	
UNIDADES: [mm]		Autor:	
A4		Brayan Andrés Rodríguez Herreño James Ronal Vera Roza	

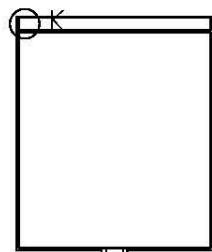
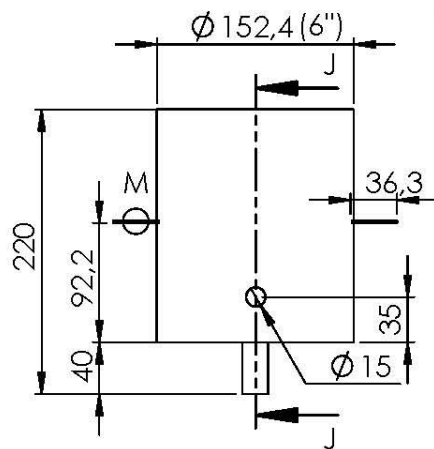


DETALLE K
ESCALA 1 : 1



Lamina calibre 18

Lamina calibre 18



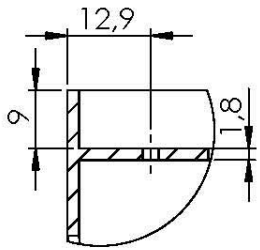
NIPLE 1/2"

SECCIÓN J-J

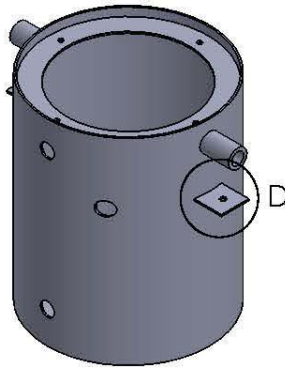


DETALLE M
ESCALA 1 : 1

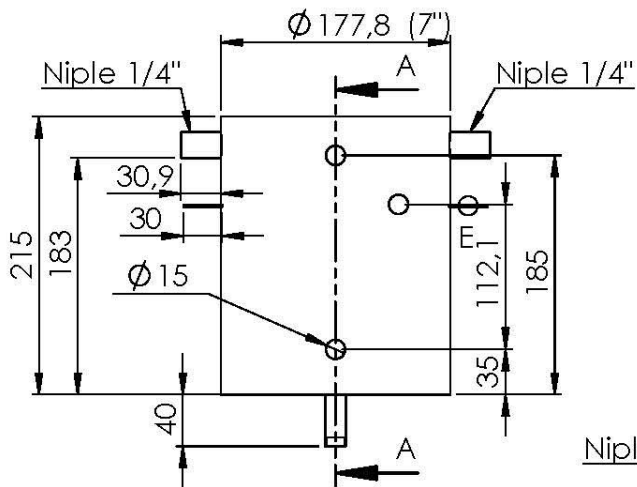
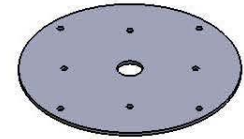
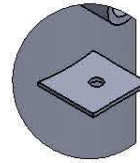
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 20/05/2016		TITULO: TANQUE DE ALCOHOL	
ESCALA 1:5			
UNIDADES: [mm]		Autor: Brayan Andrés Rodríguez Herreño James Ronal Vera Roza	
A4			



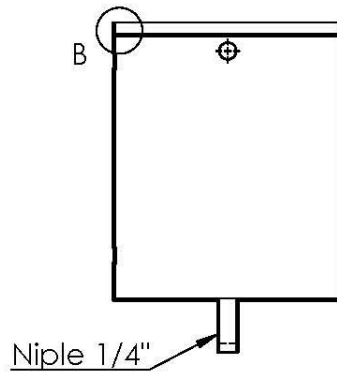
DETALLE B
ESCALA 1 : 1



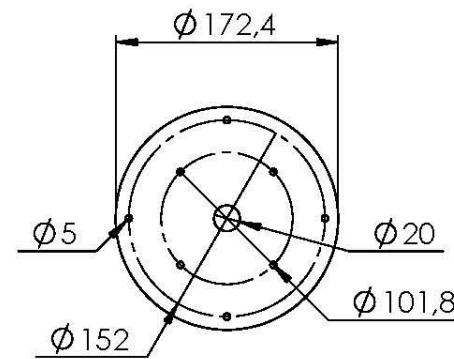
DETALLE D
ESCALA 2 : 5



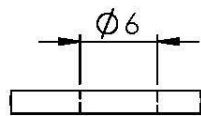
Lamina calibre 18



SECCIÓN A-A

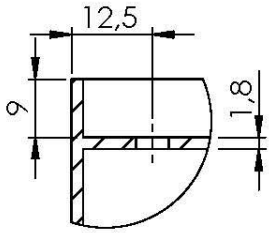


Lamina calibre 18

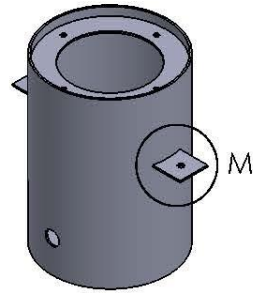


DETALLE E
ESCALA 2 : 1

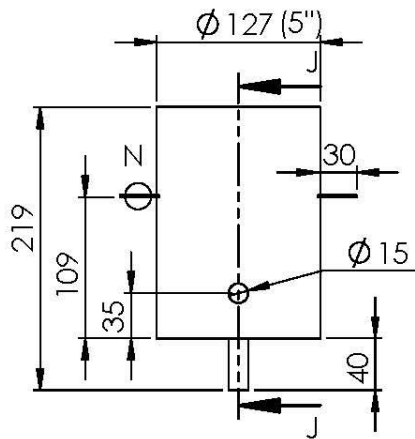
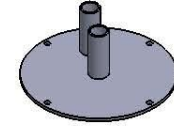
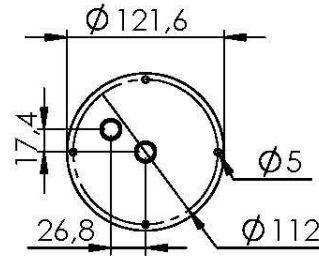
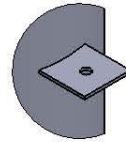
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 20/05/2016		TITULO:	
ESCALA 1:5		TANQUE DE PREMEZCLADO	
UNIDADES: [mm]		Autor: Brayan Andrés Rodríguez Herreño	
A4		James Ronal Vera Roza	



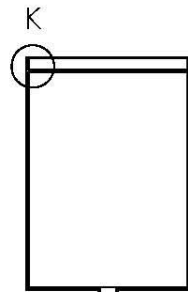
DETALLE K
ESCALA 1 : 1



DETALLE M
ESCALA 1 : 3

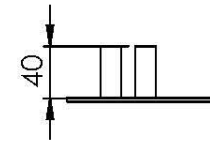


Lamina calibre 18

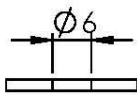


SECCIÓN J-J

Niple 1/2"

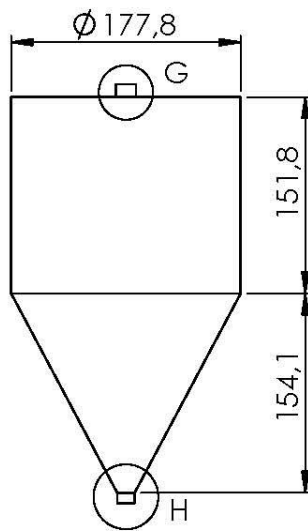


Lamina calibre 18

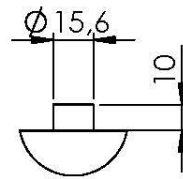


DETALLE N
ESCALA 1 : 1

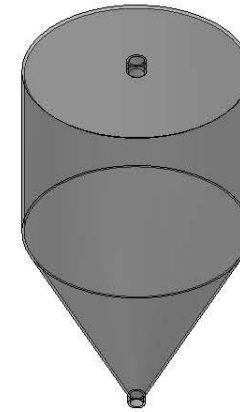
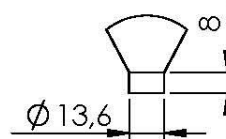
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 20/05/2016		TITULO:	
ESCALA 1:5		TANQUE AUXILIAR	
UNIDADES: [mm]		Autor:	
A4		Brayan Andrés Rodríguez Herreño James Ronal Vera Roza	





DETALLE G
ESCALA 2 : 5

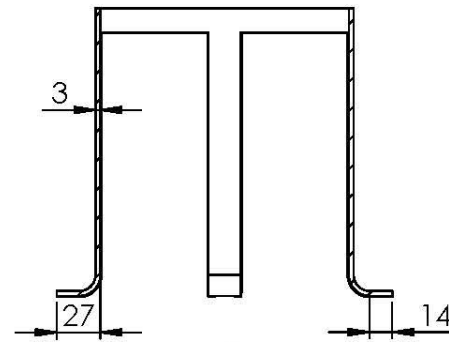
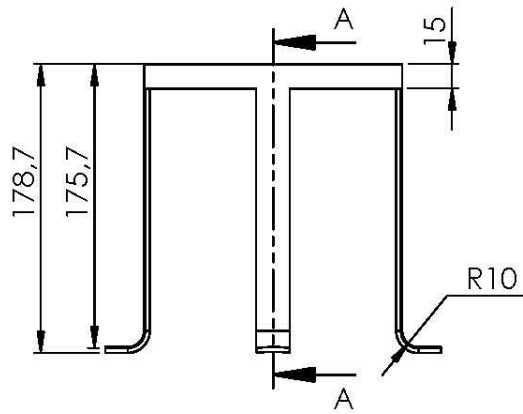
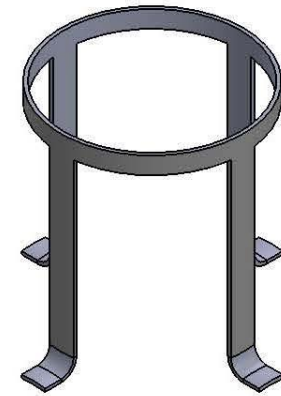
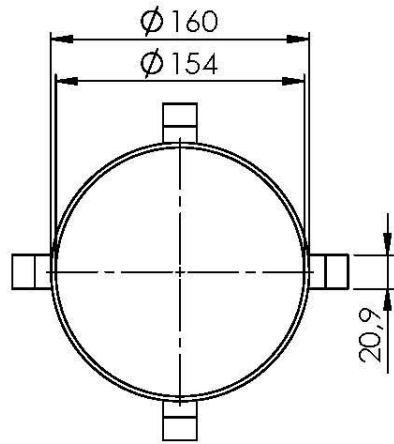


DETALLE H
ESCALA 2 : 5



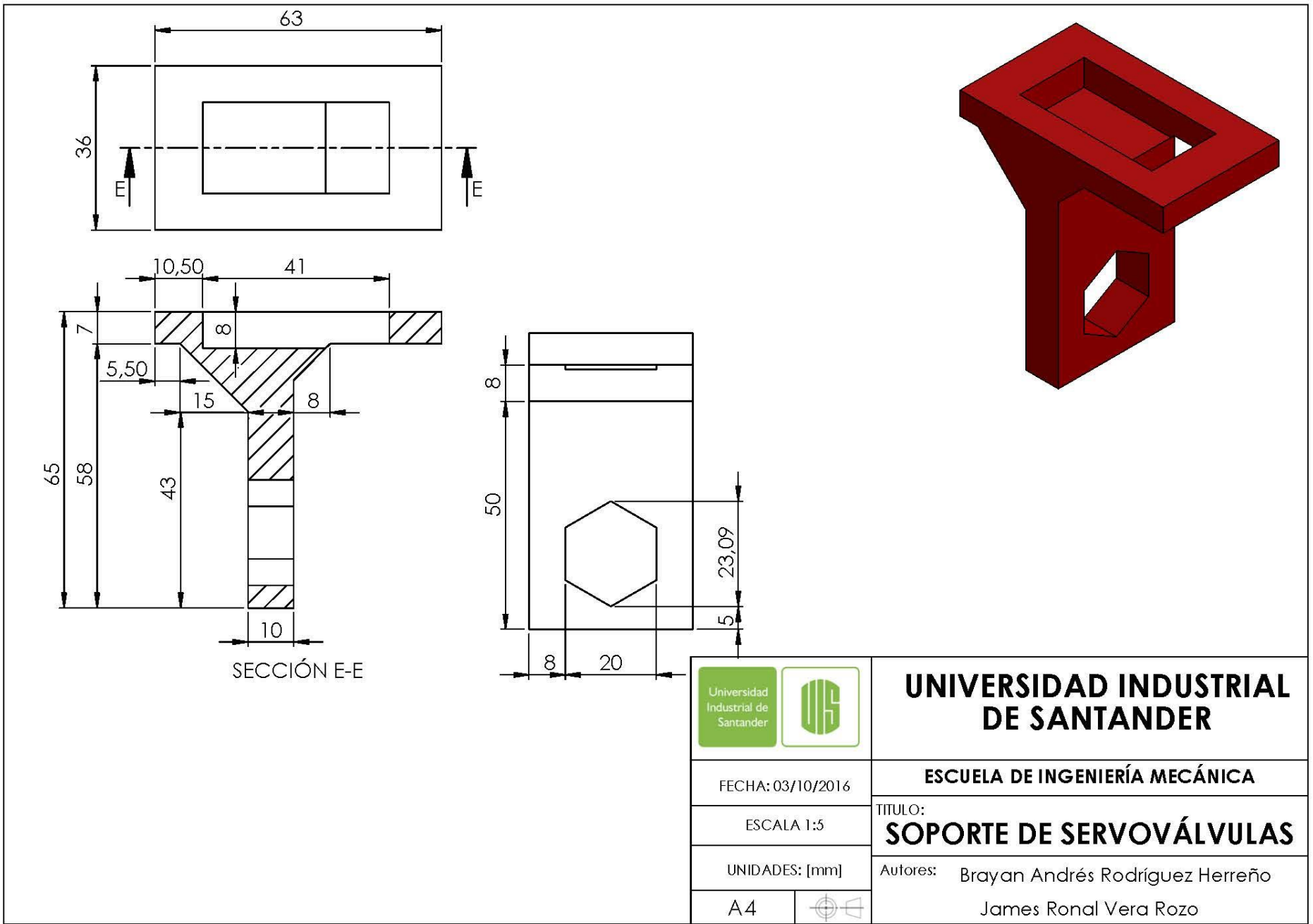
Lamina calibre 18

 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 20/05/2016		TITULO:	
ESCALA 1:5		EMBUDO DE SEPERACION 5 L	
UNIDADES: [mm]		Autor: Brayan Andrés Rodríguez Herreño	
A4		James Ronal Vera Roza	

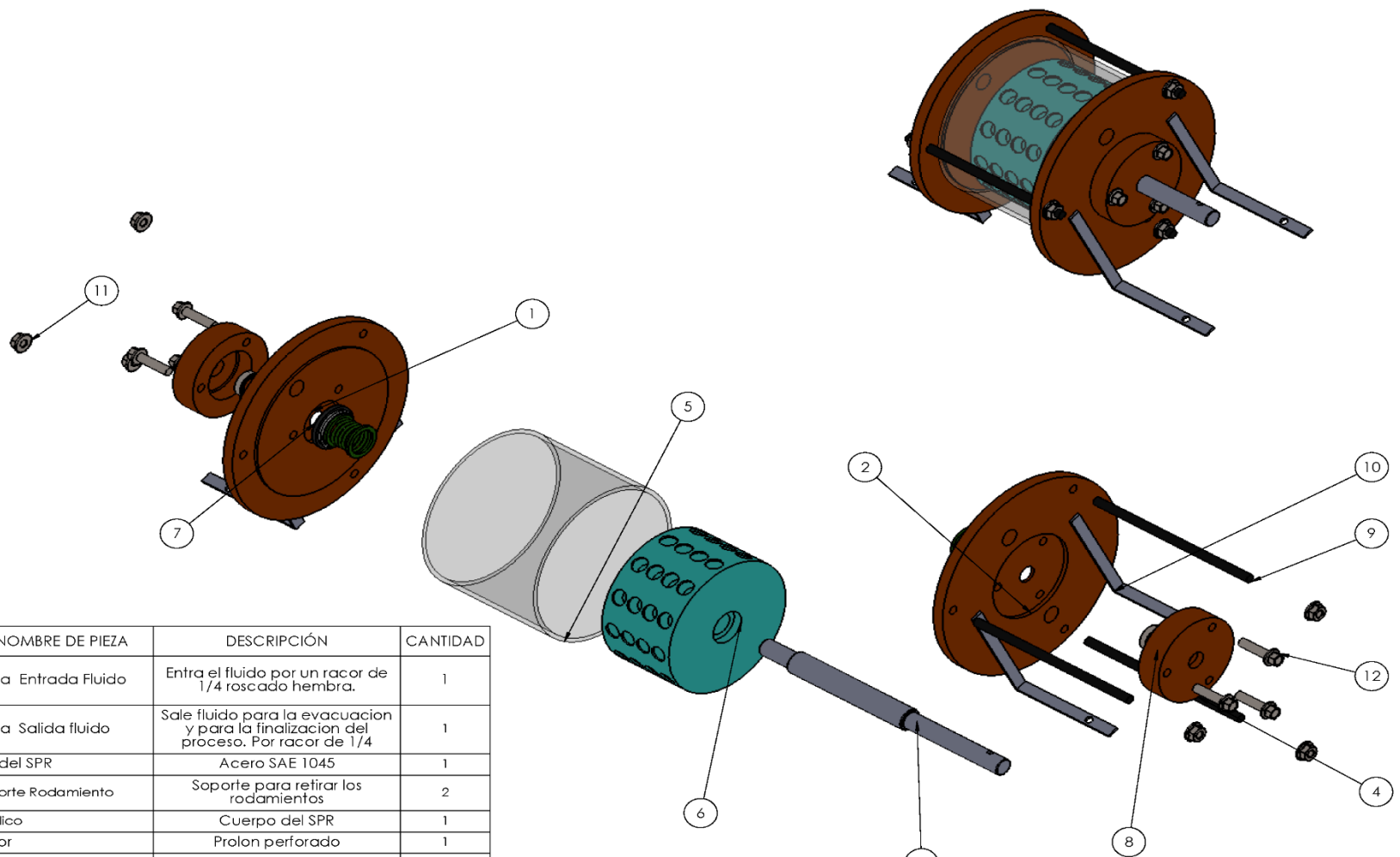


SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 4

 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 20/05/2016		TÍTULO:	
ESCALA 1:4		SOPORTE DEL EMBUDO	
UNIDADES: [mm]		Autor: Brayan Andrés Rodríguez Herreño	
A4		James Ronal Vera Roza	

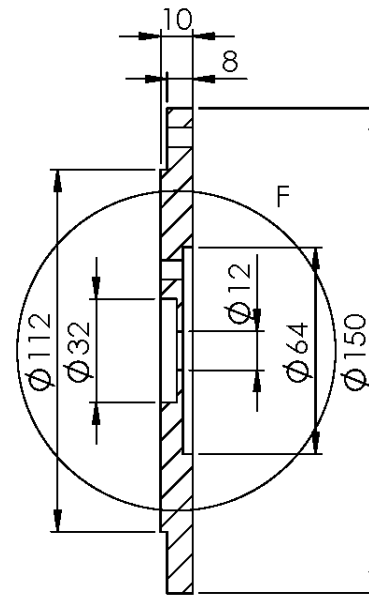
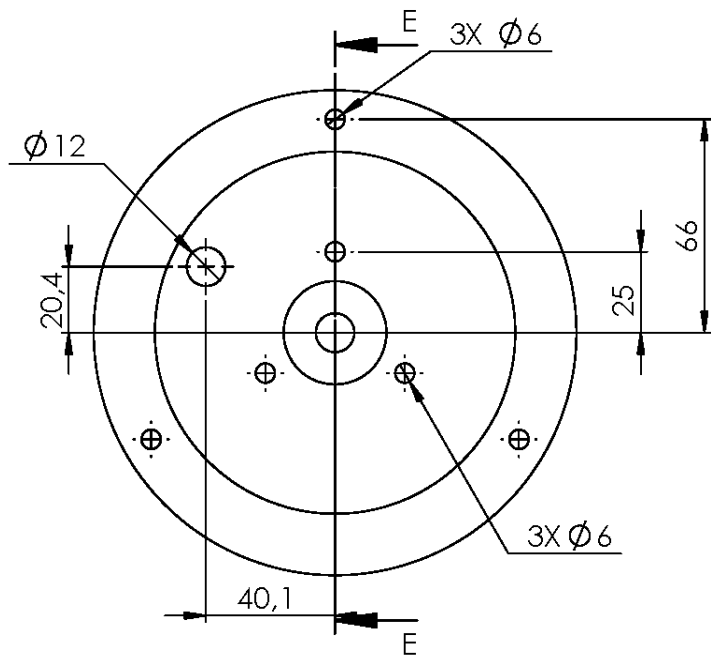


ANEXO C. PLANOS REACTOR POR ONDAS DE CHOQUE (SPR).

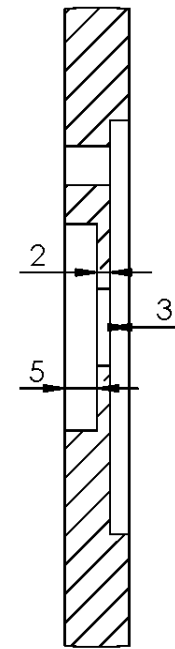


N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Tapa Entrada Fluido	Entra el fluido por un racor de 1/4 roscado hembra.	1
2	Tapa Salida fluido	Sale fluido para la evacuacion y para la finalizacion del proceso. Por racor de 1/4	1
3	Eje del SPR	Acero SAE 1045	1
4	Soporte Rodamiento	Soporte para retirar los rodamientos	2
5	Acrilico	Cuerpo del SPR	1
6	Rotor	Prolon perforado	1
7	Sello Mecanico	Sello con resorte de 5/8 in	2
8	AFBMA 12.1.4.1 - 0120-18 - 20,SI,NC,20_68	Rodamientos	2
9	sparrago	Esparragos Soporte SPR	3
10	Soportes	Apoyos Soldados	4
11	B18.2.2.4M - Hex flange nut, M6 x 1 --N	Tuercas M6	6
12	B18.6.7M - M6 x 1.0 x 25 Indented HFMS --25N	Tornillos M6x1.5x25	6

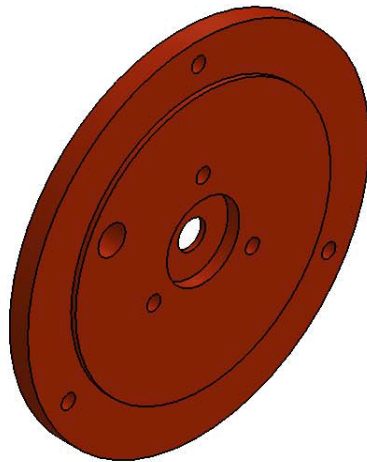
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FECHA: 03/10/2016		TÍTULO: CAVITADOR SPR	
ESCALA 1:15		Autores: Brayan Andrés Rodríguez Herreño James Ronal Vera Roza	
UNIDADES: [mm]			
A2			



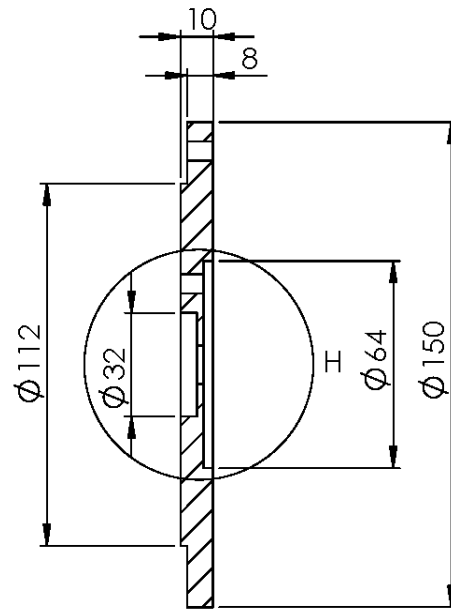
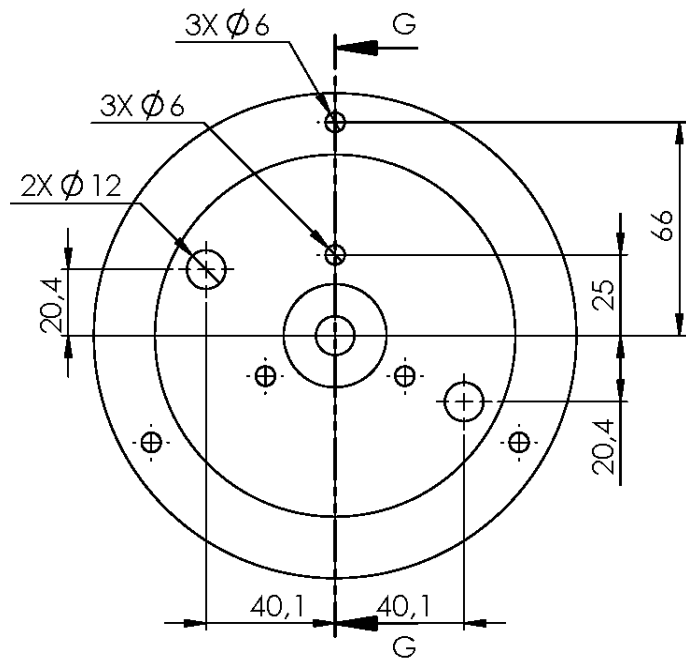
SECCIÓN E-E
ESCALA 1 : 2



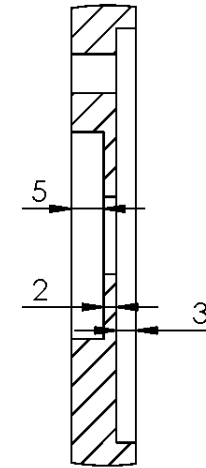
DETALLE F
ESCALA 1 : 1



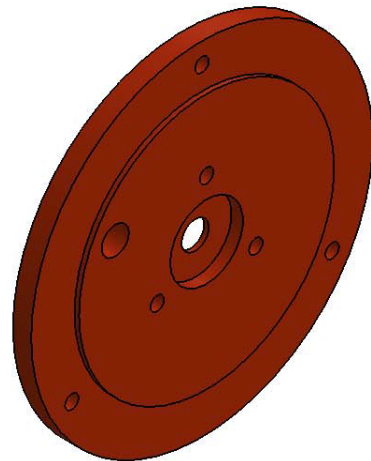
		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
SPR	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
FECHA: 03/10/2016	TÍTULO:	TAPA ENTRADA
ESCALA 1:2	Autores:	Brayan Andrés Rodríguez Herreño James Ronal Vera Roza
UNIDADES: [mm]		
A4		



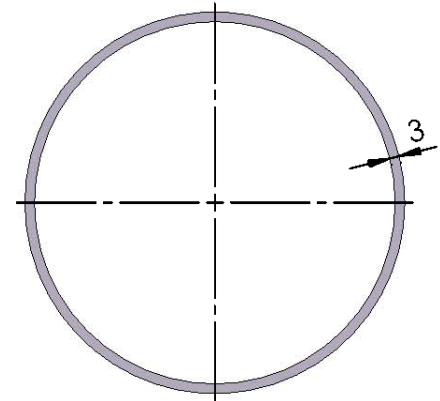
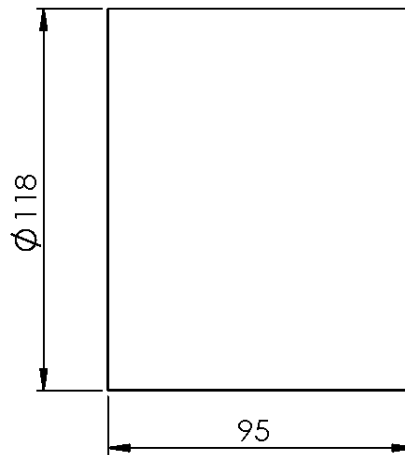
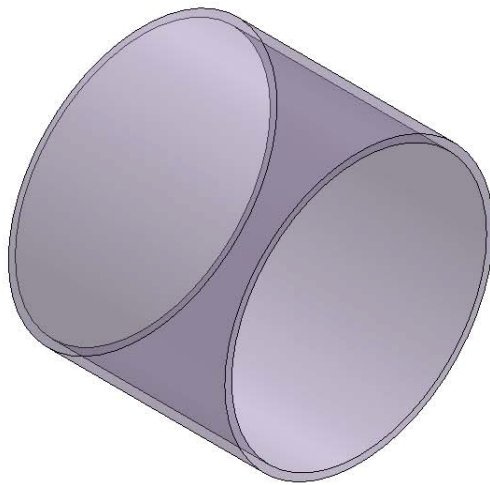
SECCIÓN G-G
ESCALA 1 : 2



DETALLE H
ESCALA 1 : 1



 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
SPR		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
FECHA: 03/10/2016		TÍTULO:	
ESCALA 1:2		TAPA SALIDA	
UNIDADES: [mm]		Autores: Brayan Andrés Rodríguez Herreño	
A4		James Ronal Vera Roza	

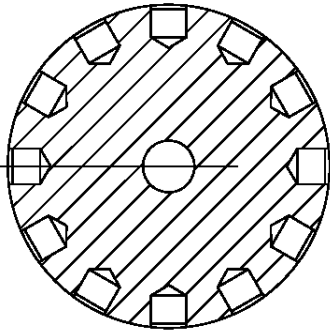


PROPIEDADES MECANICAS:

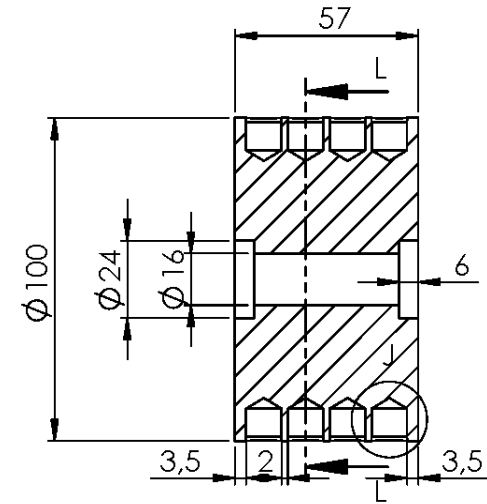
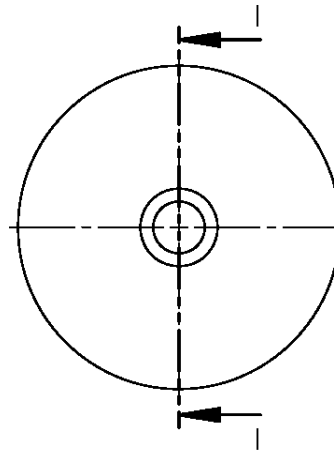
Dureza a la penetración BARCOLL	D-2583	50-52	-
Dureza a la penetración ROCKWELL	D-785	M 100	-
Elongación a la rotura	D-638	2	%
Módulo de elasticidad a la tracción	D-638	30.000-32.000	kg/cm2
Módulo de flexión	D-790	28600	kg/cm2
Módulo de la resistencia a la compresión	D-695	21420	kg/cm2
Resistencia a la abrasión (500 g., 100 ciclos).	D-1044	4	-
Resistencia a la compresión	D-695	1020	kg/cm2
Resistencia a la flexión	D-790	1020	kg/cm2
Resistencia a la tracción	D-638	700	kg/cm2

 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
SPR	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
FECHA: 03/10/2016	TITULO:	
ESCALA 1:2	ACRILICO EXTERIOR	
UNIDADES: [mm]	Autores: Brayan Andrés Rodríguez Herreño	
A4	James Ronal Vera Roza	

12 ORIFICIOS POR GIRO

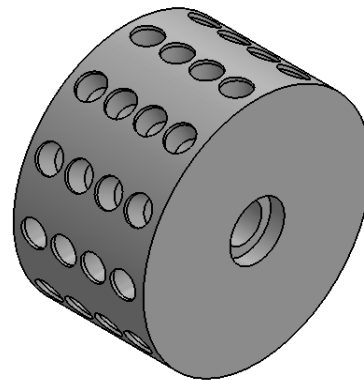
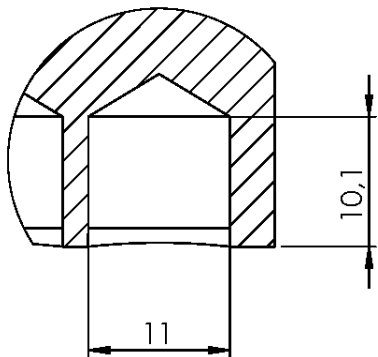


SECCIÓN L-L
ESCALA 1 : 2

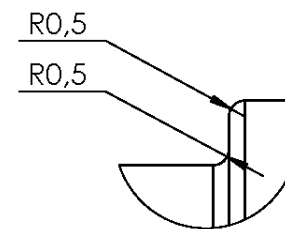
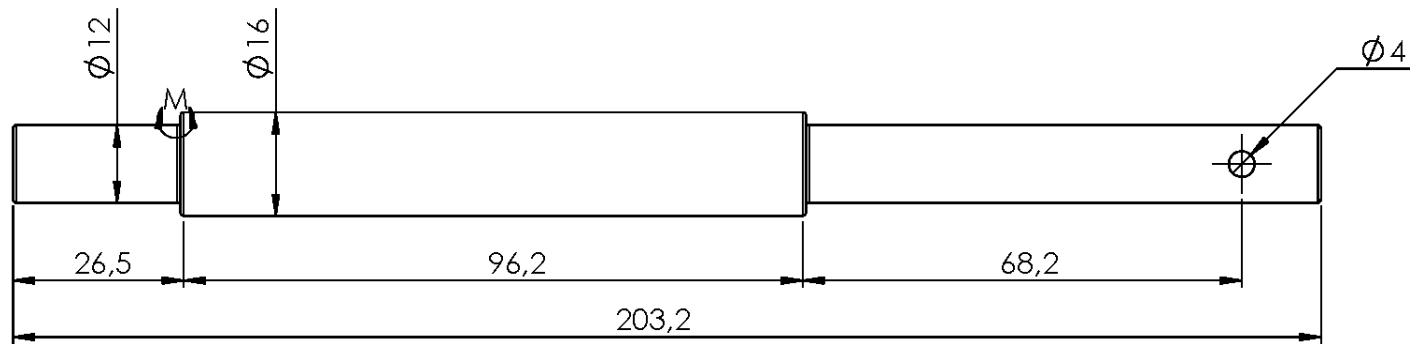


SECCIÓN H-H
ESCALA 1 : 2

DETALLE J
ESCALA 2 : 1

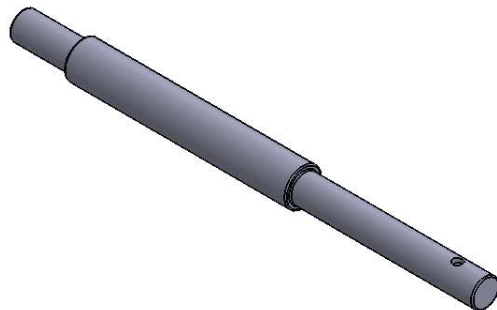


 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
SPR		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
FECHA: 03/10/2016		TÍTULO:	
ESCALA 1:5		ROTOR	
UNIDADES: [mm]		Autores:	
A4		Brayan Andrés Rodríguez Herreño James Ronal Vera Roza	

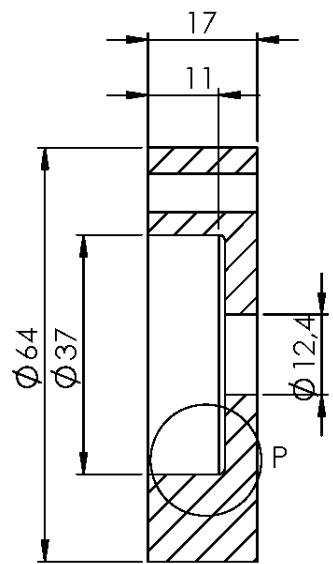


DETALLE M
ESCALA 5 : 1

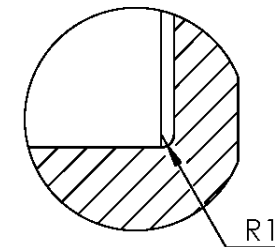
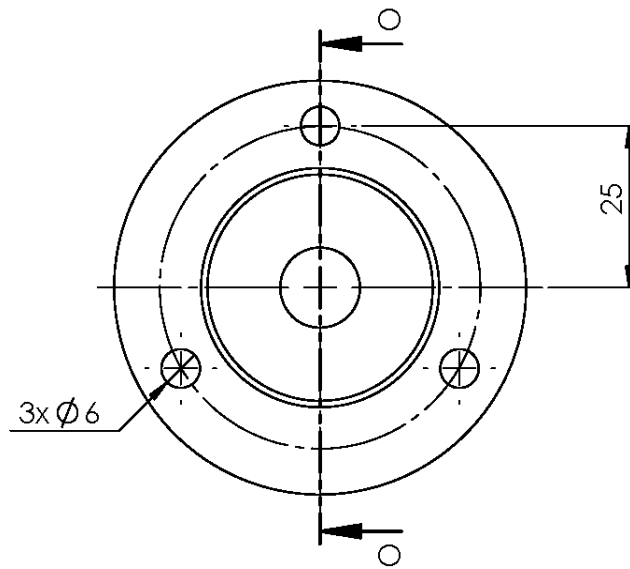
NOTA 1: Todos los redondeos a R=0.5 mm.
 NOTA 2: MATERIAL SAE 1045.
 NOTA 3: TALADRO 4 mm de profundidad.



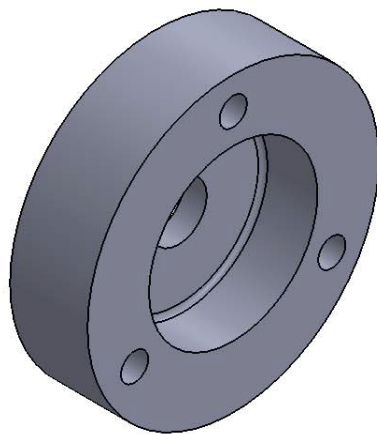
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
SPR		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
FECHA: 03/10/2016		TITULO:	
ESCALA 1:1		EJE SPR	
UNIDADES: [mm]		Autores: Brayan Andrés Rodríguez Herreño James Ronal Vera Roza	
A4			



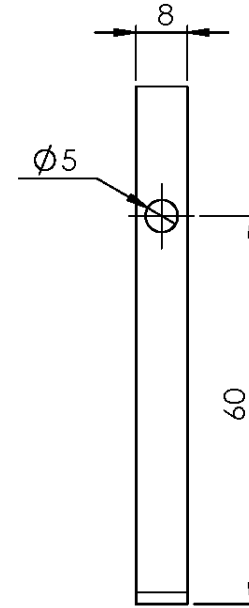
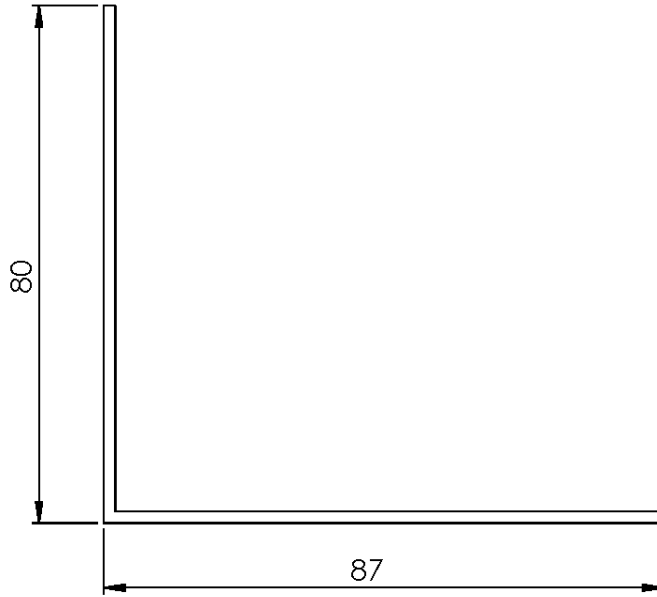
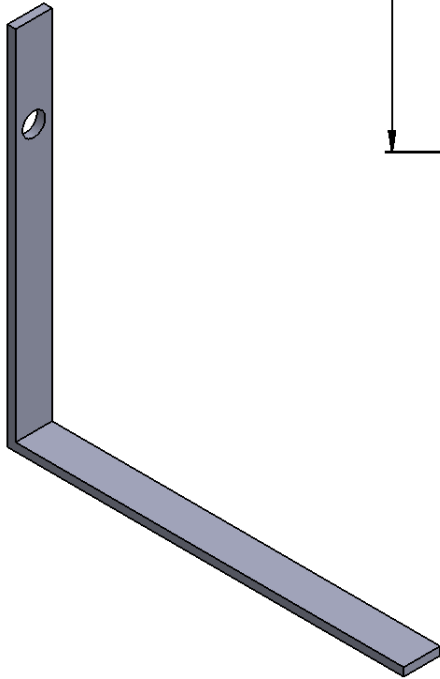
SECCIÓN O-O
ESCALA 1 : 1



DETALLE P
ESCALA 2 : 1



 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
SPR		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
FECHA: 03/10/2016		TÍTULO: SOPORTE RODAMIENTOS	
ESCALA 1:1			
UNIDADES: [mm]		Autores: Brayan Andrés Rodríguez Herreño James Ronal Vera Roza	
A4			



 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
SPR		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
FECHA: 03/10/2016		TITULO: SOPORTE TAPAS	
ESCALA 1:1			
UNIDADES: [mm]		Autores: Brayan Andrés Rodríguez Herreño James Ronal Vera Roza	
A4			

ANEXO D. REDONDO EJE SAE 1045.

ACERO SAE 1045

DIN	CK - 45
UNI	C - 45
AFNOR	XC - 45
SAE	1045

CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO

SAE 1045 es un acero grado ingeniería de aplicación universal que proporciona un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo con respecto a los aceros de baja aleación. Frecuentemente se utiliza para elementos endurecidos a la llama ó por inducción. Este acero puede ser usado en condiciones de suministro: laminado en caliente o con tratamiento térmico (templado en aceite y revenido; ó templado en agua y revenido).

SAE 1045 es un acero de baja templabilidad que puede ser endurecido totalmente en espesores delgados por temple en agua. En secciones más gruesas se puede obtener un endurecimiento parcial de la sección de la pieza y el incremento de la resistencia será proporcional a la capa o espesor endurecido, al ser deformado en frío se presenta un incremento en la dureza y la resistencia mecánica.

COMPOSICION QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.43 0.50	0.6 0.9	0.04	0.05	0.2 0.4

Estado de suministro: Recocido

Dureza de suministro: 160 - 200 Brinell

PROPIEDADES FÍSICAS

Estos valores son obtenidos a partir de probetas bajo condiciones específicas de laboratorio y deben ser usados como referencia.

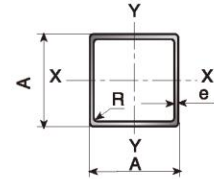
- Densidad → 7.85 gr/cm³.
- Módulo de elasticidad → 2 x 10¹¹ Pa (24 x 10⁶ PSI).
- Conductividad térmica → 52 W/(m·°C).
- Calor específico J/(Kg·K) → 460
- Coeficiente de Poisson → 0,3
- Resistividad eléctrica (microhm-cm):
a 32°F = 16.2
a 212°F = 22.3
- Coeficiente de dilatación térmica / °C
(20 - 100°C) 12.3 x 10⁻⁶
(20 - 200°C) 12.7 x 10⁻⁶
(20 - 400°C) 13.7 x 10⁻⁶

PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE SIN ENDURECIMIENTO			
Diámetro de la barra: 12 a 38 mm			
Propiedad	Laminado en caliente	Normalizado	Recocido
Resistencia a la tracción MPa	655	655	620
Punto de fluencia MPa	413	413	379
% de elongación	23	23	26
% de reducción de área	44	45	53
Dureza brinell (3000 kg.)	190	190	180

ANEXO E.PERFILES CUADRADO Y L.

Perfiles Cuadrados ASTM A500

Especificaciones Generales	
Largo normal:	6 m. Otros largos previa consulta.
Recubrimiento:	Negro.
Extremos:	Lisos de máquina.
Calidades normales:	A270ES • A240ES • SAE 1010 • SAE 1008
Otras dimensiones:	A pedido, previa consulta a CINTAC.



Dimensiones nominales		Peso teórico	Area A	Ejes X-X e Y-Y		
A	Espesor			I	W	i
mm	mm	Kgf/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
15	1,0	0,42	0,53	0,17	0,23	0,56
	1,5	0,59	0,75	0,22	0,29	0,54
20	1,0	0,58	0,73	0,43	0,43	0,77
	1,5	0,83	1,05	0,58	0,58	0,74
	2,0	1,05	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,0	0,73	0,93	0,88	0,71	0,97
	1,5	1,06	1,35	1,21	0,97	0,95
	2,0	1,36	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,0	0,89	1,13	1,57	1,05	1,18
	1,5	1,30	1,65	2,19	1,46	1,15
40	2,0	1,68	2,14	2,71	1,81	1,13
	1,0	1,20	1,53	3,85	1,93	1,59
	1,5	1,77	2,25	5,48	2,74	1,56
	2,0	2,31	2,94	6,93	3,46	1,54
	3,0	3,30	4,21	9,28	4,64	1,48

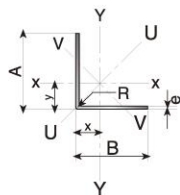
Dimensiones nominales		Peso teórico	Area A	Ejes X-X e Y-Y		
A	Espesor			I	W	i
mm	mm	Kgf/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
50	1,5	2,24	2,85	11,06	4,42	1,97
	2	2,93	3,74	14,13	5,65	1,94
	3	4,25	5,41	19,41	7,76	1,89
	4	5,45	6,95	23,60	9,44	1,84
	5	6,56	8,36	26,78	10,71	1,79
75	2	4,50	5,74	50,47	13,46	2,97
	3	6,60	8,41	71,54	19,08	2,92
	4	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
	5	10,48	13,36	105,92	28,25	2,82
	6	12,27	15,63	119,48	31,86	2,76
	100	2	6,07	7,74	122,99	24,60
3		8,96	11,41	176,95	35,39	3,94
4		11,73	14,95	226,09	45,22	3,89
5		14,41	18,36	270,57	54,11	3,84
6		16,98	21,63	310,55	62,11	3,79
135		4	16,13	20,55	581,38	86,13
	5	19,90	25,36	704,23	104,33	5,27

Los productos destacados son fabricados a pedido y lote mínimo.



Angulos Especificación Técnica Cintac ET-11/MA-7-2

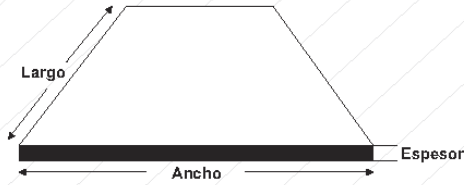
Especificaciones Generales	
Largo normal:	6 m. Otros largos previa consulta.
Recubrimiento:	Negro.
Extremos:	Lisos de máquina.
Calidades normales:	A270ES – A240ES
Otras dimensiones:	A pedido, previa consulta a CINTAC.



Dimensiones nominales			Peso teórico P kgf/m	Area A cm	Propiedades					
A mm	B mm	e mm			Ejes X-X e Y-Y			Eje U-U	Eje V-V	ivv
					I cm	W cm	i cm	x=y cm	iuu cm	ivv cm
20	20	2	0,58	0,73	0,28	0,20	0,62	0,59	0,79	0,37
		3	0,83	1,05	0,38	0,28	0,60	0,64	0,78	0,35
25	25	2	0,73	0,93	0,56	0,32	0,78	0,72	0,99	0,47
		3	1,06	1,35	0,79	0,45	0,76	0,77	0,98	0,45
30	30	2	0,89	1,13	1,00	0,46	0,94	0,84	1,20	0,57
		3	1,30	1,65	1,41	0,67	0,92	0,89	1,18	0,55
		4	1,68	2,14	1,76	0,86	0,91	0,94	1,17	0,53
40	40	2	1,20	1,53	2,44	0,84	1,26	1,09	1,61	0,78
		3	1,77	2,25	3,50	1,22	1,25	1,14	1,59	0,76
		4	2,31	2,94	4,46	1,58	1,23	1,19	1,58	0,74
		5	2,82	3,59	5,31	1,92	1,22	1,24	1,56	0,71
50	50	2	1,52	1,93	4,86	1,33	1,58	1,34	2,01	0,98
		3	2,24	2,85	7,03	1,95	1,57	1,39	2,00	0,96
		4	2,93	3,74	9,04	2,54	1,56	1,44	1,99	0,94
		5	3,60	4,59	10,88	3,10	1,54	1,48	1,97	0,92
		6	4,25	5,41	12,57	3,62	1,52	1,53	1,96	0,90
65	65	3	2,95	3,75	15,84	3,34	2,05	1,76	2,61	1,27
		4	3,88	4,94	20,54	4,38	2,04	1,81	2,60	1,25
		5	4,78	6,09	24,97	5,38	2,02	1,86	2,58	1,23
		6	5,66	7,21	29,11	6,34	2,01	1,90	2,57	1,21
80	80	3	3,65	4,65	29,99	5,12	2,54	2,14	3,22	1,57
		4	4,82	6,14	39,10	6,72	2,52	2,18	3,21	1,56
		5	5,96	7,59	47,79	8,28	2,51	2,23	3,20	1,54
		6	7,07	9,01	56,05	9,80	2,49	2,28	3,18	1,52
100	100	3	4,59	5,85	59,35	8,06	3,18	2,64	4,04	1,98
		4	6,07	7,74	77,75	10,63	3,17	2,68	4,03	1,96
		5	7,53	9,59	95,47	13,13	3,16	2,73	4,01	1,94
		6	8,96	11,41	112,52	15,58	3,14	2,78	4,00	1,92

Los productos destacados son fabricados a pedido y lote mínimo.

ANEXO F. LAMINA ACERO INOXIDABLE 304 18.



LÁMINAS EN ACERO INOXIDABLE

Especificaciones Técnicas

CALIDADES MAS COMUNES		COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES MECANICAS				APLICACIONES MAS FRECUENTES			
AISI	ACERINOX	L	C	MN	P	S	SI	Cr	Ni	LIMITE ELASTICO	RESISTENCIA A LA TRACCION	% ALARG		DUREZA		
AISI 304	ACX 120	Mín.						18.0	8.0	31Kg/mm2	-	70Kg/mm2	-	60	82	Tubos - Caldería Ind. Alimenticia - Nuclear Menaje.
		Máx.	0.08	2.00	0.04	0.03	0.75	19.0	9.0	-	-	-	-			
AISI 316	ACX 250	Mín.						16.5	10.5	31Kg/mm2	-	60Kg/mm2	-	57	81	Industria Textil - Alimenticia - Química Petroquímica.
		Máx.	0.07	2.00	0.04	0.03	0.75	18.0	12.0	-	-	-	-			
AISI 310	ACX 350	Mín.						24.0	19.0	31Kg/mm2	-	67Kg/mm2	-	45	85	Homos - Chimeneas.
		Máx.	0.07	2.00	0.04	0.03	0.75	26.0	22.0	-	-	-	-			
AISI 430	ACX 500	Mín.						16.0		-	-	31Kg/mm2	-	31	82	Electrodomesticos Construcción Interior.
		Máx.	0.10	1.00	0.04	0.03	0.75	17.5		-	-	-	-			

Dimensiones y Pesos de láminas comerciales

ESPESOR			AISI 430					AISI 304				
CALIBRE	PULGADA	MILIMETRO	M2		1.0 x 2.0 Mts.		0.91 x 3.05 Mts.		1.2 x 2.44 Mts.		1.52 x 3.05 Mts.	
			Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.
11	1/8"	3.00	23.10	46.20	64.11	68.76	107.09	23.80	47.60	66.06	70.85	110.34
		4.00	30.80	61.60	85.49	91.69	142.79	31.73	63.47	88.08	94.46	147.12
3/16"	4.50	34.65	69.30	96.17	103.15	160.64	35.70	71.40	99.09	106.27	165.51	
		4.76	36.65	73.30	101.73	109.11	169.92	37.76	75.53	104.81	112.41	175.07
1/4"	5.00	38.50	77.00	106.86	114.61	178.49	39.67	79.33	110.09	118.08	183.89	
		6.00	46.20	92.40	128.23	137.53	214.18	47.60	95.20	132.11	141.70	220.67
5/16"	7.00	53.90	107.80	149.60	160.45	249.88	55.53	111.07	154.13	165.31	257.45	
		8.00	61.60	123.20	170.97	183.37	285.58	63.47	126.93	176.15	188.83	284.23
3/8"	9.00	69.30	138.60	192.34	206.29	321.27	71.40	142.80	198.17	212.54	331.01	
		10.00	77.00	154.00	312.71	229.21	356.97	79.33	158.67	220.19	236.16	367.79
1/2"	12.00	92.40	184.80	256.46	275.06	428.37	95.20	190.40	264.23	283.39	441.35	
		15.00	115.50	231.00	320.57	343.82	535.46	119.00	238.00	330.28	354.24	551.68
5/8"	15.88	122.28	244.55	339.38	363.99	566.87	125.98	251.96	349.66	375.02	584.05	
		19.00	146.30	292.60	406.06	435.51	678.25	150.73	301.47	418.36	448.70	698.80
3/4"	20.00	154.00	308.00	427.43	458.43	713.94	158.67	317.33	440.38	472.32	735.58	
		25.00	192.50	385.00	534.28	573.03	892.43	198.33	396.67	550.47	590.40	919.47
	40.00	308.00	616.00	854.85	916.85	1,427.89	317.33	634.67	880.76	944.64	1,471.16	
		50.00	385.00	770.00	1,068.57	1,146.07	1,784.86	396.67	793.33	1,100.95	1,180.80	1,838.95
	60.00	462.00	924.00	1,282.28	1,375.28	2,141.83	476.00	952.00	1,321.14	1,416.96	2,206.74	

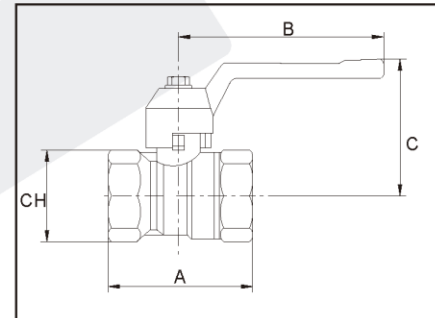
ANEXO G. VALVULA NAPOLI 38.



VALVULA DE BOLA

VALVULA BOLA ACERO INOXIDABLE CF8M, 800 LBS. WOG
1 CUERPO, PASO REDUCIDO, VASTAGO ANTIEXPULSION

PIEZA	MATERIALES
CUERPO	Acero inoxidable ASTM A351 CF8M (316)
VASTAGO	Acero inoxidable Tipo 316
BOLA	Acero inoxidable Tipo 316
ASIENTO	PTFE
SELLO AL VASTAGO	PTFE
VOLANTE	Acero inoxidable 304 con funda plástica
EXTREMOS	Hilo NPT
MARCA	Visa
FIGURA	B1-SS
PROCEDENCIA	Taiwan



		DIMENSIONES							
MEDIDAS	DN	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2
DIMENSIONES	CH	17	20	25	32	38	50	53	56
	C	30	40	47	52	52	55	70	77
	B	60	70	85	87	110	112	120	129
	A	40	45	55	60	70	78	83	88

ANEXO H. CERTIFICADO METANOL Y NaOH.



Certificate of Analysis

1.06498.1000 Sodium hydroxide pellets for analysis EMSURE® ISO
Batch B1269398

	Spec. Values		Batch Values	
Assay (acidimetric, NaOH)	≥ 99.0	%	99.3	%
Carbonate (as Na ₂ CO ₃)	≤ 1.0	%	0.3	%
Chloride (Cl)	≤ 0.0005	%	≤ 0.0005	%
Phosphate (PO ₄)	≤ 0.0005	%	≤ 0.0005	%
Silicate (SiO ₂)	≤ 0.001	%	≤ 0.001	%
Sulphate (SO ₄)	≤ 0.0005	%	≤ 0.0005	%
Total nitrogen (N)	≤ 0.0003	%	≤ 0.0003	%
Heavy metals (as Pb)	≤ 0.0005	%	≤ 0.0005	%
Al (Aluminium)	≤ 0.0005	%	≤ 0.0005	%
As (Arsenic)	≤ 0.0001	%	≤ 0.0001	%
Ca (Calcium)	≤ 0.0005	%	≤ 0.0005	%
Cu (Copper)	≤ 0.0002	%	≤ 0.0002	%
Fe (Iron)	≤ 0.0005	%	≤ 0.0005	%
K (Potassium)	≤ 0.05	%	0.011	%
Mg (Magnesium)	≤ 0.0005	%	≤ 0.0005	%
Ni (Nickel)	≤ 0.00025	%	≤ 0.00025	%
Pb (Lead)	≤ 0.0005	%	≤ 0.0005	%
Zn (Zinc)	≤ 0.001	%	≤ 0.001	%

Date of release (DD.MM.YYYY) 26.01.2016
Minimum shelf life (DD.MM.YYYY) 31.01.2019

Lina Kehl
Responsible laboratory manager quality control

This document has been produced electronically and is valid without a signature.

CERTIFICADO DE ANALISIS

CODIGO: **361091**

LOTE: 0000782453

PRODUCTO: **Metanol para UV, IR, HPLC, ACS**

FECHA DE EMISIÓN: 17/03/2016

FECHA REANÁLISIS: 03/2020

ESPECIFICACIONES	VALOR GARANTIZADO	VALOR REAL
Riqueza mínima (C.G.)	99,9%	99,9%
Densidad 20/4	0,791-0,792	0,791
Límite máximo de impurezas		
Color APHA	10	<10
Acidez	0,0002 meq/g	<0,0002 meq/g
Alcalinidad	0,0002 meq/g	<0,0002 meq/g
Insoluble en H ₂ O	Conforme ensayo	Conforme ensayo
Residuo fijo	0,0005 %	<0,0001 %
Resistencia al KMnO ₄	Conforme ensayo	Conforme ensayo
Sustancias carbonizables por H ₂ SO ₄	Conforme ensayo	Conforme ensayo
Carbonilos (en acetona, en formaldehído y en acetaldehído)	0,001%	0,001%
Aptitud para gradiente según ACS	Conforme ensayo	Conforme ensayo
Deriva de la línea base (235 nm)	15 mUA	<15 mUA
Agua (H ₂ O)	0,03 %	0,02 %
Aptitud para espectrometría IR:	Conforme ensayo	Conforme ensayo

Gradiente

L (nm)	235	254							
A (mUA)	<2	<1							

Fluorescencia (en quinina):

L (nm)	254	365							
A (ppb)	< 1	< 1							

Espectro UV(Camino óptico:1cm.Ref.:agua)

L (nm)	205 (Cut off)	210	220	230	240	260-400			
A (UA)	<1,000	<0,520	<0,260	<0,125	<0,046	<0,009			
T (%)	17	41	68	89	93	99			

Datos de interés en HPLC

Polaridad Rohrschneider	5,1	5,1
Valor eluotrópico e° (Al ₂ O ₃)	0,95	0,95
Sol. H ₂ O en disolv. a 20°C	miscible	miscible

Para trabajos críticos, purgar con nitrógeno.
Producto microfiltrado (0,2 µm) y envasado bajo atmósfera

ANEXO I. COSTOS FABRICACIÓN.



PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL MEDIANTE CAITACION HIDRODINAMICA

I. EQUIPOS ADQUIRIDOS

Item	Descripción	Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor - Unit	
1	Motor WEG 1/2 HP	1	260.000	1,00	C\$ 260.000	C\$ 260.000
2	Cavitador SPR	1	250.000	1,00	C\$ 250.000	C\$ 250.000
3	Sellos Mecánicos	2	25.000	2,00	C\$ 50.000	C\$ 50.000
4	Rodamientos SPR	1	20.000	1,00	C\$ 20.000	C\$ 20.000
5	Erlenmeyer de Vidrio 1000mL	1	16.913	1,00	C\$ 16.913	C\$ 16.913
6	Vaso de Presipitado de Vidrio 1000 mL	1	16.704	1,00	C\$ 16.704	C\$ 16.704
7	Vaso de Presipitado de Vidrio 250mL	2	9.850	2,00	C\$ 19.699	C\$ 19.699
8	Elise 5 espiras 8 in	1	10.000	1,00	C\$ 10.000	C\$ 10.000
9	Tornillería General, mangueras, abrasaderas y racores	1	324.662	1,00	C\$ 324.662	C\$ 324.662
10	valvula de 3/8	8	10.200	8,00	C\$ 81.600	C\$ 81.600
11	Silicona Caliente Gris	1	13.000	1,00	C\$ 13.000	C\$ 13.000
12	Barra Magnetica 15 x 5mm ISOLAB	1	3.248	1,00	C\$ 3.248	C\$ 3.248
13	Pila Gasolina Bosh	1	50.000	1,00	C\$ 50.000	C\$ 50.000
14	Valvula 1/4 paso	6	7.000	6,00	C\$ 42.000	C\$ 42.000
15	Manometro 2in caratula glicerina	2	30.000	2,00	C\$ 60.000	C\$ 60.000
16	Servomotores	5	35.000	5,00	C\$ 175.000	C\$ 175.000
17	Aerosoles	6	8.000	6,00	C\$ 48.000	C\$ 48.000
18	Empaques Generales	1	100.000	1,00	C\$ 100.000	C\$ 100.000
19	Brocas	1	36.000	1,00	C\$ 36.000	C\$ 36.000
20	Poleas	2	15.000	2,00	C\$ 30.000	C\$ 30.000
21	Sistema Electrico Arranque	1	350.000	1,00	C\$ 350.000	C\$ 350.000
22	Bomba de Engranajes	1	380.000	1	C\$ 380.000	C\$ 380.000
23	Motor de agitacion	1	50.000	1,00	C\$ 50.000	C\$ 50.000
					Sub-Total	C\$ 2.386.826

II. MATERIALES

Item	Forma	Descripción	Unidad	Precio/Unidad	Cantidad	Valor - Unit
1	Redondo	Tramo 15 CM de redondo 5/8 SAE 1045	1	15.000	1,00	15.000,00
	Pimpina	Aceite x20L	1	70.000	1,00	70.000,00
	Botella	Metanol x4L	1	155.904	1,00	155.904,00
	Frasco	Hidroxido Lentejas NaOH 1000 grs	1	72.500	1,00	72.500,00
	Perfil	Tubo Cuadrado 3/4 in	4	8.500	4,00	34.000,00
	Redondo	Prolon Tramo por 15 cm	1	28.000	1,00	28.000,00
	Lamina	Acero inoxidable tanques	1	100.000	1,00	100.000,00
	Cilindro	Tubo en acrilico cilindo	1	25.000	1,00	25.000,00
	Botella	Resina	1	80.000	1,00	80.000,00
	Lamina	MDF 15 mm 70 x 60	2	15.000	2,00	30.000,00
					Sub-Total	610.404,00

III. MANUFACTURA

Item	Hora equipo	Descripción.	Horas	Precio/Hora	Valor Unit	
16/05/2016	7:00 a. m.	Torno	1,50	150000,00	225.000,00	
18/05/2016	6:00 a. m.	Soldador	4,00	15000,00	60.000,00	
25/05/2016	2:00 p. m.	Metalisteria	3,00	30000,00	90.000,00	
05/06/2016	6:00 a. m.	Taller Resina	8,00	15000,00	120.000,00	
08/06/2016	7:00 a. m.	Impresora 3d	4,00	15000,00	60.000,00	
					Sub-Total	555.000,00

Item	Mano de obra	Descripción.	Horas	Precio/Hora	Valor Unit	
16/05/2016	Tornero	Realizar el eje para el sistema de agitacion + poleas	1,50	10000,00	15.000,00	
18/05/2016	Soldador	Realizar el bastidor	4,00	12000,00	48.000,00	
25/05/2016	Metalisteria	Realizar tanques	3,00	25000,00	75.000,00	
					Sub-Total	138.000,00

IV. ENSAMBLES.

Ítem	Trabajador	Descripción.	Horas	Precio/Hora	Valor - Unit.	
1	Soldaduras	Soldadras en acomples y soporets tanques	20	10.000,00	200.000	
					Sub-Total	200.000,00

OBSERVACIONES:

Total	3.890.230,40
Ajuste al peso	

ANEXO J. COSTOS KWH ESSA.

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. ESP.

INFORMA A SUS USUARIOS DEL SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA

De acuerdo con las resoluciones 119/07, 097/08, 121/09 y 172/09 expedidas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, que permiten establecer los costos de la prestación del servicio a usuarios regulados, las tarifas para el mes de

Mayo 2015

TARIFAS RESIDENCIALES								
ESTRATO		1		2		3		4
PROPIEDAD ACTIVOS	NIVEL MEDIDA	% SUBSIDIO	TARIFA \$/kWh	% SUBSIDIO	TARIFA \$/kWh	% SUBSIDIO	TARIFA \$/kWh	TARIFA \$/kWh
ESSA	I	-55.04%	179.4872	-43.80%	224.3590	-15.00%	339.3472	399.2320
CLIENTE	I	-54.97%	162.1794	-43.72%	202.7242	-15.00%	306.1502	360.1767
Nota: El subsidio es aplicado hasta el consumo de subsistencia.								
TARIFAS RESIDENCIALES				TARIFAS NO RESIDENCIALES				
ESTRATO		5 y 6		COMERCIAL / INDUSTRIAL		ACUEDUCTOS. ESP		OFICIAL
PROPIEDAD ACTIVOS	NIVEL MEDIDA	% CONTRIB.	TARIFA \$/kWh	CONTRIB. 20%	TARIFA \$/kWh	CONTRIB. 10%	TARIFA \$/kWh	TARIFA \$/kWh
ESSA	I	20.00%	479.0784	79.8464	479.0784	39.9232	439.1552	399.2320
CLIENTE	I	20.00%	432.2121	72.0353	432.2121	36.0177	396.1944	360.1767
	II			65.4565	392.7391	32.7283	360.0108	327.2825
	III			54.3194	325.9161	27.1597	298.7564	271.5968
	IV			47.6879	286.1273	23.8439	262.2833	238.4394
COMPONENTES DEL COSTO UNITARIO VARIABLE Y FIJO DE PRESTACION DEL SERVICIO (CU) según Res. CREG 119/2007								
NIVEL MEDIDA	G	T	D	Cv	PR	R	CUv Calculado	CUf Aplicado
	Compra Energía	Costo STN	Costo Distribución	Costo de Comercialización	Costo de Compra, transporte y reducción de pérdidas	Costo de Restricciones	Costo Unitario Variable de Prestación del Servicio	Costo Unitario Fijo de Prestación del Servicio
	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh
I ESSA	149.1278	21.6864	155.0535	39.7999	27.7571	5.8072	399.2320	0.0000
I CLIENTE	149.1278	21.6864	115.9983	39.7999	27.7571	5.8072	360.1767	0.0000
II	149.1278	21.6864	98.3429	39.7999	12.5184	5.8072	327.2825	0.0000
III	149.1278	21.6864	45.1799	39.7999	9.9955	5.8072	271.5968	0.0000
IV	149.1278	21.6864	18.2861	39.7999	3.7320	5.8072	238.4394	0.0000
I 50% ESSA (PIIas)	149.1278	21.6864	135.5259	39.7999	27.7571	5.8072	379.7043	0.0000
INDICADORES DE CALIDAD (metas DES FES). Segundo trimestre 2015								
GRUPOS					VALORES MAXIMOS			
					DES	FES		
1	Cabecera Municipal, población >= 100.000 Habitantes				3	9		
2	Cabecera Municipal, población <100.000>=50.000 Habitantes				6	11		
3	Cabecera Municipal, población < 50.000 Habitantes				11	14		
4	Areas rurales				11	17		
					DES: Tiempo de interrupción de un circuito durante el último trimestre			
					FES: Numero de interrupciones de un circuito durante el último trimestre			
Según lo establecido en la Ley 820 de 2003 y su decreto reglamentario 3130 de 2003, ESSA comunica los valores correspondientes a las garantías exigidas para la denuncia del contrato de arrendamiento.				CONSUMO DE SUBSISTENCIA			Alturas inferior a 1000 Mts	Alturas superior o = a 1000 Mts
				Resolución UPME 0355 de 8 de Julio de 2004.			173 kWh	130 kWh
COSTO DE GARANTIAS PARA EL MES								
SECTOR	Valor Garantía (\$)							
ESTRATO 1	130,509							
ESTRATO 2	143,757							
ESTRATO 3	216,309							
ESTRATO 4	298,032							
ESTRATO 5	412,041							
ESTRATO 6	474,717							



ANEXO K. UMBRAL DE BLAKE

Es el umbral donde comienza a generarse cavitación en un sistema, representa la resistencia del fluido a someterse a la cavitación. Está definido por la siguiente ecuación.⁵⁹

$$\mathfrak{K} = \frac{P_0 - P_v}{0.5 \times \rho \times \mu^2}$$

Dónde:

P_0 = Es la presión del sistema en ese punto.

P_v = Es la presión de vapor del fluido en transporte.

ρ = Densidad del fluido en transporte.

μ = Viscosidad del fluido en transporte.

Valores inferiores a uno representa que no se encuentra en inminente cavitación, por el contrario, valores del orden de 10^6 representan que el fluido se encuentra en una cavitación errática producto de una fuerza hidrodinámica o una caída fuerte de presión.⁶⁰

⁵⁹ SALINAS BARRERA, Vicente Reinaldo. Fluidos bajo Cavitación Acústica en recintos finitos: Experimentos y Modelación. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencia con Mención en Física. Santiago: Universidad de Santiago de Chile. Facultad de ciencia. Departamento de Física. 2014. 5 p.

⁶⁰ Ibíd. 5p.

ANEXO L. PESO MOLAR DE LA PALMA.

Tabla 1 Composición del aceite de palma

<i>Composición del Aceite de Palma</i>		
<i>Triglicérido</i>	<i>Porcentaje en Peso</i>	<i>Peso Molecular</i>
<i>Laureina</i>	<i>0,1</i>	<i>638,38</i>
<i>Mistirina</i>	<i>1</i>	<i>723,4</i>
<i>Oleína</i>	<i>40,6</i>	<i>885,4</i>
<i>Palmitina</i>	<i>42,8</i>	<i>807,29</i>
<i>Linolenina</i>	<i>0,2</i>	<i>882,37</i>
<i>Linoleina</i>	<i>10,7</i>	<i>882,36</i>
<i>Estearina</i>	<i>4,6</i>	<i>891,45</i>

Fuente: BEPMA, Presentación Obtención de biodiesel. Bucaramanga: INEM, 2009.

Para el cálculo del peso molecular se realiza la multiplicación entre el porcentaje en peso y el peso molecular de cada triglicérido.

$$W_{oil} = A_{Laureina} + A_{Mistirina} + A_{Oleino} + A_{Palmitina} + A_{Linolenina} + A_{linoleina} + A_{Estearina}$$

$$A_{Laureina} = \left(\frac{0,1}{100}\right) * \frac{638,38}{1000}$$

$$A_{Linolenina} = \left(\frac{0,2}{100}\right) * \frac{882,36}{1000}$$

$$A_{Mistirina} = \left(\frac{1}{100}\right) * \frac{723,4}{1000}$$

$$A_{linoleina} = \left(\frac{10,7}{100}\right) * \frac{882,36}{1000}$$

$$A_{Oleino} = \left(\frac{40,6}{100}\right) * \frac{885,4}{1000}$$

$$A_{Palmitina} = \left(\frac{42,8}{100}\right) * \frac{807,29}{1000}$$

$$A_{Estearina} = \left(\frac{4,6}{100}\right) * \frac{882,36}{1000}$$

$$W_{oil} = 0,8496 \left[\frac{Kg}{mol} \right]$$

ANEXO M. CODIGO ARDUINO.

```
#include <Servo.h>
Servo servo1;
Servo servo2;
Servo servo3;
Servo servo4;
const byte I[7]={53,2,3,4,5,6,7}; //Pin 53 start
int O[3]={24,22,51}; //Pin 24 bomba, Pin 22 relé de
los servos, 51 bombillo
byte E[10];
byte i[7];
int f;

void setup() {
E[0]=1;
Serial.begin(9600);
pinMode(I[0], INPUT_PULLUP );
pinMode(I[1], INPUT_PULLUP );
pinMode(I[2], INPUT_PULLUP );
pinMode(I[3], INPUT_PULLUP );
pinMode(I[4], INPUT_PULLUP );
pinMode(I[5], INPUT_PULLUP );
pinMode(I[6], INPUT_PULLUP );
pinMode(O[0], OUTPUT); //Bomba
pinMode(O[1], OUTPUT); //Relé de activación de
los servos
servo1.attach(8);
servo2.attach(9);
servo3.attach(10);
servo4.attach(12);
}

void loop() {
//Lectura del interruptor de arranque
int k=digitalRead(I[0]);
if(k==0){ //Lectura de los sensores
digitalWrite(O[2],HIGH);
for(f=1;f<7;f++){
if (digitalRead(I[f]) == 1) i[f] = 0;
else i[f] = 1;}

//Programa de secuencia
E[0]=E[0]+(E[9]&&!i[6])&&!E[1];
E[1]=E[1]+(E[0]&&i[1]&&i[2])&&!E[2];
E[2]=E[2]+(E[1]&&i[4])&&!E[3];
E[3]=E[3]+(E[2]&&i[3])&&!E[4];
E[4]=E[4]+(E[3]&&i[6])&&!E[5];
E[5]=E[5]+(E[4])&&!E[6];
E[6]=E[6]+(E[5])&&!E[7];
E[7]=E[7]+(E[6]&&i[1]&&i[2]&&!i[5])&&!E[
8];
E[8]=E[8]+(E[7]&&i[4])&&!E[9];
E[9]=E[9]+(E[8]&&i[3])&&!E[0];

//Programa de acciones
for(f=0;f<12;f++){
if (E[f]==1){
switch(f){
case 0:
digitalWrite(O[0],LOW);
digitalWrite(O[1],HIGH);
servo1.write(8);
servo2.write(8);
servo3.write(8);
servo4.write(8);
digitalWrite(O[1],LOW);
break;
case 1:
digitalWrite(O[1],HIGH);
```

```

servo1.write(100);
digitalWrite(O[1],LOW);
break;

case 2:

digitalWrite(O[1],HIGH);;
servo1.write(8);
servo2.write(100);
digitalWrite(O[1],LOW);
break;

case 3:
digitalWrite(O[1],HIGH);
servo2.write(8);
servo3.write(100);
digitalWrite(O[1],LOW);
break;

case 4:
delay(5000);//Tiempo de llenado del tanque
auxiliar
delay(5000);//Tiempo de llegada de mezcla a la
bomba
break;

case 5:
digitalWrite(O[0],HIGH);
delay(10000);//Tiempo de llenado del SPR
break;

case 6:
digitalWrite(O[1],HIGH);
servo4.write(100);
digitalWrite(O[1],LOW);
break;

case 7:

delay(3000);//Tiempo de vaciado del tanque
premezcla
digitalWrite(O[1],HIGH);
servo3.write(8);
servo1.write(100);
digitalWrite(O[1],LOW);
break;

case 8:
digitalWrite(O[1],HIGH);
servo1.write(8);
servo2.write(100);
digitalWrite(O[1],LOW);
break;

case 9:
digitalWrite(O[1],HIGH);
servo2.write(8);
servo3.write(100);
digitalWrite(O[1],LOW);
break;

} //Final del switch
} //Final del if
} //Final del for
} //Final del programa
if(k==1){
digitalWrite(O[2],LOW);
digitalWrite(O[0],LOW);
digitalWrite(O[1],HIGH);
servo1.write(8);
servo2.write(8);
servo3.write(8);
servo4.write(8);
digitalWrite(O[1],LOW);
E[0]=1;
E[1]=0;
E[2]=0;

```

```
E[3]=0;  
E[4]=0;  
E[5]=0;  
E[6]=0;  
E[7]=0;
```

```
E[8]=0;  
E[9]=0;  
  
} //Final del else  
} //Final del void loop
```

ANEXO N. CROMATOGRAFIAS DE GASES PRUEBAS P002 - P003.

PRUEBA P002

Tetradecanoato de metilo
Hexadecanoato de metilo

Octadecanoato de metilo
Cis-9-Octadecanoato de metilo
9,12-Octadecanoato de metilo
9,12,15-Octadecanoato de metilo

P002-A	
Tiempo	Area
5,422	109,1
7,331	4538,2
7,554	21,1
9,653	496,8
10,088	5536,8
10,781	1216,4
11,94	16,8
13,299	48,1
21,575	62,7
22,01	11,5
8,381	2478,5

P002-B	
Tiempo	Area
5,415	109,3
7,323	4549,4
7,545	21,4
9,64	498
10,08	5550,9
10,77	1219,9
11,926	17,6
13,281	48,2
21,568	64,1
22,002	11,9
8,371	2484,3

suma	14536
masa	255,7
concentracion	9,4905
volumen	5
*	4,864837603
**	0,185578803
Fame	90,28107406

suma	14575
masa	255,7
concentracion	9,4905
volumen	5
*	4,866843779
**	0,185578803
Fame	90,31830443

%FAME 90,299689

PRUEBA P003

Tetradecanoato de metilo
Hexadecanoato de metilo

Octadecanoato de metilo
Cis-9-Octadecanoato de metilo
9,12-Octadecanoato de metilo
9,12,15-Octadecanoato de metilo

P003-A	
Tiempo	Area
5,413	105
7,318	4371
7,542	20,2
9,632	474,3
10,073	5331,6
10,76	1117,6
11,924	10,8
13,278	46
21,565	72,3
8,367	2429,3

P003-B	
Tiempo	Area
5,413	106,8
7,318	4439
7,542	20,4
9,637	481,6
10,072	5412,5
10,761	1134,5
11,922	12,7
13,278	46,7
21,566	73,2
8,366	2466,7

suma	13978,1
masa	246
concentracion	9,6083
volumen	5
*	4,753962047
**	0,19529065
Fame	92,84043401

suma	14194,1
masa	246
concentracion	9,6083
volumen	5
*	4,754287104
**	0,19529065
Fame	92,84678208

%FAME 92,843608

=====

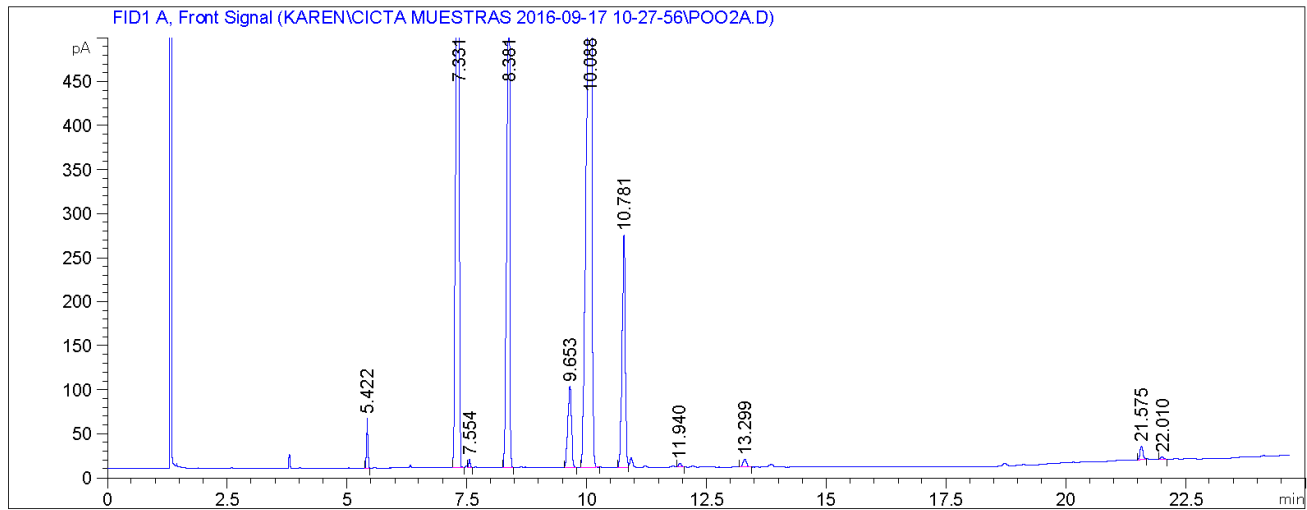
Acq. Operator	: SYSTEM	Seq. Line	: 1
Acq. Instrument	: GC 78890A	Location	: Vial 101
Injection Date	: 9/17/2016 10:30:42 AM	Inj	: 1
		Inj Volume	: 1 µl

Acq. Method : C:\CHEM32\1\DATA\KAREN\CICTA MUESTRAS 2016-09-17 10-27-56\14103 FAME_2.M
Last changed : 9/17/2016 10:27:56 AM by SYSTEM
Analysis Method : C:\CHEM32\1\DATA\KAREN\CICTA MUESTRAS 2016-09-17 10-27-56\14103 FAME_2.M (Sequence Method)
Last changed : 9/18/2016 4:00:32 PM by SYSTEM
(modified after loading)

Sample-related custom fields:

Name	Value
-----	-----
Additional Info	: Peak(s) manually integrated

=====



=====
Area Percent Report
=====

Sorted By : Retention Time
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

Signal 1: FID1 A, Front Signal

Peak #	RetTime [min]	Sig	Type	Area [pA*s]	Height [pA]	Area %
1	5.422	1	BB	109.14005	56.07530	0.75082
2	7.331	1	BB	4538.15186	1119.11194	31.21985
3	7.554	1	VB	21.13791	9.34848	0.14542
4	8.381	1	BB	2478.48267	617.58539	17.05052
5	9.653	1	BB	496.80402	91.79807	3.41772
6	10.088	1	BB	5536.83252	807.75928	38.09020
7	10.781	1	BV	1216.42249	262.94138	8.36828
8	11.940	1	BB	16.78106	3.90299	0.11544
9	13.299	1	BB	48.11668	8.79934	0.33101
10	21.575	1	BB	62.71135	14.97549	0.43142
11	22.010	1	BB	11.52852	2.62918	0.07931

```
=====
Acq. Operator   : SYSTEM                      Seq. Line :    1
Acq. Instrument : GC 78890A                  Location  : Vial 101
Injection Date  : 9/17/2016 10:30:42 AM      Inj       :    1
                                           Inj Volume: 1 µl
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\KAREN\CICTA MUESTRAS 2016-09-17 10-27-56\14103 FAME_2.M
Last changed    : 9/17/2016 10:27:56 AM by SYSTEM
Analysis Method : C:\CHEM32\1\DATA\KAREN\CICTA MUESTRAS 2016-09-17 10-27-56\14103 FAME_2.M (Sequence
Method)
Last changed    : 9/18/2016 4:00:32 PM by SYSTEM
                 (modified after loading)
=====
```

Sample-related custom fields:

```
Name | Value
-----|-----
Additional Info : Peak(s) manually integrated
=====
```

Peak #	RetTime [min]	Sig	Type	Area [pA*s]	Height [pA]	Area %
Totals :				1.45361e4	2994.92682	

```
=====
Summed Peaks Report
=====
```

```
=====
Final Summed Peaks Report
=====
```

Compound-related custom fields:
*** End of Report ***

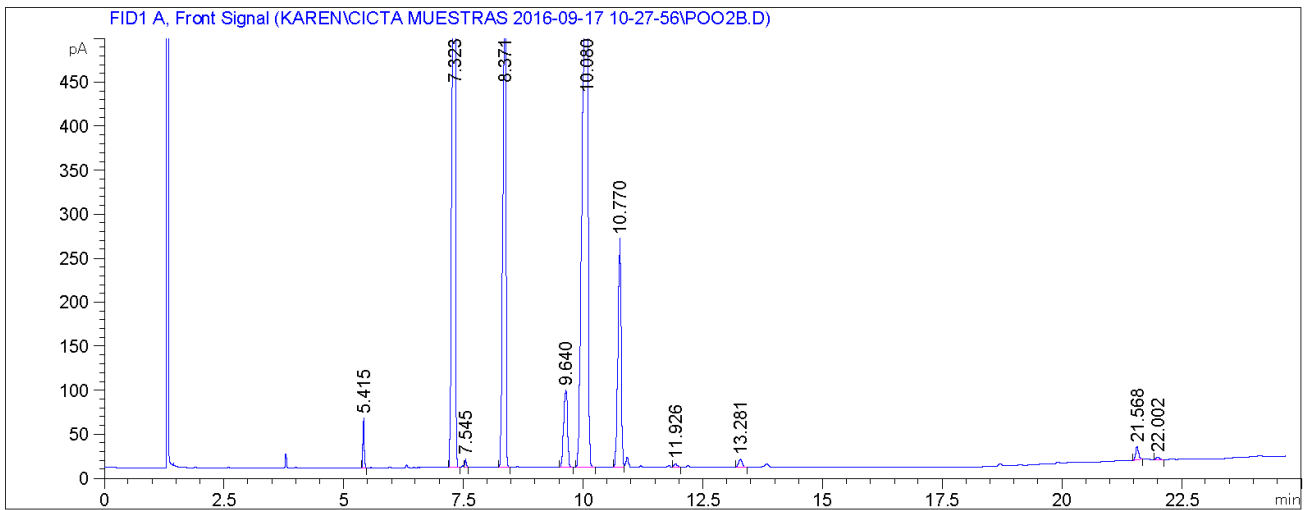
```

=====
Acq. Operator   : SYSTEM                      Seq. Line :    2
Acq. Instrument : GC 78890A                   Location  : Vial 102
Injection Date  : 9/17/2016 10:58:54 AM      Inj       :    1
                                           Inj Volume: 1 µl
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\KAREN\CICTA MUESTRAS 2016-09-17 10-27-56\14103 FAME_2.M
Last changed    : 9/17/2016 10:27:56 AM by SYSTEM
Analysis Method : C:\CHEM32\1\DATA\KAREN\CICTA MUESTRAS 2016-09-17 10-27-56\14103 FAME_2.M (Sequence
Method)
Last changed    : 9/18/2016 4:02:00 PM by SYSTEM
                 (modified after loading)
  
```

Sample-related custom fields:

```

Name | Value
-----|-----
Additional Info : Peak(s) manually integrated
=====
  
```



Area Percent Report

```

Sorted By      :      Retention Time
Multiplier     :      1.0000
Dilution       :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID1 A, Front Signal

Peak #	RetTime [min]	Sig	Type	Area [pA*s]	Height [pA]	Area %
1	5.415	1	BB	109.31353	56.39691	0.75001
2	7.323	1	BB	4549.37158	1102.01270	31.21359
3	7.545	1	VB	21.38788	9.36415	0.14674
4	8.374	1	BB	2484.33081	613.13885	17.04519
5	9.640	1	BB	497.97205	87.50127	3.41662
6	10.080	1	BB	5550.88477	794.56348	38.08505
7	10.770	1	BV	1219.86462	258.55011	8.36959
8	11.926	1	BB	17.61955	3.88560	0.12089
9	13.281	1	BB	48.20023	9.01803	0.33071
10	21.568	1	BB	64.14310	15.21251	0.44009
11	22.002	1	BB	11.88203	2.67435	0.08152

Sample Name: P002B

```
=====
Acq. Operator   : SYSTEM                      Seq. Line :    2
Acq. Instrument : GC 78890A                   Location  : Vial 102
Injection Date  : 9/17/2016 10:58:54 AM      Inj       :    1
                                           Inj Volume: 1 µl
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\KAREN\CICTA MUESTRAS 2016-09-17 10-27-56\14103 FAME_2.M
Last changed    : 9/17/2016 10:27:56 AM by SYSTEM
Analysis Method : C:\CHEM32\1\DATA\KAREN\CICTA MUESTRAS 2016-09-17 10-27-56\14103 FAME_2.M (Sequence
Method)
Last changed    : 9/18/2016 4:02:00 PM by SYSTEM
                  (modified after loading)
=====
```

Sample-related custom fields:

```
Name | Value
-----|-----
Additional Info : Peak(s) manually integrated
=====
```

Peak #	RetTime [min]	Sig	Type	Area [pA*s]	Height [pA]	Area %
Totals :				1.45750e4	2952.31795	

```
=====
Summed Peaks Report
=====
```

```
=====
Final Summed Peaks Report
=====
```

Compound-related custom fields:

*** End of Report ***

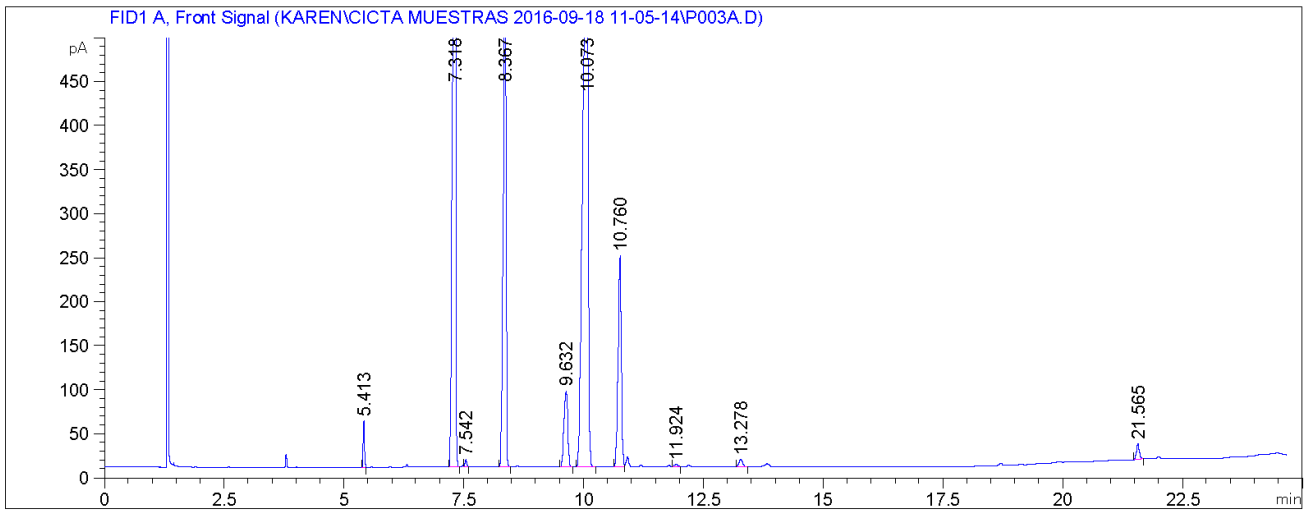
```

=====
Acq. Operator   : SYSTEM                      Seq. Line :    3
Acq. Instrument : GC 78890A                  Location  : Vial 103
Injection Date  : 9/18/2016 12:05:42 PM      Inj       :    1
                                           Inj Volume: 1 µl
Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\KAREN\CICTA MUESTRAS 2016-09-18 11-05-14\14103 FAME_2.M
Last changed   : 9/18/2016 11:05:14 AM by SYSTEM
Analysis Method : C:\CHEM32\1\DATA\KAREN\CICTA MUESTRAS 2016-09-18 11-05-14\14103 FAME_2.M (Sequence
Method)
Last changed   : 9/18/2016 4:03:43 PM by SYSTEM
                (modified after loading)
  
```

Sample-related custom fields:

```

Name | Value
-----|-----
Additional Info : Peak(s) manually integrated
=====
  
```



=====
 Area Percent Report
 =====

```

Sorted By      :      Retention Time
Multiplier     :      1.0000
Dilution       :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID1 A, Front Signal

Peak #	RetTime [min]	Sig	Type	Area [pA*s]	Height [pA]	Area %
1	5.413	1	BB	105.02919	52.76262	0.75139
2	7.318	1	BB	4371.01660	1086.50842	31.27067
3	7.542	1	VB	20.17821	8.80505	0.14436
4	8.367	1	BB	2429.27808	616.82068	17.37929
5	9.632	1	BB	474.31155	86.32352	3.39327
6	10.073	1	BB	5331.55957	788.10138	38.14249
7	10.760	1	BV	1117.58154	239.39998	7.99529
8	11.924	1	BB	10.83056	2.58068	0.07748
9	13.278	1	BB	45.95353	8.67332	0.32876
10	21.565	1	BB	72.26751	17.38914	0.51701

```
=====
Acq. Operator   : SYSTEM                      Seq. Line :    3
Acq. Instrument : GC 78890A                   Location  : Vial 103
Injection Date  : 9/18/2016 12:05:42 PM      Inj       :    1
                                           Inj Volume: 1 µl
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\KAREN\CICTA MUESTRAS 2016-09-18 11-05-14\14103 FAME_2.M
Last changed    : 9/18/2016 11:05:14 AM by SYSTEM
Analysis Method : C:\CHEM32\1\DATA\KAREN\CICTA MUESTRAS 2016-09-18 11-05-14\14103 FAME_2.M (Sequence
Method)
Last changed    : 9/18/2016 4:03:43 PM by SYSTEM
                  (modified after loading)
=====
```

Sample-related custom fields:

Name	Value
----- -----	-----
Additional Info :	Peak(s) manually integrated

Totals : 1.39780e4 2907.36479

```
=====
Summed Peaks Report
=====
```

```
=====
Final Summed Peaks Report
=====
```

Compound-related custom fields:

*** End of Report ***

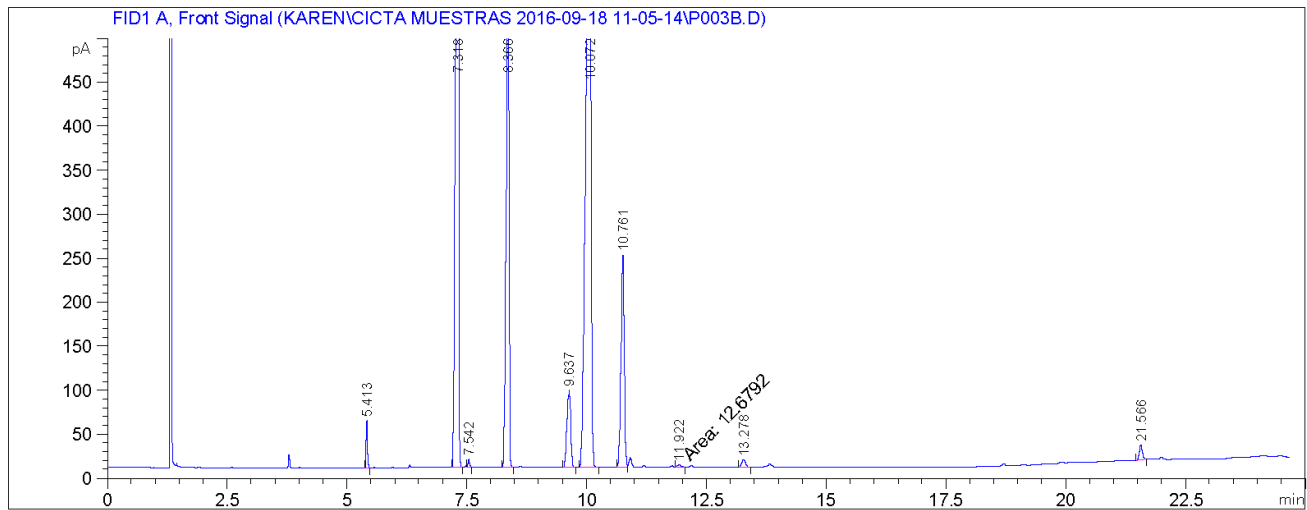
```

=====
Acq. Operator   : SYSTEM                      Seq. Line :    4
Acq. Instrument : GC 78890A                   Location  : Vial 104
Injection Date  : 9/18/2016 12:33:58 PM      Inj       :    1
                                           Inj Volume: 1 µl
Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\KAREN\CICTA MUESTRAS 2016-09-18 11-05-14\14103 FAME_2.M
Last changed   : 9/18/2016 11:05:14 AM by SYSTEM
Analysis Method: C:\CHEM32\1\DATA\KAREN\CICTA MUESTRAS 2016-09-18 11-05-14\14103 FAME_2.M (Sequence
Method)
Last changed   : 9/18/2016 4:17:56 PM by SYSTEM
                (modified after loading)
  
```

Sample-related custom fields:

```

Name | Value
-----|-----
Additional Info : Peak(s) manually integrated
=====
  
```



Area Percent Report

```

Sorted By      :      Retention Time
Multiplier     :      1.0000
Dilution       :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID1 A, Front Signal

Peak #	RetTime [min]	Sig	Type	Area [pA*s]	Height [pA]	Area %
1	5.413	1	BB	106.75284	53.75548	0.75210
2	7.318	1	BB	4439.02246	1137.66846	31.27383
3	7.542	1	VB	20.38305	9.02384	0.14360
4	8.366	1	BB	2466.68726	626.58893	17.37832
5	9.637	1	BB	481.56906	87.65592	3.39275
6	10.072	1	BB	5412.54492	782.14575	38.13250
7	10.761	1	BV	1134.52991	241.31378	7.99300
8	11.922	1	MM	12.67918	2.65981	0.08933
9	13.278	1	BB	46.68951	8.61554	0.32894
10	21.566	1	BB	73.18811	16.87925	0.51563

```
=====
Acq. Operator   : SYSTEM                      Seq. Line :    4
Acq. Instrument : GC 78890A                  Location  : Vial 104
Injection Date  : 9/18/2016 12:33:58 PM      Inj       :    1
                                           Inj Volume: 1 µl
Acq. Method     : C:\CHEM32\1\DATA\KAREN\CICTA MUESTRAS 2016-09-18 11-05-14\14103 FAME_2.M
Last changed    : 9/18/2016 11:05:14 AM by SYSTEM
Analysis Method : C:\CHEM32\1\DATA\KAREN\CICTA MUESTRAS 2016-09-18 11-05-14\14103 FAME_2.M (Sequence
Method)
Last changed    : 9/18/2016 4:17:56 PM by SYSTEM
                 (modified after loading)
=====
```

Sample-related custom fields:

Name	Value
Additional Info	Peak(s) manually integrated

```
=====
Totals :                1.41940e4  2966.30676
=====
```

```
=====
Summed Peaks Report
=====
```

```
=====
Final Summed Peaks Report
=====
```

Compound-related custom fields:

*** End of Report ***

ANEXO O. CARACTERISTICAS SERVO MG995.

TowerPro MG995 Alta Velocidad & Torque, Servo Digital



MG995 Servo Digital de Alta Velocidad y Torque
Voltaje recomendable de entrada: 3.5 - 8.4 Volt , nominal 5 voltios.
Datos Técnicos

Dimensiones:	1.57" x 0.79" x 1.44" (40 x 20 x 36.5mm)
Peso:	1.78oz (48g)
Velocidad de Operación (4.8V sin carga):	0.17seg / 60 grados
Velocidad de Operación (6V sin carga):	0.13seg / 60 grados
Torque de parada (4.8V):	(13kg/cm)
Torque de Parada (6.0V):	(15kg/cm)
Peso: 55.2g	
Rango de Temperatura:	-30 to +60 grados C

Partes Incluidas

Servo MG995 x 1
Juego de Brazos x 1(foto de abajo)



**ANEXO P REQUERIMIENTOS DEL BIODIESEL DE PALMA SEGUN LA
NORMA NE 14214.**

Propiedad	Unidad	Límites	
		Mínimo	Máximo
Contenido de éster	%(m/m)	96,5	
Densidad a 15°C	kg/m ³	860	900
Viscosidad a 40°C	mm ² /g	3,5	5
Punto de inflamación	°C	120	
Contenido de azufre	mg/kg		10
Residuos de carbón	%(m/m)		0,3
Índice de cetano		51	
Contenido de cenizas sulfatadas	%(m/m)		0,02
Contenido de agua	mg/kg		500
Contaminación total	mg/kg		24
Corrosión a la tira de cobre (3h a 50°C)	Clasificación	Clase 1	
Estabilidad a la oxidación 110°C	Horas	6	
Contenido de metanol	%(m/m)		0,2
Contenido de monoglicéridos	%(m/m)		0,8
Contenido de diglicéridos	%(m/m)		0,2
Contenido de triglicéridos	%(m/m)		0,2
Glicerol libre	%(m/m)		0,02
Glicerol total	%(m/m)		0,25
Contenido de fosforo	mg/kg		10

ANEXO Q. CATALOGO MANGUERA 3/8 [in].

MANGUERA INDUSTRIAL SUPERFLEX

Para transporte de fluidos en industria manufacturera, química y farmacéutica.



- ▶ **Tubo y cubierta:** Polímero Termoplástico.
- ▶ **Refuerzo:** Una espiral en poliamida de alta tenacidad.
- ▶ **Propiedades:** Resistente a rayos U.V, humedad, productos químicos y trazas de aceite mineral.

Código Código	Diámetro Interno Internal Diameter		Indicaciones de Curvatura Curvature Indicators	Presión Máx. Trabajo Maximum Working Pressure		Presión Máx. Ruptura Maximum Burst Pressure		Peso Weight
	In.	mm		bar	PSI	bar	PSI	
SF 0500	3/16"	4,8	30	21	300	42	600	30 y 100
SF 0250	1/4"	6,3	40	27	250	47	750	30 y 100
SF 0310	5/16"	7,9	50	37	250	52	750	30 y 100
SF 0380	3/8"	9,5	55	37	250	52	750	30 y 100
SF 0500	1/2"	12,7	60	47	250	57	750	30 y 100
SF 0630	3/4"	19,0	80	64	200	61	600	30 y 100
SF 0750	3/4"	19	95	90	150	71	450	30 y 100
SF 8000	1"	25,4	110	100	150	71	450	30 y 100

Color: Traslúcida
 Acoples: Coexiones Industriales
 Temperatura: 5°C a 50°C (41°F a 122°F)

ANEXO R. CATALOGO VALVULA HOKE 1/4 [IN]



Series 3700, 3800 y 3900

Válvulas de aguja con bonete integral y cuerpo forjado

Ofrecidas en cuatro diferentes materiales para el cuerpo, este grupo de válvulas puede manejar una amplia gama de líquidos de uso general y aplicaciones de gas. Los vástagos están disponibles con seis tipos de punta obturadora que incluyen dos modelos de punta en V.



Aplicaciones típicas

- Tuberías de aire de instrumentación
- Toma de muestras
- Cromatografía de gases
- Equipos de prueba
- Válvulas para cilindros

Datos técnicos

CUERPO*	Acero inoxidable 316, Monel®, acero al carbono, latón
PRESIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN	Acero inoxidable 316, Monel®, acero al carbono 5000 psig a 70° F (345 bar a 21° C) Latón 3000 psig a 70° F (207 bar a 21° C)
RANGO DE TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO	Vástago con punta metálica -65° a +450° F (-54° a +232° C) Vástago con punta de PCTFE -20° a +250° F (-29° a +121° C)
MEDIDAS DEL ORIFICIO	0.060" a 0.312" (1.5 mm a 7.9 mm)
COEFICIENTES Cv	0.07 a 1.10

* Consulte en fábrica por otros materiales.

Características y beneficios

Seguridad

- El bonete integrado proporciona un paso de rosca diferencial entre las roscas del vástago y de la tuerca del empaque para evitar la expulsión accidental del vástago.

Opciones de la punta del vástago

- Pueden escogerse vástagos con punta obturadora de PCTFE, metálica, en V, en V roma o reguladora.

Ayudan a eliminar las emisiones a la atmósfera.

- El empaque Dyna-Pak® proporciona un sello resistente a las fugas con un bajo par de accionamiento inclusive en aplicaciones de gran vacío o elevada presión

Confiable

- Todas las válvulas son sometidas a una prueba de fuga de burbujas, tanto en el asiento como en el empaque.

Opciones de instalación

- Amplia selección de conexiones macho o hembra NPT y GYROLOK® para tubo fraccional o métrico.

Opciones de manija

- Manijas codificadas por color que facilitan la identificación del fluido del sistema.

Montaje en panel

- Todos los modelos pueden pedirse con montaje para panel.

Fácil mantenimiento

- Todos los modelos pueden montarse en panel sin necesidad de tocar el empaque. El empaque puede ajustarse sin desmontarlo del panel.
- Rosca NPT especial, de gran tolerancia

HOKE Inc.
PO Box 4866 • Spartanburg, SC 29305-4866
Teléfono (864) 574-7966 Fax (864) 587-5608
www.hoke.com • Sales-hoke@circom.com

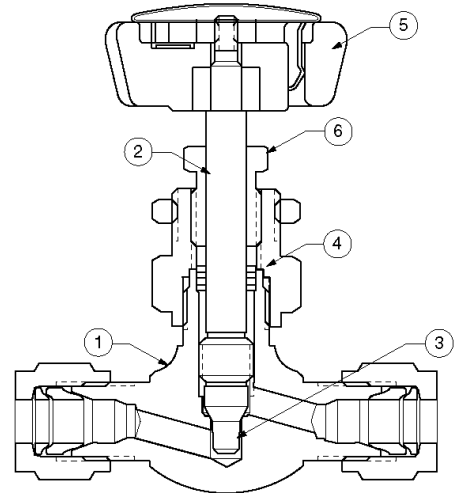
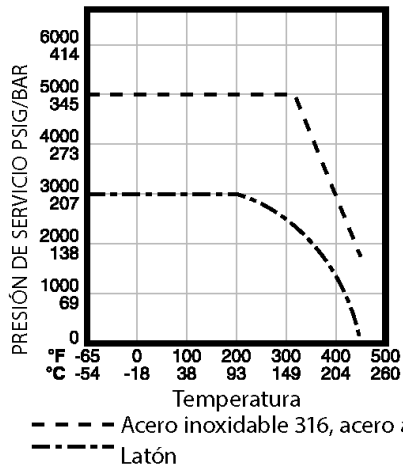
válvulas de aguja

Series 3700, 3800 y 3900

Materiales utilizados

DESCRIPCIÓN	LATÓN	ACERO INOXIDABLE 316	ACERO AL CARBONO	MONEL®
1 Cuerpo	Latón	Acero inoxidable 316	Acero al carbono	Monel®
2 Vástago	Acero inoxidable 316	Acero inoxidable 316	Acero inoxidable 316	Monel®
3 Punta del vástago blanda dura	PCTFE Acero inoxidable 17-4PH	PCTFE Acero inoxidable 17-4PH	PCTFE Acero inoxidable 17-4PH	PCTFE Monel®
4 Empaque del vástago	Obleas TFE/ latón	Obleas TFE / AISI-316	Obleas TFE / AISI-316	Obleas TFE/Monel®
5 Manija	ABS	ABS	ABS/ aluminio	ABS
6 Tuerca para montaje en panel	Latón con recubrimiento de níquel	Latón con recubrimiento de níquel	Latón con recubrimiento de níquel	Latón con recubrimiento de níquel

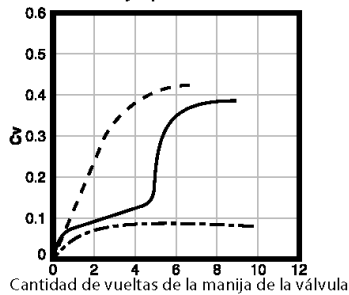
Curvas presión - temperatura



Se muestra una válvula con vástago con punta reguladora

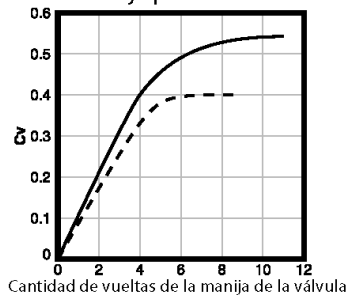
Curvas de flujo

Cv en función de las vueltas de la manija para la serie 3700



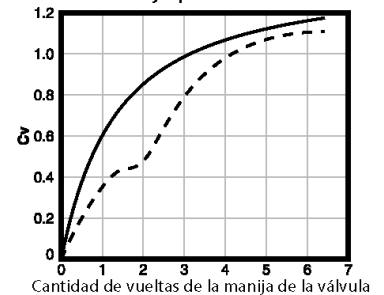
--- Vástago con punta de PCTFE
— Vástago con punta reguladora
--- Vástago con punta en V
* Actualmente no hay datos disponibles del vástago con punta en V roma.

Cv en función de las vueltas de la manija para la serie 3800



--- Vástago con punta de PCTFE
— Vástago con punta reguladora

Cv en función de las vueltas de la manija para la serie 3900



--- Vástago con punta de PCTFE
— Vástago con punta reguladora

Serie 3700, 3800 y 3900

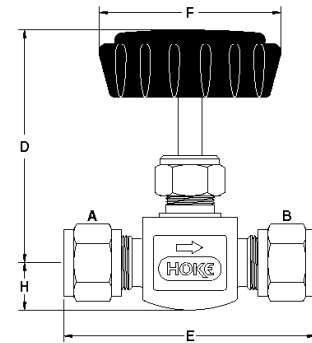
Dimensiones

Serie 3700 con paso de caudal recto

Vástago con punta en V

ENTRADA A	SALIDA B		D	E	F	H
Macho NPT 1/8"	Macho NPT 1/8"	pulgada	2 3/16	1 3/4	1 7/16	2 5/64
		mm	56	44	37	10
GYROLOK® 1/4"	GYROLOK® 1/4"	pulgada	2 3/16	2 3/8	1 7/16	2 5/64
		mm	56	60	37	10
Macho NPT 1/4"	Macho NPT 1/4"	pulgada	2 3/16	1 3/4	1 7/16	2 5/64
		mm	56	44	37	10

Las dimensiones solo son a título de referencia y están sujetas a cambios.



Serie 3700/3800 con paso de caudal recto

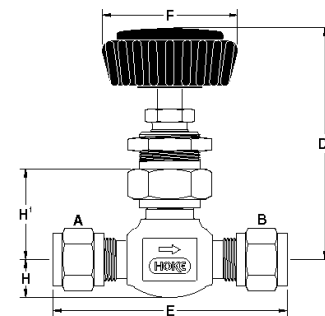
Serie 3700 con paso de caudal recto

Vástago con puntas reguladoras y de PCTFE

ENTRADA A	SALIDA B		D	D ^{1*}	E	F	H	H ^{1*}
GYROLOK® 1/8"	GYROLOK® 1/8"	pulgada	2 7/32	2 3/4	2 1/8	1 7/16	1 3/4	1 1/2
		mm	56	70	54	37	8	26
Macho NPT 1/8"	Macho NPT 1/8"	pulgada	2 1/8	2 1/32	1 3/4	1 7/16	2 5/64	1 5/16
		mm	54	67	44	37	10	24
Macho NPT 1/8"	Hembra NPT 1/8"	pulgada	2 1/8	2 1/32	1 3/4	1 7/16	2 5/64	1 5/16
		mm	54	67	44	37	10	24
Hembra NPT 1/8"	Hembra NPT 1/8"	pulgada	2 1/8	2 1/32	1 3/4	1 7/16	2 5/64	1 5/16
		mm	54	67	44	37	10	24
GYROLOK® 1/4"	GYROLOK® 1/4"	pulgada	2 1/8	2 1/32	2 3/8	1 7/16	2 5/64	1 5/16
		mm	54	67	60	37	10	24
Macho NPT 1/4"	GYROLOK® 1/4"	pulgada	2 1/8	2 1/32	2 3/8	1 7/16	2 5/64	1 5/16
		mm	54	67	56	37	10	24
Macho NPT 1/4"	Macho NPT 1/4"	pulgada	2 1/8	2 1/32	2	1 7/16	2 5/64	1 5/16
		mm	54	67	51	37	10	24
GYROLOK® 3 mm	GYROLOK® 3 mm	pulgada	2 3/16	2 3/4	2 1/8	1 7/16	1 3/4	1 1/2
		mm	56	70	54	37	8	26
GYROLOK® 6 mm	GYROLOK® 6 mm	pulgada	2 1/8	2 1/32	2 3/8	1 7/16	2 5/64	1 5/16
		mm	54	67	60	37	10	24
GYROLOK® 8 mm	GYROLOK® 8 mm	pulgada	2 1/8	2 1/32	2 3/8	1 7/16	2 5/64	1 5/16
		mm	54	67	60	37	10	24

Las dimensiones solo son a título de referencia y están sujetas a cambios.

* D¹ y H¹ para válvulas con juego para montaje en panel.



Serie 3700/3800 con paso de caudal recto y montaje en panel tipo D

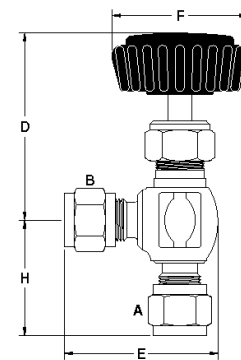
Serie 3700 con paso de caudal en ángulo

Vástagos reguladores y de PCTFE

ENTRADA A	SALIDA B		D	D ^{1*}	E	F	H	H ^{1*}
GYROLOK® 1/8"	GYROLOK® 1/8"	pulgada	2 7/32	2 3/4	1 1/2	1 7/16	1 3/4	1 1/4
		mm	56	70	38	37	26	26
Macho NPT 1/8"	Macho NPT 1/8"	pulgada	2 1/8	2 1/32	1 7/64	1 7/16	7/8	1 5/16
		mm	54	67	32	37	22	24
Hembra NPT 1/8"	Hembra NPT 1/8"	pulgada	2 1/8	2 1/32	1 7/64	1 7/16	7/8	1 5/16
		mm	54	67	32	37	22	24
Macho NPT 1/8"	GYROLOK® 1/4"	pulgada	2 1/8	2 1/32	1 1/32	1 7/16	7/8	1 5/16
		mm	54	67	40	37	22	24
GYROLOK® 1/4"	GYROLOK® 1/4"	pulgada	2 1/8	2 1/32	1 1/32	1 7/16	1 1/16	1 5/16
		mm	54	67	40	37	30	24
Macho NPT 1/4"	GYROLOK® 1/4"	pulgada	2 1/8	2 1/32	1 1/32	1 7/16	7/8	1 5/16
		mm	54	67	40	37	22	24
Macho NPT 1/4"	Macho NPT 1/4"	pulgada	2 1/8	2 1/32	1 1/64	1 7/16	7/8	1 5/16
		mm	54	67	32	37	22	24
GYROLOK® 6 mm	GYROLOK® 6 mm	pulgada	2 1/8	2 1/32	1 3/64	1 7/16	1 3/16	1 5/16
		mm	54	67	40	37	30	24

Las dimensiones solo son a título de referencia y están sujetas a cambios.

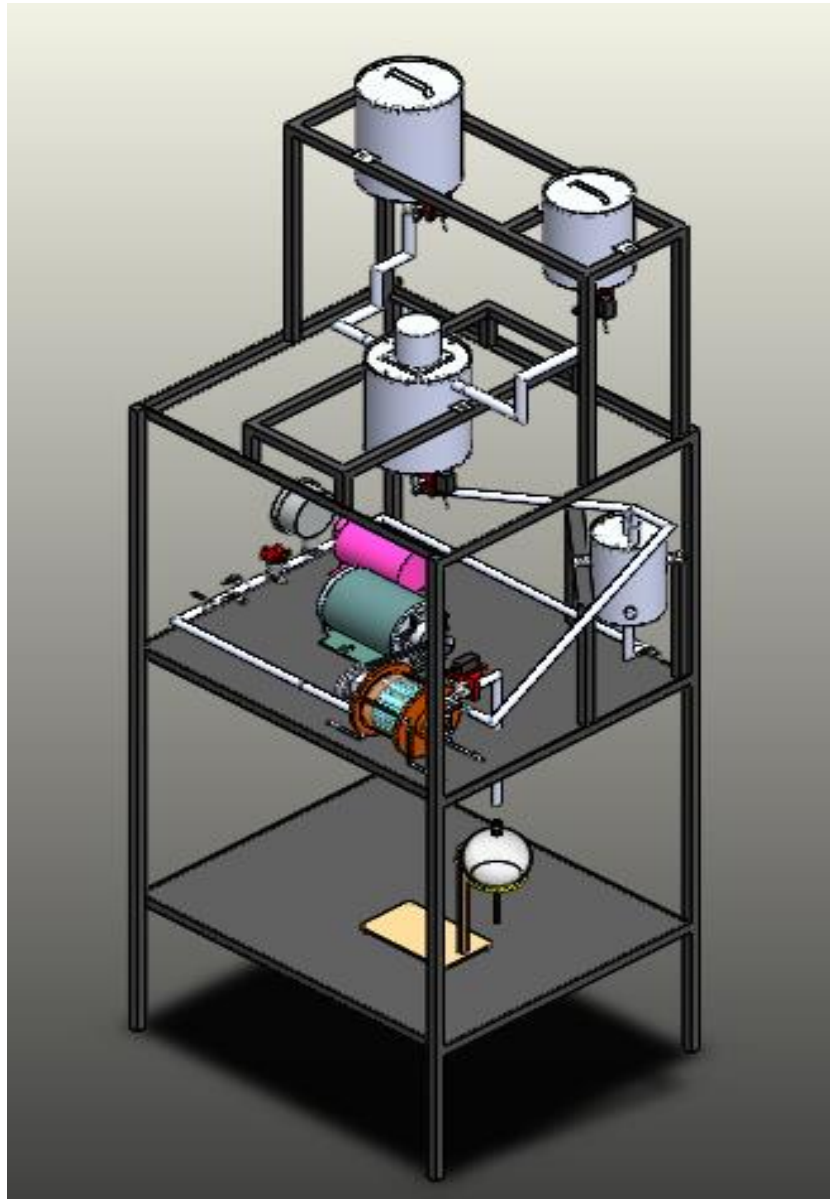
* D¹ y H¹ para válvulas con juego para montaje en panel.



Serie 3700/3800 con paso de caudal en ángulo

ANEXO S. MANUAL DE OPERACIÓN.

PROTOTIPO PARA LA OBTENCIÓN CONTINUA DE BIODÉSEL MEDIANTE CAVITACIÓN HIDRODINÁMICA



SUBSISTEMAS

El prototipo tiene tres subsistemas que serán expuestos a continuación:

- Subsistema de premezclado.

Este subsistema consta de cuatro tanques, un conjunto de sensores y servoválvulas, los cuales permiten hacer premezclado del aceite con el metóxido de sodio.

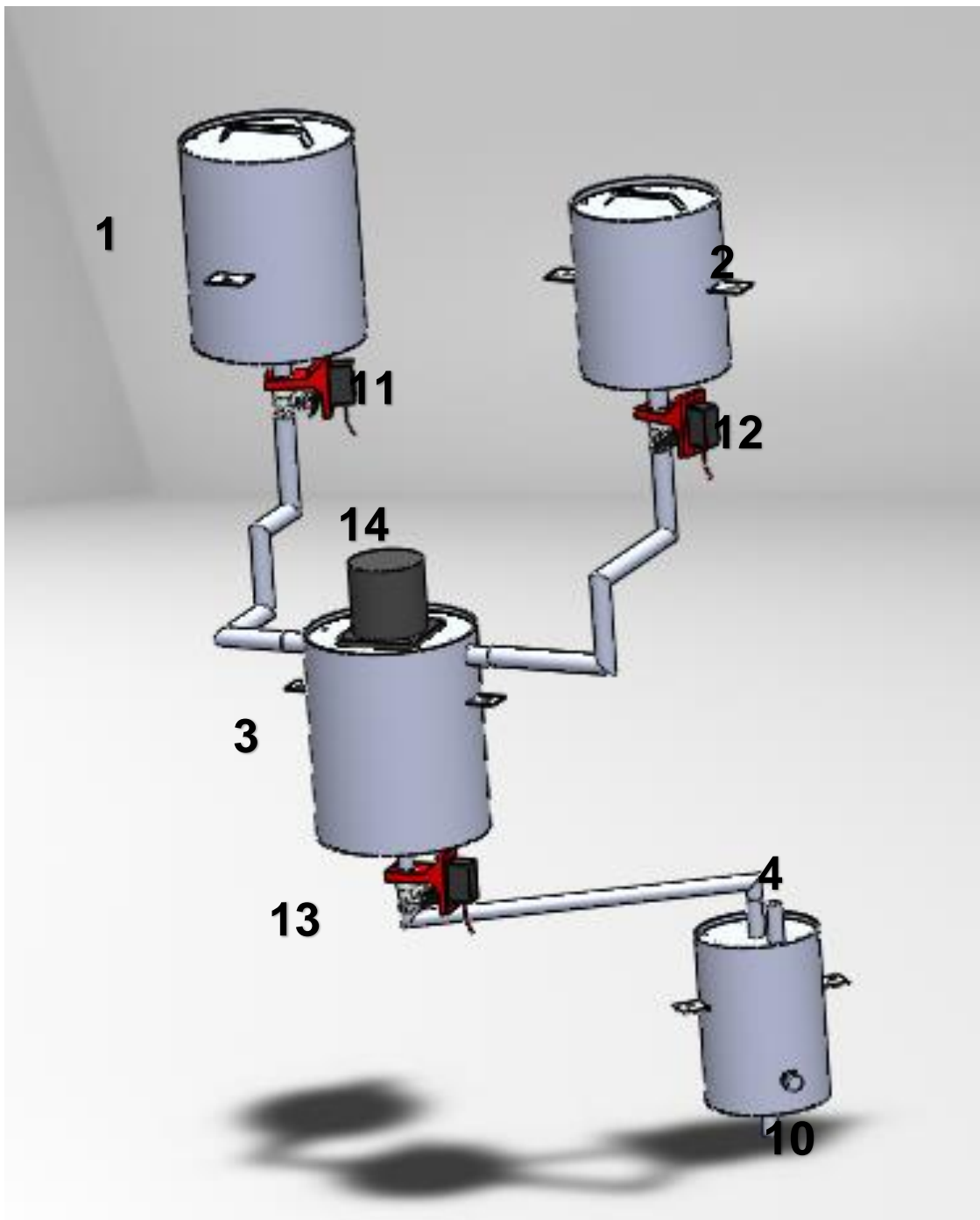
- Subsistema de cavitación.

En este subsistema se hace el transporte de la mezcla y se genera una cavitación de tal manera que acelera la reacción de transesterificación.

- Subsistema de descarga.

Este es el subsistema en el cual se hace la separación del biodiésel y la glicerina, consta de un embudo y un tanque de decantación.

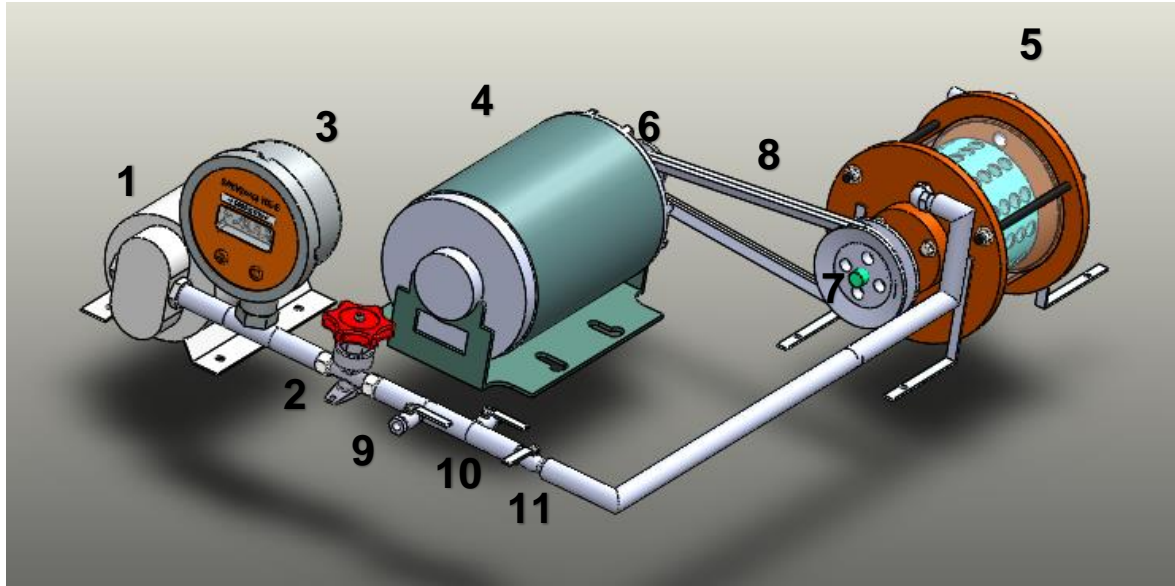
SUBSISTEMA DE PREMEZCLADO



Ítem	Elemento	Función
1	Tanque de aceite	Almacena el aceite.

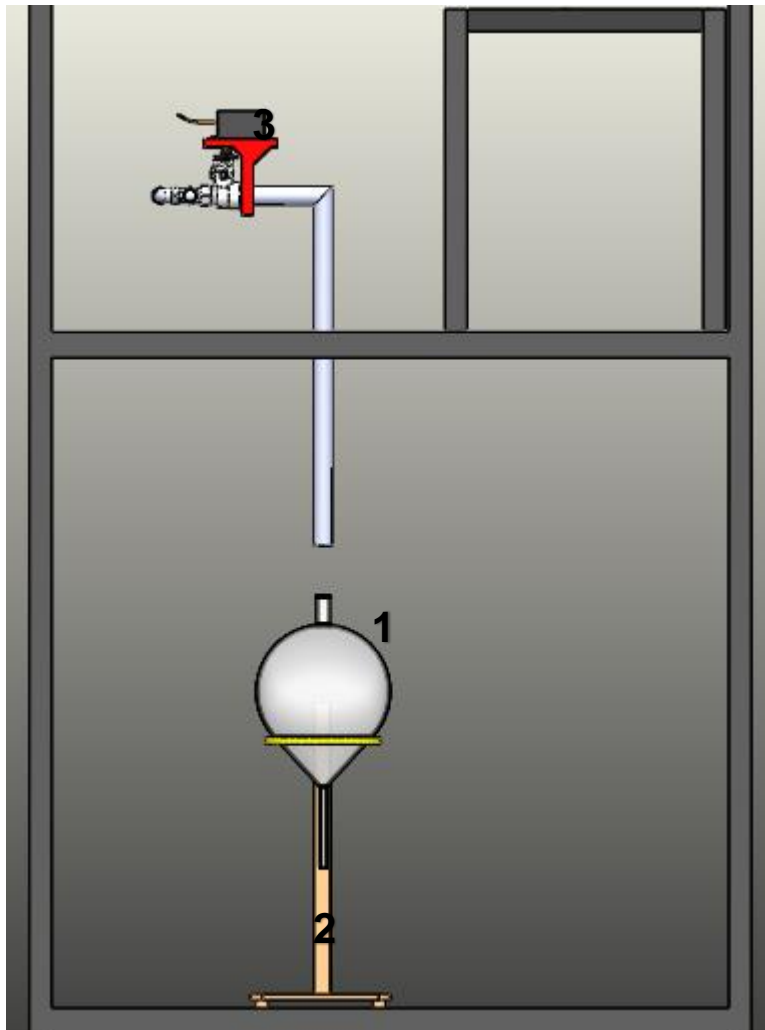
2	Tanque de metóxido de sodio	Almacena el metóxido de sodio.
3	Tanque de premezclado	Permite el premezclado de los componentes.
4	Tanque auxiliar	Permite tener una reserva de mezcla para el funcionamiento continuo.
5	Sensor de nivel SN1	Determina si hay aceite en el tanque.
6	Sensor de nivel SN2	Determina si hay metóxido de sodio en el tanque.
7	Sensor de nivel SN3	Determina el volumen de metóxido de sodio en el tanque de premezclado.
8	Sensor de nivel SN4	Determina el volumen de aceite en el tanque de premezclado.
9	Sensor de nivel SN5	Determina el nivel mínimo del tanque de premezclado.
10	Sensor de nivel SN6	Determina el nivel mínimo del tanque auxiliar.
11	Servoválvula SV1	Permite el paso de aceite al tanque de premezclado.
12	Servoválvula SV2	Permite el paso de metóxido de sodio al tanque de premezclado.
13	Servoválvula SV3	Permite el paso de la mezcla al tanque auxiliar.
14	Válvula manual VM1	Permite limpiar el tanque auxiliar.
15	Sistema de agitación	Da una mezcla inicial de los fluidos en el tanque de premezclado.

SUBSISTEMA DE CAVITACIÓN



Ítem	Elemento	Función
1	Bomba de engranajes	Impulsa la mezcla por el sistema.
2	Válvula de aguja	Permite regular el caudal de operación de la bomba.
3	Manómetro	Medir la presión de operación de la bomba.
4	Motor del cavitador SPR	Dar la potencia al cavitador SPR.
5	Cavitador SPR	Generar la cavitación en la mezcla.
6	Polea del motor	Acoplar el motor a la correa.
7	Polea del cavitador	Acoplar el cavitador SPR a la correa.
8	Correa	Transmitir la potencia del motor al cavitador SPR.
9	Válvula manual VM2	Permite limpiar la línea de descarga de la bomba.
10	Válvula manual VM3	Permite operar el Bypass A.
11	Válvula manual VM4	Permite cerrar el flujo al SPR

SUBSISTEMA DE DESCARGA



Ítem	Elemento	Función
1	Embudo de separación	Permite la separación del biodiésel y la glicerina.
2	Soporte del embudo de separación	Sostiene el embudo de separación.
3	Servoválvula SV4	Controla el caudal de operación del sistema.

RECOMENDACIONES GENERALES Y DE SEGURIDAD

- El suministro de energía del banco debe ser únicamente con una red eléctrica de 110 V AC.
- La máquina debe estar protegida de la luz y el agua.
- Los tanques deben estar siempre cerrados y asegurados para evitar el escape de gases tóxicos del metóxido de sodio.
- Durante el funcionamiento se debe mantener las manos alejadas del motor y el cavitador SPR para evitar lesiones.
- La máquina debe instalarse en una superficie plana para evitar malas mediciones de los sensores.

OPERACIÓN DEL EQUIPO

1. Poner el seguro a las ruedas del bastidor.
2. Conectar la caja de control y la fuente de poder a la red eléctrica.

3. Encender la fuente de poder.
4. Llenar los tanques de aceite y metóxido de sodio respectivamente.
5. Ubicar el embudo de separación o tanque de decantación en la línea de descarga.
6. Encender el sistema de agitación.
7. Iniciar el sistema de control.
8. Verificar que al momento de encenderse la bomba de engranajes la presión no exceda los 10 [Psi].
9. Poner en marcha el motor del cavitador cuando se encuentre a $\frac{3}{4}$ de su capacidad.

MANTENIMIENTO

En las paradas de la maquina se debe hacer una limpieza del sistema desde el tanque de premezclado para evitar que la formación de glicerina de la reacción genere obstrucciones en el sistema, para esto se debe seguir los siguientes pasos.

1. Retirar los tornillos de los tanques de premezclado y auxiliar.
2. Limpiar la glicerina presente en estos tanques.

3. Agregar 1 [L] de aceite en el tanque auxiliar.
4. Conectar la fuente de poder y la caja de control a la red eléctrica.
5. Activar los sensores SN1, SN2, SN5, SN4 y SN3 de manera manual y en el orden indicado.
6. Encender el motor del cavitador cuando este se encuentre a $\frac{3}{4}$ de su capacidad.
7. Apagar el motor del cavitador SPR cuando el sistema de control apague la bomba.
8. Abrir las válvulas manuales VM1, VM2 y VM3 respectivamente para retirar el fluido presente en el tanque las líneas y el cavitador, respectivamente.

El cambio de los elementos rotativos como rodamientos, sellos y polea deben realizarse cuando se encuentren desgastados o los fabricantes lo recomienden.