

FECHA	06 Julio 2006
-------	---------------

NÚMERO RAE	
PROGRAMA	Ingeniería Mecatrónica

AUTOR (ES)	TOBAR SOLER, Diego Fernando
TÍTULO	DISEÑO DE UNA PLANTA TIPO AUTOMÁTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL OBTENIDO A PARTIR DE ACEITE VEGETAL NUEVO

PALABRAS CLAVES	BIODIESEL Corrosión Calor Reductor Electroválvulas PLC
-----------------	---

DESCRIPCIÓN	<p>Se plantea el diseño de la unidad física en que se realiza el proceso de producción de Biodiesel y reúne en un alto grado los rasgos y los caracteres esenciales o peculiares de la transformación de las materias primas en el producto final, sin tener naturaleza definitiva o puntual. En el proyecto los rasgos característicos son el control de temperatura, mezcla, dosificación y extracción de sustancias así como también el control de tiempo y secuencia del proceso.</p> <p>La máquina automática poseen captadores, capaces de percibir las informaciones útiles que son de naturaleza diversa. Los captadores están conectados a unidades de procesamiento y análisis que comparando la información recibida con datos almacenados determina los movimientos que han de ejecutarse para obtener la máxima precisión en la elaboración del biocombustible. La concepción de la planta totalmente automatizada implica la creación o implementación de un cerebro centralizador, que ha de estar al corriente de la marcha de los diferentes aparatos y ha de poder imponerles eventuales modificaciones de régimen, según las líneas de un programa general que puede ser modificado de acuerdo a la demanda y calidad del producto.</p>
-------------	--

<p>FUENTES BIBLIOGRÁFICAS</p>	<p>BOLTÓN, W. Instrumentación y control industrial. Madrid : Paraninfo, 1996. 279 p.</p> <p>CORROSION ENGINEERING. 2 ed. E.U. : McGraw-Hill, 1978. p. 155-158.</p> <p>CHAVES ROCHA, Carlos y RODRIGUEZ URREGO, Leonardo. Diseño y construcción de un equipo didáctico mecatrónico para dosificar líquidos. Bogotá : Universidad de San Buenaventura, 2003. 126 p.</p> <p>EBEL F. y Nestel S. Sensores para la técnica y procesos de manipulación. Esslingen : Festo Didactic KG, 1993. p. 12-17, 106-110, 173-174.</p> <p>FINNEY, Thomas, Cálculo carias variables. 9 ed. México : Pearson Educación, 1999. p.938.</p> <p>GALVELE, José. Corrosión. Washington : Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, 1979. 84 p.</p> <p>GIANCOLI, Duglas. Física : principios con aplicaciones. 4 ed. México: Prentice-Hall. 1997. 785 p.</p> <p>JONES, Denny. Principles and prevention of corrosion. 2 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 572 p.</p> <p>MANUAL DE prevención de accidentes para operaciones industriales. España : Mapfre, 1974. p. 724-731, 1312-1333.</p> <p>MOLERA SOLÁ, Pere. Metales resistentes a la corrosión. Barcelona: Marcombo, 1990. 124 p.</p> <p>MOMPIN POBLET, José. Electrónica y automática industriales I. Barcelona : Marcombo, 1986. v.2, p 103</p>
-------------------------------	--

MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. 2 ed. México : Prentice Hall Hispanoamericana, 1995. 958 p.

PÉREZ GUTIERREZ, Christian y FRANCO CASTRO, Jhon Fabianny. Diseño y construcción de un banco didáctico para manejo de niveles - sistema mímico ( Múltiples entradas,múltiples salidas). Bogotá : Universidad de San Buenaventura, 2004.

PERRY, Robert. Manual del ingeniero químico. Madrid : Mc Graw Hill, 2001. p. 28-3 - 28-38.

PORRAS CRIADO, Alejandro. Autómatas programables : fundamento, manejo, instalación. México : Mc Graw Hill, 1992. 210p.

SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles. Diseño en ingeniería mecánica. 6 ed. México : McGraw-Hill, 2001. 1257 p.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIEROS FORESTALES, [www.acif.com.co](http://www.acif.com.co) , Proyecto ley biodiesel, 18 de Julio de 2005

COLCIENCIAS, [www.colciencias.gov.co](http://www.colciencias.gov.co) , Agenda y Novedades, Lunes 28 abril, 2003

FEDEPALMA , [www.fedepalma.org](http://www.fedepalma.org) , Noticias, ¿Cómo va el Biodiesel en Colombia? 22 de Julio de 2005

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Compendio Tesis y otros trabajos de grado. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2002.

JOURNEY TO FOREVER, [www.journeytoforever.org](http://www.journeytoforever.org), Modelos Y Fabricación, 10 de Julio de 2005.

NATIONAL GEOGRAPHIC en español, Vol. 17 , No. 2 , Agosto de 2005.

PORTAFOLIO, [www.portafolio.com.co](http://www.portafolio.com.co), Economía

Hoy, El mundo acelera la búsqueda de los sustitos del petróleo, Bogotá, Viernes 27 de mayo de 2005.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, [www.minas.unalmed.edu.co](http://www.minas.unalmed.edu.co), Comunicación y Divulgación cultural, Biodiesel fuente de desarrollo para Colombia, lunes 5 de septiembre de 2005

UNIVERSIDAD DEL NORTE, Ingeniería, [www.uninorte.edu.co](http://www.uninorte.edu.co), Biodiesel una revisión del desempeño mecánico y ambiental, por John R. Agudelo S.\*, Pedro Benjumea\*\*, Edwin Gómez Meneses\*\*\* y Juan Fernando Pérez Bayer\*\*\*

VEGGIE VAN ORGANIZATION, [www.veggievan.org](http://www.veggievan.org), Biodiesel Info, 10 de Julio de 2005.

NÚMERO RAE	
PROGRAMA	Ingeniería Mecatrónica

CONTENIDOS	<p>Proceso de elaboración de Biodiesel</p> <p>Peligros químicos</p> <p>Corrosión</p> <p>Sensórica</p> <p>Transferencia de calor</p> <p>Electroválvulas</p> <p>Esfuerzos en cilindros</p> <p>Cuantificación del proceso.</p> <p>Determinación del rango de producción de Biodiesel por ciclo de trabajo.</p> <p>Procedimientos de seguridad respecto al manejo de las sustancias químicas involucradas (Proceso en general, Tanques, Tuberías).</p> <p>Selección de materiales para la construcción.</p> <p>Planteamiento del sistema automático de producción</p> <p>(Paso 1: Encendido, Paso 2: Inicio</p> <p>Paso 3: Mezcla metanol / lejía – Precautado aceite</p> <p>Paso 4: Control de tiempo / temperatura 1, Paso 5: Transesterificación</p> <p>Paso 6: Control de tiempo / temperatura 2</p> <p>Paso 7: Estratificación glicerina / Biodiesel</p> <p>Paso 8: Extracción de la glicerina, Paso 9: Lavado</p> <p>Paso 10: Estratificación agua / Biodiesel</p> <p>Paso 11: Extracción del agua, Paso 12: Secado,</p> <p>Paso 13: Extracción del Biodiesel).</p> <p>Parámetros para el diseño de contenedores y la selección de mezcladores.</p> <p>Diseño de la fase de dosificación y extracción de las sustancias involucradas en cada parte del proceso (Dosificación, Electroválvulas, Sensores, Extracción, Tiempo de extracción, Distribuidor).</p> <p>Selección del sistema de calentamiento y el posterior control de temperatura. (Calentamiento, Sistemas de calefacción, Control de temperatura).</p> <p>Selección del tipo de tecnología controladora del proceso.</p> <p>Diseño del programa “software” para controlar la automatización.</p>
------------	--

NÚMERO RAE	
PROGRAMA	

<p>METODOLOGÍA</p>	<p>1. Enfoque de la investigación: En la investigación se empleó un enfoque empírico-analítico: cuyo interés es el técnico, orientado a la interpretación y transformación del mundo material.</p> <p>Línea de investigación: El campo temático del proyecto es "Diseño, instrumentación y control de procesos de manufactura", de este campo se determinan: la sub-línea de la facultad "Instrumentación y control de procesos", y la línea de investigación de la Universidad "Tecnologías actuales y sociedad".</p> <p>2. Hipótesis: La producción de Biodiesel en Colombia se puede aumentar con el desarrollo de maquinaria que facilite el proceso, ésto se logra con el diseño de una planta tipo automática de Biodiesel a partir de aceite vegetal.</p> <p>3. VARIABLES</p> <p>3.1 Variable independiente Tecnología y maquinaria para la producción de Biodiesel. De ella depende el aumento en la producción del combustible.</p> <p>3.2 Variable dependiente Producción y calidad del Biodiesel en Colombia. Esta variable refleja el efecto de los cambios en el desarrollo de la tecnología y maquinaria en la producción de Biodiesel.</p>
--------------------	---

CONCLUSIONES	<p>La cuantificación del proceso demuestra que la producción del Biodiesel es una actividad rentable y apropiada para el desarrollo agroindustrial del país. Su producción por lotes debe estar limitada a máximo doscientos galones debido a que por encima de esta cantidad el tiempo de extracción se eleva excesivamente por las dimensiones del sistema.</p> <p>Por seguridad es necesario establecer ciertas restricciones en el diseño como reducir la velocidad de los fluidos, evitar la presurización dentro de los contenedores y el bombeo de las sustancias, para reducir la probabilidad de accidentes como incendios y aceleración de la corrosión.</p> <p>Debido al ambiente altamente corrosivo, la selección de los materiales de cada una de las partes es un factor determinante para la durabilidad general de la planta y la calidad del proceso. El acero inoxidable es el material que mejor responde a las exigencias del proceso por resultar económico, asequible y de fácil mantenimiento.</p> <p>La automatización en la producción de Biodiesel es un proceso de control secuencial que puede ser rediseñado o modificado en cualquiera de sus pasos. Éstas variaciones obedecen tanto a la demanda como a la calidad del producto.</p> <p>El sistema de calefacción no requiere mayor exactitud en su control de temperatura por que la combinación de las características propias de las sustancias involucradas y el diseño del sistema generan una relación eminentemente autorregulada permitiendo de esta forma suprimir la implementación de un control electrónico de temperatura para ser controlada por tiempo.</p> <p>La implementación del sistema de extracción por medio de embudos que direccionan el producto y subproductos de forma individual a sus respectivos contenedores permite obtener un nivel mayor de pureza y calidad en cada uno de estos.</p> <p>La utilización de un PLC para controlar el proceso es la mejor opción por tanto que es un elemento diseñado básicamente para gobernar sistemas secuenciales, cuenta con mayor robustez y confiabilidad que un microcontrolador así como menor cantidad de circuitos periféricos.</p> <p>El diseño de la automatización puede ser adaptado con facilidad a la mayoría de los procesos artesanales de producción del Biodiesel.</p>
--------------	---

DISEÑO DE UNA PLANTA TIPO AUTOMÁTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE  
BIODIESEL OBTENIDO A PARTIR DE ACEITE VEGETAL NUEVO

DIEGO FERNANDO TOBAR SOLER  
2001177104

PROYECTO DE GRADO

Asesor  
CÉSAR JOSÉ FERNÁNDEZ BARRETO  
Ingeniero Naval

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BOGOTÁ  
2006

A mi madre y hermanos por su constante, leal y sincero apoyo en todos los momentos difíciles del desarrollo de este proyecto.

A mi querida patria, Colombia, que siempre me ha brindado y brindará todo lo necesario para ser feliz. Es por ella que surgió esta idea de esperanza y desarrollo. En los instantes de desesperación, a parte del apoyo de mi familia, el afán al ver las infinitas necesidades que agobian mi país es un sentimiento suficiente para motivarme y vencer la desesperación. Es el momento de agradecerle y colaborar con su futuro, porque ningún proyecto o visión personal es más importante que enfocar todos los esfuerzos materiales, económicos, mentales e intelectuales en la consecución del bien común y la construcción de aquel sueño que todos deseamos.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	10
1. ANTECEDENTES	11
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	12
2.1 IDENTIFICACIÓN / DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	12
2.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	12
3. JUSTIFICACIÓN	13
4. OBJETIVOS	15
4.1 OBJETIVO GENERAL	15
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
5. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	16
5.1 ALCANCES	16
5.2 LIMITACIONES	16
6. MARCO DE REFERENCIA	17
6.1 MARCO CONCEPTUAL	17
6.2 MARCO LEGAL	17
6.3 MARCO TEÓRICO	17
6.3.1 Proceso de elaboración de Biodiesel	17
6.3.2 Peligros químicos	19
6.3.3 Corrosión	22
6.3.4 Sensórica	23

	pág.
6.3.5 Transferencia de calor	26
6.3.6 Electroválvulas	28
6.3.7 Esfuerzos en cilindros	30
7. METODOLOGÍA	31
7.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	31
7.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB	31
7.3 HIPÓTESIS	31
7.4 VARIABLES	31
7.4.1 Variable independiente	31
7.4.2 Variable dependiente	31
8. DESARROLLO INGENIERIL	32
8.1 CUANTIFICACIÓN DEL PROCESO	32
8.2 DETERMINACIÓN DEL RANGO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR CICLO DE TRABAJO	33
8.3 PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD RESPECTO AL MANEJO DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS INVOLUCRADAS	34
8.3.1 Proceso en general	35
8.3.2 Tanques	35
8.3.3 Tuberías	35
8.4 SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN	36
8.5 PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE PRODUCCIÓN	37
8.5.1 Paso 1: Encendido	40
8.5.2 Paso 2: Inicio	40

	pág.
8.5.3 Paso 3: Mezcla metanol / lejía – Precalentado aceite	41
8.5.4 Paso 4: Control de tiempo / temperatura 1	42
8.5.5 Paso 5: Transesterificación	42
8.5.6 Paso 6: Control de tiempo / temperatura 2	43
8.5.7 Paso 7: Estratificación glicerina / Biodiesel	43
8.5.8 Paso 8: Extracción de la glicerina	44
8.5.9 Paso 9: Lavado	44
8.5.10 Paso 10: Estratificación agua / Biodiesel	45
8.5.11 Paso 11: Extracción del agua	45
8.5.12 Paso 12: Secado	46
8.5.13 Paso 13: Extracción del Biodiesel	46
8.5.14 Rutina 1 Control tiempo y temperatura	47
8.5.15 Rutina 2 Control sistema on-off de temperatura	47
8.5.16 Rutina 3 Control tiempo	47
8.6 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE CONTENEDORES Y LA SELECCIÓN DE MEZCLADORES	48
8.6.1 Contenedores	48
8.6.1.1 Contenedor 1	48
8.6.1.2 Contenedor 2	51
8.6.2 Agitadores	53
8.6.2.1 Agitador 1	53
8.6.2.2 Agitador 2	53

	pág.
8.7 DISEÑO DE LA FASE DE DOSIFICACIÓN Y EXTRACCIÓN DE LAS SUSTANCIAS INVOLUCRADAS EN CADA PARTE DEL PROCESO	54
8.7.1 Dosificación	54
8.7.1.1 Electroválvulas	54
8.7.1.2 Sensores	55
8.7.2 Extracción	55
8.7.2.1 Electroválvula	56
8.7.2.2 Tiempo de extracción	56
8.7.2.3 Distribuidor	57
8.8 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO Y EL POSTERIOR CONTROL DE TEMPERATURA.	79
8.8.1 Calentamiento	79
8.8.2 Sistemas de calefacción	81
8.8.3 Control de temperatura	82
8.9 SELECCIÓN DEL TIPO DE TECNOLOGÍA CONTROLADORA DEL PROCESO	85
8.10 DISEÑO DEL PROGRAMA “SOFTWARE” PARA CONTROLAR LA AUTOMATIZACIÓN	85
9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	86
10. CONCLUSIONES	87
11. RECURSOS	88
11.1 RECURSOS HUMANOS	88
BIBLIOGRAFÍA	89
ANEXOS	91

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Propiedades químicas del Biodiesel	19
Tabla 2. Designación de los terminales	25
Tabla 3. Fases del proceso	32
Tabla 4. Economía del proceso, costos por galón de Biodiesel	32
Tabla 5. Producción de Biodiesel en función del número de vehículos	34
Tabla 6. Cuadro de peligros químicos	34
Tabla 7. Conveniencia material contra fluido	36
Tabla 8. Dosificación y Extracción	54
Tabla 9. Dientes máximos piñón-corona	60
Tabla 10. Selección de paso normal	61
Tabla 11. Resumen factores de diseño	63
Tabla 12. Análisis de esfuerzos de contacto y flexión	63
Tabla 13. Valores preliminares para concentradores de esfuerzo.	65
Tabla 14. Cargas y momentos del eje 1	66
Tabla 15. Diámetros eje 1	67
Tabla 16. Cargas y momentos del eje 2	68
Tabla 17. Diámetros eje 2	69
Tabla 18. Diámetros de los ejes.	69
Tabla 19. Cargas y diámetros en cada cojinete	72
Tabla 20. Valores de C/P para rodamientos de bolas y rodillos:	72
Tabla 21. Rodamientos para cada sección con su respectiva designación SKF	72
Tabla 22. Tamaño de cuña contra tamaño de eje	73
Tabla 23. Características de la cuña:	74
Tabla 24. Costo calórico	81
Tabla 25. Entradas-Salidas del proceso	85
Tabla 26. Valores constantes	91
Tabla 27. Propiedades físico-químicas de diversas sustancias	91
Tabla 28. Ecuaciones de Diseño	92
Tabla 29. Valores de diseño	99

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Proceso de Elaboración	18
Figura 2. Principio del sensor de retroreflexión y conexión en tecnología de cuatro hilos NPN.	25
Figura 3. Conductividad térmica	27
Figura 4. Convección térmica	28
Figura 5. Válvula solenoide acción directa	28
Figura 6. Válvula solenoide pilotada	29
Figura 7. Planteamiento del sistema	38
Figura 8. Diagrama de flujo del proceso	39
Figura 9. Requerimientos contenedor 1	48
Figura 10. Requerimientos contenedor 2	51
Figura 11. Disposición sensor de nivel contenedor 1	55
Figura 12. Disposición sensores de nivel contenedor 2	55
Figura 13. Sistema de extracción	56
Figura 14. Extracción de sustancias	57
Figura 15. Diseño distribuidor	58
Figura 16. Bosquejo distribuidor	60
Figura 17. Disposición de los ejes	64
Figura 18. Diagramas de carga, corte y momento eje 1	66
Figura 19. Diagramas de carga, corte y momento eje 2	68
Figura 20. Diseño de la cuña	72
Figura 21. Distribución de embudos y cuñas	77
Figura 22. Rotaciones del distribuidor	78
Figura 23 Circuito de control de giro	78
Figura 24. Sistema de calefacción	79
Figura 25. Sistema de enfriamiento	83
Figura 26. Comportamiento de la temperatura en el tiempo	83
Figura 27. Control por comparación	83
Figura 28. Circuito comparador	84
Figura 29. Estado de máxima presión	95

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Supuesto	91
Anexo B. Válvula Solenoide. SIRAI L133V03- Z923A 1X22 V24	100
Anexo C. Agitador. MILTON ROY, gama Helisem, serie VD, tipo 1210S	101
Anexo D. Motor DC. BUEHLERMOTOR 1.13044	103
Anexo E. PLC. DCI Technologies serie M denominación T100MD-1616	104
Anexo F. Sensor Reflex. SICK 4N324	105
Anexo G. Amplificador Operacional. TEXAS INSTRUMENTS LM358	106
Anexo H. Quemador Gas. TEKENER OES 151 GE	107
Anexo I. Rodamientos. SKF 7201B Y 7202B	108
Anexo J. Simulación esfuerzos en flecha	109
Anexo K. Simulación circuito control temperatura	110
Anexo L. Simulación temperatura	112
Anexo M. Codificación del programa de control	114
Anexo N. Conexión de entradas del PLC	123
Anexo Ñ. Conexión de salidas del PLC	124
Anexo O. Planos	125

## INTRODUCCIÓN

Actualmente una de las alternativas energéticas que se investigan en el mundo son los biocombustibles de donde se desprenden los biocarburantes y, entre ellos, el Biodiesel obtenido a partir de aceites vegetales, como combustible alternativo para motores diesel.

A los gobiernos del mundo les entusiasma la idea de sembrar sus propios combustibles, para no depender de importaciones o de reservas que en cualquier momento se pueden agotar, y de paso para generar empleos permanentes. En el caso colombiano, prácticamente de todas las oleaginosas se pueden obtener combustibles. Se han realizado diferentes pruebas y ya hay legislación sobre el tema (se contempla la combinación de 5 % Biodiesel y 95 % acpm normal.) sin embargo, la producción del combustible no ha sido desarrollada a plenitud. Aún no se conoce tecnología de obtención de Biodiesel derivado de aceite de palma a nivel industrial. En Bogotá, en un trabajo de Si-99, operador del sistema TransMilenio y Colciencias se desarrolló incluso una planta ‘fritanga’ que es una refinería de combustible Biodiesel la cual funciona con desechos de aceite de restaurante. EL combustible así producido fue probado en buses de servicio público y funcionó perfectamente. No obstante, se necesitan muchos restaurantes en constante producción del insumo para poder obtener una cantidad importante.<sup>1</sup>

De acuerdo con algunos investigadores, en poco más de un año, Colombia deberá importar diesel debido a que la capacidad instalada está prácticamente copada, pues por día se consumen alrededor del 96% de los barriles que se producen.<sup>2</sup>

El objetivo de este proyecto es buscar el desarrollo de una planta industrial de energía renovable para reemplazar combustibles fósiles como el petróleo que no es renovable, por biocombustibles extraídos de plantas o desechos agrícolas. A diferencia del diesel que es fósil, el Biodiesel es natural y se produce a partir de un aceite vegetal, un alcohol y un catalizador que acelera la reacción química.

Por su énfasis en el área del control automático y en el diseño orientado hacia la industria, al entorno social y ecológico, así como a la formación empresarial, la obtención y comercialización del Biodiesel constituye una gran oportunidad de desarrollo tecnológico propio para Colombia.

---

<sup>1</sup> COLCIENCIAS, [www.colciencias.gov.co](http://www.colciencias.gov.co), 14 de Abril de 2005

<sup>2</sup> FEDEPALMA, [www.fedepalma.org](http://www.fedepalma.org), 22 de Julio de 2005

## 1. ANTECEDENTES

En Alemania, existen estaciones de servicio que venden el Biodiesel a un precio más económico porque no paga impuestos ambientales y lo usan indistintamente en automóviles y camiones. Además es su principal productor en la Unión Europea. En 2004, produjo un millón de toneladas, que equivalen al 56% de la producción total de la UE. Se estima que a mediados de 2006, la producción de Biodiesel en este país oscilará entre 1,9 y 2,1 millones de toneladas.<sup>3</sup>

Por otra parte, no se conoce tecnología de obtención de Biodiesel derivado de aceite de palma a nivel industrial; Precisamente, las universidades Nacional de Colombia sede Medellín (Unalmed) y de Antioquia junto a la empresa Interamericana de Productos Químicos (Interquim) S.A., realizan actualmente, con la financiación de Colciencias, la investigación llamada “Optimización del proceso de obtención del Biodiesel de aceite de palma”.<sup>4</sup>

El gremio de los palmeros y Si-99 trabajan en los acercamientos para construir una planta piloto con pruebas reales del combustible. Esta planta estaría ubicada en Usme, la localidad cinco de Bogotá. Dicha planta produciría 200 litros. En la actualidad se producen en laboratorios únicamente litro y medio de combustible. Esta cantidad servirá para continuar los ensayos de dinamometría y hallar información para depurar el proceso del Biodiesel. Para estas pruebas fueron usadas mezclas de Biodiesel al 10, 20 y 30% con diesel y B 100 (Biodiesel al 100%). Se comprobó un aumento en la potencia del automotor con el uso del Biodiesel hasta del 16%. Por otro lado, las pruebas demostraron que a mayor proporción de Biodiesel en la mezcla, el porcentaje de opacidad disminuye significativamente. Usando B 100 se logra una reducción del 77% en el nivel de opacidad.<sup>5</sup>

La Investigación y desarrollo tecnológico; oferta y autoabastecimiento; normalización y regulación; cultura y confianza en el uso de biocombustibles; y logística, se definen como los cinco temas más críticos a trabajar en Biodiesel, luego de identificar retos por cada sector.

---

<sup>3</sup> PROEXPORT, [www.proexport.gov.co](http://www.proexport.gov.co), Compañías, Junio 25 de 2003.

<sup>4</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL MEDELLÍN, [www.minas.unalmed.edu.co](http://www.minas.unalmed.edu.co), Comunicaciones, 1 Mayo de 2005

<sup>5</sup> UNIVERSIDAD DEL NORTE, [www.uninorte.edu.co](http://www.uninorte.edu.co), Ingeniería, 6 de Noviembre de 2004

## 2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 2.1 IDENTIFICACIÓN / DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La dependencia, el agotamiento y elevado costo de los combustibles tradicionales, sumado a que en la actualidad colombiana el Biodiesel se produce de forma artesanal y en pocas cantidades hacen de esta investigación un proceso necesario y urgente.

### 2.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo automatizar la producción de Biodiesel obtenido a partir de aceite vegetal nuevo?

### 3. JUSTIFICACIÓN

Dada la problemática es importante comenzar un análisis e investigar de qué manera se puede producir el biocombustible a gran escala. El mundo utiliza cerca de 320 mil millones de kilowatt-hora al día, lo que equivale a 22 focos de 100 watts encendidos continuamente por cada persona del planeta. Martín Hoffert, profesor de física de la universidad de New York, y su equipo calculan que en 100 años la humanidad podría consumir tres veces esa cantidad.<sup>6</sup> Los combustibles fósiles han satisfecho la creciente demanda porque guardaron millones de años la energía del Sol en una forma compacta, pero la humanidad no volverá a encontrar una fuente parecida. Las respuestas están por ahí, pero todas necesitan algo más que la humanidad entera apiñada en torno al fuego de los combustibles fósiles: es necesario dar un gran salto, hacia un mundo distinto.

A los gobiernos del mundo les entusiasma la idea de sembrar sus propios combustibles, para no depender de importaciones o de reservas que en cualquier momento se pueden agotar, además la siembra de estos combustibles generaría empleos permanentes. Específicamente en el caso de Colombia podríamos analizar los siguientes puntos:

Materia Prima: hay sembradas actualmente cerca de 200 mil hectáreas de palma con la posibilidad de pasar en 20 años a un millón de hectáreas, con esto se resuelve la inquietud de tener suficiente materia prima.<sup>7</sup>

Producción Petro-Diesel: en un poco más de un año, Colombia deberá importar diesel debido a que la capacidad instalada está prácticamente copada, pues por día se consumen alrededor de 58 mil barriles de diesel de los 60 mil barriles que se producen que además no son de muy buena calidad.<sup>8</sup>

Producción Bio-Diesel: Aún no se conoce tecnología de obtención de Biodiesel derivado de aceite de palma a nivel industrial; todo el biocombustible fabricado en el país se desarrolla de forma experimental y en cantidades de unas cuantas decenas de litros, utilizando aceite usado que hace más complejo el proceso.

Consumo: Se estima que para el año 2016 el consumo de combustibles para motores diesel superará al de gasolina en el sector transporte del país. De desarrollarse maquinaria para la producción a gran escala, los investigadores argumentan que el mercado para el Biodiesel en Colombia estaría basado en la utilización de mezclas: un 70% de diesel y un 30% de Biodiesel.<sup>9</sup>

---

<sup>6</sup> NATIONAL GEOGRAPHIC en español, Vol. 17 , No. 2 , Agosto de 2005.

<sup>7</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIEROS FORESTALES, [www.acif.com.co](http://www.acif.com.co) , 18 Julio 2005

<sup>8</sup> PORTAFOLIO, [www.portafolio.com.co](http://www.portafolio.com.co) , Economía Hoy, Bogotá, Viernes 27 de Mayo de 2005.

<sup>9</sup> PORTAFOLIO, [www.portafolio.com.co](http://www.portafolio.com.co) , Economía Hoy, Bogotá, Viernes 27 de Mayo de 2005.

Costo: Se ha encontrado que el proyecto de Biodiesel en el país es financieramente favorable cuando el precio del petróleo supera los 73,32 dólares por barril<sup>10</sup> y el precio del aceite de palma es de 435 dólares por tonelada<sup>11</sup>.

Social: De lograrse la producción a gran escala esto implicaría, una demanda de 18 mil barriles por día, los cuales requieren de la siembra de 270 mil hectáreas de palma para su producción que podrían generar alrededor de 70 mil nuevos empleos.<sup>12</sup>

Ecología: Al lograrse una sustitución del 30% del consumo total de ACPM, se estaría espantando el fantasma de la importación y se dispondría de un combustible final con un contenido de azufre más bajo.<sup>13</sup>

Por todas las ventajas económicas, sociales y ambientales la obtención y comercialización del Biodiesel constituye una gran oportunidad de desarrollo tecnológico propio para Colombia.

---

<sup>10</sup> Económicas, Indicadores. EN: El Tiempo, Bogotá. (12, mayo, 2006); p.1-12.

<sup>11</sup> FEDEPALMA, [www.fedepalma.com](http://www.fedepalma.com) Indicadores económicos, Viernes, 12 de mayo de 2006

<sup>12</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL MEDELLÍN, [www.minas.unalmed.edu.co](http://www.minas.unalmed.edu.co), Comunicaciones, Biodiesel, fuente de desarrollo para Colombia, Arias Restrepo Luz Enit, 15 de Julio de 2005

<sup>13</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL MEDELLÍN, [www.minas.unalmed.edu.co](http://www.minas.unalmed.edu.co), Comunicaciones, 15 de Marzo de 2005

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una planta tipo automática para la producción de Biodiesel obtenido a partir de aceite vegetal nuevo.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar el proceso en costos, tiempo y cantidad como los puntos más relevantes.
- Determinar el rango de producción de bio-combustible por ciclo de trabajo.
- Establecer procedimientos de seguridad respecto al manejo de las sustancias químicas involucradas.
- Seleccionar materiales de construcción que no reaccionen con las sustancias químicas del proceso.
- Plantear de forma general el sistema automático de producción.
- Establecer pautas para el diseño de contenedores y la selección de mezcladores.
- Diseñar el sistema de alimentación y extracción de las sustancias involucradas en cada parte del proceso, con sus respectivos sensores y actuadores.
- Seleccionar el tipo de control a utilizar, dependiendo del número y tipo de entradas, salidas y procesamiento de señal del proceso.
- Diseñar el programa “software” para controlar la automatización.
- Seleccionar un sistema de calentamiento y el posterior control de temperatura.
- Presentar el diseño consolidado a organizaciones educativas, financieras, energéticas, productivas, y/o tecnológicas que apoyen económicamente la construcción de la planta industrial.

## 5. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

### 5.1 ALCANCES

Se cumplirán los objetivos del diseño para automatizar la producción de cualquier cantidad de Biodiesel por lotes, esta cantidad depende del tamaño de los contenedores. El diseño abarca los controles de nivel, tiempo y temperatura; variables estas, que combinadas gobiernan el accionar y cambio de cada uno de los procesos secuenciales. Posteriormente si se obtiene la financiación o apoyo económico se elaborará un prototipo. Esto provocará impactos a nivel *ambiental* como la reducción de gases de efecto invernadero. A nivel *agrícola* generará demanda de materia prima e incentivará su siembra con los lógicos y consecuentes beneficios sociales que éste conlleva. En lo *empresarial* su mayor alcance se reportará a nivel de beneficios económicos debido al alza en los precios de los combustibles tradicionales y el continuo fantasma de la escasez de recursos energéticos.

### 5.2 LIMITACIONES

El diseño de la automatización está limitado al desarrollo del proceso de producción de Biodiesel desde el control de ingreso de los materias primas líquidas a los contenedores, sin incluir la forma en que son impulsadas hacia estos, hasta el control de salida del producto, subproductos e impurezas. Si se desea producir una cantidad diferente (menor) a la capacidad propia de los contenedores dados para una cantidad fija, se debe adaptar manualmente la posición de los sensores de nivel. La automatización se puede adaptar a cualquier par de contenedores pero los contenedores no se pueden adaptar a cualquier cantidad de producción.

## 6. MARCO DE REFERENCIA

### 6.1 MARCO CONCEPTUAL

Planta tipo: Es la unidad física en que se realiza el proceso de producción y reúne en un alto grado los rasgos y los caracteres esenciales o peculiares de la transformación de las materias primas en el producto final, sin tener naturaleza definitiva o puntual. En el proyecto los rasgos característicos son el control de temperatura, mezcla, dosificación y extracción de sustancias así como también el control de tiempo y secuencia del proceso.

Automatización: Su concepto hace referencia a la supresión de la intervención humana en la realización de determinadas tareas de producción. La máquina automática posee captadores, capaces de percibir las informaciones útiles que son de naturaleza diversa. Los captadores están conectados a unidades de procesamiento y análisis que comparando la información recibida con datos almacenados determina los movimientos que han de ejecutarse para obtener la máxima precisión en la elaboración del biocombustible. La concepción de la planta totalmente automatizada implica la creación de un cerebro centralizador, que ha de estar al corriente de la marcha de los diferentes aparatos y ha de poder imponerles eventuales modificaciones de régimen, según las líneas de un programa general que puede ser modificado de acuerdo a la demanda y calidad del producto.

### 6.2 MARCO LEGAL

Ley No. 939 del 30 de Diciembre. 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 Diesel y se dictan otras disposiciones. Contiene diez (10) artículos y dos (2) párrafos<sup>14</sup>.

### 6.3 MARCO TEÓRICO

6.3.1 Proceso de elaboración de Biodiesel. Los aceites vegetales y las grasas animales son triglicéridos, contienen glicerina. Este proceso transforma los aceites en ésteres, separando la glicerina. La glicerina queda depositada en el fondo del recipiente y el Biodiesel flota y puede separarse con un sifón. Esta reacción química se llama transesterificación. Consiste en sustituir la glicerina del aceite por alcohol (metanol) utilizando soda cáustica como

---

<sup>14</sup> Ver en: [www.dian.gov.co/dian/13normatividad.nsf](http://www.dian.gov.co/dian/13normatividad.nsf)

catalizador. Por cada litro de aceite se emplean: 200 ml de metanol y 3,5 gramos de lejía (soda cáustica).

La lejía se humedece rápidamente y pierde su eficacia, es necesario mantenerla herméticamente cerrada, controlar su temperatura y medir constantemente la humedad relativa del ambiente.

La mezcla metanol-soda cáustica se debe realizar en recipientes robustos y cerrados, porque desprende gases y calor además se deben evitar las salpicaduras. La reacción se completa en quince (15) minutos. El resultado de la reacción es metóxido de sodio, una base extremadamente corrosiva. Se deben utilizar todas las medidas de seguridad cuando se trabaja con metóxido de sodio. Es importante tener cerca un grifo de agua corriente.

Al mismo tiempo se calienta aceite en un recipiente de acero hasta 50° C (122° F) con el fin de diluirlo y que se mezcle mejor con el metóxido. La temperatura óptima para este proceso es de 55° C (131° F). No debe superar este rango porque el metanol se evaporaría (hierve a 64,7° C, 148,5° F).

Se vierte con cuidado el metóxido de sodio en el recipiente del aceite, que debe tener integrado un agitador o mezclador. La reacción comienza inmediatamente y se forman dos productos: glicerina en el fondo del recipiente, y Biodiesel flotando sobre la glicerina. Se continua revolviendo durante una hora a temperatura constante y se deja reposar 12 horas después de las cuales se separa el Biodiesel con un sifón, por decantación o por gravedad.

Para que el Biodiesel sea de buena calidad hay que lavarlo, de esta forma se le quita el jabón, el metanol, la lejía, la glicerina y otras impurezas. Filtrarlo no sirve de nada, ni tampoco dejarlo reposar varias semanas. El primer paso es asegurarse que se a completado la reacción, de lo contrario se formaría una emulsión. A continuación se mezcla con agua mediante una hélice hasta obtener un aspecto homogéneo y se deja reposar por una (1) hora tiempo suficiente para que las sustancias queden estratificadas y separar el combustible del agua. Se deja el combustible en un recipiente abierto bien ventilado y se calienta a 50°C para que seque con más facilidad

Figura 1. Proceso de Elaboración

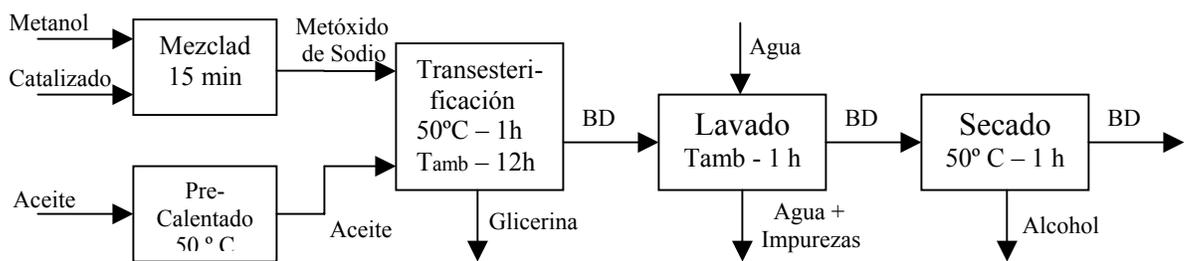


Tabla 1. Propiedades químicas del Biodiesel

Propiedad	Biodiesel	ACPM
Calor de Combustión [BTU/lb] - [kJ/kg]	17500 - 49500	19650 - 55581
Poder calórico [BTU/galón] - [MJ/m <sup>3</sup> ]	126000 - 34983	134000 - 37204
Flash POINT [°C]	170	80
Densidad [lb/gal] - [kg/m <sup>3</sup> ]	7.2 - 706	7 - 687

Fuente: CORPODIB, Producción de Biodiesel combustible automotriz a partir de aceites vegetales

### 6.3.2 Peligros químicos<sup>15</sup>.

- Temperatura de inflamabilidad. Es la temperatura mínima a la que el líquido, dentro de un recipiente experimental, desprende vapor suficiente para formar una mezcla inflamable con el aire próximo.

#### Gravedad y tipo de peligro

- D Danger (peligro).-Importante, grave, peligroso
- W Warning (precaución).-Mediano, intermedio, perjudicial
- C Caution (atención).-Menor, leve, molesto.

El grado de gravedad sólo puede expresarse en términos relativos, ¡peligro! Es el término más enérgico de los tres, y se utiliza para los productos que presentan los peligros más graves. ¡Atención! Se reserva para los compuestos menos peligrosos. ¡Precaución! Es término intermedio entre los de atención y peligro.

El tipo de peligro informa sobre los peligros existentes en relación con el manejo o uso habitual, o razonablemente precavido, del producto. Muchos productos químicos presentan más de un peligro; en tal caso se hacen las correspondientes indicaciones sobre cada uno de los peligros importantes. El peligro más grave se indica primero.

- 1 Material inflamable
- 2 Material oxidante.-El contacto con otro material combustible puede causar incendio.
- 3 Gas o vapor que es tóxico a gran rapidez o extremadamente irritante cuando se queda expuesto al mismo por poco tiempo o a concentración baja.
- 4 Gas o vapor perjudicial o molesto cuando se está expuesto a él por tiempo prolongado o repetidas veces, o a concentraciones altas.
- 5 Gas o vapor fisiológicamente inerte, pero que desplaza el oxígeno necesario para la respiración.
- 6 Polvo peligroso por inhalación o contacto.
- 7 Irritante, sensibilizador, corrosivos.- Causa irritación o quemaduras en la piel.
- 8 Tóxico al ser absorbido por la piel.

<sup>15</sup> Manual de prevención de accidentes para operaciones industriales. España : Mapfre, 1974. p. 1310

## Precauciones a tomar

Para reducir el peligro hay que tomar las precauciones que se indican con el siguiente número de señalización.

1. Mantener alejado del calor, chispas y llamas.
  2. Evitar derramar o poner en contacto con la piel, los ojos o la ropa.
  3. Usar la ventilación adecuada o bien, protección personal. Evitar inhalar el polvo, los humos, vahos, gases o vapores.
  4. Evitar el contacto con ácidos, humedad o productos combustibles.
  5. No usar o manejar sin tomar las precauciones establecidas por el fabricante.
- Intensidad de la toxicidad oral. Cantidad necesaria para producir la muerte cuando la ingiere una persona de peso medio (70kg).
    1. Prácticamente no tóxica.- necesario casi un (1) litro.
    2. Ligeramente tóxica.-de medio litro a un litro.
    3. Moderadamente tóxica.-de 0.03 litros a medio litro.
    4. Muy tóxica.-de una cucharadita a 0.03 litro.
    5. Extremadamente tóxica.-de 7 gotas a una cucharadita.
    6. Supertóxica.-una pizca.- <7gotas.

Para los agentes más corrosivos (tales como ácidos minerales, álcalis y lejías) no se ha propuesto ninguna intensidad de la toxicidad. En muchos casos la muerte suele ser el resultado de graves lesiones locales en los tejidos.

- Acción sobre la piel. Acción local del material sin diluir sobre la piel normal.
  - A Relativamente inofensiva
  - B Sensibilizadota.- puede causar reacciones alérgicas
  - C Irritante primario sobre la piel.- Un contacto breve puede causar inflamación quemaduras.
  - D Puede causar una dermatitis del mismo tipo a la originada por un disolvente.
- Clasificación de los peligros según la NPFA<sup>16</sup>. Los incendios y otras situaciones de emergencia pueden implicar a productos químicos que tengan diversos grados de toxicidad, inflamabilidad y reactividad. La graduación de la NFPA de estos peligros relativos (en condiciones de fuego) viene en las columnas “salud”, “inflamabilidad” y “reactividad”. A continuación se explican los distintos grados de peligro.
  - Peligros para la salud. Los peligros para la salud proceden de dos fuentes: (a) propiedades inherentes al material, (b) los productos tóxicos de la combustión o de la

---

<sup>16</sup> National Fire Protection Association

descomposición del mismo. Este peligro hace referencia a la propiedad de un material que directa o indirectamente puede causar lesión o incapacidad, bien temporal o permanente, al quedar expuestos por contacto, ingestión o inhalación.

Los grados de peligro bajo condiciones de fuego están clasificados, según la probable gravedad del peligro para el personal de la siguiente manera

4 Materiales que con una exposición muy corta pueden causar la muerte o lesiones residuales graves, aún cuando se aplique tratamiento médico inmediato. Aquellos a los que no puede acercarse el personal sin equipo protector especializado.

3 Materiales que con una corta exposición pueden causar lesiones residuales o temporales serias.

2 Materiales que con exposición intensa o continua podrían causar incapacidad temporal o posibles lesiones residuales.

1 Materiales que al quedar expuestos a los mismos causan irritación o sólo lesiones residuales, aquellos que requieren del uso de una máscara para gas.

0 Materiales que al quedar expuesto bajo fuego no ofrecen más peligro que el propio del material combustible corriente.

○ Peligro de inflamabilidad. Grado en que los materiales tienden a quemarse aunque algunos de ellos que arden bajo ciertas condiciones no lo hagan bajo otras. El grado de peligro se clasifica según la tendencia de los materiales a quemarse, de la siguiente manera:

4 Materiales que a presión atmosférica y temperatura ambiente normal se vaporizan rápida o completamente, o que enseguida se dispersan en el aire y arden a gran velocidad.

3 Líquidos y sólidos que pueden inflamarse bajo condiciones de temperatura casi ambiente o los inflamables bajo casi cualquier condición.

2 Materiales que para que puedan arder es necesario calentarlos moderadamente o dejarlos en un ambiente de temperatura relativamente alta. Bajo condiciones normales no formarán con el aire atmósferas peligrosas.

1 Materiales que para que puedan arder es necesario calentarlos previamente.

0 Materiales que no arden. Expuestos a 815.6°C durante 5 minutos.

○ Peligro de reactividad. Tratan del grado de susceptibilidad de los materiales a liberar energías. La violencia de la reacción o descomposición de los materiales puede elevarse por el calor o la presión mezclándose con ciertos materiales para formar mezclas

oxidantes combustibles, o por contacto con sustancias incompatibles, contaminantes, sensibilizadores o catalizadores.

El grado de peligro indicará al personal de lucha contra incendios que hay que evacuar la zona, que el fuego puede combatirse desde un lugar protegido, que hay que tener cuidado al aproximarse al fuego y aplicar los agentes extintores o que el fuego puede combatirse utilizando procedimientos normales.

Los grados de peligro se clasifican a continuación según la facilidad de desprendimiento de la energía, su velocidad y la cantidad.

- 4 Materiales que a temperatura y presiones normales son capaces de producir detonación.
- 3 Materiales capaces de producir detonación pero que necesitan de una fuente iniciadora potente o ser calentado en confinamiento antes del comienzo. A temperatura elevada reaccionan explosivamente con el agua sin necesidad de ser calentados.
- 2 Materiales normalmente inestables y que rápidamente sufren transformaciones químicas violentas pero que no detonan.
- 1 Materiales normalmente estables pero que a presiones y temperaturas elevadas pueden volverse inestables, o pueden reaccionar con el agua con desprendimiento de algo de energía, pero no violentamente.
- 0 Materiales normalmente estables, aún expuestos al fuego y que no reaccionan con el agua.

6.3.3 Corrosión<sup>17</sup>. Puede definirse como el deterioro de un material como el resultado de un ataque químico en su entorno. La velocidad depende en cierta medida de la temperatura y de la concentración de reacciones y productos.

#### Tipos de corrosión

Pueden clasificarse convenientemente conforme a la apariencia del metal corroído. Pueden identificarse de muchas formas pero todas ellas están interrelacionadas de alguna manera.

- Uniforme: Actúa sobre la totalidad de la superficie expuesta al entorno corrosivo.
- Galvánica: Se da entre dos metales distintos.
- Por picadura: Produce hoyos o pequeños agujeros.
- Por grietas. Se presenta en grietas o hendiduras y bajo superficies protegidas donde existen disoluciones estancadas.
- Intergranular: Adyacente a los límites de grano de una aleación.
- Por esfuerzo: efecto combinado de esfuerzos de tensión y un entorno corrosivo.

---

<sup>17</sup> Corrosion engineering. 2 ed. E.U. : McGraw-Hill, 1978. p. 155-158.

- Erosiva: Debido al movimiento relativo de un fluido corrosivo respecto a un metal.
  - Por cavitación: Impulsión de cavidades llenas de vapor en un líquido cerca de la superficie metálica.
  - Por rozamiento: En las interfases de materiales bajo carga sometidos a vibración y deslizamiento.
  - Lixiviación. Eliminación preferencial de un elemento en una aleación sólida por un proceso de corrosión.
- Control de la corrosión. Desde un punto de vista industrial, los aspectos económicos de la situación son usualmente los que deciden el método a elegir.

- Selección de materiales. Deben consultarse libros y datos de corrosión para tener seguridad de cuál es el material más apropiado a utilizar. Existen reglas generales y razonablemente seguras para aplicación en ingeniería.

Condiciones reductoras o no oxidantes usar aleaciones de níquel y cobre.

Condiciones oxidantes usar aleaciones que contengan cromo.

Condiciones fuertemente oxidantes utilizar comúnmente aleaciones de titanio.

- Recubrimientos: recubrimientos metálicos, inorgánicos (cerámicos y vidrios) y orgánicos se aplican a metales para prevenir o reducir su corrosión.

- Diseño: El diseñador en ingeniería debe considerar los materiales conjuntamente con los requerimientos en cuanto a propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas exigidas. Todas estas consideraciones deben sopesarse junto con las condiciones económicas.

- Alteraciones del ambiente: Las condiciones ambientales son muy importantes en la determinación de la gravedad de la corrosión. Métodos importantes para reducir la corrosión mediante cambios ambientales son:

Descenso de la temperatura

Disminución de la velocidad de los líquidos

Eliminación o reducción de oxígeno en contacto con los líquidos

Reducción de concentraciones iónicas

Adición de inhibidores a los electrolitos

6.3.4 Sensórica<sup>18</sup>. La siempre creciente automatización de los complejos sistemas de producción, necesita la utilización de componentes que sean capaces de adquirir y transmitir información relacionada con el proceso de producción. Los sensores cumplen con estos requerimientos. Estos son convertidores técnicos, que convierten una variable física (temperatura, distancia, presión) en una variable diferente, más fácil de evaluar (generalmente una señal eléctrica). Dentro de un proceso controlado, los sensores

---

<sup>18</sup> EBEL F. y Nestel S. Sensores para la técnica y procesos de manipulación. Esslingen : Festo Didactic KG, 1993. 180p.

representan los “perceptores” que supervisan un proceso, indicando los errores, recogiendo los estados y transmitiendo esta información a los demás componentes del proceso.

- Señales típicas de salida

#### Tipo A

Sensores con señal de salida por interrupción (señal de salida binaria)

Ejemplos: de proximidad, presostatos, de nivel, bimetálicos

Por norma estos sensores pueden conectarse directamente a los controles lógicos programables (PLC)

#### Tipo B

Sensores con salida por trenes de pulsos

Ejemplos: Sensores incrementales de longitud y rotativos

Generalmente se dispone de interfases compatibles para PLC, requerimientos del PLC: contadores de hardware y software con posibilidad de una mayor longitud de palabra.

#### Tipo C

Componentes de sensores con salida analógica y sin amplificador integrado ni conversión electrónica, que proporcionan una señal de salida analógica muy débil, no apta para una evaluación inmediata.

Ejemplos: piezorresistivos, células termoelectricas o pt-100, magnetorresistores, potenciómetros lineales.

#### Tipo D

Sensores con salidas analógicas, amplificador y conversión electrónica integrados, que proporcionan señales de salida que pueden evaluarse inmediatamente.

#### Tipo E

Sensores y sistemas de sensores con señal de salida estandarizada.

Ejemplo: RS 232-C, RS 422-A, RS 485 o con interfase a buses de datos tales como bus de campo (profibus, bus-sensor-actuador).

- Interruptores de posición electromecánicos

Con los finales de carrera mecánicos, se establece o se interrumpe un contacto eléctrico por medio de una fuerza externa. Los tiempos de conmutación de los finales de carrera mecánicos son entre 1 y 10 ms.

- Sensores de proximidad. Proporcionan una información de “SI” o “NO” dependiendo de si el objeto ha alcanzado la posición definida. Estos sensores que indican solamente dos estados, se conocen también como sensores binarios. La mayoría funciona electrónicamente y sin contacto.

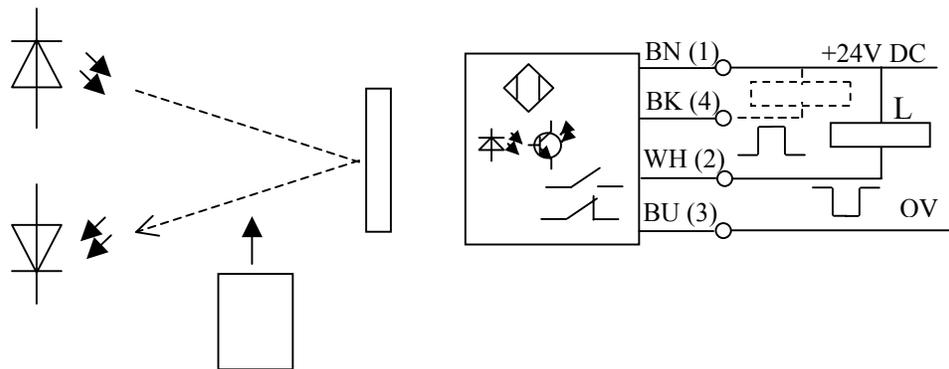
Ventajas:

- Detección precisa y automática de posiciones geométricas.
- Detección sin contacto de objetos y procesos.
- Características de conmutación rápidas.
- Resistencia al desgaste
- Número ilimitado de ciclos de conmutación
- Versiones disponibles incluso para utilización en ambientes peligrosos. (ambientes con riesgo de explosión).

- Sensores de retroreflexión. El emisor y el receptor de luz se hallan instalados en un solo cuerpo, con lo que se requiere un reflector. Se evalúa la interrupción del rayo de luz reflejado.

La interrupción del rayo de luz no debe ser compensada por la reflexión directa o difusa de un objeto. En algunos casos, los objetos transparentes, claros o brillantes, pueden pasar inadvertidos.

Figura 2. Principio del sensor de retroreflexión y conexión en tecnología de cuatro hilos NPN



Fuente: Sensores para la técnica y procesos de manipulación, Festo Didactic KG, 1993, P. 106 y 173

Tabla 2. Designación de los terminales

<b>Función</b>	<b>Color</b>	<b>Designación</b>
Alimentación positiva (+)	Marrón	BN
Alimentación negativa (-)	Azul	BU
Salida del sensor	Negro	BK
Salida antivalente	Blanco	WH

Fuente: Sensores para la técnica y procesos de manipulación, Festo Didactic KG, 1993, P. 174

Los objetos especulares deben posicionarse de tal forma que el rayo reflejado no sea devuelto por el propio objeto.

Ventajas:

Mejor fiabilidad dado que hay luz permanentemente durante el estado de reposo  
Instalación y ajustes sencillos  
El objeto a detectar puede ser reflectante, especular o transparente, siempre que absorba un porcentaje suficientemente elevado de luz

Desventaja:

Los objetos transparentes, muy claros o brillantes pueden pasar inadvertidos al sensor.

Notas:

En el caso de objetos transparentes, el rayo de luz atraviesa dos veces el objeto y como resultado de ello se ve atenuado, es posible detectar objetos de este tipo con un ajuste adecuado del potenciómetro  
Un fallo en el emisor es evaluado como objeto presente.

6.3.5 Transferencia de calor<sup>19</sup>. El calor es energía que se transmite de un cuerpo a otro debido a una diferencia de temperatura. La cantidad de calor  $Q$  necesaria para hacer variar la temperatura de un sistema es proporcional a la masa  $m$  de éste y al cambio de temperatura  $\Delta T$ :

$$Q = mc\Delta T \quad (\text{ec. 6-1})$$

$c$  es una cantidad característica del material, llamada *calor específico*. Los valores de  $c$  dependen hasta cierto punto de la temperatura, y también ligeramente de la presión, pero si los cambios de temperatura no son muy grandes, con frecuencia  $c$  se puede considerar constante.

Cuando distintas partes de un sistema aislado se encuentran a diferentes temperaturas, el calor pasa de la parte que está a mayor temperatura a las partes más frías. Si el sistema está completamente aislado, la energía no puede fluir hacia adentro ni hacia fuera de él, por lo que, de acuerdo con la conservación de la energía, el calor perdido por una de las partes del sistema debe ser igual al calor ganado por la otra:

$$\text{Calor cedido} = \text{Calor ganado}$$

---

<sup>19</sup> GIANCOLI, Douglas. Física : principios con aplicaciones. 4 ed. México: Prentice-Hall. 1997. p. 400-422

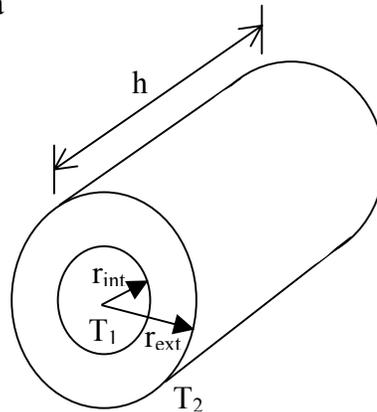
El calor se transfiere de un lugar o cuerpo a otro mediante tres procesos distintos: *conducción*, *convección* y *radiación*.

- **Conducción.** Cuando se calienta un extremo de un objeto, sus moléculas se mueven cada vez más rápido. Al chocar con sus vecinas, de movimiento más lento, les transfieren algo de su energía, y la velocidad de las vecinas aumenta también. Estas, a su vez, transfieren mediante choques algo de su energía a las moléculas más alejadas, a lo largo del objeto. Así, la energía del movimiento térmico recorre el objeto a través de choques moleculares. El flujo de calor  $Q$  por unidad de tiempo  $t$  obedece a la ecuación:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = q_{cond} = KA \frac{T_1 - T_2}{l}$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal del objeto,  $l$  la distancia entre sus dos extremos, que tiene temperaturas  $T_1$  y  $T_2$ , para flujo radial la distancia entre extremos es  $l = \ln(r_{ext}/r_{int})$  y  $K$  una constante de proporcionalidad, llamada *conductividad térmica* característica del material.

Figura 3. Conductividad térmica



Realizando una analogía con el flujo de corriente en un circuito eléctrico, el calor se puede determinar:

$$q_{cond} = \frac{\Delta T}{R_{cond}}$$

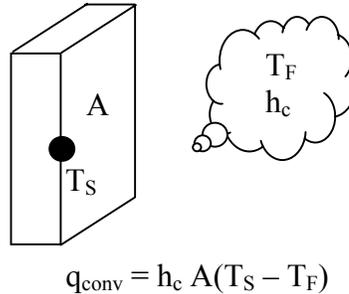
donde  $R_{cond}$  es la resistencia térmica de conducción, determinada por las dimensiones y el material del sistema.

$$R_{T-cil} = \frac{\ln(r_{ext}/r_{int})}{2\pi K_T h} \quad (\text{ec. 6-2})$$

- **Convección.** Aunque los líquidos y los gases no suelen ser muy buenos conductores de calor, pueden transmitirlo con gran rapidez por convección. La convección es el proceso

mediante el cual se transfiere calor a causa del movimiento en masa de moléculas, de un lugar a otro.

Figura 4. Convección térmica



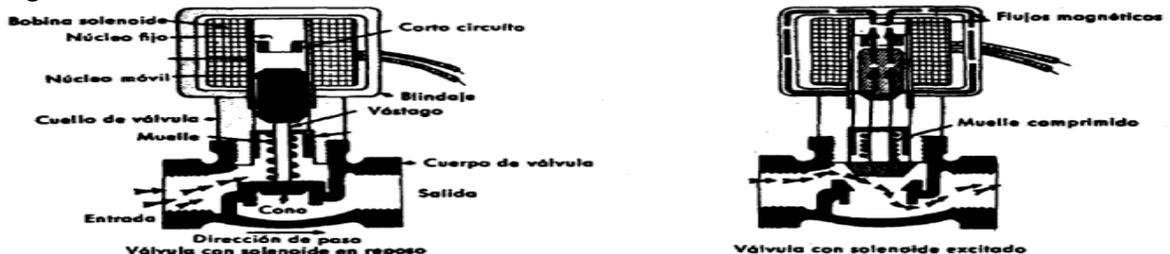
donde  $h_c$  es el *coeficiente de transferencia* que depende del tipo de fluido, flujo y velocidad,  $A$  es el área de la sección transversal del objeto,  $T_S$  es la temperatura de la superficie y  $T_F$  es la temperatura del fluido de convección, generalmente el aire. Con la analogía eléctrica es posible determinar la resistencia térmica de convección como:

$$R_{T\text{-conv.}} = 1 / (h_c * A_{\perp}) \quad (\text{ec. 6-3})$$

6.3.6 Electroválvulas<sup>20</sup>. O válvulas de solenoide constituyen uno de los elementos más sencillos y posiblemente el de empleo más común en los actuadores eléctricos. Estas válvulas son de acción todo o nada, es decir, admiten solamente dos estados: posición abierta dejando totalmente libre el paso del fluido y posición cerrada cortando su paso. La válvula solenoide típica puede verse en la figura 5 y está construida por una bobina solenoide encajada en un núcleo fijo en forma de tubo cilíndrico, en cuyo interior desliza un núcleo móvil provisto en su extremo de un disco o tapón. La válvula actúa como un electroimán, su excitación alimenta eléctricamente la bobina que atrae el núcleo móvil o vástago, mientras que su desexcitación invierte la posición de este gracias a un resorte que empuja el disco contra el asiento, cerrando así la válvula.

- Acción directa

Figura 5. Válvula solenoide acción directa



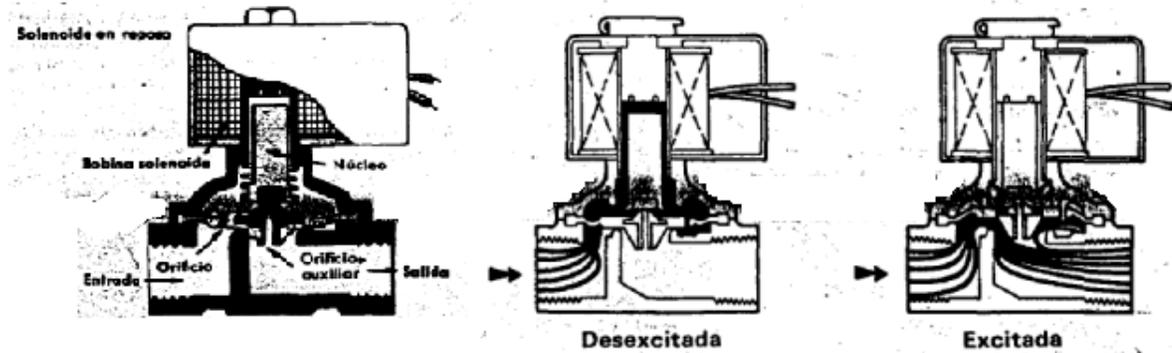
Fuente: Electrónica y automática industriales I. p 103

<sup>20</sup> MOMPIN POBLET, José. Electrónica y automática industriales I. Barcelona : Marcombo, 1986. v.2, p 103

El disco o tapón está acoplado directamente al núcleo móvil y abre o cierra el paso del fluido al excitarse o desexcitarse la bobina del solenoide del núcleo fijo. En este tipo de electroválvulas, la fuerza que el solenoide puede efectuar es escasa, lo que limita el tamaño y restringe el caudal de paso y las presiones estáticas de trabajo del fluido.

- Piloto

Figura 6. Válvula solenoide pilotada



Fuente: Electrónica y automática industriales I. p 103

En los fluidos limpios pueden aplicarse modelos que admiten mayores caudales de trabajo y presiones de servicio más elevadas con un mayor tamaño de la válvula. Reciben el nombre electroválvulas operadas por piloto y aprovechan la presión del fluido para el accionamiento de la válvula principal que puede estar dispuesta en el interior o exterior de la electroválvula.

- Cierre de Seguridad. Pertenecen al tipo de válvulas semiautomáticas que han de ponerse manualmente en condiciones de trabajo y que vuelven a su posición original cuando se excita la bobina del solenoide

La bobina de las electroválvulas está protegida por una caja o blindaje que realiza la función adicional de completar el circuito magnético; sin este blindaje la electroválvula no puede trabajar.

- Tipos de caja o blindaje

NEMA1: Usos generales, empleado en montajes interiores de la válvula y en condiciones atmosféricas normales (aire limpio, sin humedad excesiva)

NEMA4: A prueba de agua, adecuado para trabajar en condiciones atmosféricas exteriores con atmósfera húmeda y con exposición frecuente al agua; con empaquetaduras especiales la electroválvula puede incluso trabajar estando sumergida.

NEMA6: Aprueba de explosión, capaz de detener una posible explosión sin que esta se propague.

Señalando que el código americano “National Electric Code”, establece los siguientes grupos de atmósferas peligrosas:

Clase I – Lugares en los que pueden estar presentes en el aire gases o vapores en cantidad suficiente para producir mezclas explosivas o susceptibles de ignición.

Grupo C – Atmósferas conteniendo vapores de eter etílico, etileno o ciclopropano.

Grupo D – Atmósferas conteniendo gasolina, hexano, nafta, benceno, butano, propano, alcohol, acetona, benzol, lacas, vapores de disolvente o gas natural.

Clase II – Lugares en los que existe la presencia de polvo combustible.

Grupo E – Atmósferas conteniendo polvo metálico con aluminio o magnesio y sus aleaciones comerciales y otros metales de características peligrosas semejantes.

Grupo F – Atmósferas conteniendo carbón o polvo de carbón.

Grupo G – Atmósferas conteniendo harina o polvo de almidón o de grano.

Las bobinas están usualmente dimensionadas para servicio continuo, es decir pueden estar alimentadas permanentemente sin que sufran daños o alcancen temperaturas excesivas. Poseen una elevada resistencia a la humedad gracias a un tratamiento adecuado de impregnación al vacío y se fabrican en general para temperatura totales de servicio de 100 a 200 °C.

El tiempo de respuesta suele oscilar entre 4 y 8 milisegundos para una válvula de acción directa. Los materiales que forman la electroválvula son muy variados y dependen de las características y del tipo de fluido del trabajo. En el cuerpo pueden utilizarse: Hierro, aluminio, latón, cobre, plomo, monel, plata, acero inoxidable, etc.

### 6.3.7 Esfuerzos en cilindros.

- Recipientes de pared delgada<sup>21</sup>. Cuando el espesor de la pared de un recipiente cilíndrico a presión es cerca de 1/20 o menor de su radio, el esfuerzo radial que resulta de la presurización del recipiente es muy pequeño comparado con el esfuerzo tangencial. Con estas condiciones, el esfuerzo tangencial se obtiene: sea  $p$  una presión interna sometida en la pared de un cilindro de espesor  $t$  y con un diámetro interior  $d_i$ .

$$\sigma = \frac{p(d_i + t)}{2t} \quad (\text{ec. 6-4})$$

En un cilindro cerrado, el esfuerzo longitudinal se produce debido a la presión sobre los extremos del recipiente. Si se supone que este esfuerzo también está uniformemente distribuido sobre el espesor de la pared, su valor se calcula:

$$\sigma_l = \frac{p(d_i + t)}{4t} \quad (\text{ec. 6-5})$$

---

<sup>21</sup> SHIGLEY, Joseph. Diseño en ingeniería mecánica. 6 ed. México : McGraw-Hill, 2001. p.134

## 7. METODOLOGÍA

### 7.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

En la investigación se empleará un enfoque empírico-analítico: cuyo interés es el técnico, orientado a la interpretación y transformación del mundo material.

### 7.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB

El campo temático del proyecto es “Diseño, instrumentación y control de procesos de manufactura”, de este campo se determinan: la sub-línea de la facultad “Instrumentación y control de procesos”, y la línea de investigación de la Universidad “Tecnologías actuales y sociedad”.

### 7.3 HIPÓTESIS

La producción de Biodiesel en Colombia se puede aumentar con el desarrollo de maquinaria que facilite el proceso, ésto se logra con el diseño de una planta tipo automática de Biodiesel a partir de aceite vegetal.

### 7.4 VARIABLES

7.4.1 Variable independiente Tecnología y maquinaria para la producción de Biodiesel. De ella depende el aumento en la producción del combustible.

7.4.2 Variable dependiente Producción y calidad del Biodiesel en Colombia. Esta variable refleja el efecto de los cambios en el desarrollo de la tecnología y maquinaria en la producción de Biodiesel.

## 8. DESARROLLO INGENIERIL

### 8.1 CUANTIFICACIÓN DEL PROCESO

Tabla 3. Fases del proceso

PROCESO	SUSTANCIAS		Tiempo	Temperatura	Características
	Entrantes	Salientes			
Precalentado	Aceite	Aceite	15 min	50 °C	Diluir el aceite
Mezclado	Metanol + Catalizador	Metóxido de Sodio	15 min	T <sub>amb</sub>	Extremadamente Corrosivo
Transesterificado	Metóxido de Sodio + Aceite	Biodiesel + Glicerina	1 h	50 °C	Reacción
			12 h	T <sub>amb</sub>	Separación
Lavado	Agua + Biodiesel	Biodiesel + Agua+Imp	1 h	T <sub>amb</sub>	Mezclar y dejar en reposo
Secado	Biodiesel	Biodiesel + Alcohol	1 h	50 °C	Evaporación exceso de alcohol

Imp.: Impurezas

T<sub>amb</sub>: Temperatura ambiente

Tabla 4. Economía del proceso, costos por galón de Biodiesel

PRODUCTO	COSTO (\$/Unid)	UNIDAD	% por gal de BD	\$/gal de BD
Aceite	2700*	gal.	100	2700
Metanol	11.800**	gal.	20	2360
Soda Cáustica	2.200**	Kg	3.5	7.7
Agua	8***	gal	100	8
Total				5100
Glicerina	30.000 <sup>§</sup>	gal	23.5	7000
Biodiesel		gal	100	-2000

\* FEDEPALMA , www.fedepalma.org , Indicadores Económicos, 12 de Mayo de 2006

\*\* Químicos Compota y Cia. LTDA. Importadores Mayoristas, Bogotá D.C., tel. 2824104, 25 de Febrero de 2006

\*\*\* Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá D.C.

<sup>§</sup> Tienda Químicos LTDA. Bogotá D.C., tel. 6747334

De los anteriores valores se puede observar que el valor de la producción de un galón de Biodiesel en Colombia es de \$5100 teniendo en cuenta tan sólo la materia prima, su valor es mayor puesto que no se agregan los valores de consumo energético, ni de operación. Como también se perciben ganancias por la venta de subproductos como la glicerina, éstas son suficientes para equilibrar las finanzas debido a que su precio de venta supera por sí solo el costo de la producción del biocombustible. Ésta es una de las mayores ventajas para

la difusión de su consumo, pues el valor de un galón de Diesel es de \$4200 (precio en Bogotá D.C.)<sup>22</sup>.

## 8.2 DETERMINACIÓN DEL RANGO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR CICLO DE TRABAJO

Este es un factor determinante en el diseño de los contenedores o reactores, debido a que de él se deriva su tamaño, el tipo del sistema de calefacción, el tamaño de los mezcladores, así como los costos y utilidades por ciclo de producción. La automatización es diseñada para adaptarse a cualquier par de contenedores que generen una producción dentro de este rango.

Para su determinación es preciso tener en cuenta los siguientes factores:

- Ciclo de trabajo: Tiempo en que se obtendrá el producto terminado. Aproximadamente cada 15 horas.
- Demanda: En su mayoría el diesel es consumido por vehículos con gran capacidad de carga y consumo de potencia como tractomulas, camiones, tractores y servicios de transporte masivo de pasajeros. Para el caso específico de Transmilenio, un bus articulado necesita 150 galones para llenar completamente sus tanques, su eficiencia de consumo es en promedio de 7 Km/gal y recorren en promedio 170 Km/día, esto significa que relativamente se deben tanquear cada 148 horas<sup>23</sup>.
- Consumo: El mercado para el Biodiesel en Colombia estaría basado en la utilización de mezclas: un 70% de diesel y un 30% de Biodiesel.<sup>24</sup>

Usando la siguiente ecuación se determina la cantidad de producción Biodiesel por ciclo de trabajo:

$$\text{Producción [gal]} = \frac{\#V * G_{\text{full}} * FM * T_{\text{pbd}}}{T_{\text{tanq}}} \quad (\text{ec. 8-1})$$

Donde:

#V = Número de vehículos para abastecer por ciclo de trabajo

G<sub>full</sub> = Galones necesarios para llenar completamente el tanque del vehículo

FM = Factor de mezcla, es decir cuanto Biodiesel se usará en comparación con Diesel

T<sub>pbd</sub> = Tiempo de producción de Biodiesel

T<sub>tanq</sub> = Tiempo para reabastecimiento.

---

<sup>22</sup> EL TRANSPORTE , [www.eltransporte.com](http://www.eltransporte.com), Viernes, 12 de Mayo de 2006.

<sup>23</sup> METROBUS S.A. Tel. 7697744 Ext. 8 Servicio Técnico

<sup>24</sup> PORTAFOLIO, [www.portafolio.com.co](http://www.portafolio.com.co) , Economía Hoy, Bogotá, Viernes 27 de Mayo de 2005.

Con valores de  $G_{full} = 150$  gal ,  $FM=0.3$ ,  $T_{pbd}=15$  horas ,  $T_{tanq}= 148$  horas y variando el número de vehículos (#V) se obtiene:

Tabla 5. Producción de Biodiesel en función del número de vehículos

#V	10	20	30	40	50
Producción (gal)	45,61	91,22	136,82	182,43	228,04
Producción (m <sup>3</sup> )	0,17	0,35	0,52	0,69	0,86
Producción (l)	172,64	345,29	517,93	690,58	863,22

Es importante recordar en esta parte del diseño que el autómatas tiene el fin de controlar cualquier cantidad de producción, mediante la adaptación a contenedores de distinto tamaño, pero, para efectos prácticos de algunos cálculos se tendrá en cuenta el valor de la mayor producción, es decir, para abastecer 50 vehículos de 150 galones de capacidad cada uno y autonomía de 148 horas es necesario producir 228.04 galones de Biodiesel, algo menos de un (1) metro cúbico o mil (1000) litros.

### 8.3 PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD RESPECTO AL MANEJO DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS INVOLUCRADAS

El primer paso es reconocer los peligros de las sustancias del proceso. Algunas de estas sustancias están descritas en el siguiente cuadro, con cada una de sus propiedades físicas asociadas al peligro.

Tabla 6. Cuadro de peligros químicos

Sustancia	Punto de inflamabilidad [°C]	Gravedad y tipo de peligro	Precauciones	Toxicidad	Acción sobre la piel	NFPA		
						Salud	Inflamabilidad	Reactividad
Fuel oil	170*	C-1,3	1,2	3	D	0	2	0
Glicerina	160	C-4	3	1	A	1	1	0
Hidróxido Sódico	-	D-7,6	2,3	Corr.	C	3	0	1
Metanol		D-1,4	1,3	5	B	4	2	1
Metóxido		D-7,3	2,3	Corr.	C	3	1	1
Aceite		C-1,7	1	1	A	0	1	2

Fuente: Manual de prevención de accidentes para operaciones industriales. España : Mapfre, 1974. P.1332-1333 [modificada]

\*Punto de inflamabilidad del Biodiesel.

Según los peligros descritos en la tabla 6, se deben tener en cuenta las siguientes precauciones, especificadas en cada uno de los procesos o secciones:

### 8.3.1 Proceso general:

- Mantenerse alejado de calor intenso (100°C), chispas y llamas.
- Evitar derramar o poner en contacto con los ojos, la piel o la ropa.
- Usar ventilación adecuada y bien protección personal.
- Evitar inhalar el polvo, los humos o vapores.
- Lavar cuidadosamente las herramientas y el quipo de protección personal luego de trabajar en las tuberías de productos corrosivos (lejía, metóxido)
- El piso de la planta debe estar fabricado con cenizas u hormigón preparado para disminuir la solubilidad de las sustancias corrosivas y los líquidos inflamables.
- Siempre que se pueda debe usarse la ventilación natural en lugar de la mecánica, ya que no plantea problemas de operaciones.
- No está permitido el uso de aire a presión para el trasvase de líquidos corrosivos o inflamables.
- Debe disponerse de duchas de emergencia y de fuentes para lavado de ojos, debido al empleo de sustancias cáusticas.
- Deben emplearse anteojos para productos químicos, delantales, botas y guantes.

### 8.3.2 Tanques:

- Su instalación debe realizarse al nivel o por encima, en zonas bien drenadas. Dispuestos lejos del lugar de almacenamiento.
- Serán vaciados, limpiados e inspeccionados periódicamente, para averiguar si existe algún defecto de estructura.
- Conservar un régimen de las inspecciones.
- Si se encuentran dentro de un edificio, los respiraderos deben desembocar al exterior, a un lugar lejos de fuentes de ignición y personal.
- Las conexiones para llenar y vaciar deben colocarse preferiblemente en la parte superior, para reducir la pérdida de líquidos
- No debe permitirse jamás el vaciado a mano ni por medio de gomas o sifones aplicando succión directa.

### 8.3.3 Tuberías:

- Si se instalan en alto, se procurará que no goteen
- Las tuberías de líquidos inflamables no se instalarán en túneles.
- En los tubos se debe indicar el tipo de líquido que contienen.
- El vástago de las válvulas puede rodearse con una caperuza o chapa metálica.
- Para evitar lesiones o accidentes por la apertura errónea de una válvula, éstas se marcarán con etiquetas letreros o colores.
- Es aconsejable que las válvulas estén bastante separadas entre si y que el área tenga una buena iluminación para asegurar una identificación rápida y fácil.

- Un drenaje apropiado permite la una limpieza fácil en el supuesto de una pérdida de líquido.
- Las tuberías de salida y las válvulas han de estar bien limpias y sin obstrucciones antes de iniciar la descarga.
- Deben instalarse con suficiente inclinación para que el vaciado sea automático.

#### 8.4 SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

En el proceso de producción de Biodiesel, se trabajan y se producen sustancias altamente corrosivas, por tanto la correcta selección de materiales para la construcción de la planta es un factor determinante para el control de la corrosión, aumento de la vida útil y seguridad del sistema.

Un material a menudo mal utilizado por los fabricantes es el acero inoxidable que en ciertos ambientes es más susceptible que un acero ordinario. Por lo tanto debe prestarse especial atención a la aplicación apropiada de este acero.

Tabla 7. Conveniencia material contra fluido

Fluido	Material					
	Acero Inoxidable			Acero al carbón	Bronce	Titanio
Alcoholes	302-304	440C	416			
Metanol	A	B	A	A	A	A
Aceite	A	A	A	A	A	A
Agua	A	A	B	B	C	A
Acido Graso	A	A	A	C	B	A
Hidróxido de sodio	A	B	B	A	C	A

A: Buena elección

B: Proceder con precaución

C: No recomendado

Fuente: Corrosion Engineering. 2 ed. E.U. : McGraw-Hill, 1978. p. 155-158

En el objetivo de buscar el material más económico y que cumpla las condiciones del proceso la mejor opción es escoger para la construcción un acero inoxidable tipo AISI 304 (acero inoxidable austenítico 18%Cr; 8%Ni). Material normalmente excelente en medios líquidos oxidantes de soluciones neutras o alcalinas como el biodiesel, bueno cuando las alternativas superiores no son económicas en medios líquidos de agua natural estática o de movimiento lento, bueno a excelente con vapor húmedo, condensado así como con el aire ambiental, industrial o urbano. Sus formas disponibles son: de moldeo, de forja y recubierto, tiene buena soldabilidad y conformabilidad en frío. Es un acero resistente al calor y la corrosión<sup>25</sup>. La temperatura del proceso jamás excede los 500°C, temperatura por

<sup>25</sup> PERRY, Robert. Manual del Ingeniero Químico. Mc Graw Hill. Madrid (2001). p. 28-36 a 28-39

encima de la cual, el AISI 304 puede presentar corrosión intergranular, aunque es aconsejable enfriar con agua después de soldar para disolver los carburos de cromo, causantes de la sensibilidad por corrosión intergranular.

En ingeniería un adecuado diseño de equipamiento tiene tanta importancia para la prevención de la corrosión como la selección de los propios materiales.

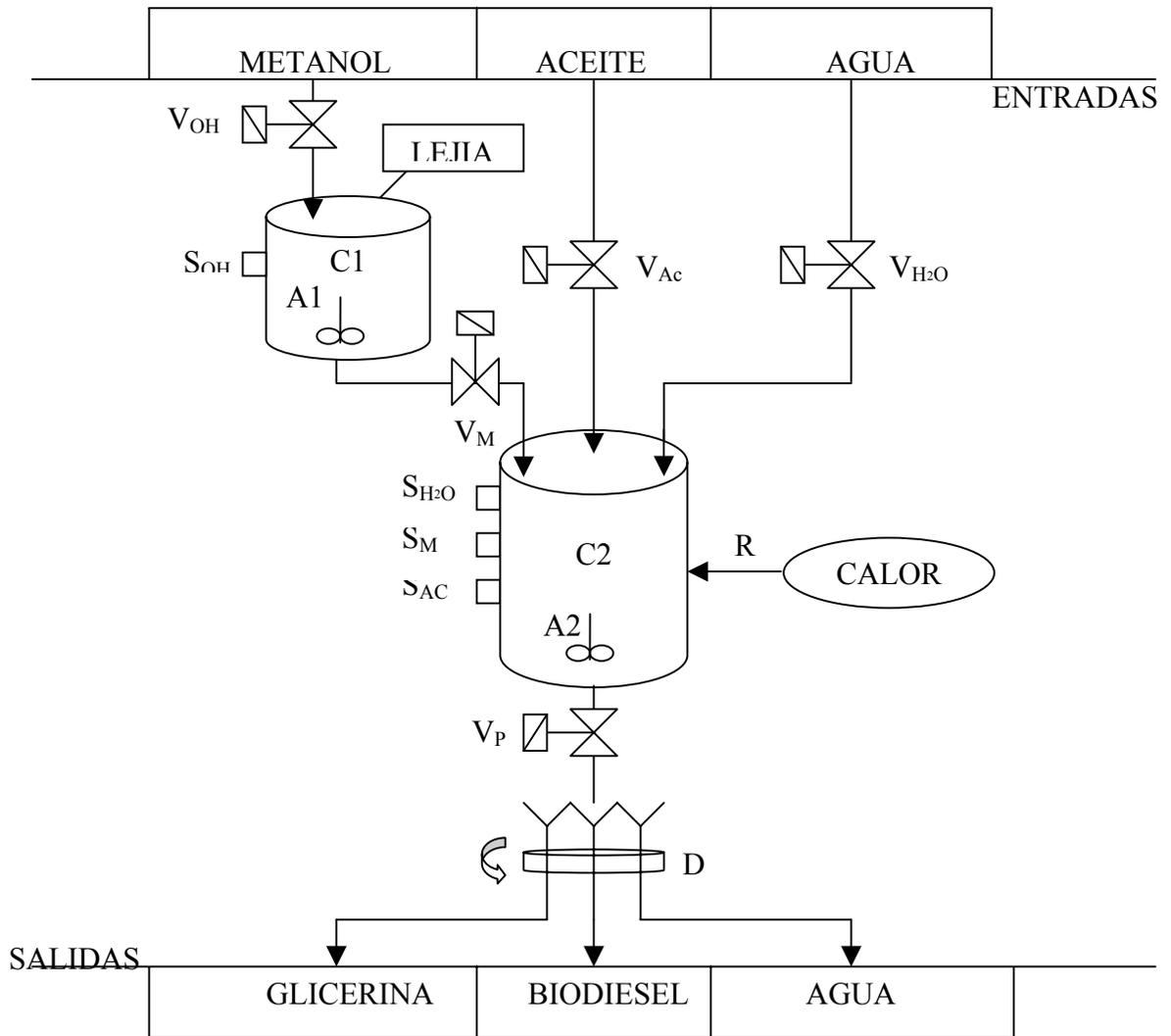
Parámetros de diseño para reducir los efectos de la corrosión:

- El espesor del material utilizado debe tener en cuenta tanto los esfuerzos mecánicos como la corrosión por esfuerzo.
- Soldar preferiblemente los contenedores para reducir la corrosión por grieta.
- Utilizar siempre metales similares para la totalidad de la estructura para eliminar la corrosión galvánica así como utilizar juntas o uniones no metálicas si se disponen juntos materiales no similares.
- Mantener bajas velocidades en los fluidos así como evitar recodos agudos en las tuberías reduciendo la corrosión por erosión.
- Reducir el oxígeno disuelto y en contacto con los líquidos.
- El diseño de los contenedores debe facilitar su limpieza y drenaje.
- El diseño debe ser uniforme evitando al máximo la heterogeneidad.

## 8.5 PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE PRODUCCIÓN

La producción del biocombustible se realiza de forma secuencial, donde cada paso presenta sus propias condiciones de temperatura, nivel, tiempo, agitación y sustancias involucradas. Estas variables deben ser controladas en dos contenedores o reactores; un contenedor hermético denominado C1 donde se realiza la mezcla de Metanol y Lejía para producir Metóxido y un contenedor C2 donde se mezcla el Metóxido transvasado por gravedad, con el aceite, bajo condiciones de temperatura y tiempo luego del cual se obtiene el Biodiesel y la glicerina que es decantada por gravedad, en este mismo reactor (C2) se lleva a cabo el proceso de lavado y secado. Cada reactor cuenta con agitadores independientes. El distribuidor es un sistema giratorio que se encarga de dirigir cada una de las sustancias que sale del contenedor 2 a sus respectivos sitios de almacenamiento.

Figura 7. Planteamiento del sistema



Nomenclatura:

S : Sensor

V : Electroválvula para control de paso de fluidos

OH : Metanol

Ac : Aceite

M : Metóxido

H<sub>2</sub>O : Entrada de agua limpia

P : Principal

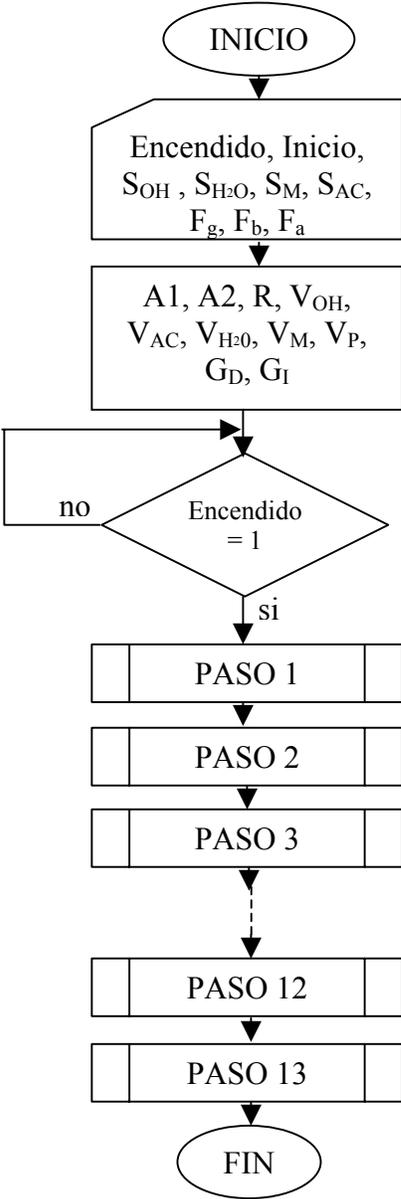
A : Agitador

C : Contenedor

R : Encendido calor

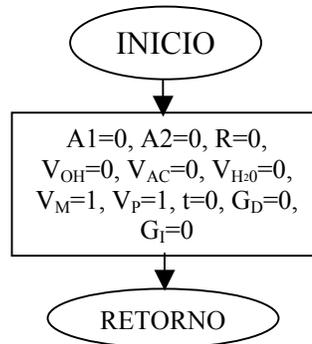
D : Distribuidor

Figura 8. Diagrama de flujo del proceso



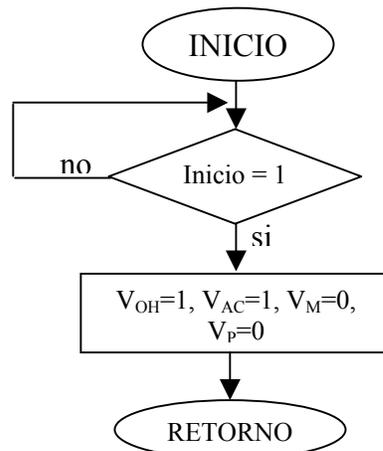
A continuación se describe cada una de las secuencias del proceso:

### 8.5.1 Paso 1: Encendido



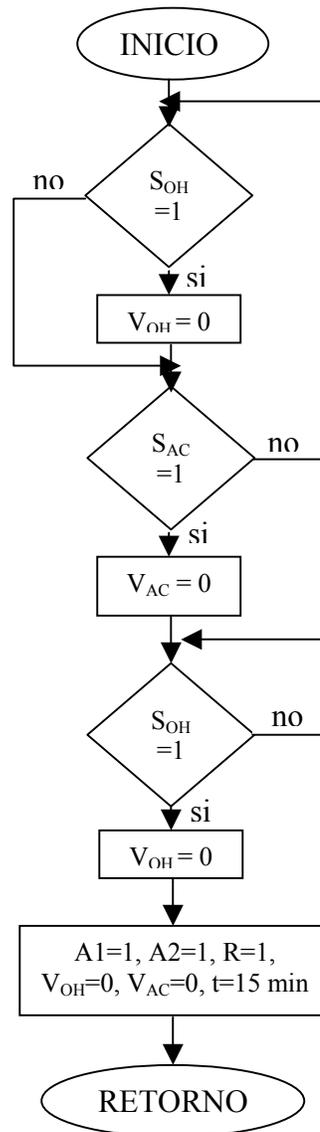
Revisión-Seguridad. Se verifica el nivel de los contenedores, los estados de los agitadores y el sistema de calefacción, todos deben estar inactivos. Las válvulas de salida de flujo  $V_P$  y  $V_M$  deben estar abiertas para permitir la salida de cualquier escoria o flujo condensado y atrapado en tuberías y contenedores. Se inicia mediante la entrada “Encendido”.

### 8.5.2 Paso 2: Inicio



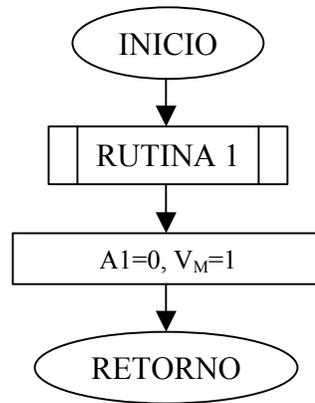
Se pone en marcha el sistema, las válvulas de salida de flujo  $V_P$  y  $V_M$  deben cerrarse. Las válvulas de entrada de metanol  $V_{OH}$  y aceite  $V_{AC}$  permiten el paso. Se inicia mediante la entrada “Inicio”.

### 8.5.3 Paso 3: Mezcla metanol / lejía – Precalentado aceite



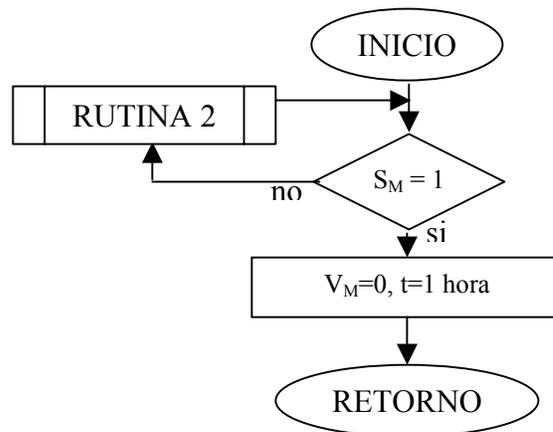
Se controla el nivel del contenedor C1 mediante el sensor  $S_{OH}$  que envía la señal para cerrar la válvula  $V_{OH}$ , lo correspondiente realiza el sensor  $S_{AC}$  en el contenedor C2 controlando la válvula  $V_{AC}$ , ambos procesos son independientes pero sólo cuando se cumplan se procede con la activación de los agitadores A1 y A2 así como el incremento de la temperatura en C2 hasta  $50^{\circ}\text{C}$ , se activa en este punto para evitar que esté encendido en algún momento que no exista aceite en el contenedor. La mezcla y el precalentado tienen una duración de 15 minutos.

#### 8.5.4 Paso 4: Control de tiempo / temperatura 1



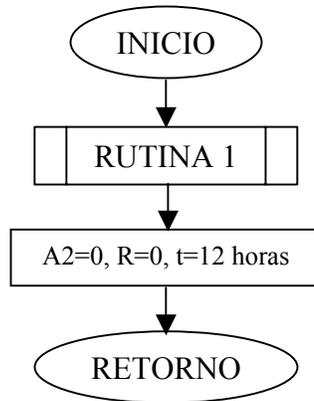
Revisión del tiempo de la reacción que toma quince (15) minutos, luego de los cuales se procede con la mezcla de metóxido y aceite precalentado que debe mantener su temperatura. El transvasado del metóxido se realiza mediante la apertura de la válvula  $V_M$  y es impulsado por acción de la gravedad. Se debe apagar el A1.

#### 8.5.5 Paso 5: Transesterificación



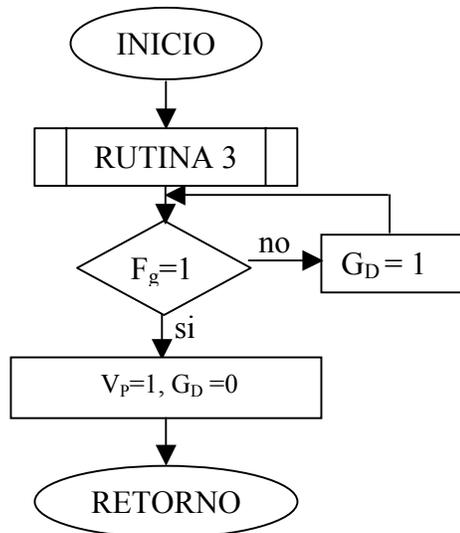
Se controla el nivel en el contenedor C2 mediante el sensor  $S_M$ , que al detectar el nivel cierra la válvula  $V_M$ , mientras la temperatura permanece constante en 50°C. Posteriormente se activa el agitador A2 que debe permanecer activo una (1) hora, tiempo suficiente para que la mezcla metóxido / aceite se complete.

### 8.5.6 Paso 6: Control de tiempo / temperatura 2



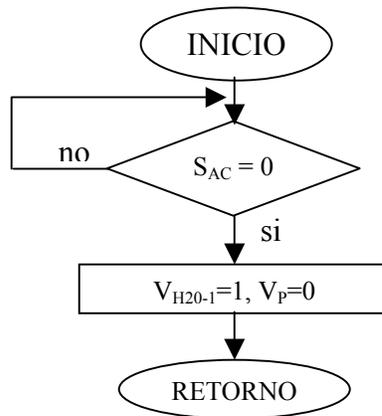
Mantener las condiciones anteriores durante 1 hora. Después de la reacción, el agitador A2 y el control de temperatura R se desactivan. A continuación se esperan doce (12) horas.

### 8.5.7 Paso 7: Estratificación glicerina / Biodiesel



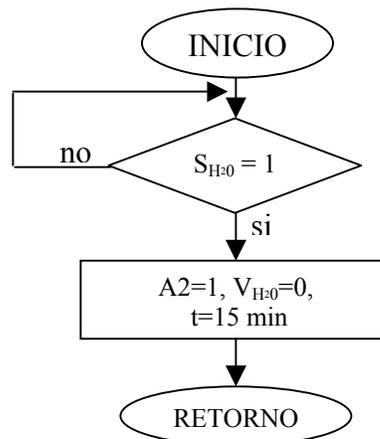
Durante doce (12) horas se estratifica el Biodiesel sobre la glicerina. Al terminar la estratificación la glicerina es extraída mediante la apertura de la válvula principal, para esto se debe ubicar el embudo de la glicerina bajo ésta, mediante el giro del distribuidor hacia la derecha hasta que se encuentre en posición correcta, determinada por el final de carrera  $F_g$ .

### 8.5.8 Paso 8: Extracción de la glicerina



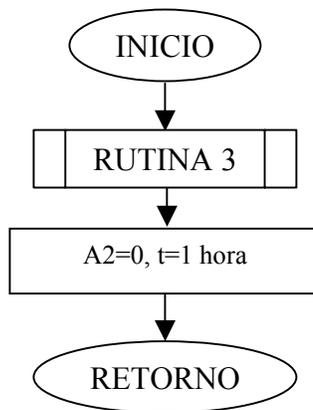
La cantidad de Biodiesel producida es igual a la cantidad de aceite depositado, por lo tanto al extraer completamente la glicerina por la parte inferior del tanque C2, la cantidad restante de Biodiesel que aún permanece en este tanque tendrá un nivel máximo igual a la altura del sensor  $S_{AC}$ ; de modo que para garantizar la completa extracción de glicerina, el sensor debe estar en nivel bajo, luego de cumplir esta condición se cierra la válvula  $V_P$ . Posteriormente es abierta la válvula  $V_{H_2O}$ .

### 8.5.9 Paso 9: Lavado



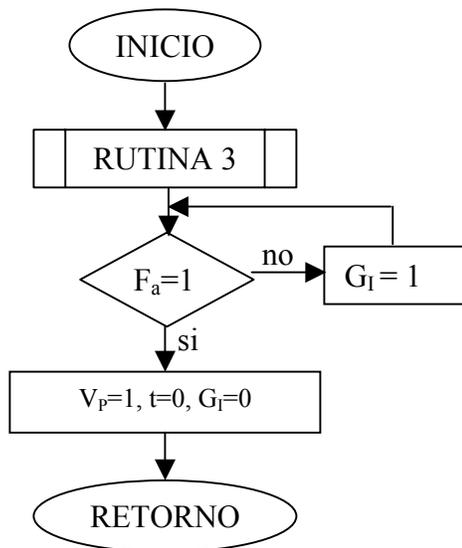
Al abrir la válvula  $V_{H_2O}$  se permite el paso de agua al contenedor C2 para iniciar el proceso de lavado. La cantidad de agua debe ser la misma que de aceite, para esto se emplea el sensor  $S_{H_2O}$  ubicado al doble de altura que el sensor  $S_{AC}$ . Al completar el nivel de agua necesaria se enciende el agitador A2 y se cierra la válvula de paso de agua limpia  $V_{H_2O}$ , El proceso de agitado tarda quince (15) minutos.

### 8.5.10 Paso 10: Estratificación agua / Biodiesel



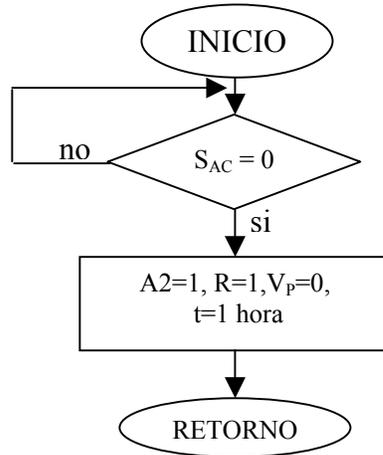
En este punto se controlan los quince (15) minutos de agitación, transcurrido este tiempo se apaga el agitador A2 y se espera una (1) hora hasta que se estratifique el agua sobre el Biodiesel.

### 8.5.11 Paso 11: Extracción del agua



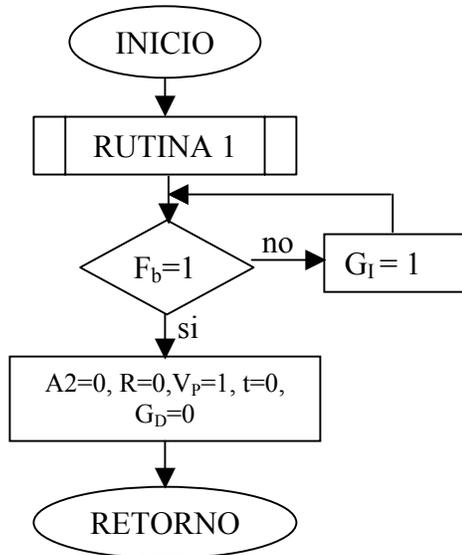
Cumplido el tiempo de estratificación, se activa la válvula  $V_p$  para extraer el agua sucia, que saldrá por gravedad y caerá en el embudo de agua sucia. El posicionamiento del embudo se realiza girando el distribuidor a la izquierda hasta la correcta posición del embudo.

### 8.5.12 Paso 12: Secado



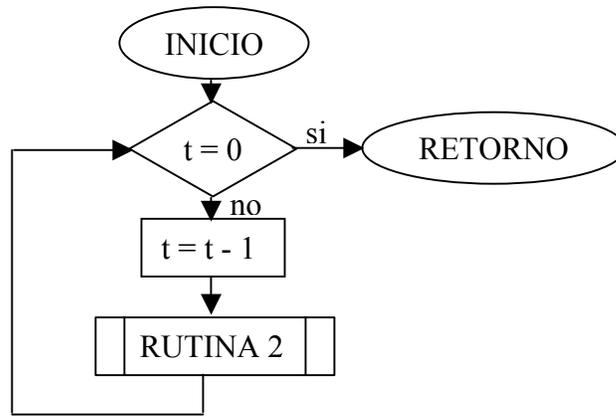
Una vez se haya extraído el agua se desactivará el sensor de nivel  $S_{AC}$ , con esta señal se cerrará la válvula  $V_p$ . Es encendido el control de temperatura para elevar a  $50^{\circ}C$  el Biodiesel y secarlo, proceso que necesita una (1) hora para completarse. También debe encenderse el agitador A2 para producir un calentamiento uniforme.

### 8.5.13 Paso 13: Extracción del Biodiesel

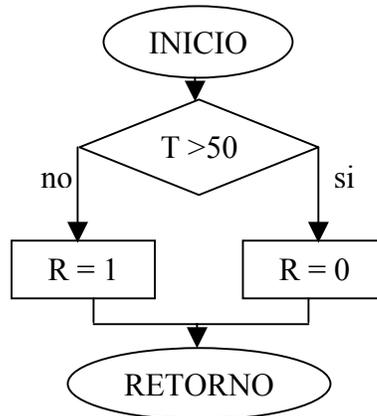


Después de la hora de secado el Biodiesel está listo para su extracción del reactor. Se gira el distribuidor hacia la derecha hasta ubicar el embudo de Biodiesel bajo la válvula principal. A continuación se abre la válvula  $V_p$ , acción que permite la libre salida del combustible y direccionamiento a su respectivo contenedor.

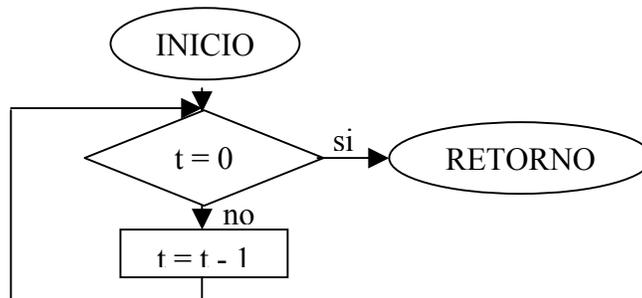
8.5.14 Rutina 1  
Control tiempo y temperatura



8.5.15 Rutina 2  
Control sistema on-off de temperatura.



8.5.16 Rutina 3  
Control tiempo



## 8.6 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE CONTENEDORES Y LA SELECCIÓN DE MEZCLADORES.

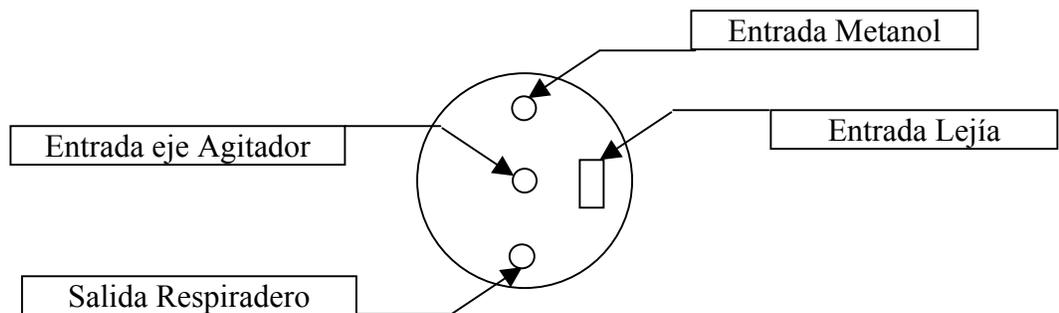
### 8.6.1 Contenedores

8.6.1.1 Contenedor 1. En él se realiza la mezcla de Metanol y Lejía durante quince (15) minutos, la reacción es altamente corrosiva y se realiza a temperatura ambiente. Puede estar construido en plástico de alta densidad HDPE, o preferiblemente en acero inoxidable AISI 304 como se estableció en el punto 8.4. Se recomienda que la base sea algo cónica para evitar la acumulación de residuos en el fondo. La parte superior debe ser removible para facilitar la limpieza y/o revisión interna del contenedor.

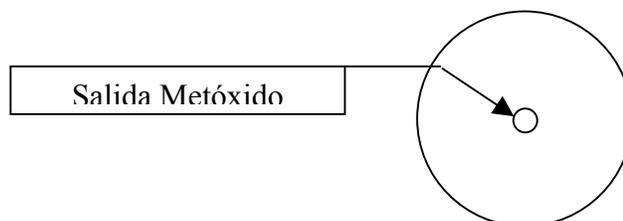
- Requerimientos:
  - 1 Entrada para el eje de agitador
  - 1 Entrada para el metanol
  - 1 Entrada para la lejía
  - 1 Salida para el metóxido
  - 1 Salida de vapores.
  - 1 Tubo de vidrio de 1 pulgada de diámetro, para inspección de nivel

Figura 9. Requerimientos contenedor 1

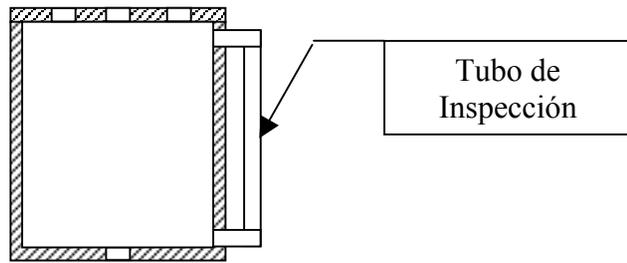
Vista superior contenedor 1



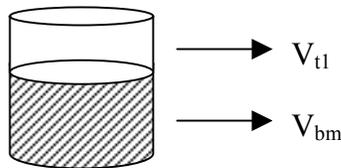
Vista inferior contenedor 1



Vista frontal contenedor 1



- Dimensiones:



$$V_{t1} = 10\% \text{ de } V_{bm}$$

$$V_{bm} = 24\% \text{ de } V_{bb}$$

$$V_{C1} = V_{bm} + V_{t1}$$

$$V_{C1} = 1.1 * 0.24 * V_{bb} \quad (\text{ec. 8-2})$$

donde

$V_{t1}$  = Volumen de tolerancia del contenedor 1

$V_{bm}$  = Volumen básico de metóxido

$V_{bb}$  = Volumen básico de Biodiesel

$V_{C1}$  = Volumen del contenedor 1

Para calcular la altura y el radio del contenedor, de tal manera que alcance el volumen deseado con la menor cantidad de material, se analiza:

$$V_{C1} = \pi * r_1^2 * h_1$$

$$A_{T1} = 2 * \pi * r_1 * (h_1 + r_1)$$

Despejando  $h_1$  de  $V_{C1}$

$$h_1 = \frac{V_{C1}}{\pi * r_1^2} \quad (\text{ec. 8-3})$$

reemplazando en  $A_T$

$$A_T = \frac{2 * V_{C1}}{r} + 2 * \pi * r_1^2$$

derivando

$$\begin{aligned} \frac{dA_{T1}}{dr} &= 0 \\ &= 4 * \pi * r_1^3 - 2 * V_{C1} \end{aligned}$$

despejando

$$r_1 = (V_{C1} / (2 * \pi))^{1/3} \quad (\text{ec. 8-4})$$

donde:

$A_{T1}$  = Área total del contenedor 1, área lateral más el área de las tapas

$r_1$  = Radio interno del contenedor 1

$h_1$  = Altura del contenedor 1

para la aplicación:

- Se calcula  $r_1$
- Se calcula  $h_1$  con el valor de  $r_1$
- Grosor de las paredes. Teniendo en cuenta la teoría de esfuerzos en cilindros de pared delgada, se calcula el valor mínimo del espesor de la lámina de acero inoxidable.

$$\sigma = \frac{P * (d_i + t)}{2 * t}$$

donde

$P$  = Presión máxima ejercida por el fluido

$d_i$  = Diámetro interno del cilindro

$t$  = Grosor de la lámina

despejando y reemplazando por la variables conocidas, se obtiene:

$$t = \frac{2 * g * \rho_{OH} * h_1 * r_1}{2 * \sigma_{AI} - g * \rho_{OH} * h_1} \quad (\text{ec. 8-5})$$

donde

$g$  = Gravedad

$\rho_{OH}$  = Densidad relativa del Metanol

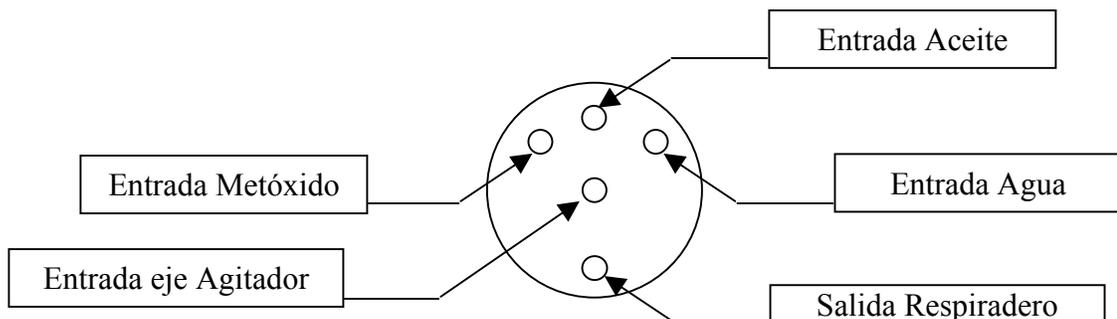
$\sigma_{AI}$  = Resistencia permisible del acero inoxidable.

8.6.1.2 Contenedor 2. En él se realizan los procesos de precalentado, transesterificación, estratificación, sustracción de glicerina, lavado, extracción agua, secado. Los procesos alternan temperatura ambiente y temperatura de 50 °C. En este contenedor las sustancias están presentes durante 15 horas. Debe estar construido en acero inoxidable. La parte superior debe ser removible para facilitar la limpieza y/o revisión interna del contenedor. La base debe ser cóncava permitiendo una correcta decantación de las sustancias estratificadas.

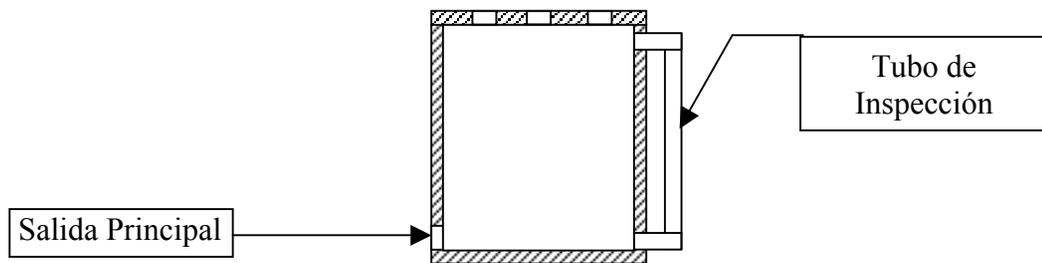
- Requerimientos.
  - 1 Entrada para el eje de agitador
  - 1 Entrada para el metóxido
  - 1 Entrada para el aceite
  - 1 Entrada para el agua
  - 1 Salida general
  - 1 Salida vapores
  - 1 Tubo de vidrio de 1 pulgada de diámetro, para inspección de nivel

Figura 10. Requerimientos contenedor 2

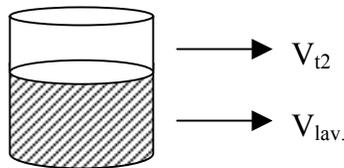
Vista superior contenedor 2



Vista frontal contenedor 2



- Dimensiones:



$$V_{t2} = 10\% \text{ de } V_{lav}$$

$$V_{lav} = 2 * V_{bb}$$

$$V_{C2} = V_{lav} + V_{t2}$$

$$V_{C2} = 1.1 * 2 * V_{bb} \quad (\text{ec. 8-6})$$

donde

$V_{t2}$  = Volumen de tolerancia del contenedor 2

$V_{lav}$  = Volumen básico de lavado (Biodiesel + agua)

$V_{bb}$  = Volumen básico de Biodiesel

$V_{C2}$  = Volumen del contenedor 2

Para calcular la altura y el radio del contenedor, de tal manera que alcancen el volumen deseado con la menor cantidad de material, reduciendo costos y pérdidas de calor, se emplea el mismo procedimiento del contenedor 1:

$$r_2 = (V_{C2} / (2 * \pi))^{1/3} \quad (\text{ec. 8-7})$$

$$h_2 = \frac{V_{C2}}{\pi * r_2^2} \quad (\text{ec. 8-8})$$

donde:

$r_2$  = Radio interno del contenedor 2

$h_2$  = Altura del contenedor 2

para la aplicación:

- Se calcula  $r_2$
- Se calcula  $h_2$  con  $h_{r-cil}$  y  $h_{cas}$
- Grosor de las paredes. Empleando el mismo análisis del contenedor 1, teniendo en cuenta la teoría de esfuerzos en cilindros de pared delgada. Despejando y reemplazando por variables conocidas, se obtiene:

$$t = \frac{2 * g * \rho_{H_2O} * h_2 * r_2}{2 * \sigma_{AI} - g * \rho_{H_2O} * h_2} \quad (\text{ec. 8-9})$$

donde

$g$  = Gravedad

$\rho_{H_2O}$  = Densidad relativa del agua, es la sustancia con mayor densidad dentro del proceso

$\sigma_{AI}$  = Resistencia permisible del acero inoxidable.

## 8.6.2 Agitadores

8.6.2.1 Agitador 1. Está alojado en el contenedor 1 y está en contacto con una sustancia altamente corrosiva, el metóxido de sodio.

Su altura máxima  $H_{A1}$  y el radio máximo  $R_{A1}$  de la hélice están en función de las dimensiones del contenedor 1.

$$H_{A1} \leq h_1$$

$$R_{A1} \leq r_1$$

- Características:
  - Material: Acero Inoxidable
  - Volumen Útil:  $[0.5 - 1] \text{ m}^3$
  - Temperatura:  $\geq 50^\circ \text{ C}$
  - Aplicación principal: Homogenización
  - Característica eléctrica:  $[120 - 220] \text{ V}_{AC} \text{ } 60 \text{ Hz}$

8.6.2.2 Agitador 2. Está alojado en el contenedor 2, trabajando en condiciones de cambio de temperatura, mayor volumen y diversidad de sustancias.

Su altura máxima  $H_{A2}$  y el radio máximo  $R_{A2}$  de la hélice están en función de las dimensiones del contenedor 2.

$$H_{A2} \leq h_2$$

$$R_{A2} \leq r_2$$

- Características:
  - Material: Acero Inoxidable
  - Volumen Útil: [0.5 - 1] m<sup>3</sup>
  - Temperatura:  $\geq 50^\circ \text{C}$
  - Aplicación principal: Homogenización
  - Característica eléctrica: [120 - 220] V<sub>AC</sub> 50 Hz

### 8.7 DISEÑO DE LA FASE DE DOSIFICACIÓN Y EXTRACCIÓN DE LAS SUSTANCIAS INVOLUCRADAS EN CADA PARTE DEL PROCESO.

La producción de Biodiesel necesita, en diferentes etapas, la dosificación y extracción de sustancias inherentes al proceso.

Tabla 8. Dosificación y Extracción

Etapa	Dosificación		Extracción	
	Sustancia	Contenedor	Sustancia	Contenedor
1	Metanol	1		
	Aceite	2		
2	Metóxido	2	Metóxido	1
3			Glicerina	2
4	Agua	2		
5			Agua	2
6			Biodiesel	2

8.7.1 Dosificación. Dependiendo de la etapa en que se encuentre el proceso serán dosificadas las sustancias con la apertura de electro válvulas. Cuando los sensores de nivel conmutan, desactivan las electro válvulas.

8.7.1.1 Electroválvulas. Son necesarias cuatro (4) electroválvulas para los pasos de metanol, metóxido, aceite y agua con las siguientes especificaciones.

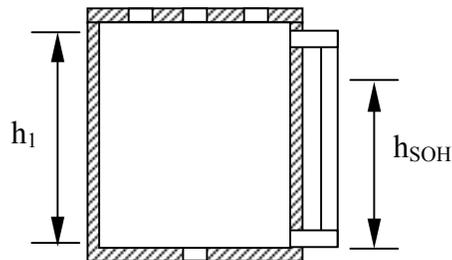
- Características:
  - Alimentación 120 V<sub>AC</sub> ó 24 V<sub>DC</sub>
  - 2 vías / normalmente cerradas
  - Temperatura: [0-70] ° C
  - Material de contacto con el fluido: Acero Inoxidable
  - Fluido: Inerte
  - Blindaje NEMA 6 clase 1, grupo D

8.7.1.2 Sensores. Son necesarios cuatro (4) sensores para los niveles de metanol, metóxido, aceite y agua. Una opción es utilizar sensores ópticos acoplados al tubo de inspección, que no detecten propiamente el tubo de vidrio, pero al llegar el nivel del líquido a su posición, la señal de luz se ve afectada. Es preferible esta opción de utilizar elementos externos para detectar la posición del líquido, que colocar directamente dentro de los contenedores objetos captadores de nivel; debido a la presencia de los agitadores y el ambiente altamente corrosivo, así como la irregularidad y elevada temperatura.

El diseño se realiza con sensores de retro reflexión. Para detectar el nivel de metanol en el contenedor 1 es necesario adaptar el sensor al tubo de inspección a una altura  $h_{SOH}$  desde la base del contenedor.

Figura 11. Disposición sensor de nivel contenedor 1

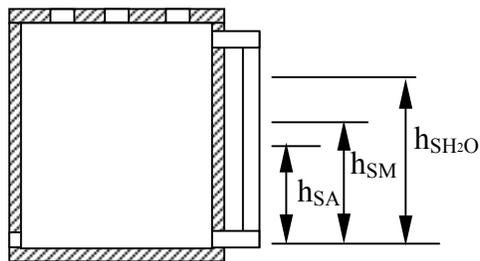
$$h_{SOH} = \frac{h_1}{1.1} \quad (\text{ec. 8-10})$$



Para detectar los niveles de aceite, metóxido y agua en el contenedor 2 es necesario adaptar tres (3) sensores al tubo de inspección, a alturas  $h_{SA}$ ,  $h_{SM}$  y  $h_{SH_2O}$  respectivamente, desde la base del contenedor. (ec. 8-11)

Figura 12. Disposición sensores de nivel contenedor 2

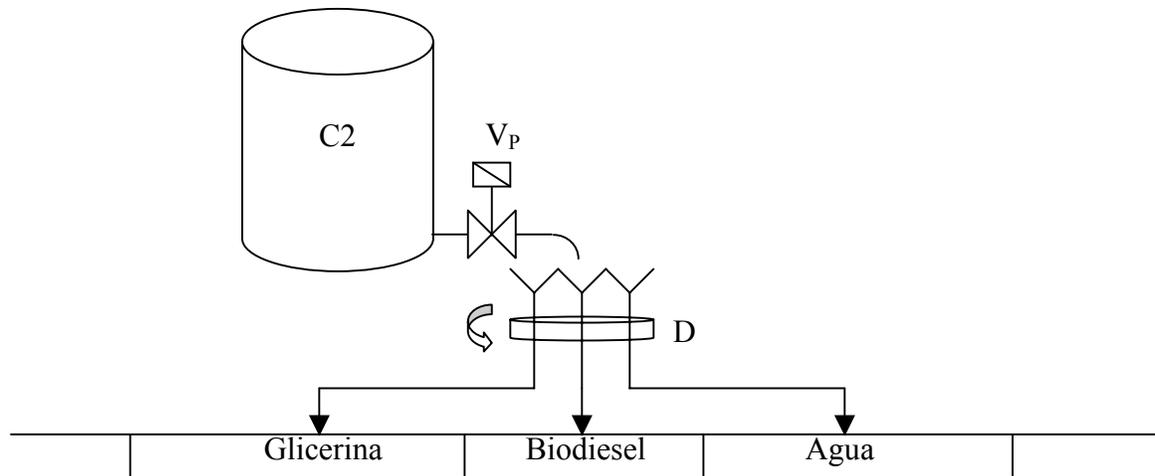
$$h_{SA} = \frac{V_b}{\pi * r_2^2} \quad h_{SM} = \frac{1.24 * V_b}{\pi * r_2^2} \quad h_{SH_2O} = \frac{2 * V_b}{\pi * r_2^2}$$



8.7.2 Extracción. El proceso de extracción, se realiza exclusivamente a la salida del contenedor 2. De él salen tres (3) diferentes sustancias, cada una debe ser dirigida a diferentes contenedores.

Una solución es el empleo de un distribuidor a la salida de la válvula principal. Dicho distribuidor es un elemento encargado de posicionar tres (3) diferentes embudos bajo la salida principal. El sistema puede ser de desplazamiento lineal, como una cinta transportadora, o de desplazamiento angular como un disco, pero por razones de espacio un sistema giratorio es la mejor alternativa.

Figura 13. Sistema de extracción

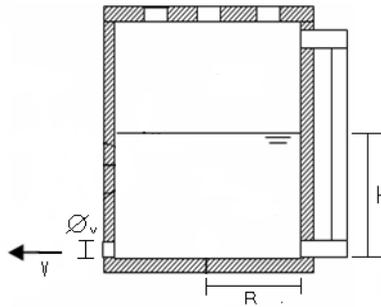


8.7.2.1 Electroválvula. Es necesaria una (1) electroválvula para la salida de glicerina, agua de lavado y Biodiesel con las siguientes especificaciones.

- Características:
  - Alimentación 120 V<sub>AC</sub> o 24 V<sub>DC</sub>
  - 2 vías / normalmente cerradas
  - Temperatura: [0-80] ° C
  - Material de contacto con el fluido: Acero Inoxidable
  - Fluido: Inerte
  - Blindaje NEMA 6 clase 1, grupo D

8.7.2.2 Tiempo de extracción. La extracción de cada sustancia del proceso, se realiza por la parte lateral inferior del contenedor 2, con única fuente de energía la energía potencial del líquido, sin ninguna clase de energía extra, por lo tanto el tiempo empleado para extraer cada sustancia depende exclusivamente de las dimensiones.

Figura 14. Extracción de sustancias



$$V * A = \pi * R^2 \frac{dH}{dt}$$

V = velocidad de salida del fluido

A = Área de la sección transversal de la válvula principal

R = Radio del contenedor

H = Altura del nivel inicial del fluido

$D_{vp}$  = Diámetro de la válvula solenoide

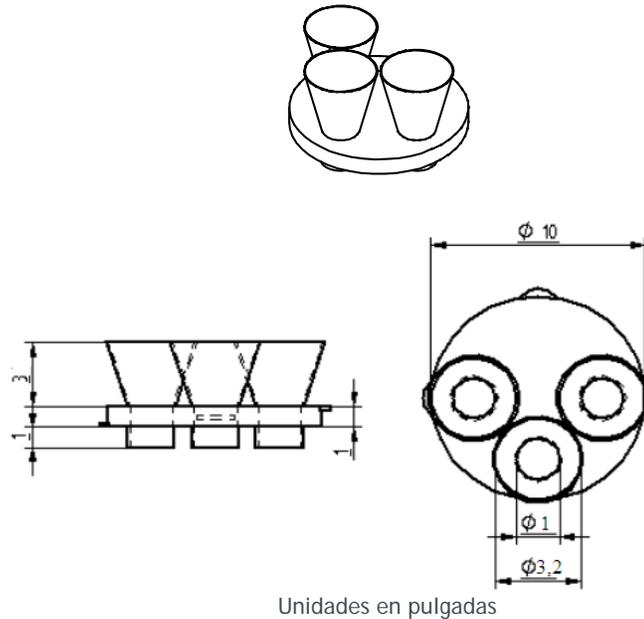
$$\int_0^t \frac{D_{vp}^2}{4R^2} dt = \int_0^H \frac{dH}{\sqrt{2 * g * H}}$$

Despejando, el tiempo de vaciado es.

$$t_{vac} = \left( \frac{2R}{D_{vp}} \right)^2 \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (\text{ec. 8-12})$$

8.7.2.3 Distribuidor. Consta de tres (3) embudos dispuestos equidistantes sobre la superficie de un disco con eje central, construido en aluminio, con accionamiento por medio de un motor eléctrico de corriente continua, acoplado mediante una reducción de engranajes. A la salida de cada embudo de debe acoplar tubería flexible mediante codos de noventa (90°) ó cuarenta y cinco grados (45°). La disposición de las salidas de izquierda a derecha es glicerina, agua, Biodiesel, ésto garantiza el menor desplazamiento del disco y por consiguiente el de la tubería flexible.

Figura 15. Diseño distribuidor



El diámetro interno de los embudos debe ser mayor o igual al diámetro de la válvula principal de salida del contenedor 2, las válvulas solenoides por lo general no superan la (1) pulgadas de diámetro, por tanto el diámetro conveniente para la base de los embudos es el mismo y la parte superior se establece en tres (3) pulgadas y la altura desde la base circular de tres (3) pulgadas.

- Cálculo de potencia. En el mayor movimiento, el disco debe cambiar la posición del embudo un cuarto (1/4) de circunferencia, en tres (3) segundos, para esto la aceleración angular  $\alpha$  y la velocidad angular  $\omega$  están dadas por:

$$\alpha = \frac{2 * \theta}{t^2} \quad \omega = t * \alpha$$

$$\alpha = \frac{2 * \pi/2}{(3s)^2} \quad \omega = 3s * 0.35 \text{ r/s}^2$$

$$\alpha = 0.35 \text{ r/s}^2 \quad \omega = 1.05 \text{ r/s}$$

Para determinar la potencia P requerida por el sistema, es necesario calcular además de la aceleración angular y la velocidad angular, la masa m y el momento de inercia I del disco, así como el torque mínimo requerido T.

$$m = \delta_{Al} * \pi * R_D * H_D$$

$$m = 2.7 * 10^3 * \text{kg/m}^3 * \pi * (5'' * 0.0254\text{m})^2 * (1'' * 0.0254\text{m})$$

$$m = 3.5 \text{ kg}$$

$$I = \frac{m * R_D^2}{2}$$

$$I = \frac{3,5 \text{ kg} * (5'' * 0.0254\text{m})^2}{2}$$

$$I = 0.03 \text{ kg} * \text{m}^2$$

$$T = I * \alpha$$

$$T = 0.03 \text{ kg} * \text{m}^2 * 0.35 \text{ r/s}^2$$

$$T = 9,8 \text{ mN} * \text{m}$$

$$T_D = T * \text{F.d.}$$

$$T_D = 9,8 \text{ mN} * \text{m} * 1000$$

$$T_D = 10 \text{ N} * \text{m}$$

$$P = T_D * \omega$$

$$P = 10 \text{ N} * \text{m} * 1.05 \text{ r/s}$$

$$P = 11 \text{ W} \approx 1/70 \text{ hp}$$

$\delta_{Al}$  = Densidad del aluminio<sup>26</sup>  
 $R_D$  = Radio del disco  
 $H_D$  = Grosor del disco  
 $T_D$  = Torque de diseño  
 $\text{F.d.}$  = Factor de diseño

Para suministrar la potencia necesaria se selecciona el motor BUEHLER 1.13.044 de corriente continua tipo 414, con potencia de 57 W y velocidad de 3000 rpm. Para más información consultar el Anexo D.

$$T_m = P / \omega$$

$$T_m = 57 \text{ W} / 3000 \text{ rpm}$$

$$T_m = 0.18 \text{ N} * \text{m}$$

- Diseño de los engranes

La amplificación de torque esta dada por:

$$m_g = T_D / T_m$$

$$m_g = 10.25 \text{ N} * \text{m} / 0.18 \text{ N} * \text{m}$$

$$m_g = 55$$

Mediante un reductor de tres (3) parejas de engranajes:

---

<sup>26</sup> GIANCOLI, Douglas. Física. 4 ed. México : Prentice-Hall, 1997. p. 260, tabla 10-1

$$\frac{Z_c^3}{Z_p^3} = 55$$

Al buscar un  $Z_p$  adecuado para evitar interferencia<sup>27</sup>:

Tabla 9. Dientes máximos piñón-corona

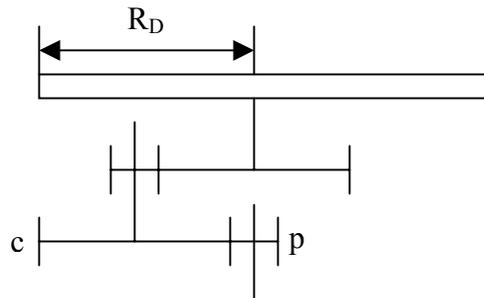
$Z_p$	$Z_c$	$\beta$ [°]	$m_g$	$T_D$ [N*m]	$\epsilon$
10	38	35	54,87	9,88	0,37
11	42	30	55,66	10,02	0,23
12	46	25	56,33	10,14	0,11
13	50	20	56,90	10,24	0,01
14	53	15	54,26	9,77	0,48

Para el diseño se emplea:

$$Z_p = 13 \quad Z_c = 50 \quad \alpha = 20^\circ \quad \beta = 20^\circ$$

Para elegir el paso  $P_n$  es necesario tener en cuenta las dimensiones.

Figura 16. Bosquejo distribuidor



Condición  
 $D_c + D_p / 2 < 5''$

$$P_d = P_n * \cos(\beta)$$

$$d = \frac{Z}{P_n * \cos(\beta)}$$

$$\frac{3\pi}{P_d} < F < \frac{5\pi}{P_d}$$

$$m_g = 3,8$$

<sup>27</sup> SHIGLEY, Joseph. Diseño en ingeniería mecánica. 6 ed. México : McGraw-Hill, 2001. p. 856, tabla 13-6

Tabla 10. Selección de paso normal

BASTO	P <sub>n</sub>	2	2,25	2,5	3	4	6	8	10	13	16
	d <sub>p</sub> [in]	6,92	6,15	5,53	4,61	3,46	2,31	1,73	1,38	1,06	0,86
	d <sub>c</sub> [in]	26,29	23,36	21,03	17,52	13,14	8,76	6,57	5,26	4,04	3,29
	F <sub>med</sub> [in]	6,69	5,94	5,35	4,46	3,34	2,23	1,67	1,34	1,03	0,84
	Condición [in]	29,74	26,44	23,80	19,83	14,87	9,91	7,44	5,95	4,58	3,72
FINO	P <sub>n</sub>	20	24	32	40	48	64	80	96	120	150
	d <sub>p</sub> [in]	0,69	0,58	0,43	0,35	0,29	0,22	0,17	0,14	0,12	0,09
	d <sub>c</sub> [in]	2,63	2,19	1,64	1,31	1,10	0,82	0,66	0,55	0,44	0,35
	F <sub>med</sub> [in]	0,67	0,56	0,42	0,33	0,28	0,21	0,17	0,14	0,11	0,09
	Condición [in]	2,97	2,48	1,86	1,49	1,24	0,93	0,74	0,62	0,50	0,40

El diámetro del piñón debe ser menor a dos (2) pulgadas y su ancho de cara menor a una (1) pulgada debido a las dimensiones del eje del motor eléctrico. La selección más conveniente es la de paso basto 16, que cumple ambas condiciones. Es preciso seleccionar los tamaños más grandes posibles debido a que el último engranaje soporta un mayor esfuerzo.

$$d_p = 21.8 \text{ mm (0.86 in)} \quad d_c = 83.5 \text{ mm (3.29 in)} \quad F = 21.3 \text{ mm (0.84 in)}$$

$$P_n = 16 \quad \alpha = 20^\circ \quad \beta = 20^\circ$$

Los engranajes deben estar contruidos en aluminio por ser un material que se utiliza en forma muy difundida en aplicaciones estructurales y mecánicas, además de su ligereza, buena resistencia a la corrosión, facilidad relativa para darle forma y maquinarlo así como su menor precio comparado con el acero. Las normas AGMA definen un coeficiente elástico  $C_p$  de la siguiente forma:

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \left( \frac{1 - \nu_p^2}{E_p} \right) + \frac{1 - \nu_g^2}{E_g}}}$$

$\nu_g = \nu_p =$  Relación de Poisson  
 $E_g = E_p =$  Módulo de Elasticidad

Aluminio 2024 T4  
 $\nu_{Al} = 0.334$   
 $E_{Al} = 71000 \text{ Mpa (10300 Ksi)}$

Reemplazando

$$C_p = 1673.09$$

El motor eléctrico se comporta como una fuente de potencia uniforme y la máquina impulsada presenta un impacto moderado, por lo tanto hay factor de sobrecarga  $K_o$  de 1,25. Los engranajes son de calidad comercial  $Q_v$  clase 7. Para un piñón de trece (13) dientes el factor de forma de Lewis  $Y$  es de  $0.261^{28}$  con estos valores se determina el factor de tamaño  $K_s$ :

$$K_s = 1.192 \left( \frac{F \sqrt{y}}{P} \right)^{0.0535}$$

reemplazando:

$$K_s = 0.9$$

Si el factor de tamaño es menor a la unidad, se toma su valor como 1.

Los dientes no son coronados, entonces  $C_{mc} = 1$

El ancho de cara es menor a una (1) pulgada

$$C_{pf} = F/(10*d)-0.025$$

$$C_{pf} = 0.84/(10*0.86)-0.025$$

$$C_{pf} = 0.073$$

La posición de los piñones está en el centro de los cojinetes,  $C_{pm} = 1$

Engranajes como unidades comerciales cerradas,  $C_{ma} = 0.13$

El factor de distribución de carga  $K_m$  está determinado por:

$$K_m = 1 + C_{mc} (C_{pf} * C_{pm} + C_{ma} * C_e)$$

$$K_m = 1 + 1(0.073*1+0.13*1)$$

$$K_m = 1.2$$

El ángulo de presión transversal  $\phi_t$  está determinado por:

$$\phi_t = \tan^{-1} \left( \frac{\tan(\alpha)}{\cos(\beta)} \right)$$

$$\phi_t = 21.17^\circ$$

Para calcular el factor geométrico  $I$

$$I = \frac{\cos(\phi_t) \text{sen}(\phi_t)}{2} \frac{m_g}{m_g + 1}$$

$$I = 0.133$$

El esfuerzo de contacto permisible  $S_c$  del aluminio es de 448 Mpa (65 ksi), y el esfuerzo por flexión permisible  $S_t$  es de 162 Mpa (23.6 ksi)<sup>29</sup>. Los factores de ciclo de carga  $Y_N$  y  $Z_N$

<sup>28</sup> SHIGLEY, Joseph. Diseño en ingeniería mecánica. 6 ed. México : McGraw-Hill, 2001. p. 910, tabla 14-2

<sup>29</sup> MOTT. Robert. Diseño de elementos de máquinas. 2 ed. México : Prentice Hall, 1992. p. 407 tabla 11-9

se basan en  $10^7$  ciclos, para esta apreciación su valor es igual a la unidad. La confiabilidad de 0.99 representa un factor de confiabilidad  $K_R$  o  $Y_Z$  de uno  $(1)^{30}$ . Resumiendo todos los valores constantes para determinar el diseño del reductor, es posible obtener la siguiente tabla:

Tabla 11. Resumen factores de diseño

SÍMBOLO	VALOR	COMENTARIO	SÍMBOLO	VALOR	COMENTARIO
$C_p$	1673.1	Aluminio-Aluminio	$C_{pf}$	0.073	$F < 1''$
$K_o$	1.25	Máq. imp moderado	$C_{pm}$	1	$S_1/S < 0.175$
		Mot. Uniforme.			
$K_B$	1	Espesor de aro	$C_{ma}$	0.13	Unid. Com. Cerrada
$K_S$	1	Fact. Geome.	$K_m$	1.2	Distrib. De carga
$K_R$	1	Conf. 0.99	$I$	0.133	$\theta_t = 21.17^\circ$
$K_T$	1	$T < 121^\circ C$	$J$	0.22	$J' = 0,935$
$Q_v$	7	Calidad Comercial	$\phi_t$	$21.17^\circ$	$\alpha = 20^\circ; \beta = 20^\circ$
$C_{mc}$	1	Dientes sin coronar	$m_g$	3.8	Relación de eng

o Análisis del esfuerzo en los piñones. Es posible analizar el comportamiento estructural de cada uno de los piñones en función de su velocidad y carga tangencial, para determinar al final cual es su mayor riesgo: el desgaste o la flexión. El análisis de las coronas es irrelevante debido a que están fabricadas en el mismo material que los piñones y además la naturaleza del menor tamaño de estos los hace más propensos a soportar mayores esfuerzos.

Tabla 12. Análisis de esfuerzos de contacto y flexión

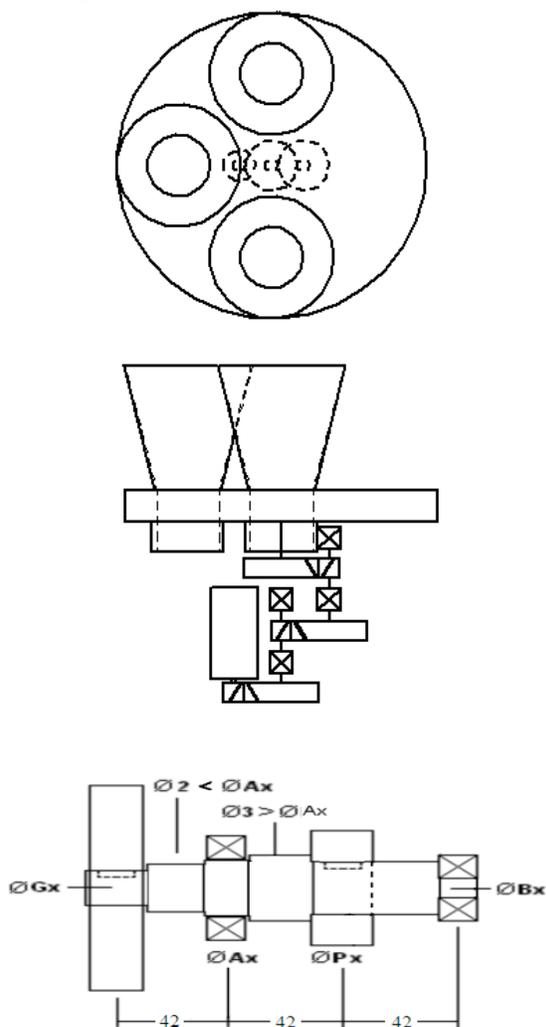
Piñones		1	2	3	Comentario
n		3000	780	202,8	$RPM_i = RPM_{i-1} * m_g$
v [m/s]		3,4	0,882	0,229	$V = \pi * d_p * n / 60$
Wt [N]		16,5	63,52	244.3	$W_t = H/V$
$K_v$		1,28	1,15	1,08	$Q_v = 7; A = 65.06; B = 0.731$
Desgaste	$\sigma_c$	99,1	184	349,6	Mpa
	$FS_H$	4,52	2,44	1,28	$Sc = 448 \text{ MPa}$
Flexión	$\sigma_t$	4	13,8	49,9	MPa
	$FS_F$	40,46	11,75	3,25	$St = 162 \text{ MPa}$

<sup>30</sup> SHIGLEY, Joseph. Diseño en ingeniería mecánica. 6 ed. México : McGraw-Hill, 2001. p. 935, figura 14-10 y tablas 14-14 y 14-15

Al comparar  $FS_F$  con  $FS_H^2$  de uno a uno de los piñones, es posible determinar que la amenaza a la función es por desgaste, en especial para el último piñón. Los piñones son excesivamente fuertes en flexión comparados con el desgaste. Es recomendable mejorar el desempeño al desgaste mediante técnicas de endurecimiento superficial, de lo contrario una de las primeras piezas en fallar en el reductor será el último piñón.

- Diseño de los ejes

Figura 17. Disposición de los ejes



Los dos ejes tienen la misma forma. Constan de seis (6) diferentes diámetros. De izquierda a derecha: Diámetro de la corona, diámetro de transición, diámetro rodamiento A, diámetro de asentamiento del cojinete o rodamiento A, diámetro del piñón, diámetro cojinete B.

Analizando cada uno de los ejes con las respectivas fuerzas que actúan sobre ellos provocando esfuerzos cortantes y momentos de flexión se determina el diámetro de cada una de las secciones. Primero se determinan las propiedades del material del eje, luego, a partir del torque del eje o de la tabla 12 Análisis de esfuerzos de contacto y flexión se determina la fuerza tangencial  $W_{tg}$  que es aplicada por el piñón en contacto con la corona del eje de análisis y con esta se calculan los valores de la fuerza radial  $W_{rg}$  y axial  $W_{ag}$ . Para determinar las fuerzas tangencial, radial y axial del piñón  $W_{tp}$ ,  $W_{rp}$ ,  $W_{ap}$ , en el eje de análisis, se toma de la tabla 12 directamente el valor de  $W_{tp}$  y se calculan las demás. Con estas fuerzas y mediante gráficas de carga, corte y momento es posible hallar los valores de las reacciones en los cojinetes, las fuerzas cortantes y los momentos de flexión en cada punto del eje. A continuación se determinan las concentraciones de tensiones en cada uno de los puntos de análisis debidas a los cuñeros, ranuras para anillos de sujeción y chaflanes de hombros. El diámetro en cada punto se calcula mediante la ecuación:

$$D = \left[ \frac{32N}{\pi} \sqrt{\left( \frac{K_t M}{S' n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{1/3} \quad 31$$

compatible con la norma ANSI B106.1M-1985, que se aplica para flechas sometidas a flexión y torsión.

$$d_p = 22 \text{ mm} \quad d_c = 83 \text{ mm} \quad \phi_t = 21.17^\circ \quad \beta = 20^\circ$$

Material: Aluminio 7075-T6<sup>32</sup>

Resistencia a la tracción:  $S_u = 572 \text{ MPa}$

Resistencia a punto cedente:  $S_y = 503 \text{ MPa}$

Resistencia por durabilidad:  $S_n = 159 \text{ MPa}$

Factor de tamaño:  $C_s = (d_{\max}/7,6)^{-0.068}$  estimando que la flecha tenga aproximadamente una (1) pulgada de diámetro,  $C_s = 0,92$

Factor de confiabilidad:  $C_R = 0,81$  para confiabilidad del 99%<sup>33</sup>

Resistencia por durabilidad modifica:  $S'_n = S_n * C_s * C_R = 118,5 \text{ MPa}$

Factor de diseño:  $N=2$  Aplicación suave

Tabla 13. Valores preliminares para concentradores de esfuerzo.

Parámetro	Cuñero	Hombro		Ranuras
		cortante	redondeado	
$K_t$	2	2.5	1.5	3

$$W_r = W_t * \tan(\theta_t) \quad W_a = W_t * \tan(\beta)$$

<sup>31</sup> SHIGLEY, Joseph. Diseño en ingeniería mecánica. 6 ed. México : McGraw-Hill, 2001. p. 1138

<sup>32</sup> MOTT. Robert. Diseño de elementos de máquinas. 2 ed. México : Prentice Hall, 1992. Apéndice 10, Propiedades típicas del Aluminio

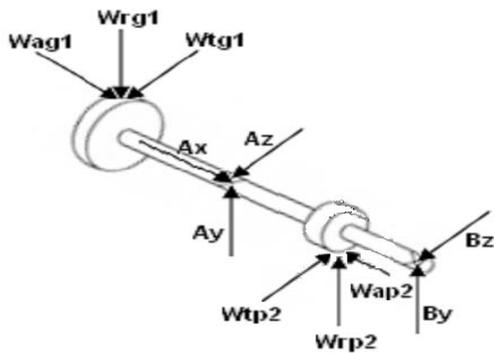
<sup>33</sup> Ibid., p. 298, Factores de confiabilidad

$$V = \sqrt{V_Z^2 + V_Y^2}$$

$$M = \sqrt{M_Z^2 + M_Y^2}$$

Eje N° 1:

Distribución de fuerzas:



- $W_{tg1} = W_{t1} = 16,5 \text{ N}$
- $W_{rg1} = 6,36 \text{ N}$
- $W_{ag1} = 6 \text{ N}$
- $W_{tp2} = W_{t2} = 63,5 \text{ N}$
- $W_{rp2} = 24,6 \text{ N}$
- $W_{ap2} = 23,1 \text{ N}$
- $A_{1x} = W_{ap2} - W_{ag1} = 17,12 \text{ N}$
- $M_{g1} = W_{ag1} * dg/2 = 0,2 \text{ N*m}$
- $M_{p2} = W_{ap2} * dp/2 = 0,25 \text{ N*m}$
- $T = 0,69 \text{ N*m}$

Figura 18. Diagramas de carga, corte y momento eje 1

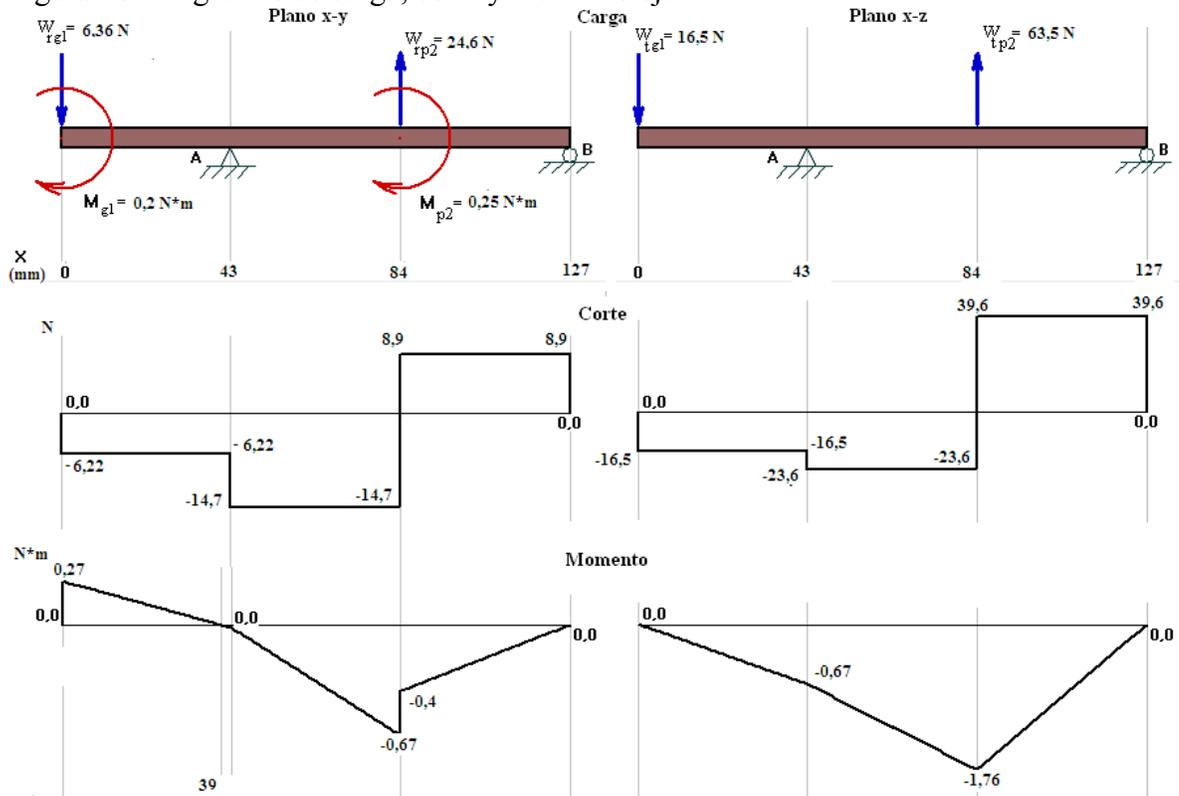


Tabla 14. Cargas y momentos del eje 1

Punto	Corona 1	A	Piñón 2	B
V [N]	17,63	11,03	67,5	40,6
M [N*m]	0,27	0,67	1,89	0

El torque es  $T = 0,69 \text{ N}\cdot\text{m}$  para toda la flecha

Con estos valores calculados es posible hallar los diámetros mediante la ecuación:

$$D = \left[ \frac{32N}{\pi} \sqrt{\left( \frac{K_t M}{S' n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{1/3}$$

Características de cada punto:

○ Corona: A la derecha del punto se debe colocar un chaflán con bordes bien redondeados, y habrá un cuñero de perfil.  $K_t = 2$ ,  $M = 0,27 \text{ N}\cdot\text{m}$

○ Cojinete A: chaflán con bordes cortantes. Se pretende que la sección a la izquierda sea menor para permitir que el cojinete resbale con facilidad a lo largo del eje has alcanzar su posición final.  $K_t = 2,5$ ,  $M = 0,67 \text{ N}\cdot\text{m}$ .

○ Asentamiento: El diámetro de esta sección debe ser mayor al de la sección anterior para proporcionar un hombro al cojinete, su diámetro real se especificará una vez se concluya el análisis. También debe proporcionar hombro adecuado al piñón ubicado a su derecha.

○ Piñón: Punto con chaflán bien redondeado, un cuñero de perfil y ranura para anillo de sujeción.  $K_t = 3$ ,  $M = 1,89 \text{ N}\cdot\text{m}$

○ Cojinete B: Chaflán con bordes cortantes. Teóricamente en este punto no hay torque o momento de flexión, y su cálculo estaría basado en el análisis de la carga cortante  $V$  que es igual a la reacción del cojinete. Su diámetro estaría dado por la ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{16 * V}{3\pi * \tau_d}}$$

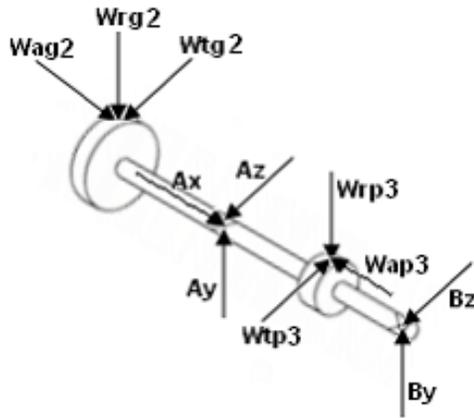
pero el resultado de evaluar el diámetro, comparado con otros es muy pequeño; lo más conveniente es utilizar la misma ecuación empleada en los demás diámetros.

Tabla 15. Diámetros eje 1

$K_t$	2		2,5		3	2,5
$M [\text{N}\cdot\text{m}]$	0,27		0,67		1,89	0
Condición		>corona		>A>Piñón		
Punto	Corona	Transición	A	Asentamiento	Piñón	B
Diámetro[mm]	4,6		6,6		10	3

Eje N° 2:

Distribución de fuerzas:



$$\begin{aligned}
 W_{tg2} &= W_{tp2} = 63,55 \text{ N} \\
 W_{rg2} &= 24,6 \text{ N} \\
 W_{ag2} &= 23,14 \text{ N} \\
 W_{tp3} &= W_{t3} = 244,5 \text{ N} \\
 W_{rp3} &= 94,7 \text{ N} \\
 W_{ap3} &= 89 \text{ N} \\
 A_{2x} &= W_{ap3} - W_{ag2} = 65,9 \text{ N} \\
 M_{g2} &= W_{ag2} * dg/2 = 0,96 \text{ N*m} \\
 M_{p3} &= W_{ap3} * dp/2 = 0,97 \text{ N*m} \\
 T &= 2,6 \text{ N*m}
 \end{aligned}$$

Figura 19. Diagramas de carga, corte y momento eje 2

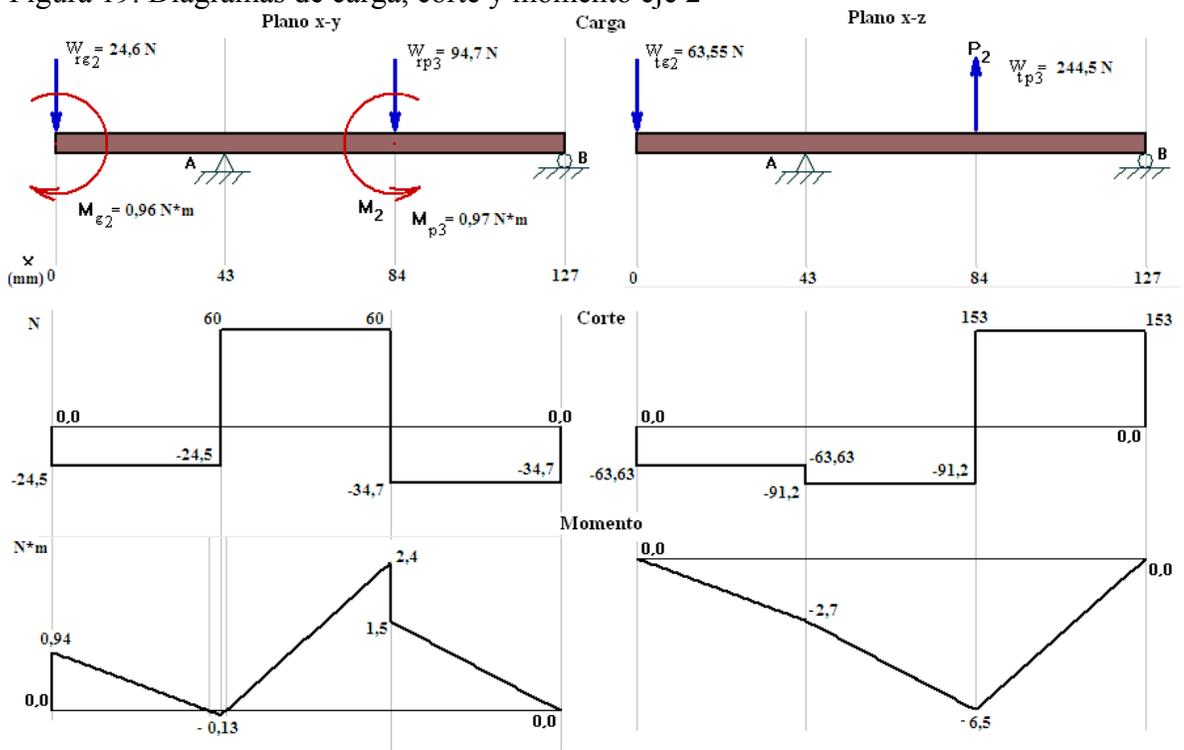


Tabla 16. Cargas y momentos del eje 2

Punto	Corona 1	A	Piñón 2	B
V [N]	68,2	89,5	262	153
M [N*m]	0,94	2,7	6,95	0

Las características de cada punto son las mismas de la flecha 1, tan sólo cambian los momentos y el torque,  $T = 2,6 \text{ N}\cdot\text{m}$ .

Tabla 17. Diámetros eje 2

Kt	2		2,5		3	2,5
M [N*m]	0,94		2,7		6,95	0
		>corona		>A>Piñón		
	Corona	Transición	A	Asentamiento	Piñón	B
Diámetro[mm]	7		10,7		15	4,5

Las dimensiones de las secciones A y B se especifican en milímetros para la adecuada selección de los rodamientos que embonan en estas partes. Por facilidad de construcción y seguridad, las dos flechas se realizan con las medidas de la flecha 2. Estos diámetros deben cumplir con el siguiente criterio DET para diseño de ejes:

$$DET \quad \frac{4}{\pi d^3} \sqrt{(8M + Vd)^2 + 48T^2} \leq \frac{S_y}{n}$$

Con un factor de seguridad de dos (2) y resistencia a la cedencia  $S_y$  de 503 MPa, la relación debe ser menor a 251 MPa

Tabla 18. Diámetros de los ejes.

Sección	Corona	Transición	A	Asentamiento	Piñón	B
Diámetro [mm]	8	12	15	18	16	12
DET [MPa]	51,7	--	11	--	19,3	13,8

Los diámetros estipulados para cada una de las secciones son adecuados para la construcción de las flechas o ejes.

Estimación de la vida de la parte. De la figura 19 (Diagramas de carga, corte, y momento), o de la Tabla 16. Cargas y momentos del eje 2 se tiene que la falla probablemente ocurrirá en el punto de apoyo del piñón, este punto presenta el mayor momento flexionante, un mayor factor de concentración de esfuerzos y un diámetro menor. Se estima la vida de la parte mediante resistencias ASTM “mínimas”. Primero se calcula la resistencia en el punto y luego se compara con el esfuerzo en el mismo punto.

Material: Aluminio 7075-T6<sup>34</sup>

Resistencia a la tracción:  $S_{ut} = 572 \text{ MPa}$

<sup>34</sup> SHIGLEY, Joseph. Diseño en ingeniería mecánica. 6 ed. México : McGraw-Hill, 2001. p. 302, Tabla 5-7 Constantes de materiales.

El límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria  $S'_e$  se calcula como

$$S'_e = 0.506 * S_{ut}$$

$$S'_e = 289,4 \text{ MPa}$$

El factor condición superficial de Marin  $K_a$  se calcula con los parámetros para un acabado superficial maquinado<sup>35</sup>.

$$a = 4,45 \quad b = -0.265$$

$$K_a = a * S_u^b$$

$$K_a = 4,45 * (572 \text{ MPa})^{-0.265}$$

$$K_a = 0.82$$

El factor de tamaño  $k_b$  para un diámetro menor a veinte (20) milímetros está dado por

$$k_b = 1,24 * d^{-0.107}$$

$$k_b = 1,24 * (16 \text{ mm})^{-0.107}$$

$$k_b = 0.93$$

Para encontrar el radio  $r$  del chaflán se utilizan, con  $k_t = 3$  y  $D/d = 18 \text{ mm}/16 \text{ mm} = 1.12$ , se lee  $r/d = 0,02^{36}$ , despejando,  $r = 0,5 \text{ mm}$ . Para un hombro,  $a^{1/2} = 139/S_{ut}$ ,  $a^{1/2} = 0,243$ .

El factor de concentración de esfuerzo a la fatiga  $k_f$  como

$$k_f = \frac{k_t}{1 + \frac{2}{\sqrt{r}} \frac{k_t - 1}{k_t} \sqrt{a}}$$

$$k_f = \frac{3}{1 + \frac{2}{\sqrt{0,5}} \frac{3-1}{3} 0.243}$$

$$k_f = 1,98$$

Dado que la carga aplicada es flexión, el factor de modificación de carga es  $k_c = 1$ , Temperatura de operación menor a  $50^\circ\text{C}$ , factor de modificación de temperatura  $k_d = 1$ , Estimando condiciones ideales el factor de modificación de efectos varios es  $k_e = 1$ <sup>37</sup>  
El límite de resistencia a la fatiga está dado por

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e$$

$$S_e = 0.82 * 0.93 * 289,4 \text{ MPa}$$

$$S_e = 220,6 \text{ MPa}$$

<sup>35</sup> SHIGLEY, Joseph. Diseño en ingeniería mecánica. 6 ed. México : McGraw-Hill, 2001. p. 380, Tabla 7-5, Condición superficial de Marin

<sup>36</sup> Ibid., México : McGraw-Hill, 2001. p. 1205, Tabla E-15-9, Factor de concentración de esfuerzo  $k_t$ .

<sup>37</sup> Ibid., México : McGraw-Hill, 2001. p. 383-388 Tablas de factores  $k_c$ ,  $k_d$ ,  $k_e$ .

El esfuerzo flexionante es, suponiendo una vida infinita

$$\sigma = k_f \frac{M_{\text{piñón}}}{I/c}$$

$$\sigma = 1.98 * \frac{6,95 \text{ N*m*32}}{\pi*(16\text{mm})^3}$$

$$\sigma = 34,2 \text{ MPa}$$

Comparando el esfuerzo flexionante  $\sigma$  con el límite de resistencia a la fatiga  $S_e$ , el esfuerzo es menor que  $S_e$  y  $S_y$ . Lo que significa que hay una vida infinita. Para conocer los ciclos a la falla  $N$  se calcula:

La resistencia a la fatiga esta dada por

$$\sigma_f = S_{ut} + 345 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f = 572 + 345 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f = 917 \text{ MPa}$$

$$b = \frac{\log(\sigma_f / S_e)}{\log(2 * N_e)}$$

$$b = \frac{\log(917 / 220,6)}{\log(2 * 10^7)}$$

$$b = 0.085$$

$$f = \frac{\sigma_f (2 * 10^3)^{-b}}{S_{ut}}$$

$$f = \frac{917 (2 * 10^3)^{-0.085}}{572}$$

$$f = 0.84$$

$$a = \frac{f^2 S_{ut}^2}{S_e}$$

$$a = \frac{0.84^2 572^2}{220,6}$$

$$a = 1047 \text{ MPa}$$

Para un nivel de esfuerzo de  $\sigma = 34,2 \text{ MPa}$ , los ciclos a la falla son

$$N = (\sigma / a)^{-1/b}$$

$$N = (34,2 / 1047)^{-1/0.085}$$

$$N = 2,5 * 10^7 \text{ Ciclos}$$

Valor que comprueba la vida infinita de la pieza.

- Selección de rodamientos

Tabla 19. Cargas y diámetros en cada cojinete

Eje	Diámetro [mm]	A <sub>r</sub>		Diámetro [mm]	B <sub>r</sub>		F <sub>a</sub>	
		[Lbf]	N		[Lbf]	N	[Lbf]	N
1	15	2,48	11,03	12	9,12	40,6	3,85	17,14
2	15	20,1	89,4	12	35,27	156,9	14,8	65,9

La máquina es de uso intermitente por lo tanto el valor de duración es L10h=6000 horas de servicio. So = 1 Factor de seguridad, Condiciones de trabajo medias y situaciones normales de vibración.

Tabla 20. Valores de C/P para rodamientos de bolas y rodillos:

Eje	RPM	Bolas	Rodillos
1	780	6,4	5,5
2	202	4,5	3,5

Es necesario emplear rodamientos de bolas con contacto angular debido al cambio de giro de la máquina. Las capacidades de carga, tanto dinámica C como estática C<sub>0</sub>, para rodamientos con contacto angular SKF, con diámetros internos de 15mm y 12mm superan por amplio margen las cargas radiales y axial del sistema, por tanto es posible escogerlos directamente del catalogo.

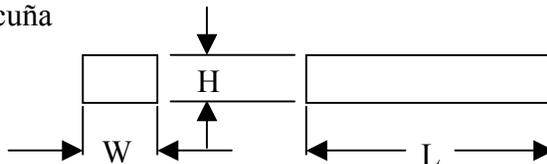
Tabla 21. Rodamientos para cada sección con su respectiva designación SKF

		A				B				
Eje	C.A.	d	D	B	Designación	C.A.	d	D	B	Designación
1	√	15	35	11	7202 B	√	12	32	10	7201 B
2	√	15	35	11	7202 B	√	12	32	10	7201 B

C.A. Carga Axial; unidades en mm.

- Diseño de las cuñas

Figura 20. Diseño de la cuña



Según los diámetros del eje en cada engranaje y teniendo en cuenta las dimensiones para la selección de las especificaciones de las cuñas<sup>38</sup>.

Tabla 22. Tamaño de cuña contra tamaño de eje

# Eje	ØEJE DEL PIÑÓN	W = H	ØEJE DE LA RUEDA	W = H
1 [mm – in]	16 – 5/8	5 – 3/16	8 – 5/16	3 – 3/32
2 [mm – in]	16 – 5/8	5 – 3/16	8 – 5/16	3 – 3/32

La longitud de la cuña debe ser menor al ancho de cara de los engranajes. Retomando, el ancho de cara es 22 milímetros. Si se utiliza una cuña cuadrada, como es el caso actual, el material con el que está hecha debe tener una resistencia a la cedencia menor que los materiales de la flecha y de los engranajes.

Material del piñón: Aluminio 2024 T4

$$S_y = 290 \text{ MPa}$$

Material de la flecha: Aluminio 7075 T6

$$S_y = 503 \text{ MPa}$$

Material de la cuña: Aluminio 2011 T6

$$S_y = 165 \text{ MPa}$$

$$L = \frac{4 \cdot T \cdot N}{D \cdot W \cdot S_y}$$

Donde:

T = Torque de la flecha

N = Factor de seguridad

D = Diámetro de la flecha

W = Ancho de la cuña

L = longitud de la cuña

Reemplazando cada uno de los valores para las cuatro cuñas

$$L \text{ Cuña corona} = 6,6 \text{ milímetros} \quad L \text{ Cuña piñón} = 3 \text{ milímetros}$$

La longitud resultante de la cuña construida con este aluminio es satisfactoria (menor al ancho de cara del engranaje), y se puede aumentar el tamaño de la cuña hasta una fracción del ancho de cara.

<sup>38</sup> SHIGLEY, Joseph. Diseño en ingeniería mecánica. 6 ed. México : McGraw-Hill, 2001. p. 516, Tabla 8-20 Dimensiones de cuñas cuadradas en pulgadas.

Tabla 23. Características de la cuña

ELEMENTO	Ø <sub>EJE</sub> (mm)	Aluminio	Sy (MPa)	W (mm)	H (mm)	L (mm)
Rueda 1 y 2	8	2011	24,5	3	3	13
Piñón 1 y 2	16	2011	24,5	5	5	10

- Eficiencia del sistema en función del número de pares de engranajes. Mover todo el sistema consume cierta cantidad de la potencia del motor que no es transferida directamente a la carga o elemento final. La energía necesaria para romper el equilibrio estático del sistema está determinada en gran medida por el momento de inercia propio de cada una de los engranes. El momento de inercia I, en un elemento circular con eje de rotación central, esta determinado por:

$$I = \frac{m * R^2}{2}$$

El momento es directamente proporcional a la masa y cambia con el cuadrado del radio, razón por la cual se debe diseñar equilibrando el tamaño. Si los engranes se diseñan demasiado grandes se perderá gran cantidad de potencia, pero si se diseñan demasiado pequeños se requerirán más ejes con sus respectivos accesorios y los piñones estarán sometidos a un mayor esfuerzo. Este parámetro está directamente relacionado, con el número de pares de engranes (n) que se establezca para cumplir la reducción total (m<sub>g</sub>) necesaria para el sistema.

$$\left(\frac{Rc}{Rp}\right)^n = m_g$$

Entre mayor sea el número de pares, la relación de radios corona-piñón, disminuirá con la raíz n de la ganancia total. Si se considera que el radio de la corona es más determinante para hallar las pérdidas de potencia del sistema que el radio del piñón y el propio eje, se obtiene.

$$T_{perdida-i} = I * \alpha_i$$

Siendo α la aceleración angular, dada por:

$$\alpha_i = \omega_i / t$$

ω<sub>i</sub> es la velocidad angular en un momento t, en cada corona. i = 1,2,3 .... n.

La potencia total perdida está dada por la sumatoria de las potencias parciales perdidas en cada eje.

$$P_{perdida} = \sum_{i=1}^n T_i \omega_i$$

reemplazando el torque T con las ecuaciones de aceleración angular  $\alpha$  y momento de inercia I, se obtiene:

$$P_{perdida} = \frac{mR_c^2}{2t} \sum_{i=1}^n \omega_i^2$$

además si:

$$m = \delta * \pi * R_c^2 * f$$

donde:

$\delta$  es la densidad del material de la corona.

F es el ancho de cara de la corona

$$\sum_{i=1}^n \omega_i^2 = \omega_{motor}^2 + \left(\frac{\omega_{motor}}{m_g}\right)^2 + \left(\frac{\omega_{motor}}{m_g^2}\right)^2 + \left(\frac{\omega_{motor}}{m_g^3}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\omega_{motor}}{m_g^n}\right)^2$$

Simplificando

$$P_{perdida} = \frac{\delta \pi F \omega_{motor}^2 R_c^4}{2t} \sum_{i=1}^n m_{g_i}^{2-2i}$$

De la anterior ecuación es posible comprobar que la correcta selección del radio de la corona es determinante para reducir las pérdidas, debido a que estas aumenta con la cuarta potencia del valor del radio.

La potencia perdida en el sistema planteado esta dada por:

$$\delta_{Al} = \text{Densidad del aluminio } 2.7 * 10^3 * \text{kg/m}^3$$

$$F = 0,84 \text{ in} = 0,021336 \text{ m}$$

$$\omega_{motor} = 3000 \text{ rpm} = 314.1 \text{ r/s}$$

$$R_c = 3,29''/2 = 0,041 \text{ m}$$

$$m_g = 3,8$$

$$n = 3 \text{ pares}$$

$$t = 3 \text{ s}$$

$$P_{\text{perdida}} = \frac{2700 * \pi * 0,021 * 314,1^2 * 0,041^4}{2 * 3} \sum_{i=1}^3 3,8_i^{2-2i}$$

$$P_{\text{perdida}} = 8,88 \text{ W}$$

Para una potencia de entrada de 57 W la eficiencia del sistema está dada por:

$$E_s = \frac{P_{\text{motor}} - P_{\text{perdida}}}{P_{\text{motor}}} * 100\%$$

$$E_s = \frac{57\text{W} - 8,88 \text{ W}}{57\text{W}}$$

$$E_s = 84,4\%$$

De haber seleccionado un número de parejas de dos (2), los resultados serían los siguientes

$\delta_{\text{Al}}$  = Densidad del aluminio  $2.7 * 10^3 * \text{kg/m}^3$

$F = 0,94 \text{ in} = 0,023876 \text{ m}$

$\omega_{\text{motor}} = 3000 \text{ rpm} = 314.1 \text{ r/s}$

$R_c = 9,34''/2 = 0,1186 \text{ m}$

$m_g = 7,5$

$n = 2 \text{ pares}$

$t = 3 \text{ s}$

$$P_{\text{perdida}} = \frac{2700 * \pi * 0,0238 * 314,1^2 * 0,1186^4}{2 * 3} \sum_{i=1}^2 7,5_i^{2-2i}$$

$$P_{\text{perdida}} = 668,4 \text{ W}$$

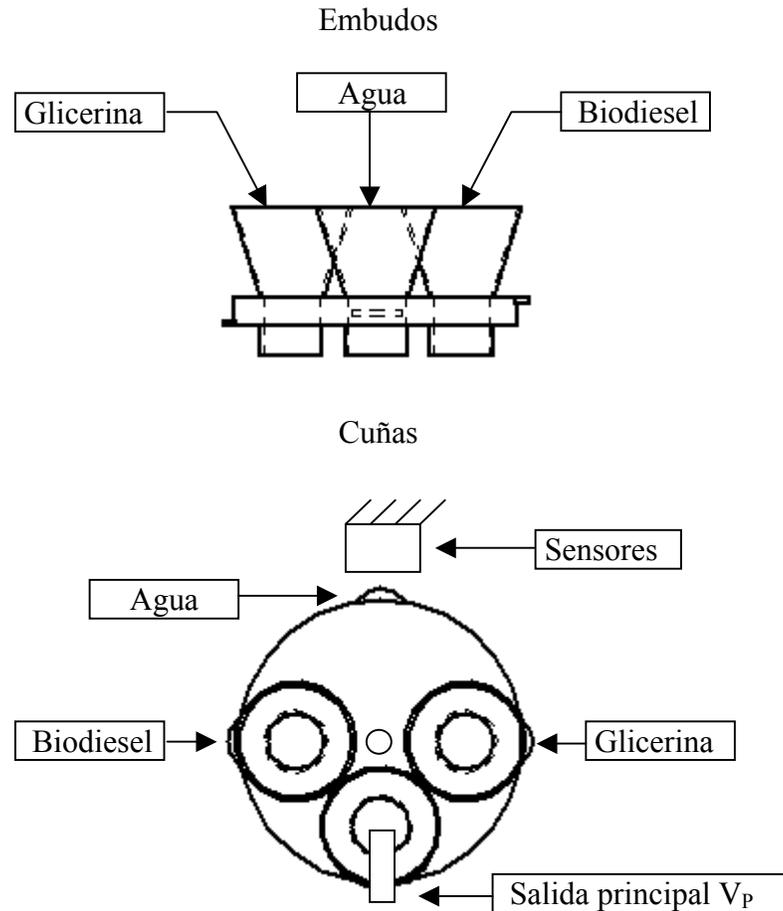
$$E_s = \frac{57\text{W} - 668,4 \text{ W}}{57\text{W}}$$

$$E_s = -1071\%$$

La selección de dos pares de reducciones, no provocaría ningún movimiento en el sistema, así se considere al principio del análisis como una solución más sencilla al problema.

- Control de posición. El correcto posicionamiento de cada uno de los embudos del distribuidor bajo la válvula principal se realiza mediante el cambio de giro en el motor DC hasta que el distribuidor con cuñas ubicadas especialmente activa interruptores o finales de carrera que sensan la posición.

Figura 21. Distribución de embudos y cuñas



Cada una de las cuñas está ubicada a una altura diferente para permitir la activación del respectivo interruptor. Los tres (3) sensores están dispuestos en forma ascendente, Biodiesel, aceite y glicerina uno sobre otro. El proceso requiere primero ubicar el embudo de glicerina bajo la salida principal de la válvula  $V_P$ , para esto el sistema debe girar a la derecha hasta que la cuña de glicerina active el interruptor  $F_g$  y mantener esta posición. Cuando se requiera extraer el agua del lavado el distribuidor debe girar a la izquierda hasta que el interruptor sea activado por la cuña  $F_a$  y apagarse. El último proceso de extracción corresponde al Biodiesel, acción que requiere mover nuevamente el distribuidor hacia la izquierda, el movimiento acaba cuando el control general del proceso detecta la activación del sensor  $S_b$ .

Figura 22. Rotaciones del distribuidor

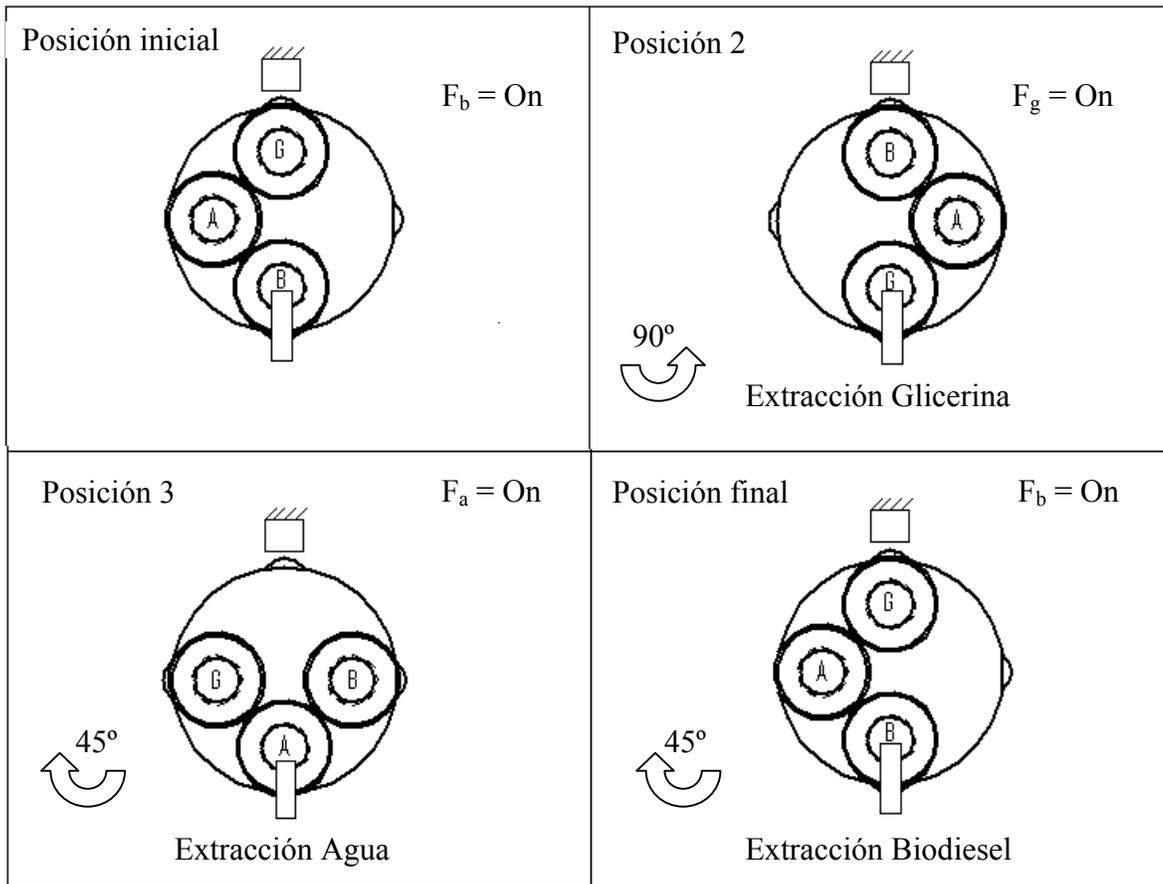
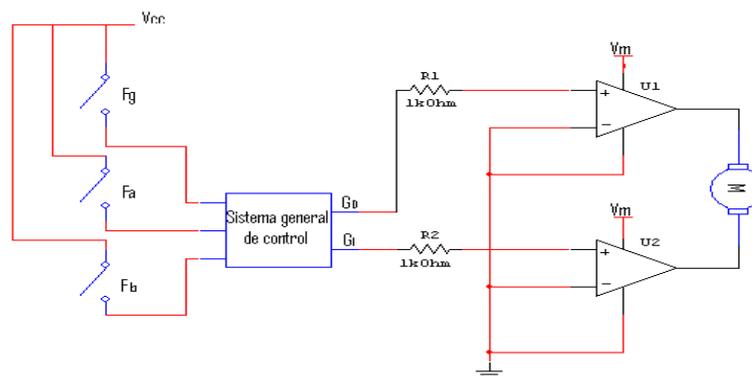


Figura 23 Circuito de control de giro



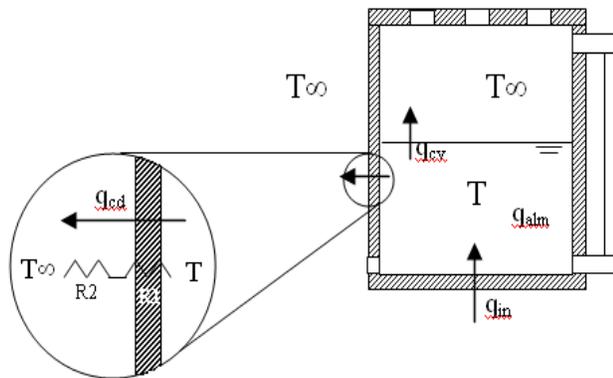
El sistema general de control es físicamente el mismo dispositivo que controla todos los demás procesos, por esto su programación se realiza en conjunto con todo el proceso.

## 8.8 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO Y EL POSTERIOR CONTROL DE TEMPERATURA.

El sistema requiere elevar su temperatura desde la temperatura ambiente hasta 50°C en máximo quince (15) minutos. Este proceso se realiza exclusivamente en el contenedor 2, en dos (2) ocasiones, una para diluir el aceite y facilitar la mezcla con el metóxido, y otra para el proceso de secado. Con el fin de realizar un proceso simultáneo, el tiempo máximo para lograr la temperatura final es el mismo tiempo que emplea la reacción de metanol y lejía en el contenedor 1 (15 min).

### 8.8.1 Calentamiento

Figura 24. Sistema de calefacción



$T_{\infty}$	Temperatura ambiente
$T$	Temperatura del aceite
$q_{in}$	Calor de entrada
$q_{alm}$	Calor almacenado
$q_{cv}$	Calor de convección
$q_{cd}$	Calor de conducción
$R_1$	Resistencia térmica de conducción cilíndrica aluminio-ambiente
$R_2$	Resistencia térmica de convección

Se requiere que el agitador 2 permanezca activo durante este proceso para mejorar las condiciones de conductividad térmica del aceite y poder determinar la temperatura como función del tiempo

Mediante un equilibrio energético

$$q_{in} = q_{alm} + q_{cv} + q_{cd}$$

$$q_{in} = C_{ac} * \frac{dT}{dt} + \frac{T-T_{\infty}}{R_{cv}} + \frac{T-T_{\infty}}{R_1+R_2}$$

$C_{ac}$  Capacitancia térmica del aceite  
 $R_{cv}$  Resistencia térmica de convección aceite-ambiente

$$q_{in} = C_{ac} * \frac{dT}{dt} + \frac{T}{R_T}$$

$R_T$  Resistencia térmica equivalente total

$$R_T = \frac{R_{CV}(R_1 + R_2)}{R_{CV} + R_1 + R_2} \quad (\text{ec. 8-13})$$

Aplicando transformada de Laplace

$$q_{in(s)} = C_{ac} * T_{(s)} * s + \frac{T_{(s)}}{R_T}$$

Hallando la función de transferencia y ordenando

$$\frac{T_{(s)}}{q_{in(s)}} = \frac{R_T}{R_T * C_{ac} * s + 1}$$

Aplicando la transformada inversa de Laplace, para una entrada escalón  $q_{in(s)}/s$

$$T_{(t)} = q_{in} * R_T \left( 1 - e^{-t/R_T C_{ac}} \right) + T_0 \quad (\text{ec. 8-14})$$

Despejando la potencia necesaria para calentar el aceite hasta una temperatura de proceso  $T_p$  (50°C) en un tiempo de calentamiento  $t_c$  segundos (15 min = 900 s)

$$q_{in} = \frac{T_p - T_0}{R_T \left( 1 - e^{-t_c/R_T C_{ac}} \right)} \quad (\text{ec. 8-15})$$

Otro método para calcular la potencia del sistema de entrada consiste en un equilibrio térmico:

calor cedido por la base del contenedor = calor ganado por el aceite

$$Q_c = Q_{ac}$$

$$m_{b-c} * C_{p-c} * (T_c - T_p) = m_{ac} * C_{p-a} * (T_p - T_{\infty}) \quad (\text{ec. 6-1})$$

$$T_c - T_\infty = \left( \frac{m_{ac} C_{p-ac}}{m_{b-c} C_{p-c}} + 1 \right) (T_p - T_\infty)$$

- $m_{b-c}$  Masa de la base del contenedor
- $C_{p-c}$  Calor específico del acero inoxidable
- $T_c$  Temperatura de la base del contenedor
- $m_{ac}$  Masa del aceite
- $C_{p-ac}$  Calor específico del aceite

$$Q_c = m_{b-c} * C_{p-c} * (T_c - T_\infty)$$

$$Q_c = m_{b-c} * C_{p-c} * \left( \frac{m_{ac} C_{p-ac}}{m_{b-c} C_{p-c}} + 1 \right) (T_p - T_\infty)$$

$$Q_c = (m_{ac} C_{p-ac} + m_{b-c} C_{p-c}) (T_p - T_\infty) \quad (\text{ec. 8-16})$$

La potencia (calor) es la energía térmica cedida por la base del contenedor en un tiempo máximo de calentamiento  $t_c$  (15 min)

$$q_{in} = \frac{Q_c}{t_c} \quad (\text{ec. 8-17})$$

8.8.2 Sistemas de calefacción. Para procesos de elevar la temperatura a grandes cantidades de sustancias, se emplean dos tipos de combustibles: gas natural y diesel.

Tabla 24. Costo calórico

Combustible	Poderes calóricos		Costo		\$/MJ
	Valor	Unidad	Valor	\$/Unidad	
Gas natural	37.257*	MJ/m <sup>3</sup>	553*	\$/m <sup>3</sup>	0,015
ACPM	37.204***	MJ/m <sup>3</sup>	1'108.800**	\$/m <sup>3</sup>	30
Biodiesel	34983 <sup>§</sup>	MJ/m <sup>3</sup>	0*	\$/m <sup>3</sup>	0

\* Gas Natural S.A. , Viernes, 12 de Mayo de 2006.

\*\* EL TRANSPORTE, www.eltransporte.com, Viernes, 12 de Mayo de 2006.

\*\*\* LA REPUBLICA, Energía Sector energético, Martes, 4 de Noviembre de 2003

<sup>§</sup> Tabla 1 Propiedades químicas del Biodiesel

• Tabla 4. Economía del proceso, costos por galón de Biodiesel

Un sistema económico para lograr el objetivo es un sistema basado en gas natural, aunque un sistema que se alimente con Biodiesel resultaría más económico por obvias razones, no se emplea en la mayoría de los casos, debido a que los quemadores o calentadores de

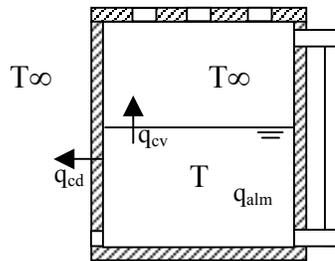
ACPM existentes en el mercado están diseñados para aplicaciones que requieran potencias superiores a 100 kW.

Por lo general ambos quemadores tienen las mismas características, presentan una salida de baja presión tipo cañón para trabajo con flama on-off con piloto continuo y de encendido eléctrico. Con control de seguridad contra falla de flama. Se diferencian en los rangos de potencia, para gas generalmente con capacidad de 10 a 50 kW, y ACPM de 140 a 700 kW. Por lo tanto la selección del dispositivo para elevar la temperatura depende, aparte del factor económico, de la cantidad de producción.

8.8.3 Control de temperatura. La temperatura del reactor debería controlarse con la transferencia de calor debido a que las reacciones endotérmicas requieren calor y, por tanto, es eminentemente autorregulada.

- Control por tiempo
  - Tiempo de enfriamiento. Una vez alcanzada la temperatura de proceso  $T_p$ , el sistema deja de recibir el calor de entrada  $q_{in}$ , por lo tanto la temperatura del aceite disminuye hasta una temperatura  $T_L$  en un tiempo de enfriamiento  $t_f$ .

Figura 25. Sistema de enfriamiento



Por equilibrio energético

$$-E_{sale} = E_{alm}$$

$$(T - T_{\infty}) \left( \frac{1}{R_{cv}} + \frac{1}{R_1 + R_2} \right) = C_{ac} \frac{dT}{dt}$$

despejando el tiempo transcurrido para el enfriamiento desde una temperatura  $T_p$  hasta una temperatura  $T_L$  final

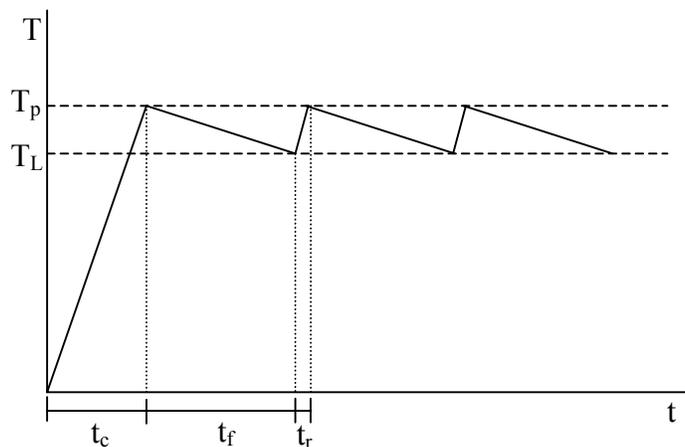
$$t_f = R_T C_{ac} \ln \left( \frac{T_p - T_{\infty}}{T_L - T_{\infty}} \right) \quad (\text{ec. 8-18})$$

○ Tiempo de recalentamiento. Una vez el sistema ha llegado hasta la temperatura de enfriamiento  $T_f$ , el sistema requiere de nuevo la entrada de calor  $q_{in}$ , para elevar de nuevo hasta la temperatura de proceso  $T_p$  en un tiempo de recalentamiento  $t_r$ . Despejando de la ecuación de calentamiento 8-14 y reemplazando  $T_o$  por  $T_L$

$$t_r = R_T C_{ac} \ln \left( \frac{q_{in} R_T + T_L - T_p}{q_{in} R_T} \right) \quad (\text{ec. 8-19})$$

El sistema de temperatura presenta el siguiente comportamiento

Figura 26. Comportamiento de la temperatura en el tiempo



La temperatura se puede controlar temporizando la entrada de calor, con un tiempo de encendido  $t_{on} = t_r$  y un tiempo de apagado  $t_{off} = t_f$  este sería un sistema de control de lazo abierto bastante económico y sencillo, pero impracticable en el momento de controlar diversas cantidades de producción, porque los tiempos dependen del volumen de aceite, lo que significa recalcularlos en cada proyecto y por consiguiente cambiar la programación del controlador.

- Control por comparación

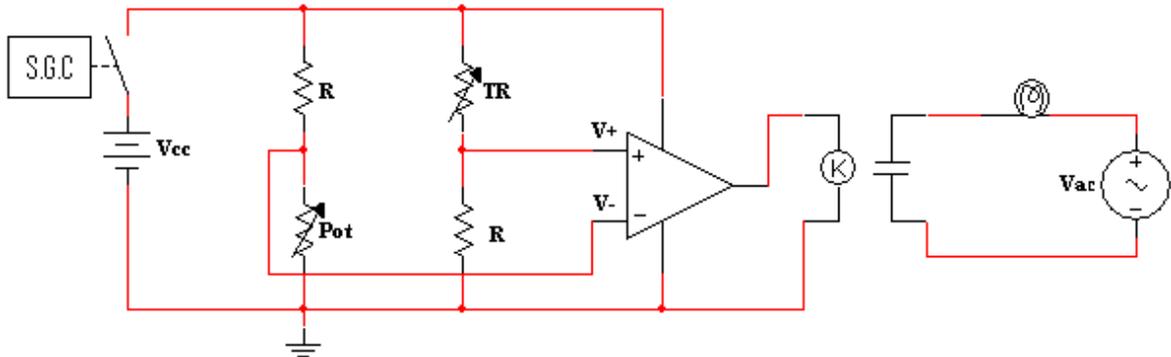
Figura 27. Control por comparación



Mediante un puente de Wheanston y un amplificador operacional actuando como comparador, entre una señal de referencia y la caída de voltaje en una termoresistencia se activa un relé que enciende el sistema de calefacción. Al encontrar el equilibrio el relé se

desactiva y el sistema de calefacción se apaga. El control de temperatura es habilitado por una señal del sistema general de control S.G.C..

Figura 28. Circuito comparador



La termoresistencia tipo Pt100 tiene un comportamiento lineal con los cambios temperatura entre 0°C y 100 °C de la forma

$$TR = 100\Omega + T \cdot 0.38\Omega/^\circ\text{C}$$

$$TR_{(50^\circ\text{C})} = 100\Omega + 50^\circ\text{C} \cdot 0.38\Omega/^\circ\text{C}$$

$$TR_{(50^\circ\text{C})} = 119 \Omega$$

el puente debe estar equilibrado en 50°C

$$\begin{aligned} V_- &= V_+ \\ \frac{R}{TR+R} &= \frac{\text{Pot}}{\text{Pot}+R} \\ \text{Pot} &= \frac{R^2}{TR_{(50^\circ\text{C})}} \end{aligned}$$

con resistencias R de 1KΩ

$$\text{Pot} = 8,4 \text{ K}\Omega$$

## 8.9 SELECCIÓN DEL TIPO DE TECNOLOGÍA CONTROLADORA DEL PROCESO

El proceso se realiza de forma secuencial, a la vez que necesita temporizado y control constante de temperatura. Tiene una señal de entrada análoga (temperatura) y señales digitales (nivel, encendido). Las señales de salida son digitales (electro válvulas, temperatura, agitadores). Los elementos finales de control son dispositivos eléctricos con fuente de alimentación alterna de alto voltaje. La señal análoga de temperatura es captada por el control de temperatura, pero este control debe ser activado y desactivado en diferentes etapas del proceso, de esta forma se puede hablar de una señal digital.

Tabla 25. Entradas-Salidas del proceso

#	Entradas	Variable	#	Salidas	Variable
	Control			Válvulas	
1	Encendido	Encendido	1	Metanol	voh
2	Inicio	Inicio	2	Aceite	vac
3	Paro Emergencia	P E	3	Metóxido	vm
4	Paro Prioritario	P P	4	Agua Limpia	vh2o_1
			5	Principal	vp
	Sensores Nivel			Distribuidor – Giro	
5	Metanol	soh	6	Izquierda	gi
6	Aceite	sac	7	Derecha	gd
7	Metóxido	sm		Agitadores	
8	Agua	sh2o	8	A1	a1
			9	A2	a2
	Distribuidor - Embudos			Temperatura	
9	Glicerina	fg	10	Control-T	r
10	Aceite	fa			
11	Biodiesel	fb	11	Luz Paro Emergencia	LPE

Se tienen por lo tanto once (11) entradas y once (11) salidas. Por confiabilidad, robustez, costos y flexibilidad la mejor opción para controlar el proceso es la utilización de un PLC.

Se emplea un PLC marca DCI Technologies serie M denominación T100MD-1616, que cuenta con 16 entradas y 16 salidas digitales.

## 8.10 DISEÑO DEL PROGRAMA “SOFTWARE” PARA CONTROLAR LA AUTOMATIZACIÓN.

El diseño del programa se realiza con base en el diagrama de flujo del proceso, figura 8, se desarrolla en el programa TRILOGI 5.3, que permite la codificación en lenguaje “leader” y “Basic” para programar el PLC marca DCI Technologies. También simula el proceso sin necesidad de tener el PLC conectado.

## 9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	NOVIEMBRE				ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL			
	1-8	9-16	17-23	24-31	1-8	9-16	17-23	24-30	1-8	9-16	17-23	24-31	1-7	8-14	15-21	22-29	1-8	9-16	17-23	24-31
Presentación ante-proyecto	■	■																		
Descripción del proceso de fabricación de Bio-Diesel a partir de aceite vegetal nuevo			■	■	■															
Cuantificación del proceso			■	■	■															
Determinación de la cantidad de producción por ciclo					■	■														
Establecimiento del protocolo de seguridad							■	■												
Selección de materiales								■	■	■										
Planteamiento del sistema de almacenamiento, transporte y medida de líquidos									■	■	■	■								
Selección del tipo de controlador									■	■	■	■								
Diseño del sistema de control de temperatura										■	■	■								
Selección mezcladores													■	■						
Selección sensores														■	■	■				
Análisis de separación de sustancias estratificadas																	■	■		
Concepción del sistema de lavado Y secado del Biodiesel																		■	■	■

## 10. CONCLUSIONES

La cuantificación del proceso demuestra que la producción del Biodiesel es una actividad rentable y apropiada para el desarrollo agroindustrial del país. Su producción por lotes debe estar limitada a máximo doscientos galones debido a que por encima de esta cantidad el tiempo de extracción se eleva excesivamente por las dimensiones del sistema.

Por seguridad es necesario establecer ciertas restricciones en el diseño como reducir la velocidad de los fluidos, evitar la presurización dentro de los contenedores y el bombeo de las sustancias, para reducir la probabilidad de accidentes como incendios y aceleración de la corrosión.

Debido al ambiente altamente corrosivo, la selección de los materiales de cada una de las partes es un factor determinante para la durabilidad general de la planta y la calidad del proceso. El acero inoxidable es el material que mejor responde a las exigencias del proceso por resultar económico, asequible y de fácil mantenimiento.

La automatización en la producción de Biodiesel es un proceso de control secuencial que puede ser rediseñado o modificado en cualquiera de sus pasos. Éstas variaciones obedecen tanto a la demanda como a la calidad del producto.

El sistema de calefacción no requiere mayor exactitud en su control de temperatura por que la combinación de las características propias de las sustancias involucradas y el diseño del sistema generan una relación eminentemente autorregulada permitiendo de esta forma suprimir la implementación de un control electrónico de temperatura para ser controlada por tiempo.

La implementación del sistema de extracción por medio de embudos que direccionan el producto y subproductos de forma individual a sus respectivos contenedores permite obtener un nivel mayor de pureza y calidad en cada uno de estos.

La utilización de un PLC para controlar el proceso es la mejor opción por tanto que es un elemento diseñado básicamente para gobernar sistemas secuenciales, cuenta con mayor robustez y confiabilidad que un microcontrolador así como menor cantidad de circuitos periféricos.

El diseño de la automatización puede ser adaptado con facilidad a la mayoría de los procesos artesanales de producción del Biodiesel.

## 11. RECURSOS

### 11.1 RECURSOS HUMANOS

Grupo de Investigación de Motores en la Universidad de San Buenaventura

### 11.2 RECURSOS FÍSICOS

Computador Personal

Computadores Universidad de San Buenaventura

### 11.3 RECURSOS TÉCNICOS

Bibliotecas públicas.

Servicio de Internet por demanda

Biblioteca Universidad de San Buenaventura.

Servicio de Internet en la Universidad de San Buenaventura

Software con licencia educativa de la Universidad de San Buenaventura

## BIBLIOGRAFÍA

BOLTÓN, W. Instrumentación y control industrial. Madrid : Paraninfo, 1996. 279 p.

CORROSION ENGINEERING. 2 ed. E.U. : McGraw-Hill, 1978. p. 155-158.

CHAVES ROCHA, Carlos y RODRIGUEZ URREGO, Leonardo. Diseño y construcción de un equipo didáctico mecatrónico para dosificar líquidos. Bogotá : Universidad de San Buenaventura, 2003. 126 p.

EBEL F. y Nestel S. Sensores para la técnica y procesos de manipulación. Esslingen : Festo Didactic KG, 1993. p. 12-17, 106-110, 173-174.

FINNEY, Thomas, Cálculo carias variables. 9 ed. México : Pearson Educación, 1999. p.938.

GALVELE, José. Corrosión. Washington : Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, 1979. 84 p.

GIANCOLI, Duglas. Física : principios con aplicaciones. 4 ed. México: Prentice-Hall. 1997. 785 p.

JONES, Denny. Principles and prevention of corrosion. 2 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 572 p.

MANUAL DE prevención de accidentes para operaciones industriales. España : Mapfre, 1974. p. 724-731, 1312-1333.

MOLERA SOLÁ, Pere. Metales resistentes a la corrosión. Barcelona: Marcombo, 1990. 124 p.

MOMPIN POBLET, José. Electrónica y automática industriales I. Barcelona : Marcombo, 1986. v.2, p 103

MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. 2 ed. México : Prentice Hall Hispanoamericana, 1995. 958 p.

PÉREZ GUTIERREZ, Christian y FRANCO CASTRO, Jhon Fabianny. Diseño y construcción de un banco didáctico para manejo de niveles - sistema mimo ( Múltiples entradas,múltiples salidas). Bogotá : Universidad de San Buenaventura, 2004.

PERRY, Robert. Manual del ingeniero químico. Madrid : Mc Graw Hill, 2001. p. 28-3 - 28-38.

SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles. Diseño en ingeniería mecánica. 6 ed. México : McGraw-Hill, 2001. 1257 p.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIEROS FORESTALES, [www.acif.com.co](http://www.acif.com.co) , Proyecto ley biodiesel, 18 de Julio de 2005

COLCIENCIAS, [www.colciencias.gov.co](http://www.colciencias.gov.co) , Agenda y Novedades, Lunes 28 abril, 2003

FEDEPALMA , [www.fedepalma.org](http://www.fedepalma.org) , Noticias, ¿Cómo va el Biodiesel en Colombia? 22 de Julio de 2005

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Compendio Tesis y otros trabajos de grado. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2002.

JOURNEY TO FOREVER, [www.journeytoforever.org](http://www.journeytoforever.org), Modelos Y Fabricación, 10 de Julio de 2005.

NATIONAL GEOGRAPHIC en español, Vol. 17 , No. 2 , Agosto de 2005.

PORTAFOLIO, [www.portafolio.com.co](http://www.portafolio.com.co), Economía Hoy, El mundo acelera la búsqueda de los sustitos del petróleo, Bogotá, Viernes 27 de mayo de 2005.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, [www.minas.unalmed.edu.co](http://www.minas.unalmed.edu.co), Comunicación y Divulgación cultural, Biodiesel fuente de desarrollo para Colombia, lunes 5 de septiembre de 2005

UNIVERSIDAD DEL NORTE, Ingeniería, [www.uninorte.edu.co](http://www.uninorte.edu.co), Biodiesel una revisión del desempeño mecánico y ambiental, por John R. Agudelo S.\*, Pedro Benjumea\*\*, Edwin Gómez Meneses\*\*\* y Juan Fernando Pérez Bayer\*\*\*

VEGGIE VAN ORGANIZATION, [www.veggievan.org](http://www.veggievan.org) , Biodiesel Info, 10 de Julio de 2005.

## ANEXO A. Supuesto

“La gobernación de Casanare, luego de extensas investigaciones sobre la demanda de combustibles en su región y analizando su estado financiero resuelve:

Construir una planta automática para la producción de Biodiesel, con capacidad de 130 galones para abastecer la maquinaria pesada de las obras públicas del municipio de Aguazul.”

Desarrollo

Tabla 26. Valores constantes

Símbolo	Propiedad	Valor	Unidad
$V_{bb}$	Volumen básico de Biodiesel	0.5	$m^3$
$g$	Aceleración de la gravedad	9.81	$m/s^2$
$T_p$	Temperatura del proceso	50	$^{\circ}C$
$T_L$	Temperatura mínima	49	$^{\circ}C$
$T_{\infty}$	Temperatura ambiente	20	$^{\circ}C$
$t_c$	Tiempo mínimo de calentamiento	15 (900)	min (s)

Investigando los valores constantes de las propiedades físicas y químicas de las sustancias del proceso, se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 27. Propiedades físico-químicas diversas sustancias

Símbolo	Propiedad	Valor	Unidad
$\sigma_{Al}$	Resistencia permisible Acero Inoxidable	241,00	Mpa
$\rho_{OH}$	Densidad OH (Metanol)	790,00	$Kg/m^3$
$\rho_{H_2O}$	Densidad $H_2O$ (agua)	1000,00	$Kg/m^3$
$\rho_{ac}$	Densidad Aceite	900	$Kg/m^3$
$\rho_{Al}$	Densidad Acero Inoxidable.	7900,00	$Kg/m^3$
$C_{p-ac}$	Calor específico. Aceite	2000	$J/Kg^{\circ}K$
$C_{p-Al}$	Calor específico Acero Inoxidable.	510	$J/Kg^{\circ}K$
$K_{Al}$	Conductividad Térmica. Acero Inoxidable.	1000	$W/m^{\circ}K$
$h_{\infty}$	Coeficiente de convección	13	$W/m^2^{\circ}K$

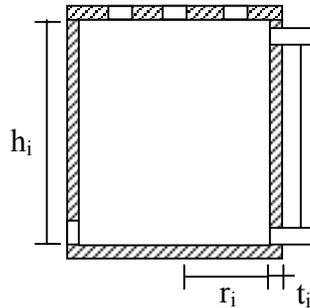
Recopilando las ecuaciones relacionadas con el diseño de la planta

Tabla 28. Ecuaciones de Diseño

#	Ecuación	Comentario	Unidad
6-1	$Q = m * C_p * \Delta T$	Cantidad de calor	J
6-2	$R_{T-cil} = \frac{\ln(r_{ext}/r_{int})}{2\pi K_T h}$	Resistencia térmica de conductividad cilíndrica	°K/W
6-3	$R_{T-conv.} = 1/(h_{\infty} * A_L)$	Resistencia térmica de convección	°K/W
6-4	$C_T = \rho * C_p * V$	Capacidad térmica	J/°K
8-2	$V_{C1} = 1.1 * 0.24 * V_{bb}$	Volumen del contenedor 1	m <sup>3</sup>
8-3	$h_1 = \frac{V_{C1}}{\pi * r_1^2}$	Altura del contenedor 1	m
8-4	$r_1 = (V_{C1} / (2 * \pi))^{1/3}$	Radio del contenedor 1	m
8-5	$t_1 = \frac{2 * g * \rho_{OH} * h_1 * r_1}{2 * \sigma_{Al} - g * \rho_{OH} * h_1}$	Grosor mínimo contenedor 1	mm
8-6	$V_{C2} = 1.1 * 2 * V_{bb}$	Volumen del contenedor 2	m <sup>3</sup>
8-7	$r_2 = (V_{C2} / (2 * \pi))^{1/3}$	Altura del contenedor 2	m
8-8	$h_2 = \frac{V_{C2}}{\pi * r_2^2}$	Radio del contenedor 2	m
8-9	$t_2 = \frac{2 * g * \rho_{H2O} * h_2 * r_2}{2 * \sigma_{Al} - g * \rho_{H2O} * h_2}$	Grosor mínimo contenedor 2	mm
8-10	$h_{SOH} = \frac{h_1}{1.1}$	Altura del sensor de metanol	m
8-11	$h_{SA} = \frac{V_b}{\pi * r_2^2}$ ; $h_{SM} = \frac{1.24 * V_b}{\pi * r_2^2}$ ; $h_{SH2O} = \frac{2 * V_b}{\pi * r_2^2}$	Altura sensores del contenedor 2	m
8-12	$t_{vac} = \left( \frac{2R}{D_{Vp}} \right)^2 \sqrt{\frac{2H}{g}}$	Tiempo de extracción	min
8-13	$R_T = \frac{R_{CV} (R_1 + R_2)}{R_{CV} + R_1 + R_2}$	Resistencia térmica equivalente	°K/W
8-14	$T_{(t)} = q_{in} * R_T \left( 1 - e^{-t/R_T C_{ac}} \right) + T_0$	Temperatura del contenedor 2	°C
8-15	$q_{in} = \frac{T_p - T_0}{R_T \left( 1 - e^{-t/R_T C_{ac}} \right)}$	Potencia de entrada (op.1)	kW
8-16	$Q_c = (m_{ac} C_{p-ac} + m_{b-c} C_{p-c}) (T_p - T_{\infty})$	Energía calórica	J
8-17	$q_{in} = \frac{Q_c}{t_c}$	Potencia de entrada (op.2)	kW
8-18	$t_f = R_T C_{ac} \ln \left( \frac{T_p - T_{\infty}}{T_L - T_{\infty}} \right)$	Tiempo de enfriamiento	s
8-19	$t_r = R_T C_{ac} \ln \left( \frac{q_{in} R_T + T_L - T_p}{q_{in} R_T} \right)$	Tiempo de recalentamiento	s

El requerimiento de producción es de 130 galones, para trabajar con el sistema métrico esta cantidad es de 0,5 metros cúbicos (500 litros).  $V_{bb} = 0.5\text{m}^3$ .

Primero se establecen las dimensiones de los contenedores con las ecuaciones 8-2 a 8-9. Los contenedores deben estar contruidos con acero inoxidable número 304 recocido con resistencia a la cadencia de 241 MPa<sup>39</sup>.



#### Contenedor 1

$$V_{C1} = 1.1 * 0.24 * V_{bb} = 1.1 * 0.24 * 0.5\text{m}^3 = 0.13 \text{ m}^3 \quad (\text{ec. 8-2})$$

$$r_1 = \left( \frac{V_{C1}}{2 * \pi} \right)^{1/3} = \left( \frac{0.13 \text{ m}^3}{2 * \pi} \right)^{1/3} = 0,28\text{m} \quad (\text{ec. 8-4})$$

$$h_1 = \frac{V_{C1}}{\pi * r_1^2} = \frac{0.13}{\pi * (0.28\text{m})^2} = 0,55\text{m} \quad (\text{ec. 8-3})$$

$$t_1 = \frac{2 * g * \rho_{OH} * h_1 * r_1}{2 * \sigma_{Al} - g * \rho_{OH} * h_1} = \frac{2 * 9.81\text{m/s}^2 * 790\text{Kg/m}^3 * 0,55\text{m} * 0,28\text{m}}{2 * 241\text{Mpa} - 9.81\text{m/s}^2 * 790\text{Kg/m}^3 * 0,55\text{m}} \quad (\text{ec. 8-5})$$

$$4.9\mu\text{m} \longrightarrow t_1 = 5 \text{ mm}$$

Por seguridad y por existencia comercial, el grosor mínimo de la lámina debe ser de 5mm

#### Contenedor 2

$$V_{C2} = 1.1 * 2 * V_{bb} = 1.1 * 2 * 0.5\text{m}^3 = 1.1 \text{ m}^3 \quad (\text{ec. 8-6})$$

<sup>39</sup> MOTT. Robert. Diseño de elementos de máquinas. 2 ed. México : Prentice Hall, 1992, Apéndice 15, Propiedades de los aceros inoxidables.

$$r_2 = \frac{(V_{C2} / (2 * \pi))^{1/3}}{(1.1 \text{ m}^3 / (2 * \pi))^{1/3}} = 0.56\text{m} \quad (\text{ec. 8-7})$$

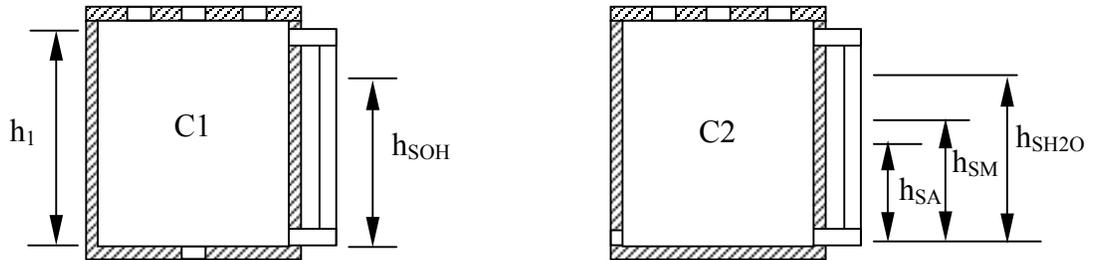
$$h_2 = \frac{V_{C2}}{\pi * r_2^2} = \frac{1.1}{\pi * (0.56\text{m})^2} = 1,12\text{m} \quad (\text{ec. 8-8})$$

$$t_2 = \frac{2 * g * \rho_{H2O} * h_2 * r_2}{2 * \sigma_{Al} - g * \rho_{H2O} * h_2} = \frac{2 * 9.81\text{m/s}^2 * 1000\text{Kg/m}^3 * 1,12\text{m} * 0,56\text{m}}{2 * 241\text{Mpa} - 9.81\text{m/s}^2 * 1000\text{Kg/m}^3 * 0,56\text{m}} \quad (\text{ec. 8-9})$$

$$25 \mu\text{m} \longrightarrow t_1 = 5 \text{ mm}$$

Control de nivel

Acto seguido se calcula la posición de los sensores de nivel. Ecuaciones 8-10 y 8-11



$$h_{SOH} = \frac{h_1}{1.1} = \frac{0.55\text{m}}{1.1} = 0.5\text{m} \quad (\text{ec. 8-10})$$

$$h_{SA} = \frac{V_b}{\pi * r_2^2} \quad h_{SM} = \frac{1.24 * V_b}{\pi * r_2^2} \quad h_{SH2O} = \frac{2 * V_b}{\pi * r_2^2} \quad (\text{ec. 8-11})$$

$$h_{SA} = 0.51\text{m} \quad h_{SM} = 0.63\text{m} \quad h_{SH2O} = 1.02\text{m}$$

Agitadores

Se emplean dos (2) agitadores eléctricos, con longitud de eje menor a 50 cm para el agitador del contenedor 1 y menor de 1 metro para el contenedor 2. Es posible utilizar el agitador MILTON ROY, gama Helisem, serie VD, tipo 1210S, para depósitos de 0.5 hasta 5m<sup>3</sup>, bajo presión atmosférica y temperatura máxima de 70°C.

Para cumplir con las especificaciones de instalación de estos agitadores se debe recalcular la altura de los contenedores. La distancia entre el nivel del líquido y la base del agitador debe ser mínima de 15 cm.

$$\begin{aligned} h_{1\min} &= h_{\text{SOH}} + 0.15\text{m} & h_{2\min} &= h_{\text{SH}_2\text{O}} + 0.15\text{m} \\ h_{1\min} &= 0.65\text{m} & h_{2\min} &= 1.17\text{m} \end{aligned}$$

La altura mínima del líquido por encima del móvil tiene que ser de 300mm. Por lo tanto la longitud mínima del eje de cada agitador esta dada por:

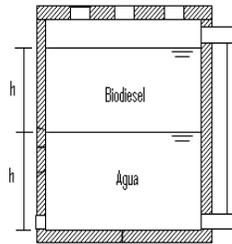
$$\begin{aligned} L_{a1\min} &= 0,3\text{m} + h_1 - h_{\text{SOH}} & L_{a2\min} &= 0,3\text{m} + h_2 - h_{\text{SA}} \\ L_{a1\min} &= 0.45\text{m} & L_{a2\min} &= 0.96\text{m} \end{aligned}$$

$$L_{a1} = [0,45 \quad 0.65]\text{m} \quad L_{a2} = [0,96 \quad 1.17]\text{m}$$

### Electroválvulas

La máxima presión del sistema sobre la válvula de salida  $V_p$  se ejerce en el proceso de lavado, cuando el contenedor 2 está lleno de biodiesel y agua.

Figura 29. Estado de máxima presión



$$\begin{aligned} P &= g * h_{sa} * (\rho_{\text{H}_2\text{O}} + \rho_{\text{Biodiesel}}) \\ P &= 9.81\text{m/s}^2 * 0.51\text{m} * (1000 \text{ Kg/m}^3 + 706 \text{ Kg/m}^3) \\ P &= 0.08 \text{ bar} \end{aligned}$$

Comercialmente las válvulas solenoides pilotadas, requieren una presión diferencial mínima de 0.2 bar, por lo tanto se utilizan válvulas de acción directa.

El tiempo de extracción se calcula mediante la ecuación 8-12, que está en función del diámetro de la electroválvula principal seleccionada, electroválvula SIRAI L133V03-Z923A 1X22 V24, de una (1) pulgada de diámetro.

$$t_{vac} = \left( \frac{2R}{D_{vp}} \right)^2 \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad t_{vac} = \left( \frac{2 * 0.56\text{m}}{1\text{in} * (0.0254\text{m})} \right)^2 \sqrt{\frac{2 * 0.51\text{m}}{9.81\text{m/s}^2}} \quad t_{vac} = 10 \text{ min}$$

Es un tiempo relativamente alto que se puede reducir sustancialmente aumentando el diámetro de la válvula pero éste es el diámetro máximo en este tipo de válvulas solenoides (acción directa). No es posible utilizar válvulas pilotadas que ofrecen un mayor diámetro debido a que el valor diferencial de presiones propias del sistema es mucho menor que los valores de diseño comerciales.

Sistema de calentamiento. Para su selección se requiere calcular su potencia, ecuaciones 6-1 a 6-3 y 8-13 a 8-17, se toman las propiedades del aceite y dimensiones del contenedor 2

$$C_T = \frac{\rho_{ac} * C_{p-ac} * V_{bb}}{900 \text{kg/m}^3 * 2000 \text{J/kg}^\circ\text{K} * 0.5 \text{m}^3} = 901.2 \text{ kJ/}^\circ\text{K} \quad (\text{ec. 6-4})$$

$$R_{T-cil} = \frac{\ln(r_{ext}/r_{int})}{2\pi K_{Al} h_{sa}} = \frac{\ln((0.56\text{m}+5\text{mm})/0.56\text{m})}{2 * \pi * 1000 \text{W/m}^\circ\text{K} * 0.51\text{m}} = 2.7 \mu^\circ\text{K/W} \quad (\text{ec. 6-2})$$

$$R_1 = R_{T-cil} = 2.7 \mu^\circ\text{K/W}$$

Existen dos diferentes resistencias térmicas de convección, una entre el contenedor y el ambiente  $R_2$  y otra entre el aceite y el ambiente  $R_{CV}$ .

$$A_{\perp(R2)} = \frac{2 * \pi * r_{ext} * h_{sa}}{2 * \pi * (0.56\text{m}+5\text{mm}) * 0.51\text{m}} = 1.81 \text{m}^2 \quad A_{\perp(Rcv)} = \frac{\pi * r_2^2}{\pi * (0.56\text{m})^2} = 0.985 \text{m}^2$$

$$R_{T-conv.} = 1 / (h_{\infty} * A_{\perp}) \quad (\text{ec. 6-3})$$

$$R_2 = \frac{1 / (h_{\infty} * A_{\perp(R2)})}{1 / (13 \text{ W/m}^2\text{K} * 1.81 \text{m}^2)} = 0.043 \text{ }^\circ\text{K/W} \quad R_{cv} = \frac{1 / (h_{\infty} * A_{\perp(Rcv)})}{1 / (13 \text{ W/m}^2\text{K} * 0.985 \text{m}^2)} = 0.078 \text{ }^\circ\text{K/W}$$

Por lo tanto la resistencia térmica equivalente es

$$R_T = \frac{R_{CV} (R_1 + R_2)}{R_{CV} + R_1 + R_2} = \frac{0.078(2.7 \mu + 0.043)}{0.078 + 2.7 \mu + 0.043} \text{ }^\circ\text{K/W} \quad (\text{ec. 8-13})$$

$$R_T = 0.028 \text{ }^\circ\text{K/W}$$

La potencia necesaria esta dada por

$$q_{in} = \frac{T_p - T_0}{R_T \left( 1 - e^{-t_c / R_T C_{ac}} \right)} \quad (\text{ec. 8-15})$$

$$q_{in} = \frac{50^{\circ}C - 20^{\circ}C}{0.028^{\circ}K/W \left( 1 - e^{-\frac{900}{0.028^{\circ}K/W * 901.2kJ^{\circ}K}} \right)}$$

$$q_{in} = 30.5kW$$

Otra forma de calcular la potencia necesaria se puede realizar con las ecuaciones 8-16 y 8-17. Primero es necesario calcular la masa de aceite  $m_{ac}$  y la masa de la base del contenedor  $m_{b-c}$ .

$$m_{ac} = \frac{\rho_{ac} * V_{bb}}{450,6kg} = \frac{900kg/m^3 * 0.5m^3}{450,6kg}$$

$$m_{b-c} = \frac{\rho_{Al} * V_{b-c}}{38.8kg} = \frac{7900kg/m^3 * (\pi * (0.56m)^2 * 0.005m)}{38.8kg}$$

$$Q_c = (m_{ac} C_{p-ac} + m_{b-c} C_{p-c}) (T_p - T_{\infty}) \quad (\text{ec 8-16})$$

$$Q_c = (450.6kg * 2000J/Kg^{\circ}K + 38.8kg * 510 J/Kg^{\circ}K)(50^{\circ}C - 20^{\circ}C)$$

$$Q_c = 27.6 MJ$$

La segunda opción de potencia esta dada por

$$q_{in} = \frac{Q_c}{t_c} = \frac{27.6MJ}{900s} \quad (\text{ec. 8-17})$$

$$q_{in} = 30.6 kW$$

valor prácticamente idéntico al obtenido con la ecuación 8-15, de una forma más directa y sencilla, aunque de la ecuación 8-15 se derivan las ecuaciones que representan los tiempos de enfriamiento y recalentamiento.

La potencia necesaria está dentro del rango de los quemadores de gas natural 10 a 50 kW, por lo que se selecciona un quemador TEKENER OES 151 GE.

Para controlar la temperatura se controla el encendido y apagado del dispositivo de gas natural mediante el circuito de la figura 28, que maneja los siguientes tiempos

$$t_f = R_T C_{ac} \ln \left( \frac{T_p - T_{\infty}}{T_L - T_{\infty}} \right) = 0.028^{\circ}K/W * 901.2kJ/^{\circ}K * \ln \left( \frac{50^{\circ}C - 20^{\circ}C}{49^{\circ}C - 20^{\circ}C} \right) \quad (\text{ec. 8-18})$$

$$t_f = 14 \text{ min}$$

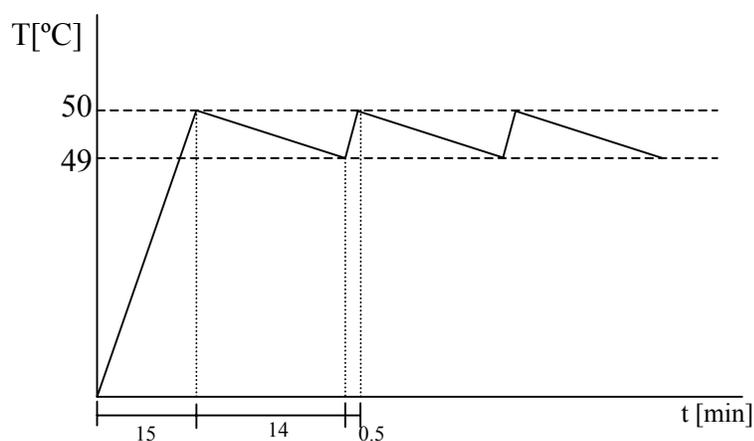
(ec. 8-19)

$$t_r = R_T C_{ac} \ln \left( \frac{q_{in} R_T + T_L - T_P}{q_{in} R_T} \right)$$

$$t_r = 0.028^\circ K / W * 901.2 kJ / ^\circ K * \ln \left( \frac{30.5 kW * 0.028^\circ K / W + 49^\circ C - 50^\circ C}{30.5 kW * 0.028^\circ K / W} \right)$$

$$t_r = 30s$$

Con éstos tiempos se puede graficar el comportamiento de la temperatura, y determinar en qué momento y cuántas veces se encenderá y apagará el dispositivo



Un ciclo completo de producción de Biodiesel se ve sometido a dos periodos iguales de calentamiento de una (1) hora. Para completar esta hora con las anteriores condiciones el sistema se encenderá tres (3) veces.

Si se desea controlar por tiempo (sin la necesidad de un circuito on-off), se debe calcular un tiempo de encendido adicional y continuo a los primeros quince (15) minutos, suficiente para que las sustancias alcancen una temperatura de operación máxima y el tiempo de enfriamiento desde esa temperatura hasta la temperatura mínima de operación debe completar la hora del ciclo de calentamiento.

El proceso tiene una temperatura máxima de seguridad de 55°C (a 65°C se evapora el metanol) y mínima de 49°C. Si se establece una temperatura máxima de operación de 54°C el tiempo adicional para alcanzar esta temperatura esta dado por

$$t_r = R_T C_{ac} \ln \left( \frac{q_{in} R_T + T_L - T_P}{q_{in} R_T} \right)$$

(ec. 8-19)

$$t_r = 0.028^\circ K / W * 901.2 kJ / ^\circ K * \ln \left( \frac{30.5 kW * 0.028^\circ K / W + 50^\circ C - 54^\circ C}{30.5 kW * 0.028^\circ K / W} \right)$$

$$t_r = 2 \text{ min}$$

el tiempo que tarda en descender la temperatura desde su máximo de operación hasta su mínimo de 49°C es

$$t_f = R_T C_{ac} \ln \left( \frac{T_p - T_{\infty}}{T_L - T_{\infty}} \right) \quad (\text{ec. 8-18})$$

$$t_f = 0.028^\circ K / W * 901.2 kJ / ^\circ K * \ln \left( \frac{54^\circ C - 20^\circ C}{49^\circ C - 20^\circ C} \right)$$

$$t_f = 66 \text{ min}$$

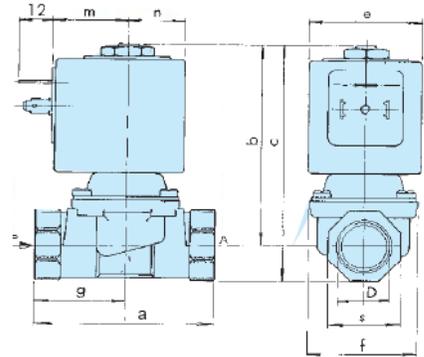
De esta manera se debe cambiar el programa de control para activar el sistema de calefacción durante 17 minutos y evitar la instalación del circuito comparador de la figura 28.

Tabla 29. Valores de diseño

Símbolo	Nombre	Valor	Unidad
V <sub>bb</sub>	Volumen Básico de Biodiesel	130 - 0,5	gal-m <sup>3</sup>
V <sub>C1</sub>	Volumen del contenedor 1	0,13	m <sup>3</sup>
h <sub>1</sub>	Altura del contenedor 1	0,65	m
r <sub>1</sub>	Radio del contenedor 1	0,28	m
t <sub>1</sub>	Grosor mínimo contenedor 1	5	mm
V <sub>C2</sub>	Volumen del contenedor 2	1,1	m <sup>3</sup>
h <sub>2</sub>	Altura del contenedor 2	1,17	m
r <sub>2</sub>	Radio del contenedor 2	0,56	m
t <sub>2</sub>	Grosor mínimo contenedor 2	5	m
h <sub>SOH</sub>	Altura del sensor de metanol	0,5	m
h <sub>SA</sub>	Altura sensor aceite	0,51	m
h <sub>SM</sub>	Altura sensor metóxido	0,63	m
h <sub>SH2O</sub>	Altura sensor agua	1,02	m
L <sub>a1</sub>	Longitud agitador 1	0,55	m
L <sub>a2</sub>	Longitud agitador 2	1	m
t <sub>vac</sub>	Tiempo de extracción	10	min
Q <sub>in(op.1)</sub>	Potencia de entrada (op.1)	30,5	kW
Q <sub>in(op.2)</sub>	Potencia de entrada (op.2)	30,6	kW
t <sub>f</sub>	Tiempo de enfriamiento	14	min
t <sub>r</sub>	Tiempo de recalentamiento	30	s
t <sub>enc</sub>	Tiempo encendido calefactor	17	min

## ANEXO B. Válvula Solenoide

SIRAI L133V03- Z923A 1X22 V24



Type Typ	D	a	b	c	e	f	g	m	n	s
L133-Z9...	G1	105	100	121	48,6	71	46	35	24,3	42

Zero differential pressure - <i>Zwangsgesteuert</i>														TYPE VALVE-COIL TYPENBEZEICHNUNG VENTIL - SPULE	NOTES ANM.	WEIGHT GEWICHT Kg	PHOTO
PORT SIZE GEWINDE- ANSCHLÜSSE D G	Ø ORIFICE SIZE DURCHLAß mm	SEALS DICHTUNGEN	PRESSURE bar - DRUCKBEREICH bar				Kv m³ / h	MEDIUM TEMP. TEMP. MEDIUM °C		POWER ABSORPTION LEISTUNGS-AUFNAHME							
			Min.	Max		Min.		Max.	~ VA		= W						
				~ AC	= DC				~ AC	= DC		INRUSH ANZUG	HOLDING BETRIEB				
3/8	10	NBR	0	10	3	10	3	1,5	-10	90	23	14	9	L133B01- Z530A		0,440	11
	10	FPM	0	10	3	10	3	1,5	0	130	23	14	9	L133V01- Z530A		0,440	11
1/2	12,5	NBR	0	10	3	10	3	2,1	-10	90	44	24	13	L133B02- Z110A		0,620	11
	12,5	FPM	0	10	3	10	3	2,1	0	130	44	24	13	L133V02- Z110A		0,620	11
3/4	17	NBR	0	10	3	10	3	4,5	-10	90	44	24	13	L133B02- Z110A		0,790	11
	17	FPM	0	10	3	10	3	4,5	0	130	44	24	13	L133V02- Z110A		0,790	11
1	22	NBR	0	10	-	10	-	9	-10	90	58	33	-	L133B03- Z923E		1,810	11
	22	FPM	0	10	-	10	-	9	0	130	58	33	-	L133V03- Z923E		1,810	11
	22	NBR	0	-	3	-	3	9	-10	90	-	-	17	L133B03- Z923A		1,810	11
	22	FPM	0	-	3	-	3	9	0	130	-	-	17	L133V03- Z923A		1,810	11

## ANEXO C. AGITADOR

### MILTON ROY, gama Helisem, serie VD, tipo 1210S

#### Características generales

- Agitador de accionamiento directo
- Eje inferior dotado de una hélice marina
- Potencia desde 0,25 hasta 1,5 kW
- Velocidad de giro : 750 y 1500 rpm

#### Volumen útil

- Desde 0.5 hasta 5 m<sup>3</sup>

#### Condiciones de operación

- Presión atmosférica
- Temperatura hasta 70°C

#### Aplicaciones principales

- Homogeneización
- Disolución
- Preparación de reactivos
- Neutralización

#### Materiales de construcción

- Acero inoxidable 316L
- Pintura PU : RAL 1018 para el grupo de accionamiento  
(otros materiales, contactenos)

#### Características eléctricas

- 230/400 voltios trifásico
- 50 Hz
- IP 55  
(otras tensiones y frecuencias, consultenos)

#### Opciones (según referencia)

- Motores específicos
- Revestimiento del conjunto eje y hélice
- Segunda hélice

#### Límites de utilización

- No está permitido el funcionamiento durante el vaciado del depósito
- Poco recomendado para productos sensibles al cizallamiento
- Viscosidad máxima : 500mPas
- Densidad  $\leq 1,2$   
(viscosidad o densidad superior, consultenos)



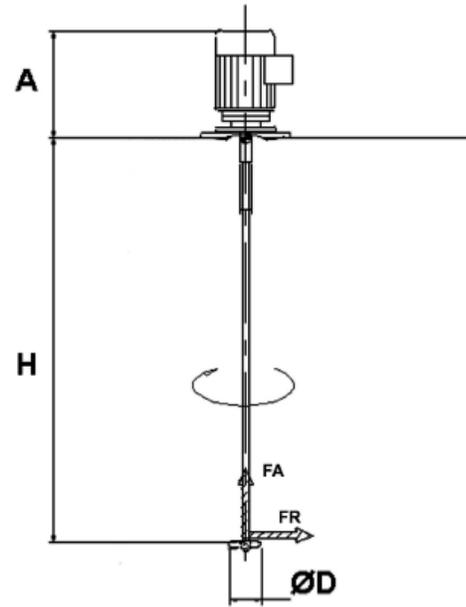
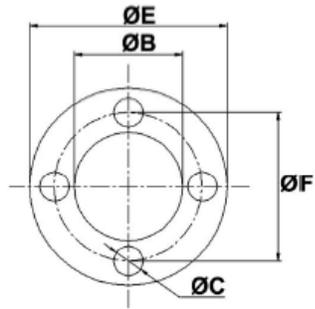
## ESPECIFICACIONES

Tipo	Potencia motor (kW)	Velocidad de giro (rpm)	Longitud máxima (mm) H	Diametro Hélice (mm) D	Caudal Hélice (m <sup>3</sup> /h)	Peso (Kg)	Fuerza Axial (DaN)	Par (DaNm)
1210S	0.25	1500	1000	80	52	10	10	0.2
2210S	0.25	1500	1000	128	104	10	10	0.2
2110S	0.25	750	1000	128	52	12	12	0.3
2520S	0.75	1500	1250	128	104	14	14	0.5
4310S	0.37	750	1000	160	101	19	19	0.5
4630S	1.5	1500	1500	160	203	20	38	1

La altura mínima del líquido por encima del móvil tiene que ser de 300mm.  
Es necesario respetar una distancia de 150 mm entre la brida y el nivel del líquido.

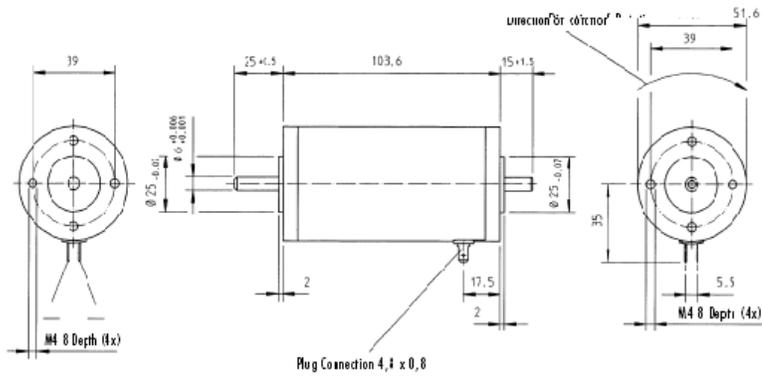
### DIMENSIONES (MM)

Tipos	A	B	C	E	F
1210S	250	110	9	160	130
2210S	250	110	9	160	130
2110S	285	130	11	200	165
2520S	285	130	11	200	165
4310S	300	130	11	200	165
4630S	320	130	11	200	165



## ANEXO D. MOTOR DC

### BUEHLERMOTOR 1.13044.



#### Technical Data \*)

Type		413	414
Rated Voltage	V	12	24
Rated Torque	mNm	180	180
Rated Speed	r.p.m.	3000	3000
Rated Output Power	W	57	57
Rated Current	A	7.3	3.5
Max. Allow. Const. Current(**)	A	4.9	2.9
No Load Speed	r.p.m.	3900	3800
No Load Current	A	0.86	0.41
Stall Current	A	31	17
Stall Torque	mNm	840	940
Rotor Inertia	gcm <sup>2</sup>	250	250
Speed Regulation Constant	r.p.m./mNm	4.7	4.1
Torque Constant	mNm/A	27	57
Mech. Time Constant	ms	12	12
Electr. Time Constant	ms	1.0	1.2
Terminal Resistance	Ohm	0.38	1.4
Thermal Resistance	R <sub>m</sub> K/W	3.4	3.4
	R <sub>nc</sub> K/W	4.3	4.3
Weight	g	940	940

#### DESIGN:

- DC PM Motor
- Brush type commutation
- 12 segment commutator
- Skewed armature
- Bearings: ball bearing
- Direction of rotation depending on applied polarity
- Corrosion protected housing
- A- and B-endshield: zinc die-cast

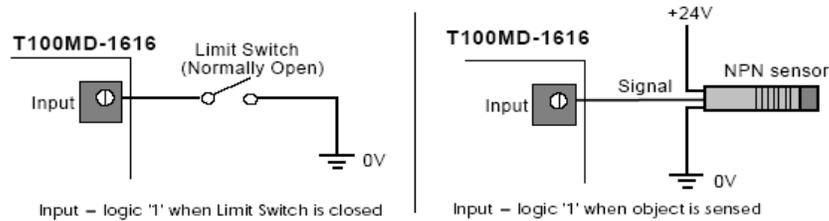
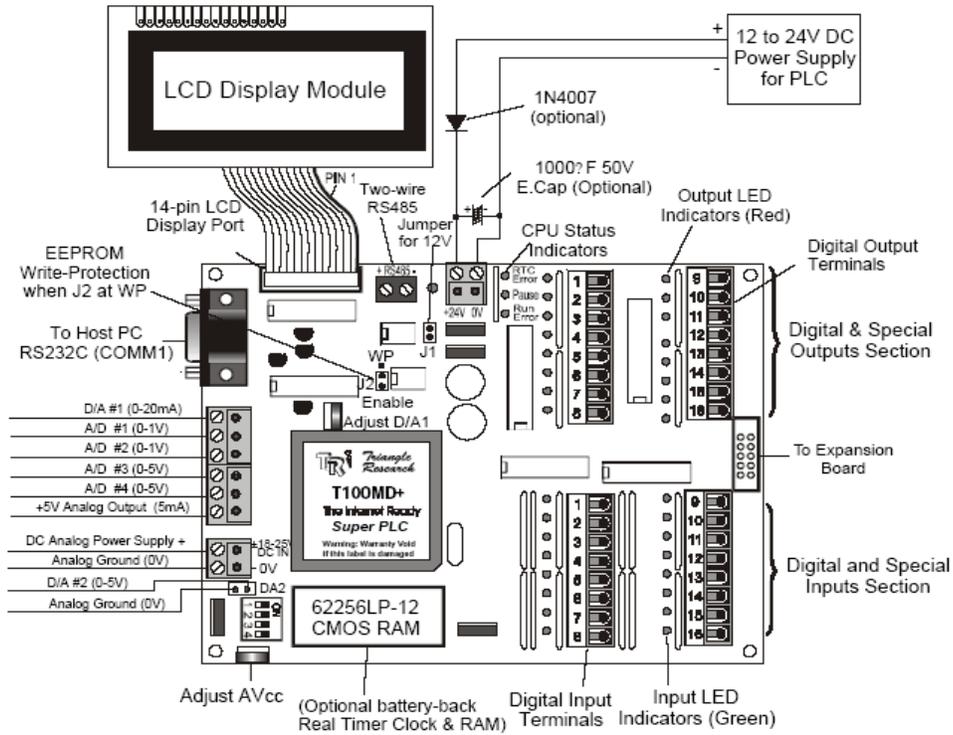
Max. allowable radial load \_\_\_\_\_ 120 N  
(15 mm from mounting surface)

Max. allowable axial load \_\_\_\_\_ 30 N

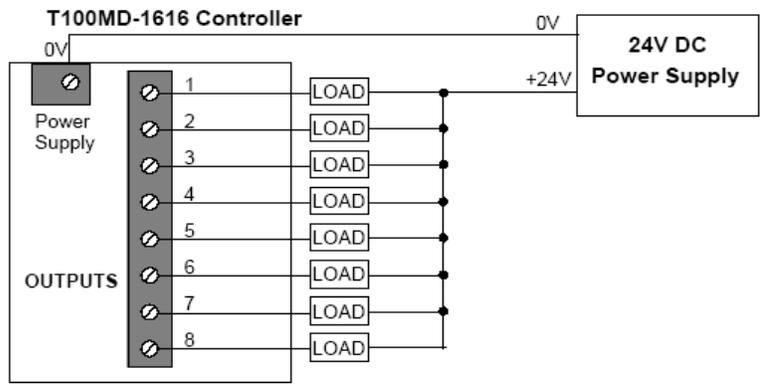
Allowable temperature range \_\_\_\_\_ 0 °C/+70 °C

# ANEXO E. PLC

## DCI Technologies serie M denominación T100MD-1616



Input Voltage for Logic 0: Open Circuit or +10V to +24VDC  
 Input Voltage for Logic 1: 0V to +2.5V DC



· Transistor Output Interfacing to Load

## ANEXO F. SENSOR

### Reflex SICK 4N324



#### Proximity / Reflex Sensors

Photoelectric reflex switch

Model Name: VL18L-4N324

Part Number: 6027432

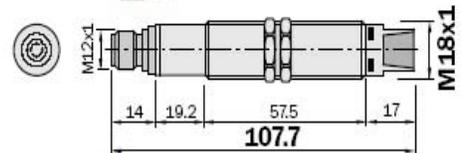
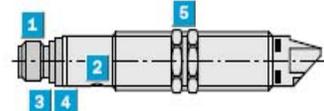
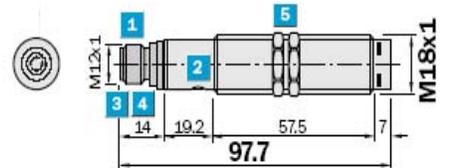


#### Product features

Sensing range min ... max:	0,1 ... 35 m
Measuring condition:	onto reflector P 250 F
Light source:	Laser LED
Type of light:	Laser, red light
Light spot size:	Approx. 9 mm at 35 m distance
Optical axis:	axial

#### Technical data

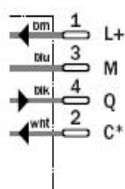
Design:	Cylinder with thread
Thread size:	M18 x 1
Supply voltage min ... max:	DC 10 ... 30 V
Switching output:	NPN, Q
Switching mode:	Light-/dark-switching, selectable
Response time:	<= 0.625 ms
Connection type:	Connector, M12, 4-pin
Enclosure rating:	IP 67
Ambient operation temperature, min ... max:	-15 °C ... +55 °C
Polarisation filter:	✓
Housing material:	Brass nickel-plated, plastic
Optics material:	PC with protective glass pane



- 1 Plug M12, 4-pin
- 2 Sensitivity adjustment (Teach-in button)
- 3 Green LED indicator:  $V_s$  supply voltage feed
- 4 Yellow LED indicator:
  - lights continuously: reception signal > reserve factor 2
  - blinks: Reception signal < reserve factor 2 but > switching threshold 1
- 5 Mounting nuts (2x), SW 24, metal (included with delivery)



4-pin, M12



\* Control input C, programming:  
 - Switching type LON/D.ON and  
 - External Teach-in  
 C = open (not assigned)  
 dark-switching D.ON  
 C = +  $V_s$ : light-switching LON  
 C = 0 V: sensitivity setting per  
 "external Teach-in" active

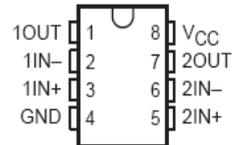
## ANEXO G. AMPLIFICADOR OPERACIONAL

### TEXAS INSTRUMENTS LM358

- **Wide Range of Supply Voltages:**
  - Single Supply . . . 3 V to 30 V  
(LM2904 and LM2904Q . . . 3 V to 26 V) or
  - Dual Supplies
- **Low Supply-Current Drain Independent of Supply Voltage . . . 0.7 mA Typ**
- **Common-Mode Input Voltage Range Includes Ground, Allowing Direct Sensing Near Ground**
- **Low Input Bias and Offset Parameters:**
  - Input Offset Voltage . . . 3 mV Typ  
A Versions . . . 2 mV Typ
  - Input Offset Current . . . 2 nA Typ
  - Input Bias Current . . . 20 nA Typ  
A Versions . . . 15 nA Typ
- **Differential Input Voltage Range Equal to Maximum-Rated Supply Voltage . . .  $\pm 32$  V (LM2904 and LM2904Q . . .  $\pm 26$  V)**
- **Open-Loop Differential Voltage Amplification . . . 100 V/mV Typ**
- **Internal Frequency Compensation**



D, JG, P, OR PW PACKAGE  
(TOP VIEW)



LM158, LM158A . . . FK PACKAGE  
(TOP VIEW)

**absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)**

	LM158, LM158A LM258, LM258A LM358, LM358A	LM2904 LM2904Q	UNIT	
Supply voltage, $V_{CC}$ (see Note 1)	32	26	V	
Differential input voltage, $V_{ID}$ (see Note 2)	$\pm 32$	$\pm 26$	V	
Input voltage, $V_I$ (either input)	-0.3 to 32	-0.3 to 26	V	
Duration of output short circuit (one amplifier) to ground at (or below) 25°C free-air temperature ( $V_{CC} \leq 15$ V) (see Note 3)	Unlimited	Unlimited		
Continuous total power dissipation	See Dissipation Rating Table			
Operating free-air temperature range, $T_A$	LM158, LM158A	-55 to 125	°C	
	LM258, LM258A	-25 to 85		
	LM358, LM358A	0 to 70		
	LM2904, LM2904Q	-40 to 125		
Storage temperature range, $T_{stg}$	-65 to 150	-65 to 150	°C	
Case temperature for 60 seconds	FK package	260	°C	
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds	JG package	300	300	°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	D, P, or PW package	260	260	°C

- NOTES: 1. All voltage values, except differential voltages and  $V_{CC}$  specified for measurement of  $I_{OS}$ , are with respect to the network ground terminal.  
 2. Differential voltages are at  $IN+$  with respect to  $IN-$ .  
 3. Short circuits from outputs to  $V_{CC}$  can cause excessive heating and eventual destruction.



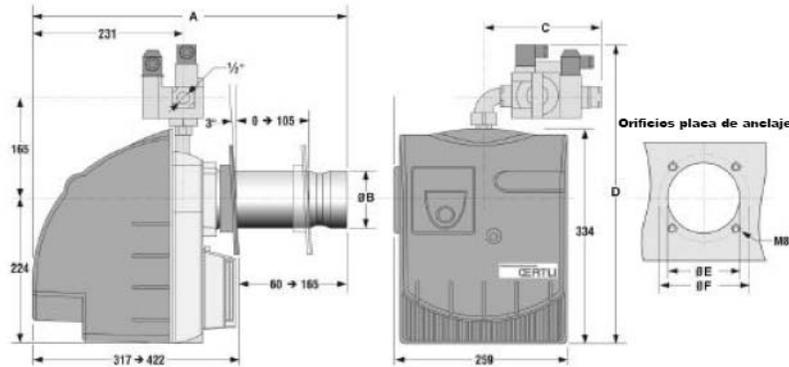
**Descripción Técnica**

- ♦ Quemador compacto de gas, totalmente automático. Funcionamiento a una marcha con regulación del aire manual (graduable). Incorpora ventilador transversal con sistema DÚO-PRESS que optimiza la combustión y reduce el nivel acústico. Cabezal de combustión regulable y control de funcionamiento de ventilador.
- ♦ Rampa de gas reversible y vigilancia de llama por sistema de ionización.
- ♦ Montaje sencillo, viene totalmente cableado y conexonado eléctricamente.
- ♦ Fácil mantenimiento y total accesibilidad sin desenchavarlo de la caldera.

**Servicio 1 caja**

- ♦ Quemador completo con rampa de gas.

**Dimensiones del quemador**

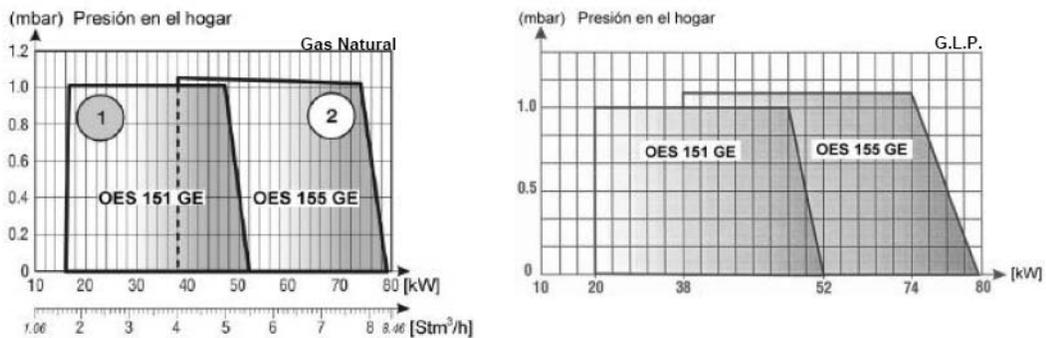


**Dimensiones OES 151 GE - 155 GE**

Dimensionado en mm

Tipo	A	ØB	C	D	ØE	ØF
OES 151 GE	482	90	186	469	120	140 ÷ 160
OES 155 GE	482	90	249	574	120	140 ÷ 160

**Curvas de potencia [ Poder Calorífico del G.N. = 8.130 kcal/Stm<sup>3</sup> ]**



**! NOTA: Los quemadores se suministran para Gas Natural. Para GLP o cualquier otro tipo de gas hay que especificarlo.**

**Funcionamiento**

**1 marcha**

Tipo	OES 151 GE	OES 155 GE
Potencia en G.N. [kW]	16 - 52	38 - 79
Consumo máximo [Stm <sup>3</sup> /h G.N.]	1,69 - 5,50	4,02 - 8,36
P mín. entrada rampa G.N. [mbar]	20	20
Potencia en G.L.P. [kW]	20 - 52	38 - 79
Consumo máximo [Stm <sup>3</sup> /h G.L.P.]	0,82 - 2,13	1,55 - 3,23
P mín. entrada rampa G.L.P. [mbar]	37	37
Motor [kW]	0,040	0,040
Rampa de gas	R 1/2" (CG10 R70 DI máx. 70 mbar)	R 1/2" (CG15 R03 DI máx. 300 mbar)
Alimentación eléctrica [V]	1 x 220 V 50Hz	1 x 220 V 50Hz
Peso [kg]	15	16

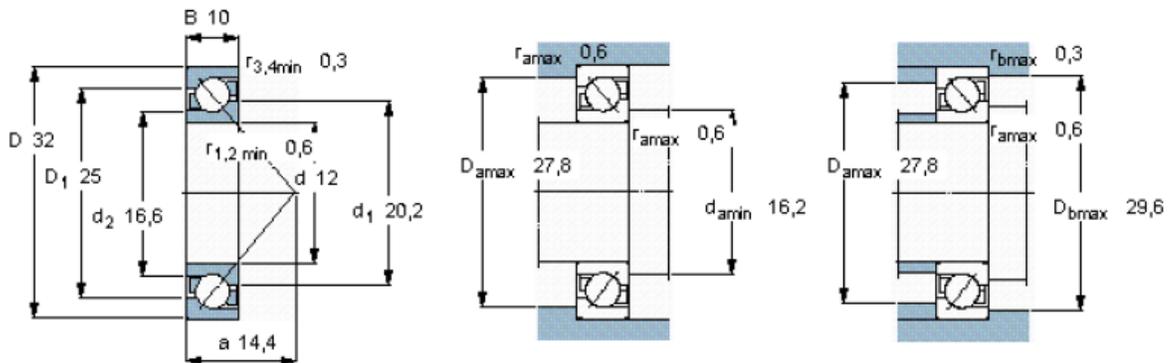
## ANEXO I. RODAMIENTOS

### SKF 7201B Y 7202B

#### Rodamientos de bolas con contacto angular, de una hilera



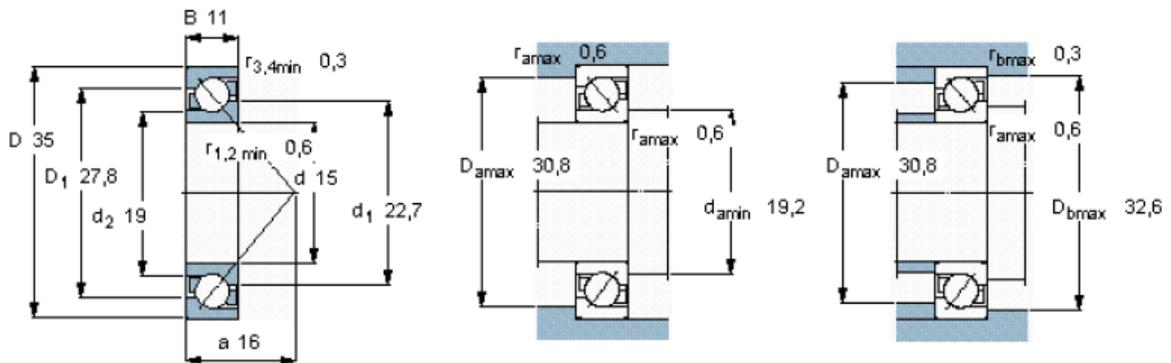
Dimensiones principales			Capacidades de carga		Carga límite de fatiga Pu	Velocidades		Masa	Designación
d	D	B	C	C0		Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	rpm		kg	* - Rodamiento SKF Explorer
12	32	10	7,61	3,8	0,16	26000	26000	0,036	7201 BEP



#### Rodamientos de bolas con contacto angular, de una hilera



Dimensiones principales			Capacidades de carga		Carga límite de fatiga Pu	Velocidades		Masa	Designación
d	D	B	C	C0		Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	rpm		kg	* - Rodamiento SKF Explorer
15	35	11	8,84	4,8	0,204	24000	24000	0,045	7202 BEP

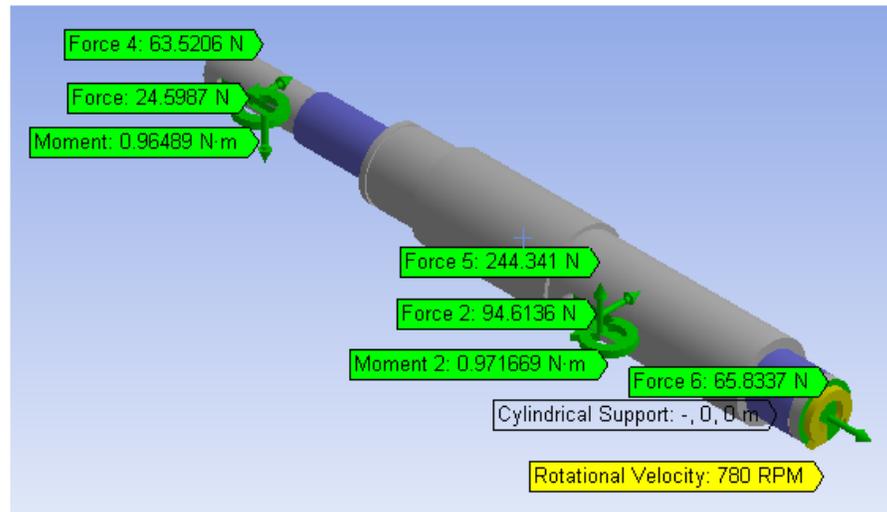


#### Factores de cálculo

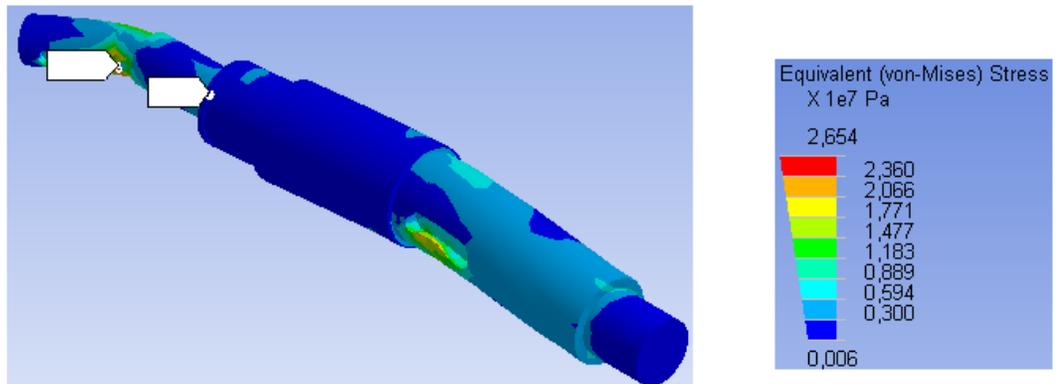
k <sub>r</sub>	0,095	e	1,14	Y	0,57
k <sub>a</sub>	1,4	X	0,35	Y <sub>0</sub>	0,26

Skf

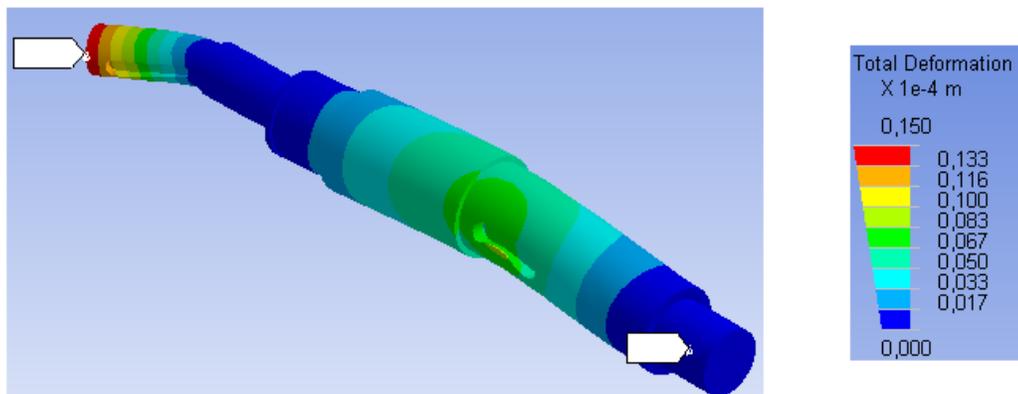
## ANEXO J. SIMULACIÓN ESFUERZOS EN FLECHA



ESFUERZO EQUIVALENTE



DEFORMACIÓN TOTAL

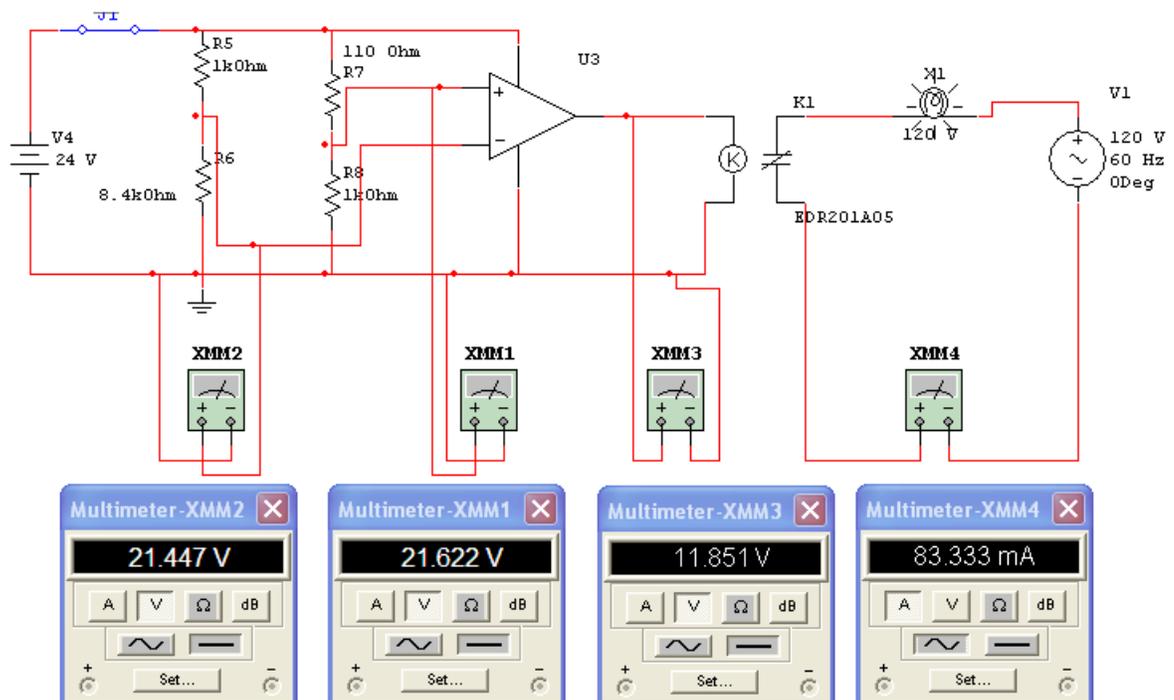


## ANEXO K. SIMULACIÓN CIRCUITO DE CONTROL DE TEMPERATURA

El switch representa la señal de activación del PLC, el bombillo representa el sistema de calefacción. Para un valor en la termoresistencia menor de  $119\Omega$  que representa una temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$ , el sistema estará encendido, y para valores mayores se apagará el quemador.

Temperatura  $26^{\circ}\text{C}$

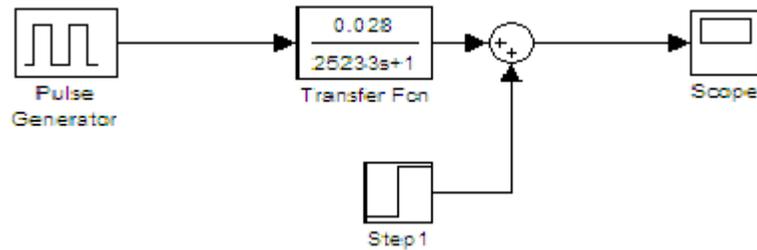
Termoresistencia  $110\Omega$



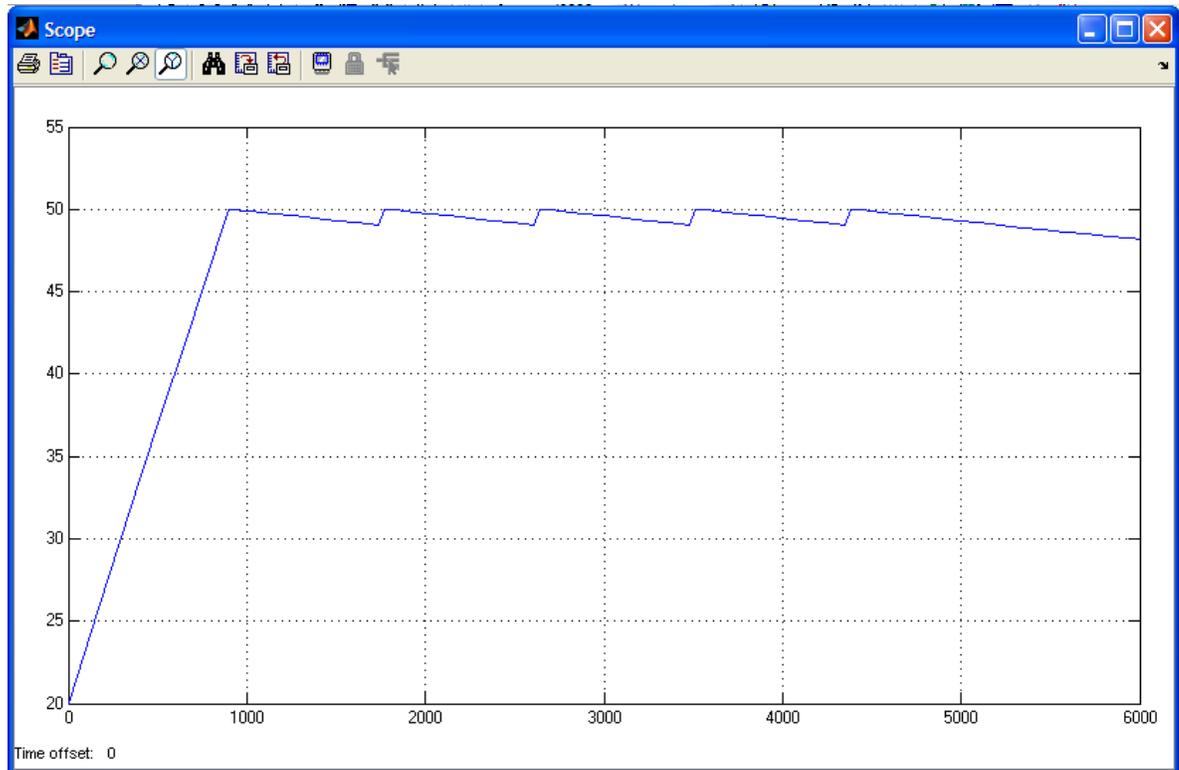


## ANEXO L. SIMULACIÓN TEMPERATURA

El diagrama representa el sistema térmico. "Pulse Generator", hace las veces del control de encendido del quemador, "Transfer Fcn", representa el comportamiento de la temperatura respecto a la cantidad de calor que provee el quemador y "Step 1", es el valor de la temperatura ambiente.

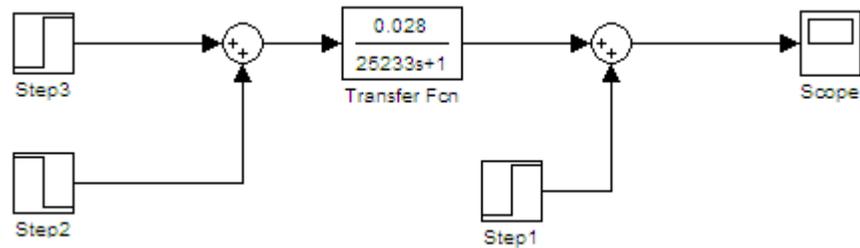


Comportamiento de la temperatura en el contenedor 2 a través del tiempo.

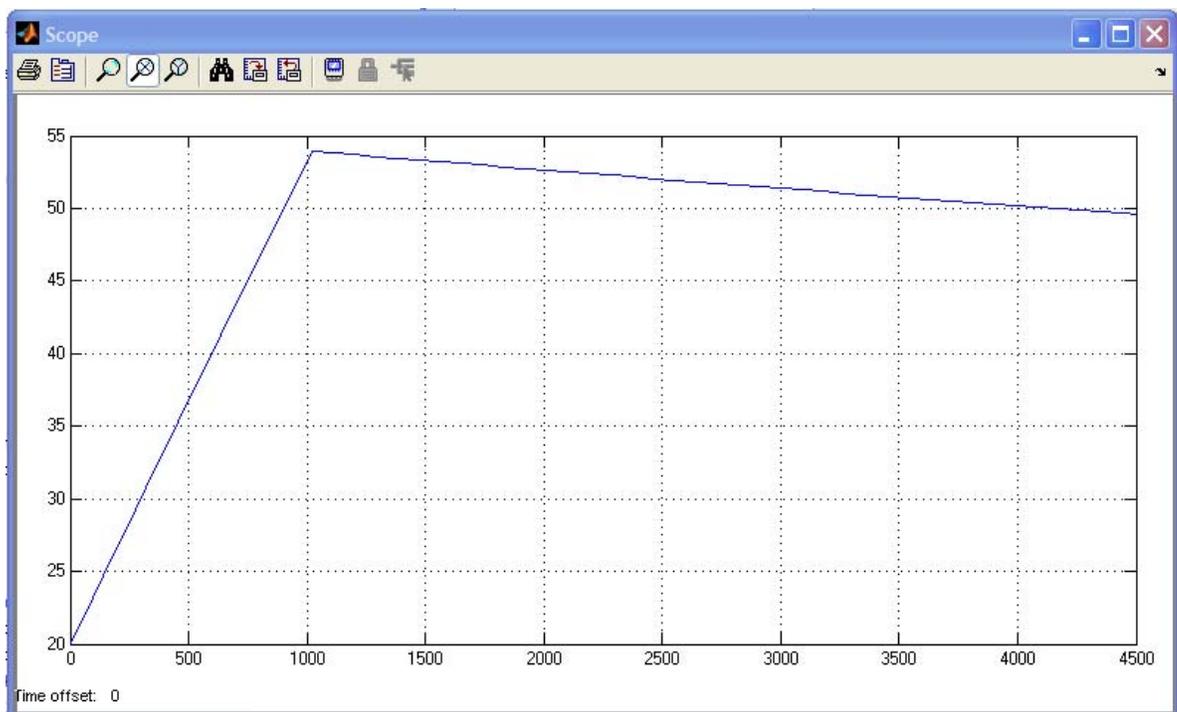


Se comprueba que el sistema alcanza los 50°C en 15 minutos (900s), 14 minutos (840s) después la temperatura a descendido aproximadamente a 49°C, en ese momento el quemador es encendido de nuevo y en tan sólo 30 segundos se alcanza de nuevo la temperatura de proceso, 50°C. La operación se repite a lo largo de 1 hora (ente 900s y 4500s).

Para simular la segunda opción de control de temperatura, que no requiere de un circuito adicional, se emplean: "Step 3" que es un encendido del quemador por 17 minutos, "Step 2" es un impulso que neutraliza el primero.



Comportamiento de la temperatura en el contenedor 2 a través del tiempo.



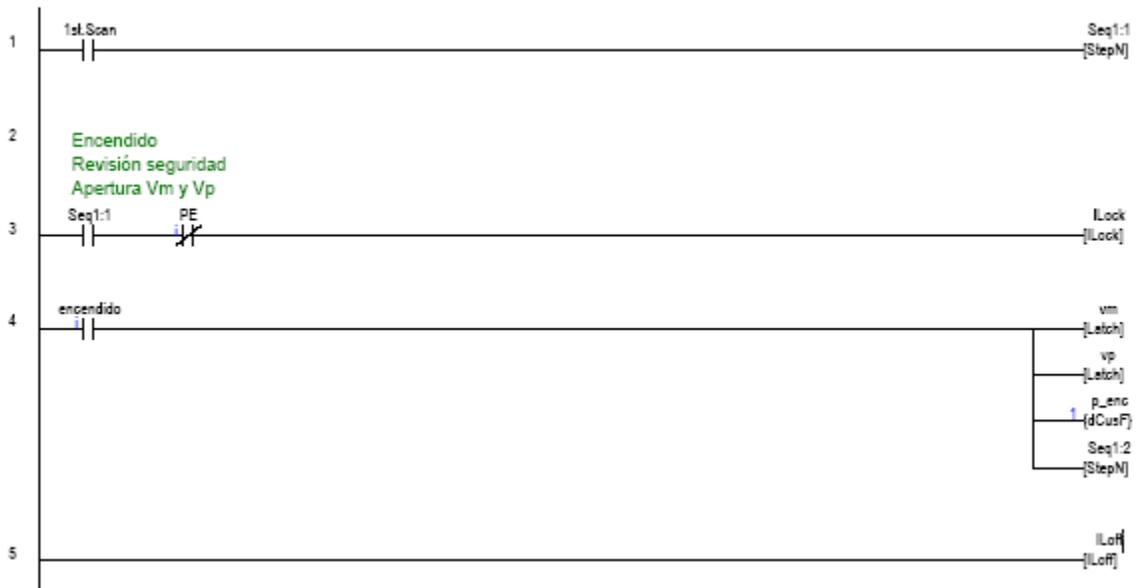
Como resultado de mantener el encendido del quemador dos (2) minutos más después de haber alcanzado la temperatura del proceso se obtiene una temperatura de 54°C. Se apaga el quemador y al cabo de una hora (4500s) la temperatura se ha mantenido por encima de los 50°C.

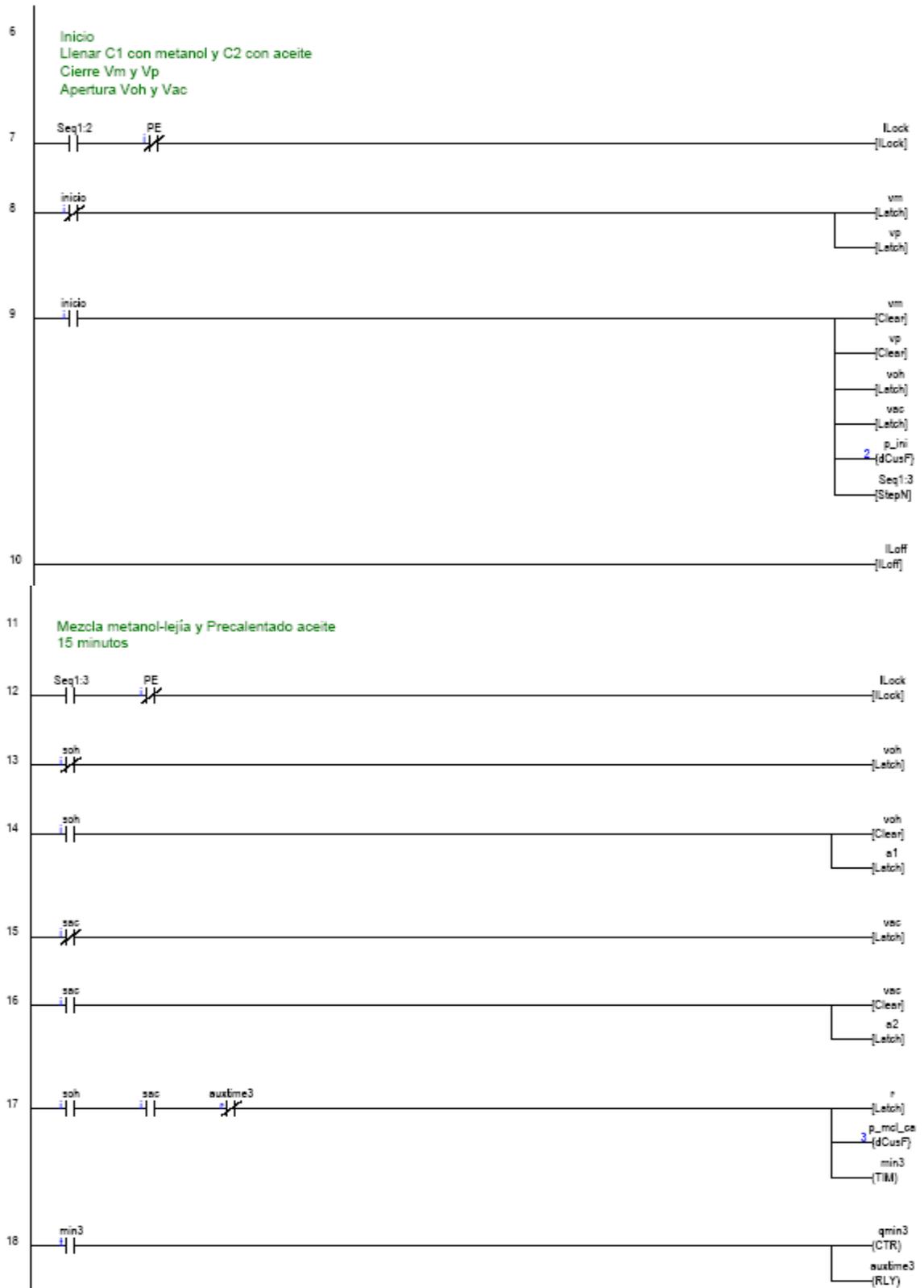
## ANEXO M. CODIFICACIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL

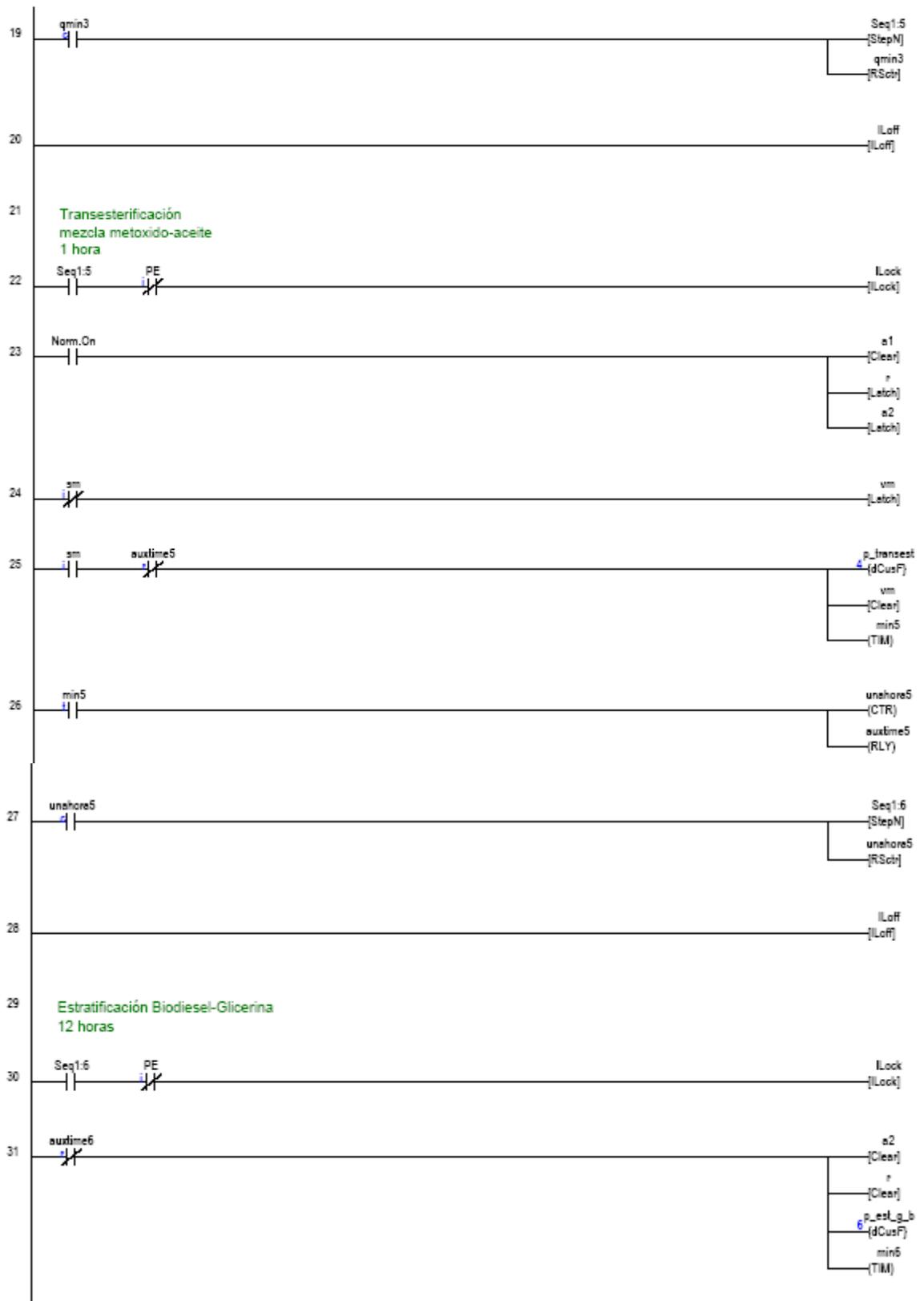
Tabla de entradas/salidas

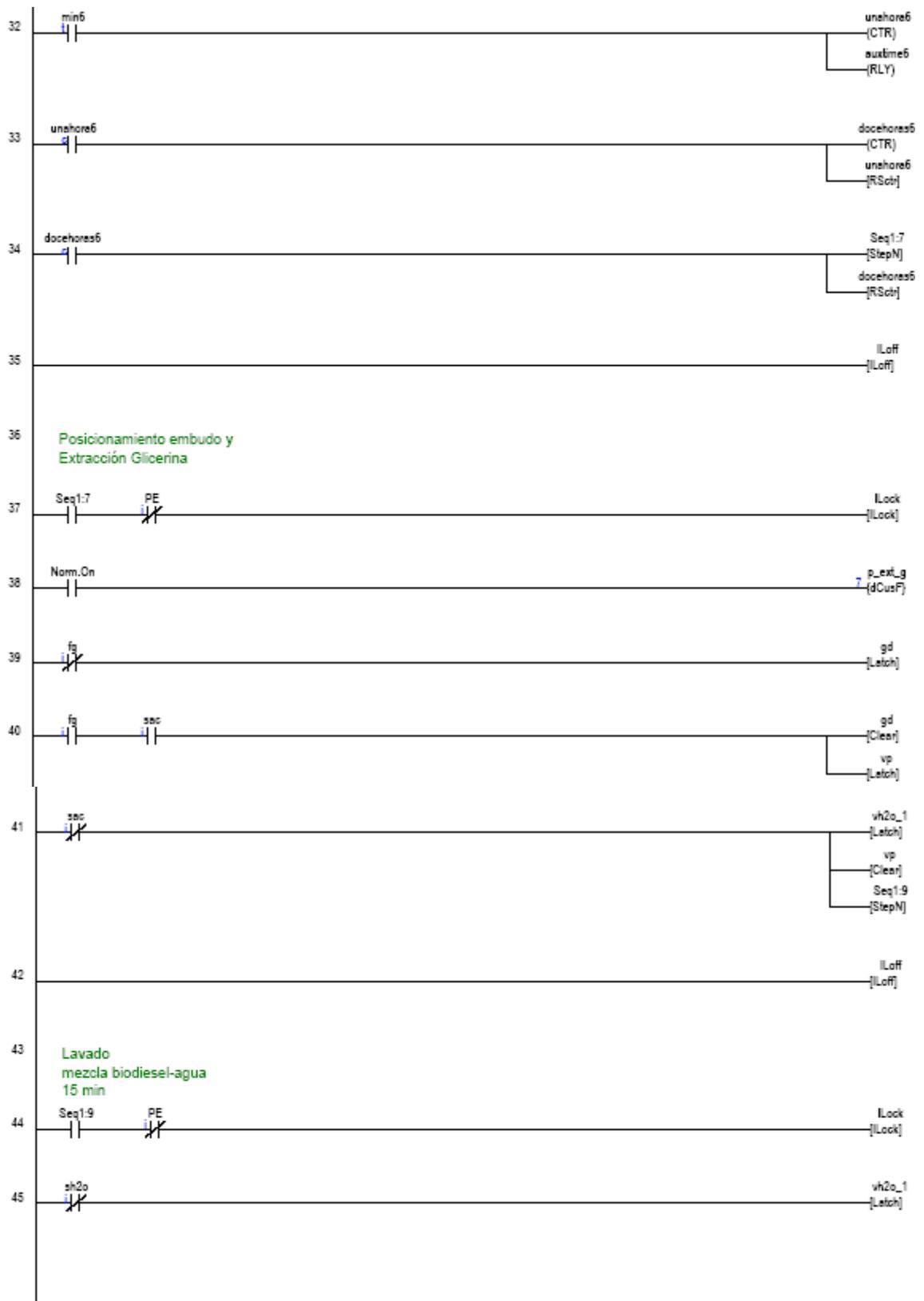
I/O #	Inputs	Outputs	Relays	Relay+256	Timers	S.V.	Counters	S.V.
1	encendido	a1	auxtime3		min3	600	Seq1	13
2	inicio	a2	auxtime5		min5	600	qmin3	15
3	soh	r	auxtime6		min6	600	unahora5	60
4	sh2o	voh	auxtime9		min9	600	unahora6	60
5	sm	vac	auxtime10		min10	600	docehoras6	12
6	sac	vh2o_1	auxtime12		min12	600	qmin9	15
7	fg	vm					unahora10	60
8	fb	vp					unahora12	60
9	fa	gd						
10	PE	gi						
11	PP	LPE						

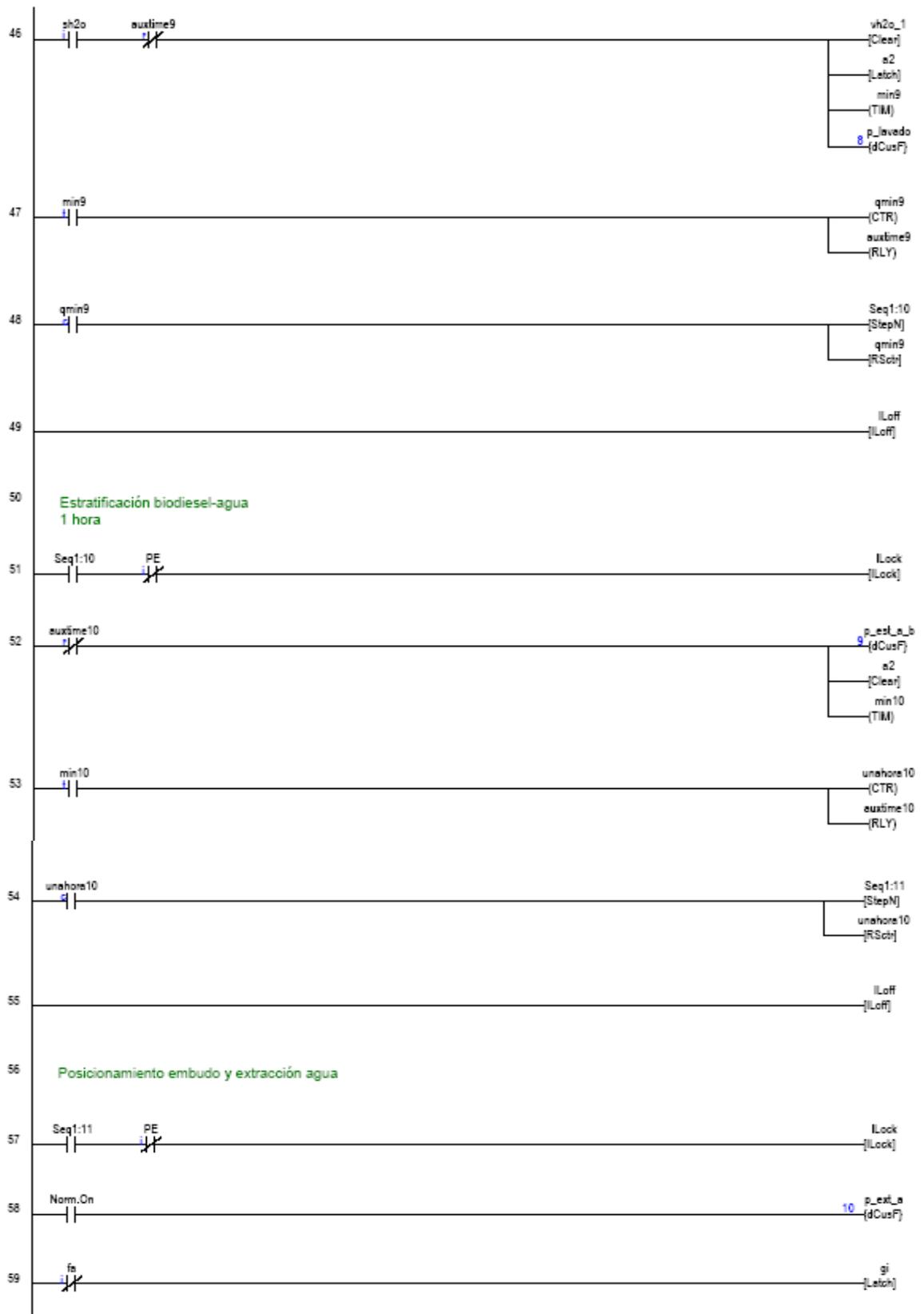
Codificación en lenguaje “Leader” de “TRiLOGI 5.3”

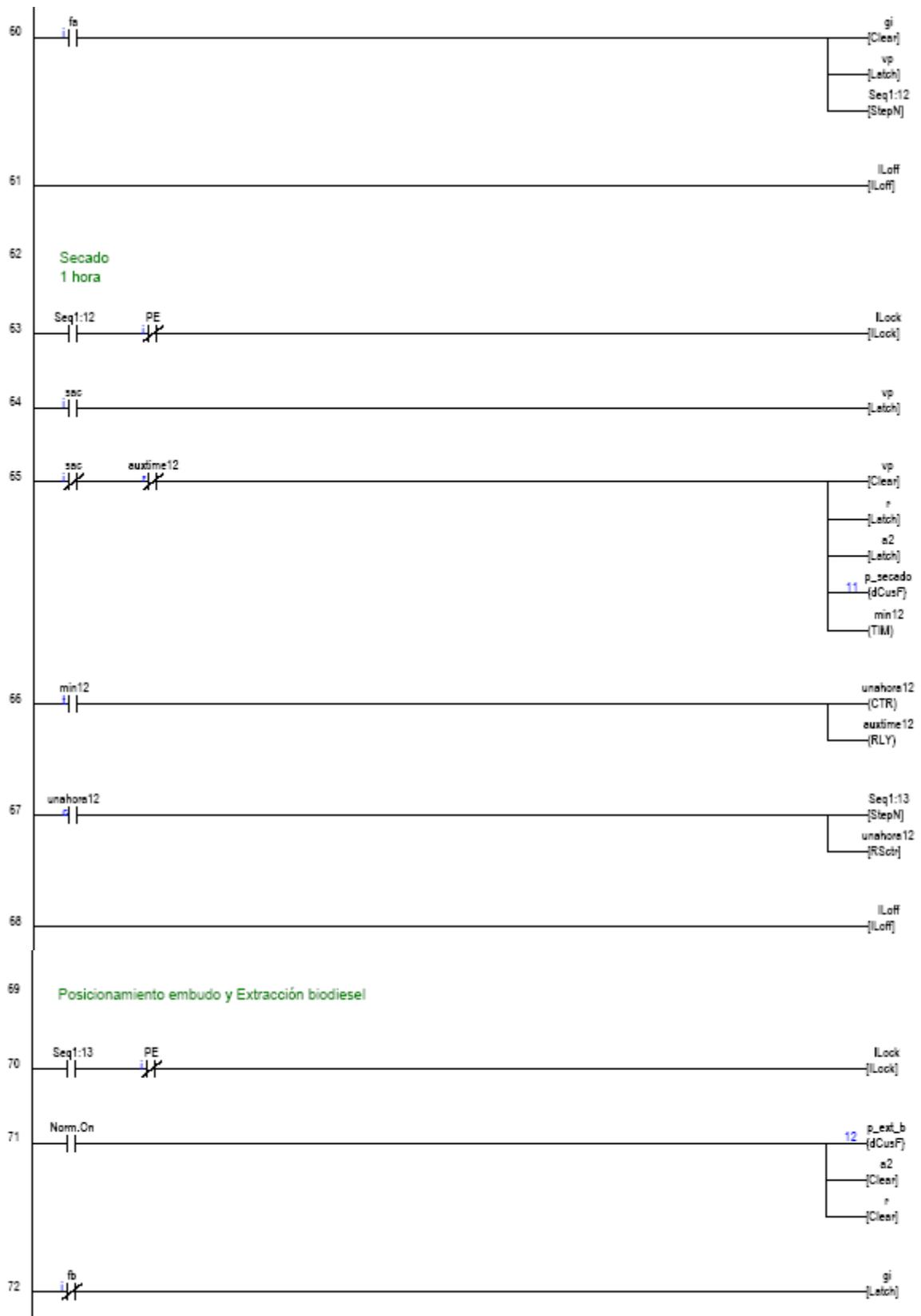


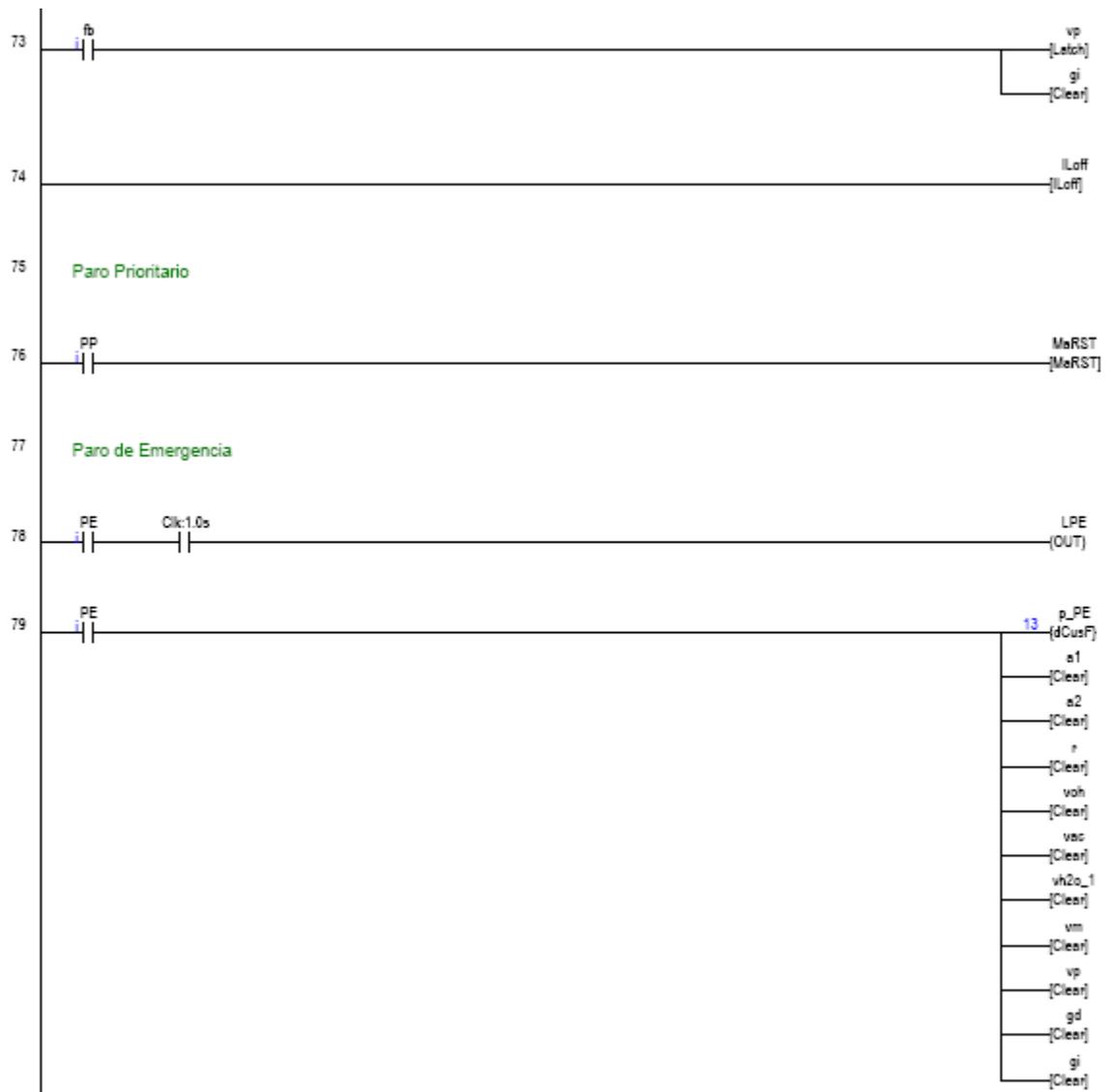












Codificación en “Custom Function” en lenguaje “TBASIC” de “TRiLOGI 5.3”

```

1 p_enc
SETLCD 0,1,CHR$(1)
SETLCD 1,10,"Producción de Biodiesel"
SETLCD 2,1,"Encendido"

```

```

2 p_ini
SETLCD 0,1,CHR$(1)
SETLCD 1,10,"Producción de Biodiesel"
SETLCD 2,1,"Inicio"

```

**3****p\_mol\_ca**

```

SETLCD 0,1,CHR$(1)
SETLCD 1,10,"Producción de Biodiesel"
SETLCD 2,1,"Mezcla Metanol+Lejía"
SETLCD 3,1,"Precalentado aceite"
if CtrPV[2]=-1
SETLCD 4,1,"Tiempo restante "+str$(GetCtrSV(2))+" min"
else
SETLCD 4,1,"Tiempo restante "+str$(CtrPV[2])+" min"
endif

```

**4****p\_transest**

```

SETLCD 0,1,CHR$(1)
SETLCD 1,10,"Producción de Biodiesel"
SETLCD 2,1,"Transesterificación"
if CtrPV[3]=-1
SETLCD 4,1,"Tiempo restante "+str$(GetCtrSV(3))+" min"
else
SETLCD 4,1,"Tiempo restante "+str$(CtrPV[3])+" min"
endif

```

**6****p\_est\_g\_b**

```

SETLCD 0,1,CHR$(1)
SETLCD 1,10,"Producción de Biodiesel"
SETLCD 2,1,"Estratificación"
SETLCD 3,1,"Biodiesel / Glicerina"
SETLCD 3,1,"Biodiesel / Glicerina"
if CtrPV[5]=-1
if CtrPV[4]=-1
DSETLCD 4,1,"Tiempo restante "+str$(GetCtrSV(5)-1)+" horas "+str$(GetCtrSV(4))+" min"
Else
DSETLCD 4,1,"Tiempo restante "+str$(GetCtrSV(5)-1)+" horas "+str$(CtrPV[4])+" min"
endif
else
if CtrPV[4]=-1
DSETLCD 4,1,"Tiempo restante "+str$(CtrPV[5]-1)+" horas "+str$(GetCtrSV(4))+" min"
Else
DSETLCD 4,1,"Tiempo restante "+str$(CtrPV[5]-1)+" horas "+str$(CtrPV[4])+" min"
endif
endif
endif

```

**7****p\_ext\_g**

```

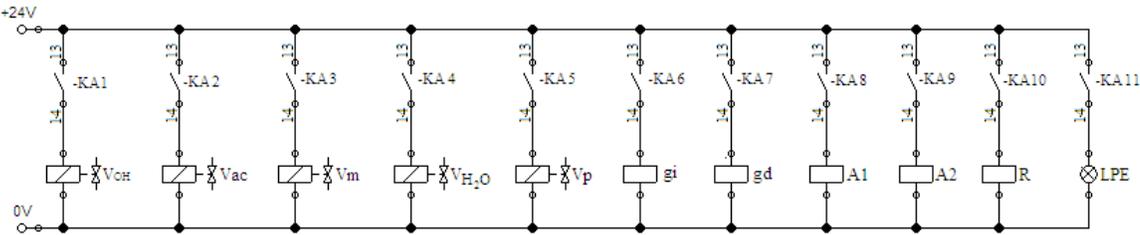
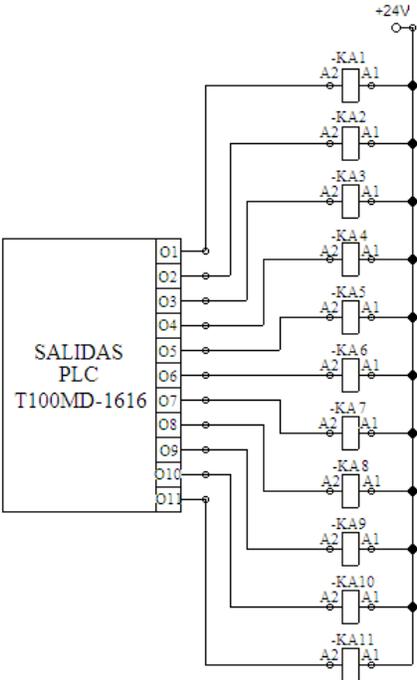
SETLCD 0,1,CHR$(1)
SETLCD 1,10,"Producción de Biodiesel"
SETLCD 2,1,"Extracción Glicerina"

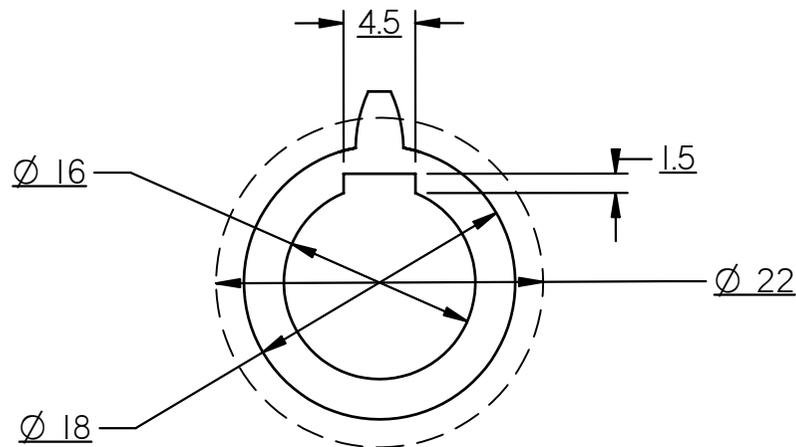
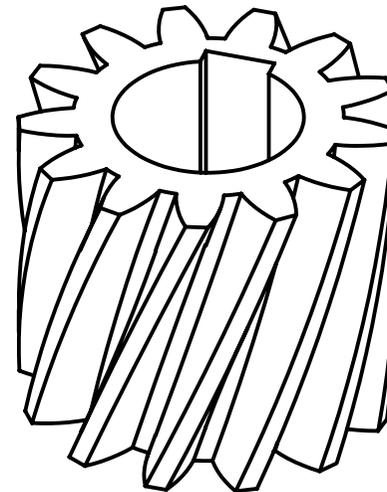
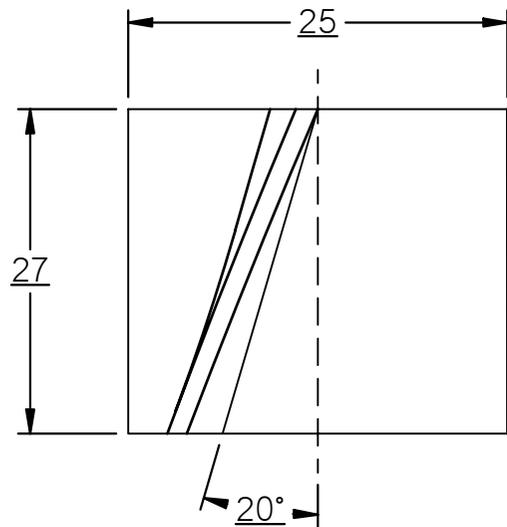
```

<b>8</b>	p_lavado
<pre> SETLCD 0,1,CHR\$(1) SETLCD 1,10,"Producción de Biodiesel" SETLCD 2,1,"LAVADO" if CtrPV[6]==-1 SETLCD 4,1,"Tiempo restante "+str\$(GetCtrSV(6))+" min" else SETLCD 4,1,"Tiempo restante "+str\$(CtrPV[6])+" min" endif </pre>	
<b>9</b>	p_est_a_b
<pre> SETLCD 0,1,CHR\$(1) SETLCD 1,10,"Producción de Biodiesel" SETLCD 2,1,"Estratificación" SETLCD 3,1,"Biodiesel / Agua" if CtrPV[7]==-1 SETLCD 4,1,"Tiempo restante "+str\$(GetCtrSV(7))+" min" else SETLCD 4,1,"Tiempo restante "+str\$(CtrPV[7])+" min" endif </pre>	
<b>10</b>	p_ext_a
<pre> SETLCD 0,1,CHR\$(1) SETLCD 1,10,"Producción de Biodiesel" SETLCD 2,1,"Extracción agua" </pre>	
<b>11</b>	p_secado
<pre> SETLCD 0,1,CHR\$(1) SETLCD 1,10,"Producción de Biodiesel" SETLCD 2,1,"SECADO" if CtrPV[8]==-1 SETLCD 4,1,"Tiempo restante "+str\$(GetCtrSV(8))+" min" else SETLCD 4,1,"Tiempo restante "+str\$(CtrPV[8])+" min" endif </pre>	
<b>12</b>	p_ext_b
<pre> SETLCD 0,1,CHR\$(1) SETLCD 1,10,"Producción de Biodiesel" SETLCD 2,1,"Extracción Biodiesel" </pre>	
<b>13</b>	p_PE
<pre> SETLCD 4,1,"      DETENIDO      " </pre>	

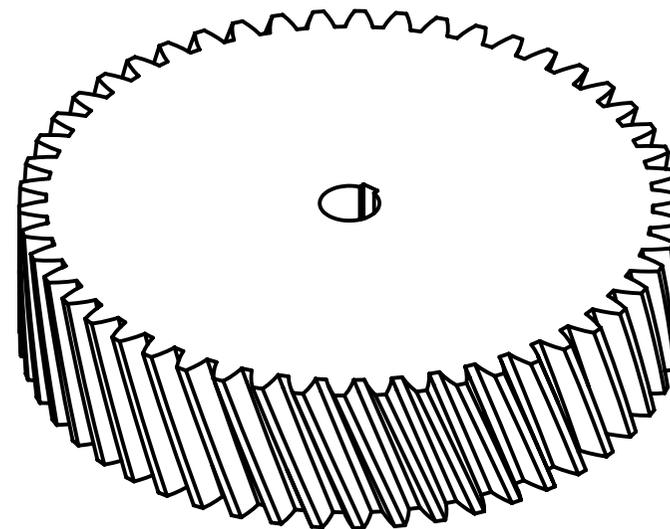
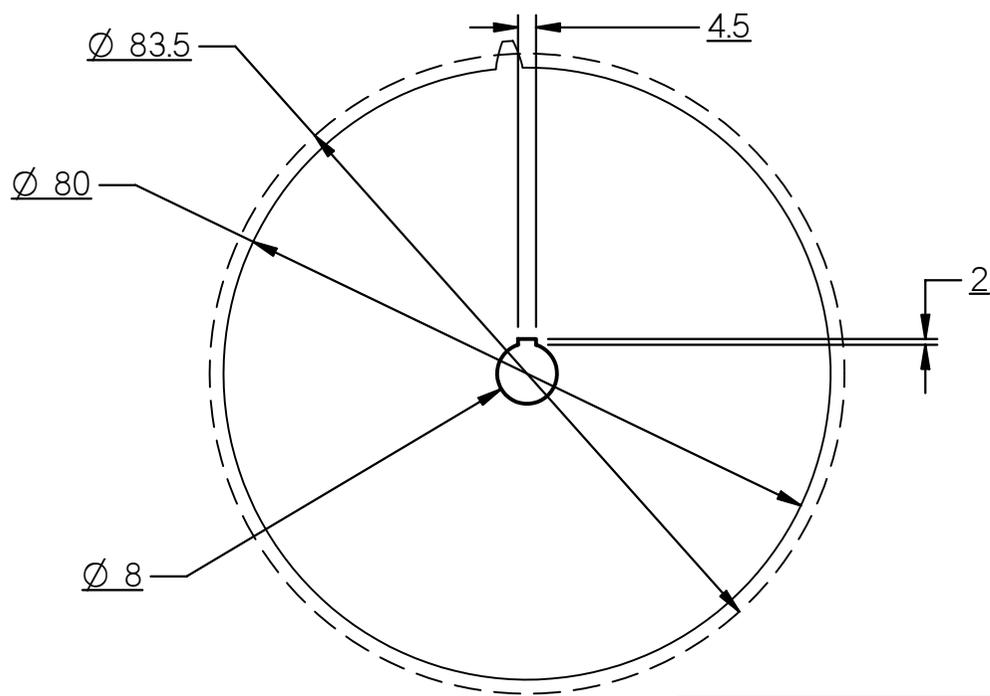
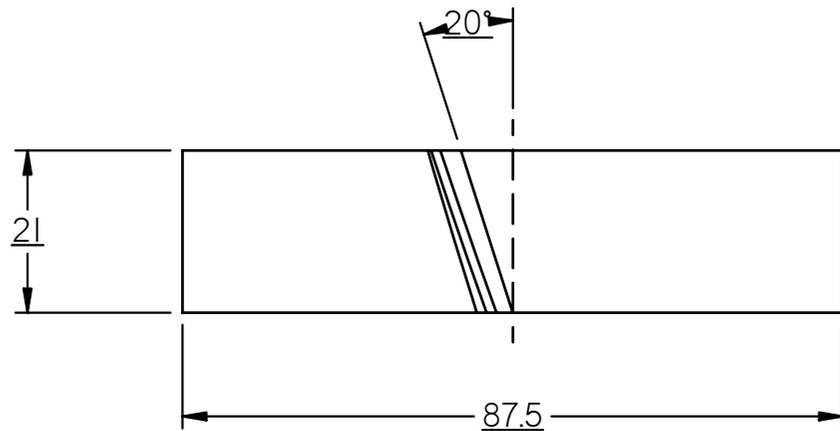


# ANEXO N. CONEXIÓN DE SALIDAS DEL PLC



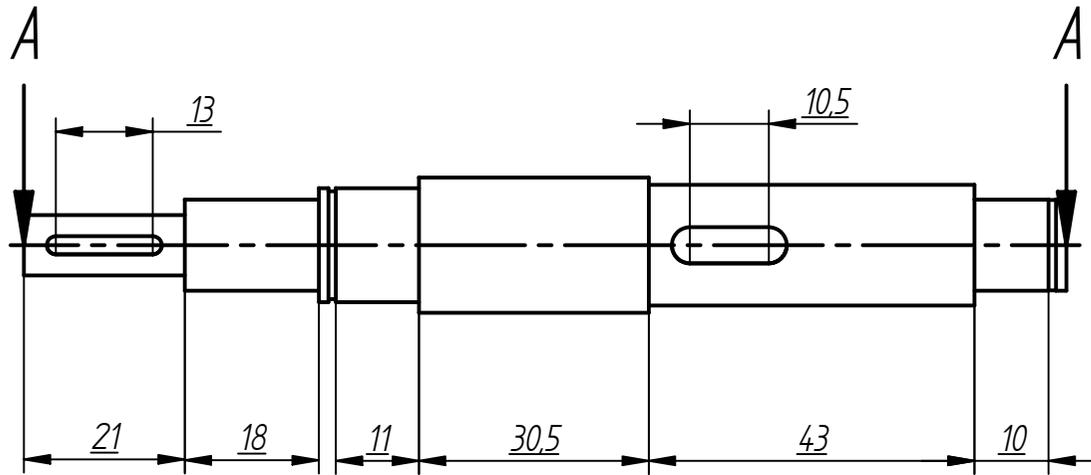
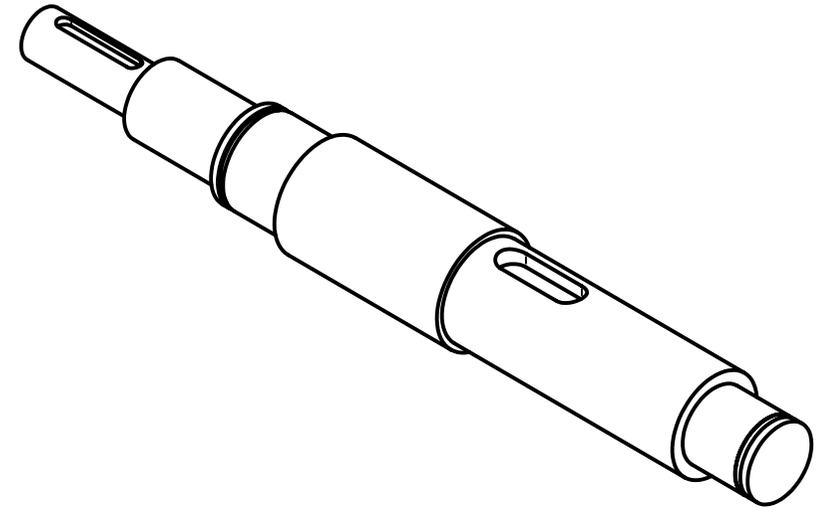
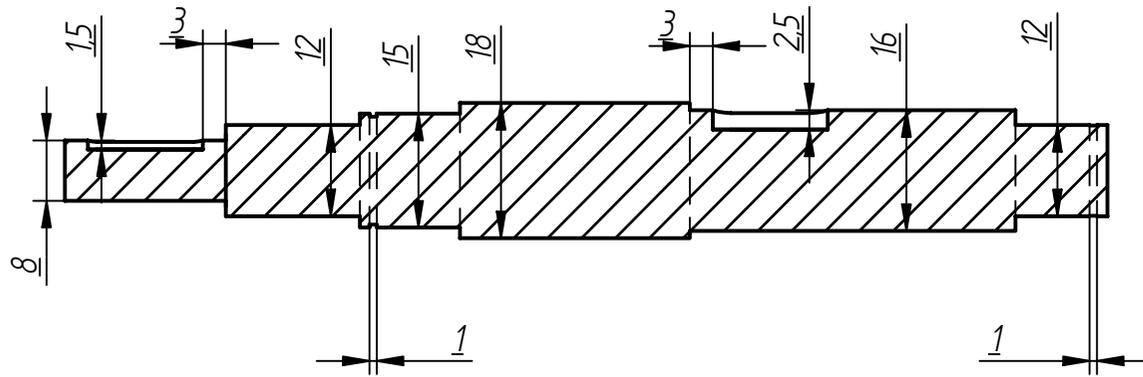


Diego Fernando Tobar Soler		DISEÑO DE UNA PLANTA TIPO AUTOMÁTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL NUEVO		
Unuversidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería		PROYECTO DE GRADO		
Programa de Ingeniería Mecatrónica		Piñón Helicoidal - 13 Dientes - Pitch 16		
Escala: 2:1	Unidades en mm	Tolerancia = 0,5		

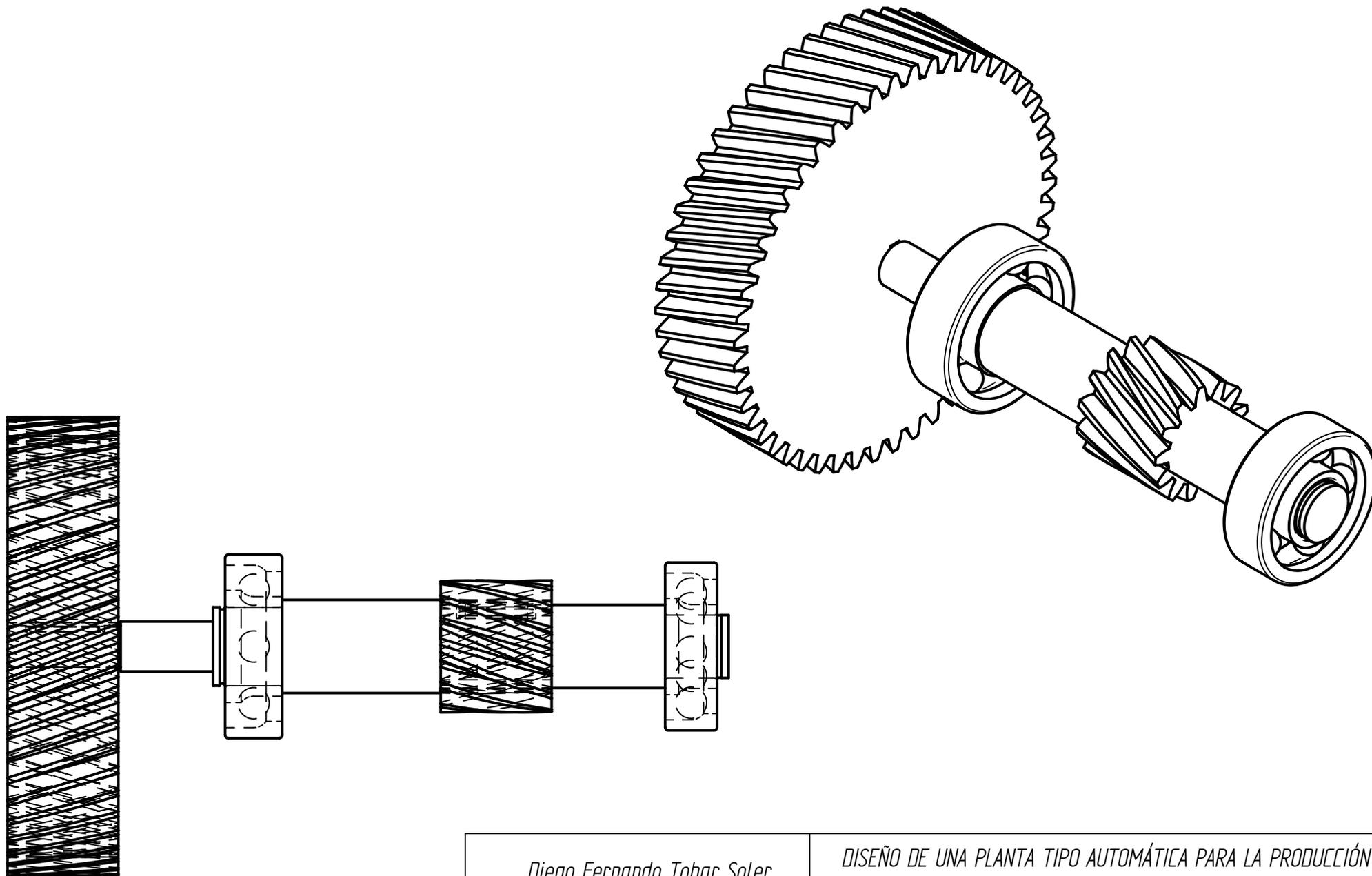


Diego Fernando Tobar Soler		DISEÑO DE UNA PLANTA TIPO AUTOMÁTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL NUEVO	
Unuversidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería		PROYECTO DE GRADO	
Programa de Ingeniería Mecatrónica		Rueda Helicoidal - 50 Dientes - Pitch 16	
Escala: 1:1	Unidades en mm	Tolerancia = 0,5	

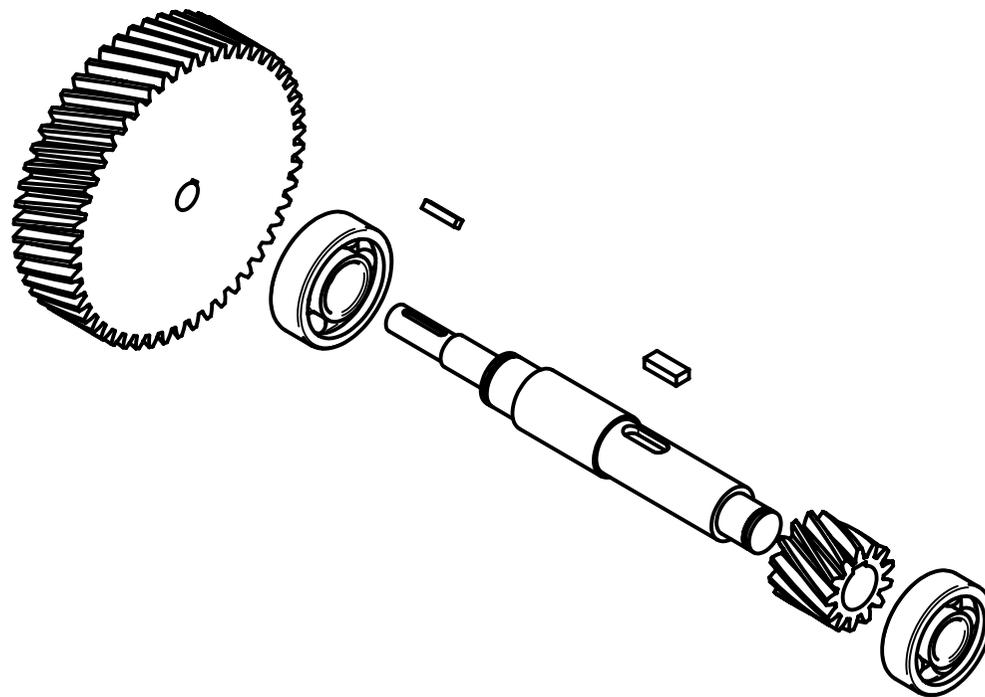
# CORTE A-A



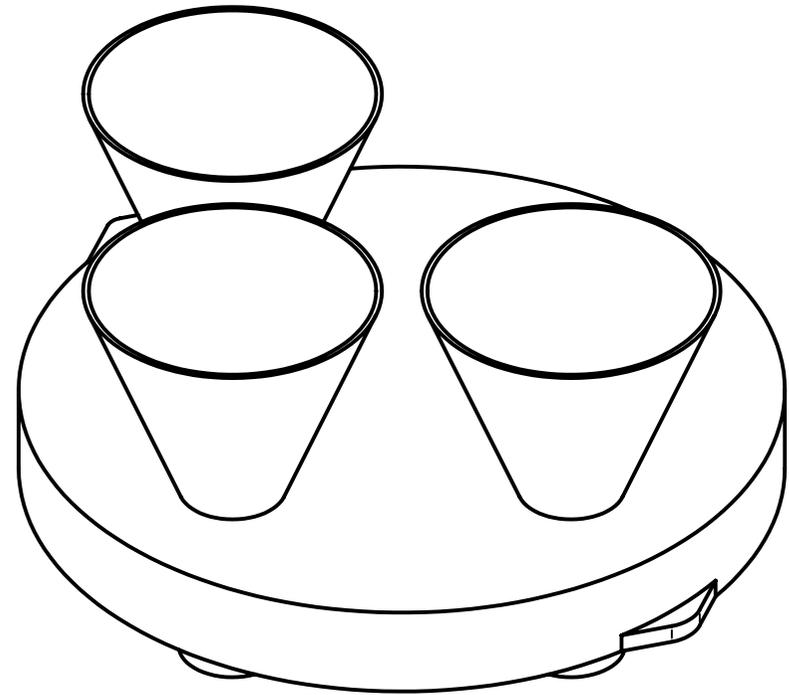
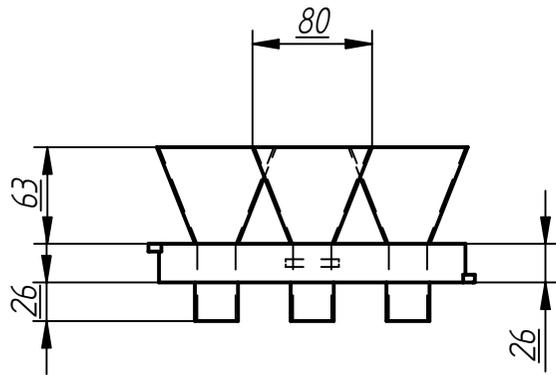
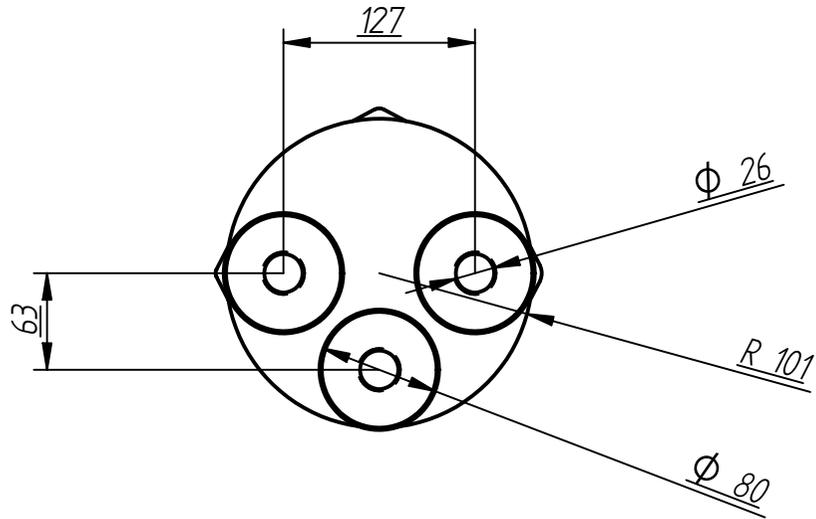
Diego Fernando Tobar Soler	DISEÑO DE UNA PLANTA TIPO AUTOMÁTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL NUEVO			
Unuversidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería	PROYECTO DE GRADO			
Programa de Ingeniería Mecatrónica	Flecha			
Escala: 1:1	Unidades en mm	Tolerancia = 0,5		



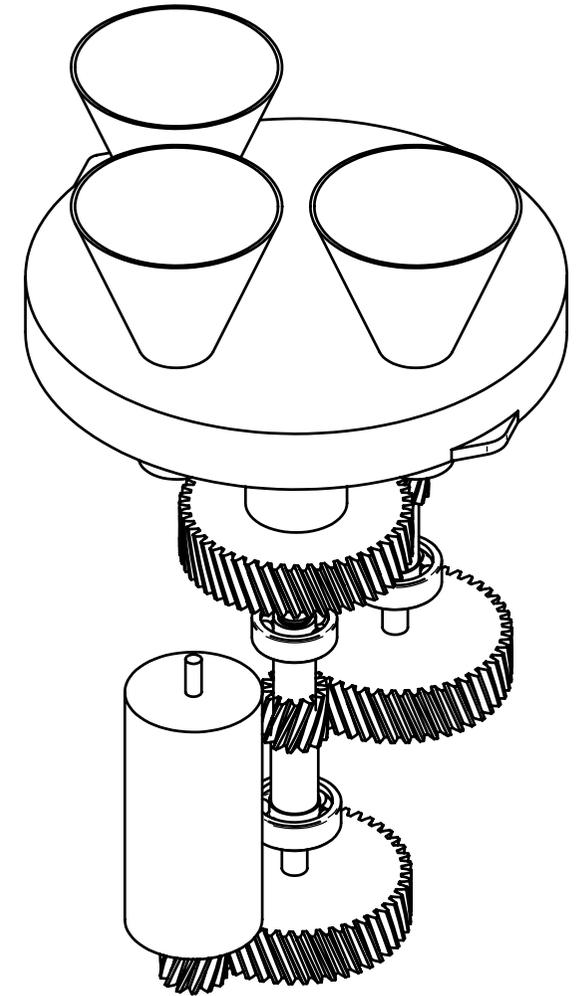
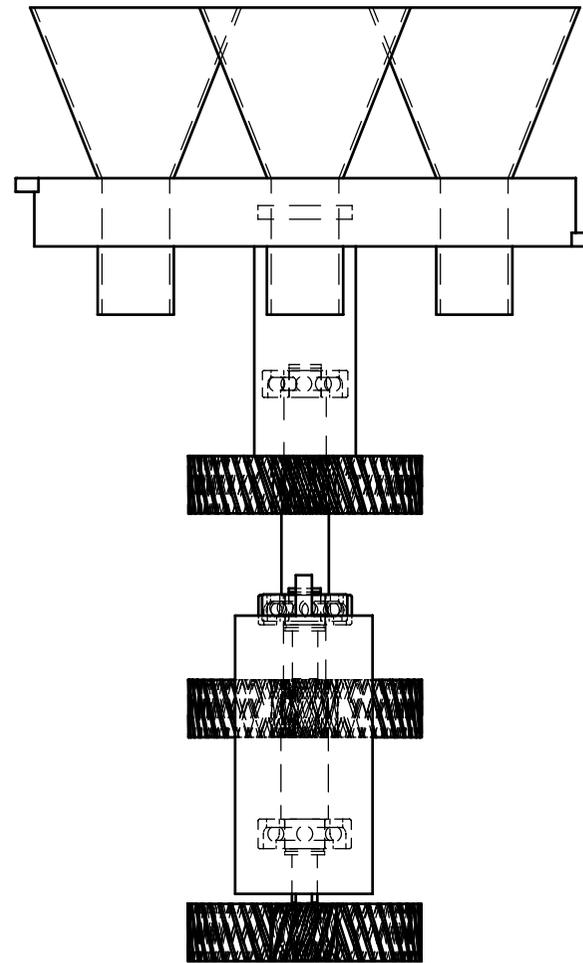
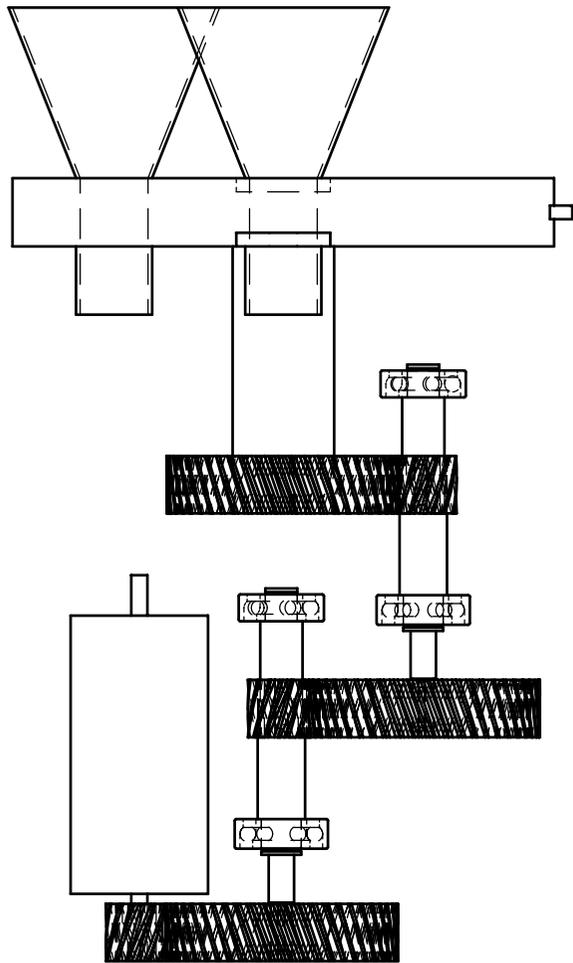
<p><i>Diego Fernando Tobar Soler</i></p>	<p><i>DISEÑO DE UNA PLANTA TIPO AUTOMÁTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL NUEVO</i></p>		
<p><i>Unuversidad de San Buenaventura</i></p>	<p><i>PROYECTO DE GRADO</i></p>		
<p><i>Facultad de Ingeniería</i></p>	<p><i>Reductor</i></p>		
<p><i>Programa de Ingeniería Mecatrónica</i></p>	<p><i>Escala: 1:1</i></p>	<p><i>Unidades en</i></p>	



<i>Diego Fernando Tobar Soler</i>	<i>DISEÑO DE UNA PLANTA TIPO AUTOMÁTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL NUEVO</i>		
<i>Unuversidad de San Buenaventura</i>	<i>PROYECTO DE GRADO</i>		
<i>Facultad de Ingeniería</i>	<i>Reductor en explosión</i>		
<i>Programa de Ingeniería Mecatrónica</i>	<i>Escala: 1:2</i>	<i>Unidades en</i>	

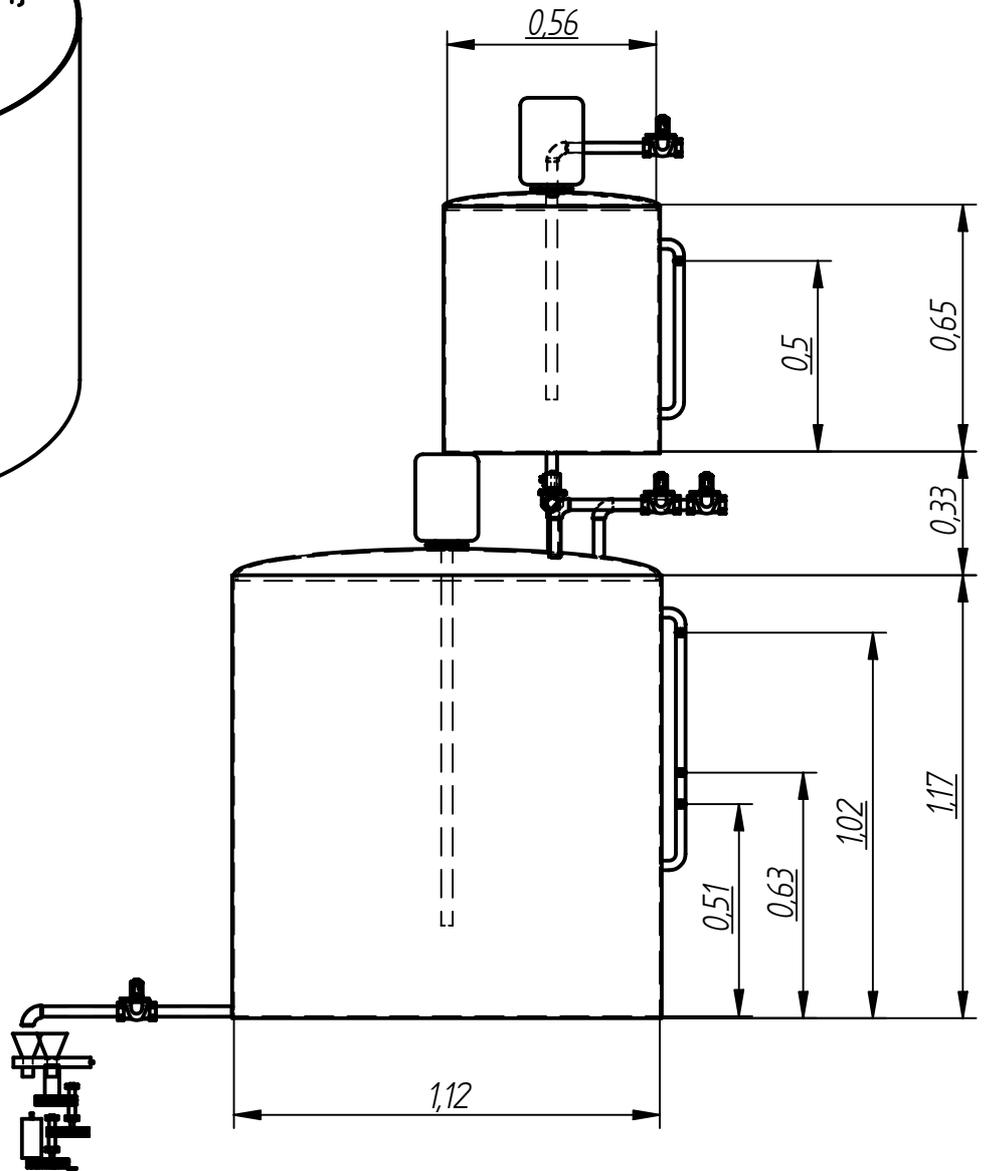
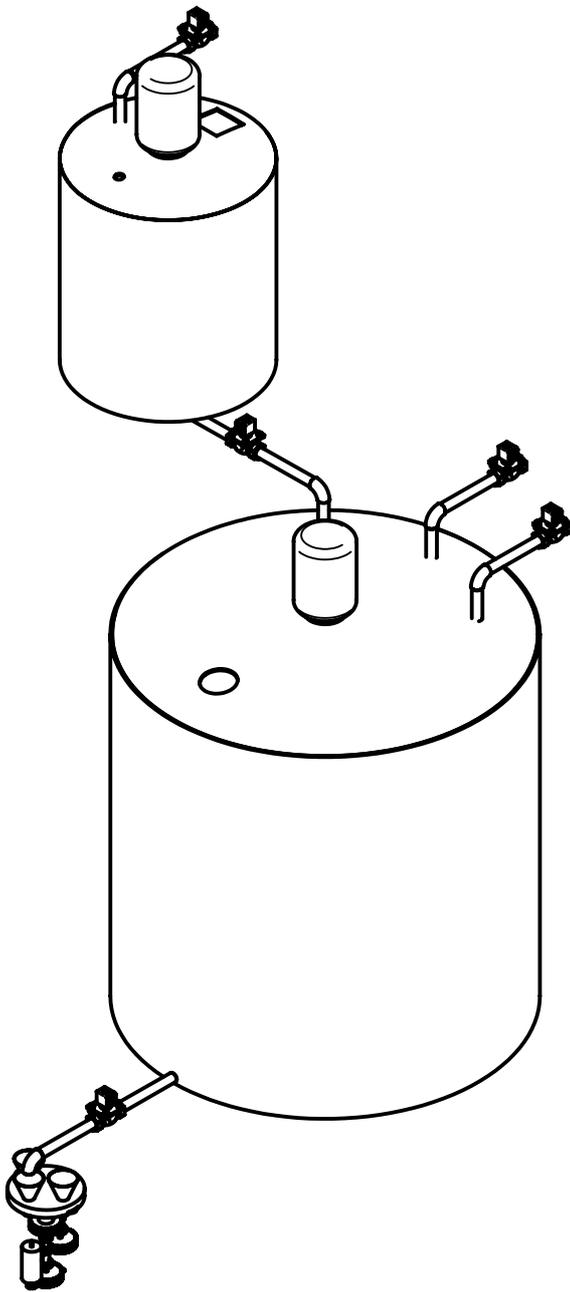


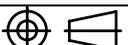
Diego Fernando Tobar Soler		DISEÑO DE UNA PLANTA TIPO AUTOMÁTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL NUEVO		
Unuversidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería		PROYECTO DE GRADO		
Programa de Ingeniería Mecatrónica		Embudos		
Escala: 1:2	Unidades en mm	Tolerancia = 0,5		

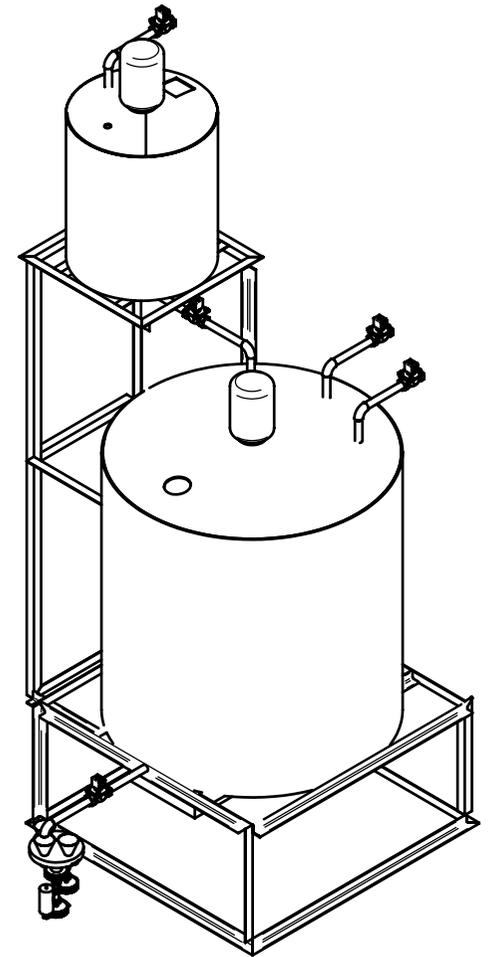
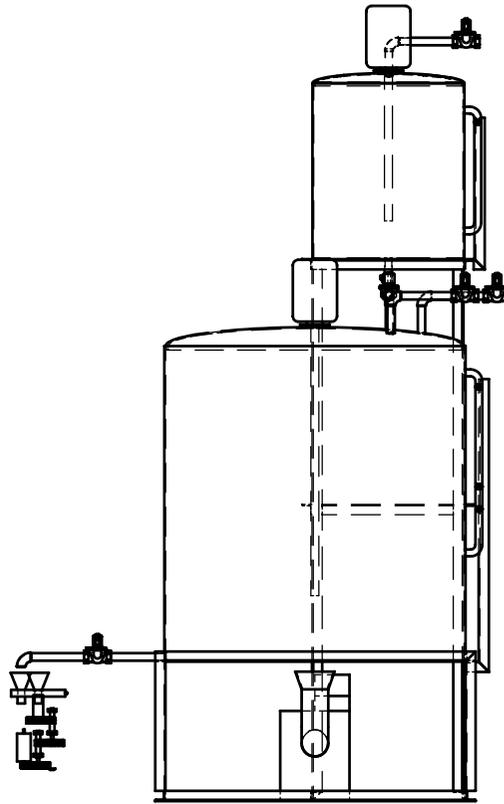
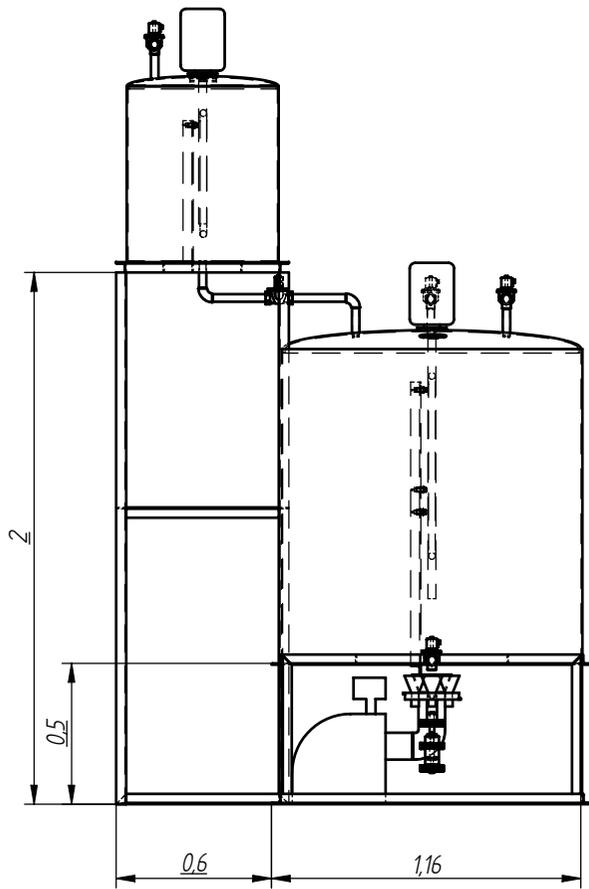


SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Diego Fernando Tobar Soler	DISEÑO DE UNA PLANTA TIPO AUTOMÁTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL NUEVO		
Universidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Mecatrónica	PROYECTO DE GRADO DISTRIBUIDOR		
Escala: 1:2	DIN A3 Horizontal		



Diego Fernando Tobar Soler	DISEÑO DE UNA PLANTA TIPO AUTOMÁTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL NUEVO		
Unuversidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería	PROYECTO DE GRADO		
Programa de Ingeniería Mecatrónica	Escala: 1:20	Plantas tipo Unidades en m	



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Diego Fernando Tobar Soler	DISEÑO DE UNA PLANTA TIPO AUTOMÁTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL NUEVO		
Universidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Mecatrónica	PROYECTO DE GRADO		
	Planta tipo		
Escala: 1:20	Unidades en m		

<i>Diego Fernando Tobar Soler</i>	<i>DISEÑO DE UNA PLANTA TIPO AUTOMÁTICA PARA LA PRODUCCIN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL NUEVO</i>		
<i>Unuversidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Mecatrónica</i>	<i>PROYECTO DE GRADO</i>		
	<i>DISTRIBUIDOR</i>		
	<i>Escala: 1:4</i>	<i>Unidades en</i>	<i>ISO - A</i>