



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

**“AUTOMATIZACIÓN DE UN REACTOR TIPO BATCH PARA LA
OBTENCIÓN DE BIODIESEL EN EL LABORATORIO DE PROCESOS
INDUSTRIALES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTORES: JONATAHN PAÚL CAMPOS CASTELO
JUAN PABLO RODRÍGUEZ FREIRE

TUTOR: ING. MARCO ANTONIO VITERI BARRERA

Riobamba – Ecuador

2016

©2016, Jonatahn Paúl Campos Castelo, Juan Pablo Rodríguez Freire

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el **Derecho de Autor**.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: “AUTOMATIZACIÓN DE UN REACTOR TIPO BATCH PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL EN EL LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS”, de responsabilidad de los señores JONATAHN PAÚL CAMPOS CASTELO y JUAN PABLO RODRÍGUEZ FREIRE, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna E. DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Freddy Chávez V. DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES	_____	_____
Ing. Marco Viteri B. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Edwin Altamirano.S. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____
NOTA:	_____	

“Nosotros, **JONATAHN PAÚL CAMPOS CASTELO** y **JUAN PABLO RODRÍGUEZ FREIRE** somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”.

Jonatahn Paúl Campos Castelo

Juan Pablo Rodríguez Freire

DEDICATORIA

Este Trabajo de Titulación se lo dedico a Dios quién me guio en este duro caminar, proveerme de poder para continuar y no flaquear ante los problemas, educándome para resolver las calamidades.

Agradezco a toda mi familia. A mis padres especialmente a mi madre por su apoyo incondicional y amor en los momentos difíciles. Por soportarme, y ser una ejemplo de superación en todo momento. A mis hermanas Mariela y Samantha gracias por estar conmigo siempre, las quiero mucho.

A mis profesores y amigos que estuvieron a lo largo de mi carrera por brindarme sus experiencias y conocimientos para poder formarme como profesional.

JONATAHN

DEDICATORIA

A Jehová mi Dios, por permitirme el privilegio de disfrutar de la vida junto a los seres que más aprecio, por darme la fortaleza para vencer mis miedos, por ayudarme a librar cada batalla exitosamente. A mis amados padres Carlos Humberto y Mery Cheli por educarme con el ejemplo, los buenos consejos y la vara de la disciplina cuando ha sido oportuno. A mis hermanos Sandra Paulina y Carlos Fabián por ser mis mejores amigos. A mi sobrino Thomasito, el que se roba mis abrazos y me regala su angelical sonrisa.

A quienes siempre confiaron en mí: profesores, familia y a los entrañables amigos.

JUAN PABLO

AGRADECIMIENTO

Agradecemos primero a Dios por permitirnos la vida y disfrutar de este momento. A nuestras familias por su apoyo incondicional. A nuestra gloriosa ESPOCH por forjarnos como profesionales comprometidos con la sociedad, a nuestros estimados profesores por compartir sus conocimientos y experiencias.

A los colegas Marco Viteri, Byron Casignia y Edwin Altamirano por sus enseñanzas impartidas y su colaboración en el desarrollo de este trabajo de titulación.

A nuestros amigos por los logros y fracasos compartidos en el transcurso de nuestra formación académica.

JONATAHN Y JUAN PABLO

TABLA DE CONTENIDO

DERECHO DE AUTOR	ii
HOJA DE CERTIFICACIÓN	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vii
TABLA DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xix
RESUMEN	xxi
SUMARY	xxii
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES.....	2
CAPÍTULO I	
1 MARCO TEÓRICO	6
1.1 El Biodiesel	6
1.1.1 <i>Introducción</i>	6
1.1.2 <i>Producción de biodiesel</i>	6
<i>1.1.2.1</i> <i>Ventajas</i>	7
<i>1.1.2.2</i> <i>Desventajas</i>	13

1.1.3	<i>Proceso de transesterificación</i>	8
1.1.4	<i>Usos y aplicaciones del biodiesel</i>	9
1.2	Reactor	10
1.2.1	<i>Introducción</i>	10
1.2.2	<i>Tipos de reactores</i>	11
<i>1.2.2.1</i>	<i>Según el modo de operación</i>	11
<i>1.2.2.2</i>	<i>Según el tipo de flujo interno</i>	11
<i>1.2.2.3</i>	<i>Según las fases que albergan</i>	11
1.2.3	<i>Proceso discontinuo o batch</i>	11
1.2.4	<i>Agitación</i>	12
<i>1.2.4.1</i>	<i>Tipo de mezcladores</i>	13
<i>1.2.4.2</i>	<i>Diseño de agitadores</i>	15
1.2.5	<i>Trampa de vapor</i>	15
<i>1.2.5.1</i>	<i>Uso de las trampas de vapor</i>	16
<i>1.2.5.2</i>	<i>Requerimientos de las trampas de vapor</i>	16
<i>1.2.5.3</i>	<i>Funciones de las trampas para vapor</i>	17
<i>1.2.5.4</i>	<i>Clasificaciones de las trampas de vapor</i>	17
1.3	Sistema eléctrico	18
1.3.1	<i>Introducción</i>	18
1.3.2	<i>Conceptos básicos</i>	18
<i>1.3.2.1</i>	<i>Motores eléctricos</i>	18
<i>1.3.2.2</i>	<i>Bomba de agua</i>	19
<i>1.3.2.3</i>	<i>Fuente de alimentación</i>	20
1.4	Sistema electrónico	20
1.4.1	<i>Introducción</i>	20

1.4.2	<i>Conceptos básicos</i>	21
1.4.2.1	<i>El controlador lógico programable (PLC)</i>	21
1.4.2.2	<i>Módulos de entrada analógica</i>	22
1.4.2.3	<i>Módulos de entrada digital</i>	23
1.4.2.4	<i>Módulos de salida digital</i>	23
1.4.2.5	<i>Electroválvula</i>	24
1.4.2.6	<i>PT100</i>	24
1.4.2.7	<i>Relé</i>	25
1.4.2.8	<i>Sensores</i>	26
1.4.2.9	<i>Dispositivos para control y mando</i>	28
1.4.2.10	<i>Diseño de tableros de control</i>	29
1.5	Programación e interfaces	30
1.5.1	<i>Introducción</i>	30
1.5.2	<i>Conceptos básicos</i>	31
1.5.2.1	<i>Lenguajes de programación</i>	31
1.5.2.2	<i>Diagrama de contactos</i>	32
1.5.2.3	<i>Diagrama de funciones</i>	32
1.5.2.4	<i>GRAFCET</i>	33
1.5.2.5	<i>HMI (Interfaz hombre máquina)</i>	34
1.6	Sistemas de control	35
 CAPÍTULO II		
2	MARCO METODOLÓGICO	37
2.1	Fases del proceso de obtención del biodiesel	37
2.2	Automatización del reactor	38

2.3	Diseño y selección de hardware	39
2.3.1	<i>Descripción de modificaciones en el reactor</i>	39
2.3.1.1	<i>Limpieza del reactor y tuberías.</i>	39
2.3.1.2	<i>Vaciado del vapor condensado, instalación de una trampa de vapor.....</i>	39
2.3.1.3	<i>Incorporación de la estructura para el gabinete eléctrico.....</i>	40
2.3.1.4	<i>Colocación de un nuevo tanque secundario, sensores de nivel.....</i>	40
2.3.1.5	<i>Construcción de las aspas para el motor agitador.....</i>	41
2.3.2	<i>Selección de dispositivos de control y sensores.....</i>	42
2.3.2.1	<i>Pulsadores</i>	42
2.3.2.2	<i>Luces piloto.....</i>	42
2.3.2.3	<i>Sensor de temperatura PT100</i>	43
2.3.3	<i>Selección de PLC y módulo de funciones especiales (Board BD)</i>	44
2.3.3.1	<i>Características del PLC seleccionado.....</i>	44
2.3.3.2	<i>Selección y características del módulo de funciones especiales (Board BD)</i>	45
2.3.4	<i>Selección de la fuente externa</i>	47
2.3.5	<i>Diseño e implementación del gabinete eléctrico</i>	47
2.3.5.1	<i>Conexiones, dimensionamiento de conductores y protecciones</i>	47
2.4	Diseño del software	52
2.4.1	<i>Diseño de la solución para la automatización</i>	52
2.4.1.1	<i>Diagramas GRAFCET.....</i>	52
2.4.1.2	<i>Entradas digitales y analógicas del PLC</i>	53
2.4.1.3	<i>Salidas del PLC</i>	54
2.4.1.4	<i>Asignación de memorias</i>	54
2.4.1.5	<i>Asignación de tiempos</i>	55
2.4.1.6	<i>Asignación de registros</i>	56

2.5	Interfaz Hombre Máquina (HMI)	57
2.5.2	<i>Pantallas: principal y de selección</i>	57
2.6	Procedimiento químico	61
2.6.1	<i>Equipo de protección individual</i>	61
2.6.2	<i>Limpieza del equipo</i>	62
2.6.3	<i>Filtrado de impurezas</i>	63
2.6.4	<i>Preparación del reactivo y catalizador</i>	63
2.6.4.1	<i>Metanol</i>	63
2.6.4.1	<i>Hidróxido de sodio</i>	63
2.6.4.3	<i>Mezcla de los reactivos</i>	64

CAPÍTULO III

3	MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	66
3.1	Resultados, análisis y discusión.	66
3.1.1	<i>Sistema de Agitación</i>	66
3.1.2	<i>Modificaciones en el Reactor</i>	69
3.1.3	<i>Reactor Manual vs Reactor Automatizado</i>	70
3.1.3.1	<i>Manipulación directa del reactor</i>	70
3.1.3.2	<i>Análisis y comparaciones de tiempos por cada etapa</i>	71
3.1.3.3	<i>Análisis y comparaciones de tiempos del proceso completo</i>	74
3.1.4	<i>Características Físico-Químicas</i>	75
3.1.4.1	<i>Aceite de cocina usado</i>	76
3.1.4.2	<i>Glicerina</i>	76
3.1.4.3	<i>Biodiesel</i>	76
3.1.5	<i>Rendimiento del reactor automatizado</i>	76

3.2	Marco de Resultados	77
	CONCLUSIONES.	80
	RECOMENDACIONES.	81
	BIBLIOGRAFÍA.	
	ANEXOS.	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Tipos de Mezcladores.....	14
Tabla 1-2:	Fases del proceso de obtención del biodiesel.....	37
Tabla 2-2:	Características de la trampa de vapor.....	40
Tabla 3-2:	Características de las electroválvulas de CC.....	41
Tabla 4-2:	Descripción de entradas al PLC.....	44
Tabla 5-2:	Descripción de salidas del PLC.....	44
Tabla 6-2:	Características del PLC Xinje XC3-24R-E.....	45
Tabla 7-2:	Detalle de la carga instalada.....	50
Tabla 8-2:	Elementos del gabinete.....	51
Tabla 9-2:	Asignación de entradas digitales del PLC.....	54
Tabla 10-2:	Asignación de las salidas del PLC.....	54
Tabla 11-2:	Asignación de memorias en el PLC.....	55
Tabla 12-2:	Asignación de temporizadores en el PLC.....	56
Tabla 13-2:	Asignación de registros en el PLC.....	56
Tabla 1-3:	Manipulación antes y después de la automatización.....	70
Tabla 2-3:	Tiempos del reactor en operación manual.....	73
Tabla 3-3:	Tiempos del reactor automatizado.....	74
Tabla 4-3:	Caracterización del aceite de fritura.....	76
Tabla 5-3:	Caracterización de la glicerina.....	76
Tabla 6-3:	Caracterización del biodiesel.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Ciclo de generación del biodiesel.....	6
Figura 2-1	Reacciones generales de la transterificación	9
Figura 3-1	Automóvil que funciona con biodiesel	10
Figura 4-1	Reactor tipo batch.....	12
Figura 5-1	Tipo de mezcladores	13
Figura 6-1	Mezcladores.....	15
Figura 7-1	Trampa de vapor	17
Figura 8-1	Motor eléctrico.....	18
Figura 9-1	Bomba de agua.....	19
Figura 10-1	Esquema de una fuente externa de CC.....	20
Figura 11-1	Esquema general de una fuente.....	20
Figura 12-1	PLC (Xinje)	21
Figura 13-1	Módulos de salida digital	23
Figura 14-1	Dentro del PLC	23
Figura 15-1	Electroválvula.....	24
Figura 16-1	PT100.....	25
Figura 17-1	Relé.....	26
Figura 18-1	Tipo de sensores.....	26
Figura 19-1	Sensor de nivel.....	27
Figura 20-1	Paro de emergencia.....	28
Figura 21-1	Tablero eléctrico.....	30
Figura 22-1	Lenguajes de programación.....	31
Figura 23-1	Funciones combicionales básicas.....	33
Figura 24-1	Diagrama de Contactos	34
Figura 25-1	HMI	34
Figura 26-1	Esquema general de un sistema.....	34
Figura 27-1	Esquema general de un sistema de control.....	36
Figura 1-2	Limpieza del reactor	39
Figura 2-2	Vaciado del condesado, trampa de vapor	40
Figura 3-2	Arreglos en el reactor.....	41
Figura 4-2	Sistema de agitación	42

Figura 5-2	Pulsadores y luces piloto	43
Figura 6-2	Sensor PT100 y electroválvula de vapor.....	43
Figura 7-2	PLC Xinje XC3-24R-E	45
Figura 8-2	Comportamiento de señales analógicas en la BD	46
Figura 9-2	Tarjeta de funciones especiales XC-2AD2PT	46
Figura 10-2	Fuente Autonics 24VDC	47
Figura 11-2	Conexión PT100.....	48
Figura 12-2	Tabla para selección de conductores	49
Figura 13-2	Esquema de encendido y apagado del tablero	50
Figura 14-2	Diagrama de conexiones del PLC	51
Figura 15-2	Gabinete eléctrico.....	52
Figura 16-2	Diagramas GRAFCET según etapas.....	53
Figura 17-2	Pantalla de presentación	58
Figura 18-2	Pantalla de selección.....	58
Figura 19-2	Pantalla de modo automático	59
Figura 20-2	Pantalla de modo manual	59
Figura 21-2	Pantalla de ingreso de temperatura en modo manual	60
Figura 22-2	Pantallas modo manual para cada fase.....	60
Figura 23-2	Ingreso tiempo de agitación.....	61
Figura 24-2	Equipo de protección individual empleado	62
Figura 25-2	Reactor de biodiesel limpio	62
Figura 26-2	Aceite de fritura filtrado.....	63
Figura 27-2	Envases de metanol	63
Figura 28-2	Pesado del NaOH	64
Figura 29-2	Mezcla de metóxido.....	65
Figura 1-3	Sistema de agitación antiguo	67
Figura 2-3	Motor agitador y circuito de control.....	68
Figura 3-3	Motor agitador 24 VDC	69
Figura 4-3	Reactor manual	69
Figura 5-3	Reactor automatizado	70
Figura 6-3	Consumo de corriente del reactor.....	77

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3	Tiempos en carga de aceite y eliminación de agua.....	71
Gráfico 2-3	Tiempos en la fase de transesterificación.....	72
Gráfico 3-3	Tiempos en la fase de decantación.....	72
Gráfico 4-3	Tiempos en la fase de lavado	73
Gráfico 5-3	Tiempo en la producción del biodiesel.....	75

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** PROGRAMACIÓN EN XCPRO PLC
- ANEXO B.** DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO
- ANEXO C.** ESQUEMA DE CONEXIONES DEL PLC
- ANEXO D.** PROGRAMACIÓN DEL HMI
- ANEXO E.** MANUAL DE PROCEDIMIENTOS
- ANEXO F.** ILUSTRACIÓN DEL REACTOR DE BIODIESEL
- ANEXO G.** PANEL DE CONTROL
- ANEXO H.** HOJA DE SEGURIDAD DEL BIODIESEL

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

PLC	Controlador Lógico Programable
HMI	Interfaz Hombre Máquina
NaOH	Hidróxido de Sodio
KOH	Hidróxido de Potasio
rpm	Revoluciones por Minuto
RTD	Distribución de edad del Fluido
A/D	Analógico / Digital
AC	Corriente Alterna
DC	Corriente Directa
° C	Grados Centígrados
GRAFCET	Gráfico Funcional de Comando Etapas y Transiciones
CC	Corriente Continua
Kg	Kilogramo
m	Metro
VCA	Voltaje Corriente Alterna
VCD	Voltaje Corriente Directa
NC	Normalmente Cerrada
W	Watts
mm	Milímetros
V	Voltios
AWG	Calibre de Alambre Estadounidense
A	Amperio
PC	Computador Portátil
cm	Centímetro
PSI	Libra por pulgada cuadrada
Cp	Capacidad Calorífica
P	Potencia
μ	Viscosidad
p	Densidad
ml	Mililitros
cm	Centímetro

cSt	Viscosidad Dinámica
g	Gramo
API	American Petroleum Institute
J	Julio
K	Kelvin

RESUMEN

Se llevó a cabo la automatización del Reactor de biodiesel en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Se instaló un tablero con un Controlador Lógico Programable (PLC) junto a un módulo de expansión de entradas y salidas digitales que trabaja de acuerdo a la información receptada por los sensores, para un control en lazo cerrado. Se reemplaza los elementos manuales por sensores. El sensor de temperatura PT100, sirve para activar o desactivar una electroválvula. Los sensores de nivel controlan el ingreso del metóxido y del agua por medio de dos electroválvulas. Un motor accionado por un relé mantiene una agitación constante de los líquidos sin generar remolinos ni burbujas que afecten la calidad del biodiesel. Una bomba es accionada por un relé para el paso del biodiesel al reactor. A través de una pantalla táctil se ingresa y monitorea valores de tiempo y temperatura, variables fundamentales del proceso, se lo puede utilizar en modo automático y manual. Una vez implementado el sistema de control se realizaron pruebas para descartar posibles fallas, con la finalidad de tener un equipo operativo y seguro para mejorar la calidad del producto final y reducir considerablemente el tiempo de producción. La automatización permitió la reducción del tiempo en la fase de decantación en un 81,25%; lo que ayuda a que el tiempo de producción también se reduzca en un 65,22% comparado a las 11 horas y 30 minutos cuando el proceso era netamente manual, se presenta una mejora en la calidad del biodiesel, sin embargo, depende en gran medida de la calidad del aceite y la pureza de los reactivos químicos. Se recomienda a los estudiantes de la Facultad de Ciencias el uso del manual de operación antes de ponerlo en funcionamiento el equipo.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS>, <REACTOR DE BIODIESEL>, <PRODUCCIÓN DE BIODIESEL>, <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)>, <INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA (HMI)>, <ACEITE RECICLADO>

SUMMARY

It was carried out the automation of a biodiesel reactor in the Laboratory of Industrial Processes of the Faculty of Science at the Polytechnic School of Chimborazo. It settled a board with a programmable logic controller (PLC) with an expansion module of digital inputs and outputs which operate according to information received by the sensors, for a closed loop control. Manual elements are replaced by sensors. The temperature sensor PT100, serves to activate or deactivate a solenoid valve. Level sensors control the income of methoxide and water through two solenoid valves. A motor driven by a relay maintains constant agitation of liquid without generating eddies or bubbles that affect the quality of biodiesel. A pump is driven by a relay for the passage of biodiesel to the reactor. Through a touch screen time and temperature values are entered and monitored, fundamental variables of the process, it can be used in automatic and manual mode. Once implemented the control system, tests to rule out possible failures were performed in order to have safe operating equipment and to improve product quality and significantly reduce production time. Automating let reducing the time allowed in the decanting stage in 81.25%; which helps that the production time will also reduce in 65.22% compared to the 11 hours and 30 minutes when the process was purely manual, it presents an improvement in the quality of biodiesel, however, it depends largely of oil quality and purity of the chemical reagents. It is recommended to students of the Science Faculty to use of the operating manual before putting the equipment into operation.

KEY WORDS: <SCIENCE TECHNOLOGY AND ENGINEERING>, <AUTOMATIC CONTROL ENGINEERING>, <AUTOMATION OF PROCESS>, <BIODIESEL REACTOR>, <BIODIESEL PRODUCTION>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)>, <HUMAN-MACHINE INTERFACE (HMI)>, <RECYCLED OIL>

INTRODUCCIÓN

A través de los siglos el ser humano ha ido creando un conjunto de herramientas y máquinas de acuerdo a las necesidades que se presentaban y con el fin de facilitar su trabajo, de aquí nace la revolución industrial a través de la mecanización que fue una etapa necesaria para lograr la automatización de los procesos.

Las primeras máquinas sustituían el esfuerzo del ser humano, posteriormente por medio del uso de nuevas tecnologías estas máquinas fueron capaces de realizar un conjunto de tareas sustituyendo el trabajo del hombre.

La automatización industrial nació con la evolución de la electrónica y las computadoras las cuales son dos herramientas necesarias para un proceso automatizado. Para que un proceso sea autónomo debe tener estas dos herramientas de manera que se pueda controlar y el sistema pueda operar adecuadamente, en realidad los beneficios que proporciona un sistema automatizado son múltiples y cada día surgen nuevas aplicaciones y nuevos procesos.

Hoy en día gracias a la innovación y desarrollo de nuevas tecnologías es posible la automatización de procesos industriales implementados con el fin de mejorar el proceso de producción y generar un mercado competitivo.

Las empresas comerciales e industriales del Ecuador cuentan con sistemas autónomos capaces de facilitar el trabajo y obtener productos de calidad reduciendo costos e incrementando la producción.

Se ha visto cómo el calentamiento global va dañando la capa de ozono, es por ello, que se empiezan estudios para encontrar nuevas fuentes de energía cuyo impacto sea el mínimo en dicha capa. Una alternativa es la que se desarrolla en este trabajo de titulación y se refiere a la producción a pequeña escala del biodiesel. El mismo que puede ser una opción en el uso del diésel convencional.

ANTECEDENTES

En la búsqueda de fuentes de energía amigables con el ambiente, como el biodiesel, se han llevado a cabo pruebas piloto o producciones a pequeña escala en reactores tipo batch; este tipo de reactor consiste en un tanque con agitación que trabaja en estado no estacionario en el que se llevan a cabo reacciones químicas controladas para obtener el biodiesel.

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, en el Laboratorio de Procesos Industriales existe un reactor batch para obtener biodiesel a partir de aceite de cocina reciclado y presenta las siguientes características físicas de diseño: capacidad de 40 L, una altura nominal de 60 cm y un diámetro de 35 cm, además toda la estructura es construida en acero inoxidable AISI 304.

El equipo permite la obtención de biodiesel en un rendimiento del 35% en volumen y características favorables para la utilización en un motor de combustión en una mezcla B20 (biodiesel 20% _ 80% diésel).

Este reactor no se encontraba en operación debido a fallos eléctricos, no presentaba las condiciones mínimas de seguridad y todas las etapas del proceso se efectuaban de forma manual; todo esto impidió la utilización del equipo y no se podían realizar prácticas en este reactor con miras a complementar los conocimientos de los estudiantes que utilizan este laboratorio o realizar mejoras en la calidad del producto final.

La importancia de automatizar los procesos para la producción del biodiesel es el monitoreo y control de los mismos para lograr una mejor calidad del producto y la reducción del tiempo de producción; teniendo un equipo operativo y seguro.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo automatizar un reactor tipo batch para la obtención de biodiesel a partir de aceite de cocina reciclado?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son las condiciones y procesos para la elaboración de biodiesel a partir de aceite comestible de descarte?

¿Cómo efectuar el control de los procesos mediante un PLC y el monitoreo del reactor desde un HMI?

¿Cómo reducir el tiempo en la fase de decantación en al menos un 60%?

¿Cómo seleccionar los dispositivos eléctricos y electrónicos a utilizar para este tipo de proceso?

¿Cómo verificar y evaluar el rendimiento del reactor?

JUSTIFICACIÓN

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

En este reactor, el biodiesel se obtiene a partir de aceite de cocina reciclado mediante la transesterificación, que es un proceso químico a través del cual el aceite se combina con alcohol y un catalizador que puede ser Hidróxido de Sodio. La calidad del producto final depende en gran medida de variables como temperatura, tiempos de cada etapa y la agitación durante la reacción.

Este proyecto busca desarrollar la automatización del reactor para ponerlo en operación y mejorar la calidad del producto final. Para esto se empleará un PLC que es un controlador ampliamente utilizado en los procesos industriales y que realiza, entre otras, las siguientes funciones:

- Recoge datos provenientes de las fuentes de entrada sean éstas analógicas o digitales.
- Es capaz de tomar decisiones en base a condiciones programadas.
- Puede almacenar datos en su memoria.
- Genera ciclos de trabajo.
- Realiza cálculos matemáticos.

- Actúa sobre los dispositivos externos a través de sus salidas digitales o analógicas.

El HMI se utiliza para monitorear las variables y facilitar la interacción entre el usuario y el equipo.

Las electroválvulas son para control on/off tanto para el vapor que ingresa a la cámara de calefacción como para permitir el ingreso de los reactivos a la cámara de ebullición.

Se emplea un motor DC activado por un relé desde el PLC para manipular la velocidad de la agitación de los componentes.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

Con la automatización de este equipo se puede monitorear y controlar los procesos de producción para obtener el biodiesel. Para lo cual se utilizó un Controlador Lógico Programable que se encarga de tomar decisiones en base a los criterios programados.

El PLC permite el control de las siguientes variables: la temperatura, los tiempos en cada fase y el accionamiento del motor de agitación, electroválvulas, luces piloto.

El proceso de obtención del biodiesel se da por etapas o fases. La fase de eliminación de impurezas consiste en filtrar el aceite reciclado de forma manual y después, someterle a una temperatura de 100° C para eliminar el agua que podría contener.

En la fase de transesterificación se mezcla: el aceite, el alcohol metílico en proporción del 20% del volumen de aceite y 3.5 g de hidróxido de sodio por cada litro de aceite; esta mezcla se debe calentar a 58° C con una agitación rápida al inicio y lenta hacia el final de la reacción.

La siguiente fase es la decantación; la mezcla debe reposar al menos 8 horas para poder separar la glicerina y el biodiesel o en su defecto se puede dejar la mezcla en reposo, después de la reacción, pero manteniendo una temperatura sobre los 38°C lo cual permitiría la reducción del tiempo en esta fase.

Finalmente se encuentra la etapa de lavado y secado del biodiesel; consiste en separar los jabones del biocombustible lavándolo con agua a una proporción de 1/3 del volumen de aceite cargado y la

agitación es a bajas velocidades, el agua ingresa desde uno de los tanques secundarios; la mezcla debe permanecer en reposo para separar los líquidos. El combustible obtenido es calentado nuevamente a 100° C para eliminar el agua presente.

Utilizando un PT100 se realiza los controles de temperatura, se efectúa en lazo cerrado; el sensor de nivel permite detectar el nivel mínimo de reactivo para dar inicio a la fase de transesterificación o el nivel mínimo de agua para dar inicio a la fase de lavado. Las electroválvulas on/off facilitan el paso de vapor a la cámara de calefacción, así como el ingreso de los reactivos a la cámara de ebullición. El HMI permite al usuario el monitoreo e interacción con el reactor.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Automatizar un reactor tipo batch para la obtención de biodiesel en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar y establecer las características y parámetros de funcionamiento y operación del reactor de biodiesel.
- Realizar el control de los procesos mediante un PLC y el monitoreo del reactor desde un HMI.
- Lograr reducir el tiempo en el proceso de decantación.
- Seleccionar adecuadamente los dispositivos eléctricos y electrónicos que se emplearán en este tipo de proceso.
- Verificar y evaluar el rendimiento del reactor automatizado.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 El Biodiesel

1.1.1 Introducción

Se trata de un biocombustible que se obtiene por la transesterificación de triglicéridos (aceite). El producto obtenido es muy similar al gasóleo obtenido del petróleo (también llamado petrodiesel) y puede usarse en motores de ciclo diésel, aunque algunos motores requieren modificaciones. (BioDieselSpain, 2006. <http://www.biodieselspain.com>)

El biodiesel está compuesto por ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables, como aceites vegetales. Dicho en términos más simples: el biodiesel es un combustible de origen orgánico. El término bio hace referencia a su naturaleza renovable y biológica en contraste con el combustible diésel tradicional derivado del petróleo; por su parte, diésel alude a su uso en motores de este tipo. (Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiesel a pequeña escala, 2008, pág. 7).

1.1.2 Producción de Biodiesel

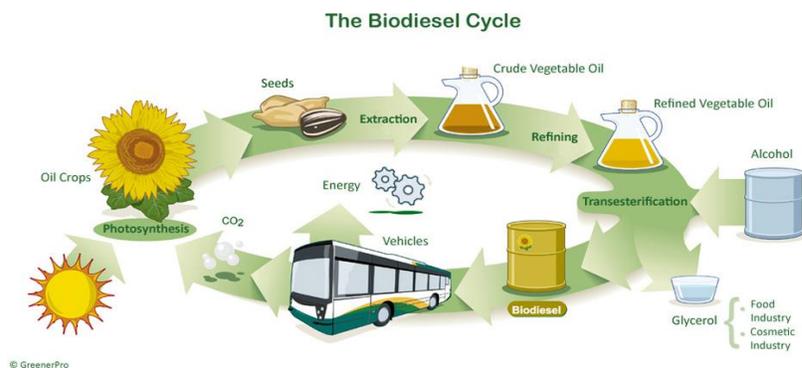


Figura 1-1 Ciclo de generación del biodiesel

Fuente: (BODIESEL FUEL, 2016. <http://www.alternative-energy-news.info>)

La producción de biodiesel se lo puede realizar en casa, pero se obtendrá mejores resultados si se lo hace en un reactor ya que puede realizar los procesos con mayor eficiencia y así obtener un biodiesel de buena calidad que cumpla normas internacionales.

Para producir biodiesel es necesario disponer de todos los elementos necesarios para su elaboración como son:

- Aceite vegetal (puede ser virgen o usado)
- Alcohol (puede ser etanol o metanol)
- Catalizador (KOH o NaOH)
- Agua (para el lavado)

También se puede obtener de grasas animales, no es posible elaborar biodiesel a partir de aceites minerales como los lubricantes.

1.1.2.1 Ventajas

El biodiesel es un carburante ecológico que posee grandes ventajas como son:

Con el Planeta.

- No contiene azufre
- No presenta compuestos aromáticos
- Es biodegradable.
- No es tóxico.
- El biodiesel no daña el medio ambiente por ser un combustible de origen vegetal en su estado 100% puro.
- Cualquier vehículo a diésel lo puede utilizar sin ningún problema.
- Se produce a partir de materias primas renovables.
- El Biodiesel se produce a partir de aceites vegetales, vírgenes y reciclados.
- Utilización de los excedentes de la producción agrícola.

Con el Motor.

- Aumenta la lubricidad.
- Mejora el encendido.
- No existe gran diferencia con el diésel.
- El biodiesel también es utilizado como una alternativa de aceite para motores de dos tiempos.
- Reduce el desgaste en la bomba de inyección y en las toberas.

1.1.2.2 Desventajas

La utilización del biodiesel presenta algunas desventajas:

- Para poder usarse se debería efectuar unas pequeñas modificaciones técnicas en los motores diésel.
- A bajas temperaturas tiende a solidificarse y formar cristales, que pueden obstruir los conductos del combustible.
- Su utilización produce la pérdida de potencia del vehículo.
- Produce un mayor consumo en los vehículos debido a que tiene menos poder calorífico.

1.1.3 Proceso de transesterificación

La transesterificación se puede realizar de tres formas según un éster (RCOOR') reaccione con alcohol (alcoholólisis), con un ácido (acidólisis), u otro éster (interesterificación).

La transesterificación por alcoholólisis se realiza en la presencia de un alcohol, ya sea metanol (metanolólisis) o etanol (etanólisis) e inclusive con otro tipo de alcoholes, en la cual el éster intercambia un grupo alquilo (R') del triglicérido por otro grupo alquilo del metanol (R''), **Figura 2-1**.

La transesterificación por acidólisis se realiza en la presencia de un ácido carboxílico, en la cual se intercambia el grupo acilo (R), **Figura 2-1**.

La interesterificación se realiza entre dos ésteres diferentes en la cual se intercambia el grupo acilo (R) del triglicérido por el grupo alquilo (R'') del otro éster, **Figura 2-1**.

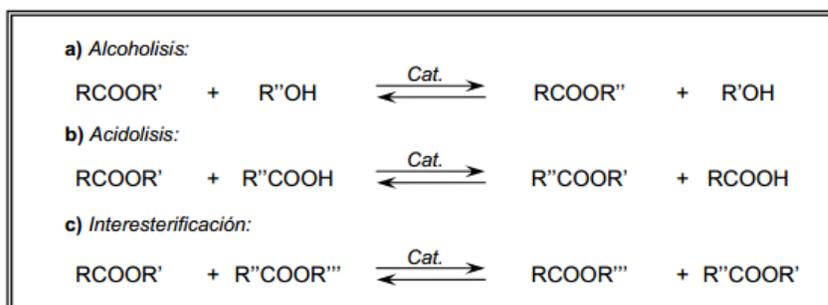


Figura 2-1 Reacciones generales de la transterificación

Fuente: (www.madrimasd.org)

1.1.4 Usos y aplicaciones del biodiesel

Puede emplearse en cualquier motor diésel sin modificaciones. Puede usarse puro o en mezclas, siendo la más empleada la de 20% de biodiesel y 80% diésel de petróleo más conocida como B-20. El laboratorio de Energías Renovables de E.E.U.U. recomienda el uso de biodiesel como aditivo en un porcentaje entre 4% y 5% con el cual se logra un aumento de lubricidad del 88%.

El biodiesel se usa en Estados Unidos y Europa. En Sudamérica su empleo es importante; en Argentina y en Brasil, se está legislando el uso obligatorio como aditivo, en una concentración del 5%.

El Telégrafo en su edición del 18 de septiembre del 2012 enuncia que en nuestro país al igual que en los otros países de Sudamérica el gobierno dispuso un decreto en el cual el diésel Premium, que se usa en el sector automotor, tenga una mezcla de biodiesel del 5% y se vaya incrementando hasta llegar al 10%.

John Deere uno de los mayores fabricantes de maquinaria agrícola y pesada recomienda el uso de biodiesel. La producción y venta de biodiesel en Estados Unidos se duplica anualmente; en Europa, países como Alemania utilizan biodiesel en todos sus vehículos gubernamentales con el propósito de reducir la contaminación ambiental.

El aditivo biodiesel es totalmente soluble en todas proporciones con el diésel de petróleo, se puede mezclar en los depósitos o en el mismo tanque del vehículo directamente. El aumento en el porcentaje de aditivo biodiesel, disminuye la emisión de contaminantes.



Figura 3-1 Automóvil que funciona con biodiesel

Fuente: (energiacasera.wordpress.com)

1.2 Reactor

1.2.1 *Introducción*

Un reactor químico es un equipo en cuyo interior tiene lugar una reacción química, estando éste diseñado para maximizar la conversión y selectividad de la misma con el menor coste posible.

Si la reacción química es catalizada por una enzima purificada o por el organismo que la contiene, se habla de biorreactores. El diseño de un reactor químico requiere conocimientos de termodinámica, cinética química, transferencia de masa y energía, así como de mecánica de fluidos; balances de materia y energía son necesarios.

Por lo general se busca conocer el tamaño y tipo de reactor, así como el método de operación, además con base en los parámetros de diseño se espera poder predecir con cierta certidumbre la conducta de un reactor ante ciertas condiciones, por ejemplo, un salto en escalón en la composición de entrada.

1.2.2 Tipos de reactores

1.2.2.1 Según el modo de operación

- *Reactores discontinuos:* son aquellos que trabajan por cargas, es decir se introduce una alimentación, y se espera un tiempo dado, que viene determinado por la cinética de la reacción, tras el cual se saca el producto.
- *Reactores continuos:* son todos aquellos que trabajan de forma continua.

1.2.2.2 Según el tipo de flujo interno

- *Reactores ideales:* suelen ser descritos con ecuaciones ideales sencillas y no consideran efectos físicos más complejos o perturbaciones pequeñas.
- *Reactores no ideales:* consideran el patrón de flujo, la existencia de zonas muertas dentro del reactor donde el material no circula, además consideran una dinámica de fluidos más compleja, suelen describirse conociendo la cinética de las reacciones, la RTD (distribución de edad del fluido) del flujo, el tipo de mezclado pudiendo ser este tardío o inmediato, y conociendo si el tipo de fluido es micro o macro fluido.

1.2.2.3 Según las fases que albergan

- *Reactores homogéneos:* tienen una única fase, líquida o gas.
- *Reactores heterogéneos:* tienen varias fases, gas-sólido, líquido-sólido, gas-líquido, gas-líquido-sólido.

1.2.3 Proceso discontinuo o batch

Trabajan en estado no estacionario y el más sencillo sería un tanque agitado. Este reactor tiene la ventaja de que su costo de instrumentación es bajo, además de ser flexible en su uso (se le puede detener de modo fácil y rápido). Tiene la desventaja de un elevado costo en su funcionamiento y de mano de obra debido a la gran cantidad de tiempo que se pasa parado debido a la carga, descarga y limpieza; además no siempre es posible implementar un sistema de control adecuado.

Este reactor suele usarse en pequeñas producciones o pruebas piloto.

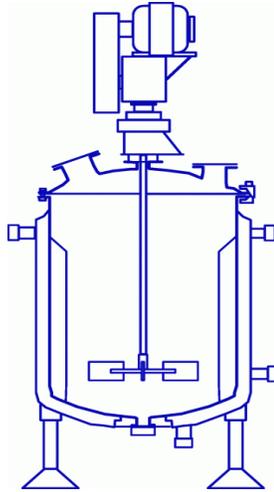


Figura 4-1 Reactor tipo batch

Fuente: (procesosbio.wikispaces.com)

1.2.4 *Agitación*

Se define como el movimiento circulatorio inducido a un fluido dentro de un contenedor, generalmente de forma circular y que produce vórtices. El propósito de la agitación puede ser incrementar la transferencia de calor en el fluido o mejorar el transporte de la materia, es decir, mezclar.

En contraste con la agitación, mezclar es obtener una distribución espacialmente homogénea de dos o más fases inicialmente separadas. Aquí, una de las fases ha de ser un fluido, mientras que la otra puede ser algo tan variado como otro fluido, partículas sólidas o burbujas.

Para el diseño de la agitación se debe tener en cuenta a dos factores: el tiempo de mezcla y el grado de homogeneidad. Dado que el resultado de la mezcla nunca es perfecto, el grado de homogeneidad depende de la calidad deseada en el producto final. La potencia requerida en la agitación depende, entre otros, de estos dos factores, así como del rendimiento.

El grado de homogeneidad también se puede caracterizar mediante la altura de suspensión, esto es, la altura del líquido en el tanque a la que se suspenden los sólidos.

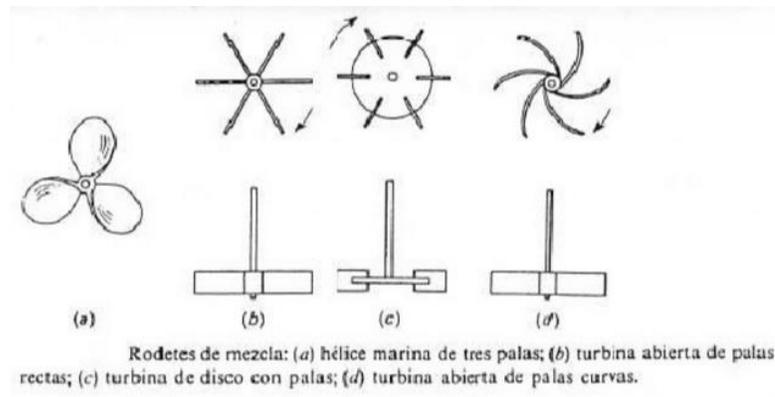


Figura 5-1 Tipo de mezcladores

Fuente: <https://es.scribd.com/doc/58640515/AGITACION-1>

1.2.4.1 Tipos de mezcladores

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

De ordinario, el costo adicional que exige la capacidad más grande del mezclador es insignificante comparado con el costo de toda la instalación que interviene en el proceso.

Puesto que la mezcla es una parte fundamental del proceso, es importante hacerla bien. Un mezclador bien diseñado puede evitar un embotellamiento en la fabricación.

El número de dispositivos utilizados para mezclar materiales es muy grande, y muchos de ellos no se distinguen por su perfección. Para que la tecnología de la mezcla pueda avanzar mucho será necesario tomar en consideración muchos modelos fundamentales como base de nuestros estudios y conocimientos.

Tabla 1-1: Tipos de mezcladores

TIPO DE MEZCLADOR	CARACTERÍSTICAS	CLASIFICACIÓN
Mezcladores de paletas o brazos	<ul style="list-style-type: none"> • Son los más antiguos, los más conocidos y los primeros en que se piensa. • Son a menudo de construcción casera. • El costo inicial es por lo general muy bajo. • Sobre todo, tienen muy buen resultado en muchas clases de trabajos. 	
Mezcladores de hélices	<ul style="list-style-type: none"> • Su acción mezcladora se deriva de que sus aletas helicoidales al girar empujan constantemente hacia delante, lo que para todos los fines puede considerarse un cilindro continuo de material, aunque el deslizamiento produce corrientes. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hélices con ejes vertical 2. Hélice descentrada 3. Hélice al costado del recipiente. 4. Hélice en un tubo de aspiración 5. Hélice para gases
Mezcladores de turbina	<ul style="list-style-type: none"> • En un recipiente casi sin contrapresión el material entra en el impulsor axialmente por su abertura central. Los álabes aceleran el material y lo descargan del impulsor o rodete más o menos tangencialmente a una velocidad bastante elevada. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mezcladores sencillos de turbinas 2. Mezclador de turbina con paletas directrices 3. Turbodispersador 4. El absorbedor turbogas

Fuente: <https://es.scribd.com/doc/58640515/AGITACION-1>



Figura 6-1 Mezcladores

Fuente: <https://es.scribd.com/doc/58640515/AGITACION-1>

1.2.4.2 *Diseño de agitadores*

Para el diseño de agitadores una de las características es determinar la potencia para accionar el rodete del sistema del agitador; el cálculo de la potencia deberá realizarse a partir de datos experimentales, es decir, mediante un procedimiento experimental, de sus dimensiones y el tipo del sistema que se va a agitar.

En general los factores que condicionan las características de un agitador son:

- Sistema agitador (rodete – recipiente)
- Sistema agitado
- Efecto que se pretende obtener con el agitador
- Tiempo en el que se quiere tener este efecto

1.2.5 *Trampa de vapor*

En la industria, el vapor es regularmente usado para calentamiento o como fuerza motriz para un poder mecánico. Las trampas de vapor son usadas en tales aplicaciones para asegurar que no se desperdicie el vapor.

1.2.5.1 Uso de las trampas de vapor

El vapor se forma cuando el agua es evaporada para formar un gas. Para que el proceso de evaporación se produzca, las moléculas de agua deben recibir suficiente energía de tal manera que las uniones entre las moléculas se rompan. Esta energía que se da para convertir un líquido a gas recibe el nombre de calor latente.

Los procesos basados en el calentamiento utilizan el calor latente y lo transfieren al producto. Cuando se realiza este trabajo, el vapor ha cedido su calor latente, consecuentemente el vapor se condensa y se convierte en condensado. En otras palabras, el condensado no tiene la habilidad de hacer el trabajo que el vapor realiza.

Por lo tanto, la eficiencia de calentamiento se ve afectada si el condensado no es removido propia y rápidamente como sea posible, ya sea en una tubería para transportar el vapor o en un intercambiador de calor.

Las trampas de vapor vienen en varios mecanismos diferentes. Los principios de operación han sido desarrollados para la descarga automática de condensado y gases no condensables.

1.2.5.2 Requerimientos de las trampas de vapor

El calor es requerido para el calentamiento y también para algunos procesos industriales. Dicho calor es transportado desde una caldera a un punto para su uso mediante medios como agua, aceite o vapor empleando los principios de transferencia de calor; este último medio es en realidad el medio más versátilmente utilizado.

El vapor es generado en una caldera y es transportado a través de la tubería hasta los equipos de vapor. Estas tuberías deben estar correctamente aisladas o con recubrimiento con el fin de prever la pérdida de calor, no obstante parte de calor es radiado al medio ambiente. En este transporte el vapor cede calor a las paredes de la tubería y empieza a condensar en agua caliente y a depositarse en el fondo de la misma.

Como el vapor cede su calor este condensa, el condensado así formado comienza a acumularse en el espacio destinado para el vapor en el equipo.

Una vez más, por lo tanto, el simple uso de las trampas para vapor deberá drenar el condensado sin permitir la fuga del vapor.

Las trampas para vapor, son empleadas para funciones que no son tan aparentes. Cuando el sistema de vapor se interrumpe o se apaga, el aire ingresa en las tuberías para ocupar el espacio del vapor en compañía con el condensado generado. Las trampas para vapor deben por tanto desalojar ese aire en el momento de arranque de estos sistemas.

1.2.5.3 Funciones de las trampas para vapor

- Descargar condensado.
- No permitir escape de vapor.
- Ser capaces de desalojar aire y gases.

1.2.5.4 Clasificaciones de las trampas de vapor

Existen varios tipos de trampas para vapor. Dichas trampas se pueden clasificar en tres principales categorías:

- Mecánicas.
- Termostáticas.
- Termodinámicas.



Figura 7-1 Trampa de vapor

Fuente: http://www.ecured.cu/Trampa_de_vapor

1.3 Sistema eléctrico

1.3.1 Introducción

En la actualidad casi todos los dispositivos funcionan en los circuitos eléctricos por eso es frecuente la aplicación de los sistemas eléctricos, dividiéndose en sistemas eléctricos simples o complejos. Dicho sistema se lo puede definir cuando la electricidad transita por medio de un conductor, desde una fuente hasta la carga.

1.3.2 Conceptos básicos

1.3.2.1 Motores eléctricos

El motor eléctrico es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor.

Algunos de los motores eléctricos son reversibles, ya que pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores o dínamo. Los motores eléctricos de tracción usados en locomotoras o en automóviles híbridos realizan a menudo ambas tareas, si se diseñan adecuadamente. Son utilizados en infinidad de sectores tales como instalaciones industriales, comerciales y particulares. (Circuitos Eléctricos Auxiliares, pp.54)



Figura 8-1 Motor eléctrico

Fuente: (WIKIPEDIA, 2016. <https://es.wikipedia.org>)

1.3.2.2 *Bomba de agua*

Es una máquina generadora que transforma la energía (generalmente mecánica) con la que es accionada en energía del fluido incompresible que mueve. El fluido incompresible puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos como puede ser el hormigón antes de fraguar o la pasta de papel.

Al aumentar la energía del fluido, se incrementa su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas según el principio de Bernoulli. En general, una bomba se utiliza para aumentar la presión de un líquido acrecentando energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

Existe una tergiversación en la utilización del término bomba, ya que generalmente es utilizado para referirse a las máquinas de fluido que transfieren energía, o bombean fluidos incompresibles, y por lo tanto no alteran la densidad de su fluido de trabajo, a contradicción de otras máquinas como lo son los compresores, cuyo campo de aplicación es la neumática y no la hidráulica.



Figura 9-1 Bomba de agua

Fuente: (www.directindustry.es)

1.3.2.3 *Fuente de alimentación*

La función de una fuente de alimentación es convertir la tensión alterna en una tensión continua y lo más estable posible, para ello se usan los siguientes componentes:

- Transformador de entrada;
- Rectificador de diodos;
- Filtro para el rizado;
- Regulador (o estabilizador) lineal. Este último no es imprescindible. (Electrónica Fácil, 2004. <http://www.electronicafacil.net/>)

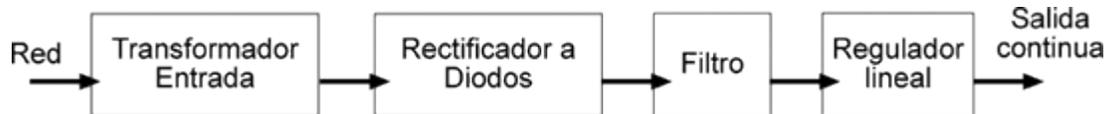


Figura 10-1 Esquema de una fuente externa de CC

Fuente: (Electrónica Fácil, 2004. <http://www.electronicafacil.net/>)

1.4 Sistema electrónico

1.4.1 Introducción

Los sistemas electrónicos son todos aquellos circuitos que realizan el proceso de la información cuando está se codifica en formato digital o analógica.

Un sistema electrónico es aquel que realiza un proceso sobre un conjunto de datos de entrada y produce una información de salida, como resultado de aplicar algún algoritmo determinado.

(Peris, 2002 pp. 17-20)

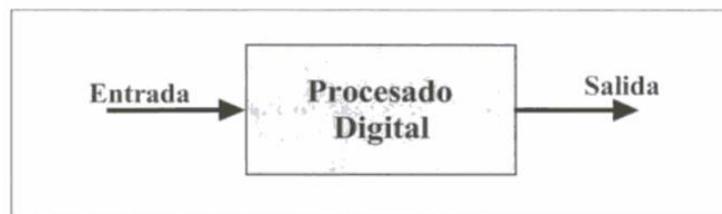


Figura 11-1 Esquema general de una fuente

Fuente: (Peris, 2002 pp. 17-20)

1.4.2 *Conceptos básicos*

1.4.2.1 *El controlador lógico programable (PLC)*

Un controlador lógico controlable es un dispositivo que controla una máquina o proceso y puede considerarse simplemente como una caja de control con dos filas de terminales: una para la salida y la otra para la entrada.

Los terminales de salida proporcionan comandos para conectar a dispositivos como válvulas solenoides, motores, lámparas indicadoras y otros dispositivos de salida.

Los terminales de entrada reciben señales de realimentación (feedback) para conexión a dispositivos como interruptores de láminas, disyuntores de seguridad, sensores de proximidad, sensores fotoeléctricos, pulsadores e interruptores manuales, y otros dispositivos de entrada.

El circuito para producir las salidas deseadas en el momento o en la secuencia adecuada para la aplicación, se dibuja en forma de diagrama de contactos y se programa en la memoria del PLC como instrucciones lógicas. (Hyde, 1997 pp. 112)



Figura 12-1 PLC (Xinje)

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J.

Las funciones básicas de un controlador lógico programable son:

- Encender o apagar
- Controlar movimientos

- Ejecutar secuencias
- Mantener un control retroalimentado. (Filser, 2013. <https://www.yumpu.com>)

1.4.2.2 *Módulos de entrada analógica*

Los módulos de entrada analógicas permiten que los autómatas programables trabajen con accionadores de mando analógico y lean señales de tipo analógico como pueden ser la temperatura, la presión o el caudal.

Los módulos de entradas analógicas convierten una magnitud analógica en un número que se deposita en una variable interna del autómata. Lo que realiza es una conversión A/D, puesto que el autómata solo puede trabajar con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo muestreo).

Los módulos de entrada analógica pueden leer tensión o intensidad.

El proceso de adquisición de la señal analógica consta de varias etapas:

- Filtrado
- Conversión A/D
- Memoria interna (<http://www.grupo-maser.com/>)

1.4.2.3 *Módulos de entrada digital*

El módulo de entrada examina el estado de los switches físicos y de otros dispositivos de entrada y prepara su estado en una forma apropiada para el procesador. El procesador tiene la posibilidad de acomodar un cierto número de entradas llamadas “canales”. (Harper, 2004 pp. 93-94)

Los módulos de entrada tienen un determinado número de canales por cada módulo y cada canal está generalmente equipado con una lámpara que señalará si alguna de las entradas en particular está activada o no.

1.4.2.4 Módulos de salida digital

Los módulos de salida proporcionan alimentación en CA o CD, a los dispositivos externos, tales como: motores, lámparas, solenoides, etc., tal como lo requiere un diagrama de escalera. Un módulo de salida puede proporcionar una cierta potencia de salida máxima; cuando la potencia requerida es mayor, se puede instalar un relevador como el que se muestra en la figura. (Harper, 2004 pp. 95-96)

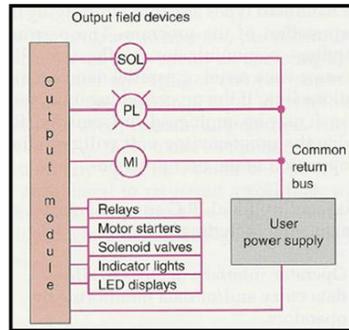


Figura 13-1 Módulos de salida digital

Fuente: (Monografias, 2016. www.monografias.com)

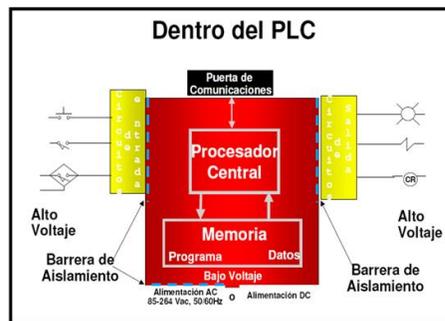


Figura 14-1 Dentro del PLC

Fuente: (Monografias, 2016. www.monografias.com)

1.4.2.5 Electroválvula

Una electroválvula es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería. La válvula se mueve mediante una bobina solenoide. Generalmente no tiene más que dos posiciones: abierto y cerrado, o todo y nada. Las electroválvulas se usan en multitud de aplicaciones para controlar el flujo de todo tipo de fluidos. (OpenCourseWare, 2007. <http://ocwus.us.es/>)



Figura 15-1 Electroválvula

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J.

1.4.2.6 PT100

Un PT100 es un sensor de temperatura. Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.

El incremento de la resistencia no es lineal, pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.

El rango de uso de las sondas de PT100 depende del tipo de construcción que se realice y del tipo de sensor de temperatura que se utilice. Como información general se puede considerar que una sonda de temperatura PT100 con salida directa a cable puede trabajar entre -50° C y 450° C en función del tipo de cable y de las medidas de la vaina de protección.

En el caso de las PT100 con cabezal de conexión el rango más habitual abarca desde -50° C a los 600° C. Para poder fabricar la PT100 correctamente es importante indicar siempre la temperatura de trabajo a efectos de elegir la construcción y los materiales más adecuados. (Arian, 2014. www.arian.cl)

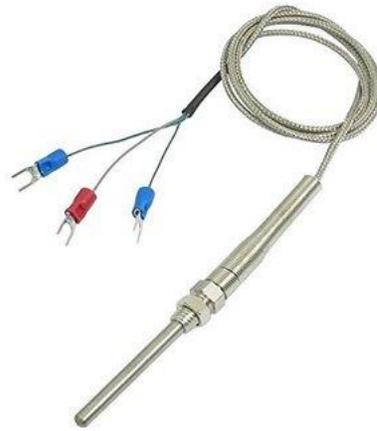


Figura 16-1 PT100

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J.

1.4.2.7 Relé

Es un interruptor operado magnéticamente. Se activa o desactiva (dependiendo de la conexión) cuando el electroimán es energizado. Esta operación causa que exista conexión o no, entre dos o más terminales del dispositivo.

Esta conexión se logra con la atracción o repulsión de un pequeño brazo, llamado armadura, por el electroimán. Este pequeño brazo conecta o desconecta los terminales antes mencionados. (Unicrom, 2016. <http://unicrom.com/>)

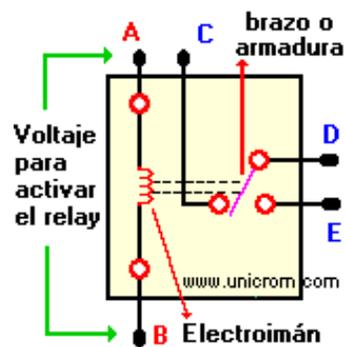


Figura 17-1 Relé

Fuente: (Unicrom, 2016. <http://unicrom.com/>)

1.4.2.8 Sensores

Un sensor consta de algún elemento sensible a una magnitud física —como por ejemplo la intensidad o color de la luz, temperatura, presión, magnetismo, humedad— y debe ser capaz, por sus propias características, o por medio de dispositivos intermedios, de transformar esa magnitud física en un cambio eléctrico que se pueda alimentar en un circuito que la utilice directamente, o sino en una etapa previa que la condicione (amplificando, filtrando, etc.). (Carletti, 2007. robots-argentina.com)



Figura 18-1 Tipos de sensores

Fuente: (Carletti, 2007. robots-argentina.com)

- *Mecánico*

Este tipo de sensor utiliza contactos mecánicos que se abren o se cierran.

- *Capacitivo*

Es aquel sensor en cuya fabricación se emplean condensadores.

- *Inductivo*

Es aquel que utiliza en su fabricación bobinas.

- *De nivel*

El Sensor de nivel es un dispositivo electrónico que mide la altura del material, generalmente líquido, dentro de un tanque u otro recipiente.

Es ideal para el control de procesos en muchas industrias, los sensores de nivel se dividen en dos tipos principales.

- Los sensores de nivel de punto se utilizan para marcar una altura de un líquido en un determinado nivel preestablecido.
- Los sensores de nivel continuos son más sofisticados y pueden realizar el seguimiento del nivel de todo un sistema. Estos miden el nivel del fluido dentro de un rango especificado, en lugar de en un único punto, produciendo una salida analógica que se correlaciona directamente con el nivel en el recipiente. Para crear un sistema de gestión de nivel, la señal de salida está vinculada a un bucle de control de proceso y a un indicador visual.



Figura 19-1 Sensor de nivel

Fuente: (<http://www.naylampmechatronics.com/>)

1.4.2.9 *Dispositivos para control y mando*

Son dispositivos que sirven para gobernar, de alguna manera predeterminada, la energía eléctrica suministrada a los aparatos a los cuales está conectado.

De manera más clara, un control eléctrico es un conjunto de elementos eléctricos o electrónicos que accionan contactos, todos interconectados eléctricamente a través de conductores, con el propósito de establecer una función de control sobre un equipo o conjunto de equipos. La función de control consiste en permitir o cerrar el paso de energía eléctrica al equipo o parte de este. (Ordoñez, 2012. <http://procesos2automatizacionyneumatica.com>)

De acuerdo a la función que desempeñan los elementos que conforman un sistema de control eléctrico se clasifica en:

- Señalización
- Protección
- Mando manual
- Maniobras
- Mando auxiliar o automático

Para la ejecución de estas funciones existen elementos apropiados:

- Elementos de maniobra manuales

Son aparatos que requieren la acción directa de un operador para ejecutar la operación de energización o desenergización de una carga o equipo eléctrico. Estos dispositivos pueden tener poder de corte o no. Generalmente, la capacidad de corte se expresa en amperios.

Los elementos más importantes empleados son:

- Seccionadores
- Pulsadores
- Interruptores



Figura 20-1 Paro de emergencia

Fuente: (www.directindustry.es)

1.4.2.10 Diseño de tableros de control

Los tableros eléctricos están destinados a cumplir con algunas de las siguientes funciones dentro de un sistema eléctrico: medición, control, maniobra y protección.

Constituyen uno de los componentes más importantes de las instalaciones eléctricas y por ende están siempre presentes en ellas independientemente del nivel de tensión, del tipo o del tamaño. (Farina, 2010. <http://www.cadime.org.ar>)

Para definir y calificar un tablero para uso eléctrico se deben considerar los siguientes aspectos:

- Seguridad para quien lo opera.
- Solidez estructural, intercambiabilidad de sus componentes.
- Continuidad del servicio.
- Funcionalidad eléctrica y mecánica.
- Grado de protección.
- Terminación superficial.

Cualquiera sea la clasificación dentro de la que se encuentre el tablero, existen normas que recomiendan o especifican las pautas básicas de diseño para garantizar niveles satisfactorios de seguridad y calidad.

Las principales normas son:

- IEC 60529
- UL 50, 50E
- NEMA 250

De acuerdo a la función específica a desempeñar los tableros, adquieren las más variadas formas y dimensiones, pueden ser utilizados en: industrias, viviendas, edificios, hospitales, lugares públicos, etc.



Figura 21-1 Tablero eléctrico

Fuente: (www.directindustry.es)

- *Gabinete.*- armario o caja.

- *Componentes.*- pueden ser aparatos de maniobra, protección y de medición. Y se les debe asignar nombres para su reconocimiento.

- *Ubicación del tablero*

Debido a la construcción y constitución de los tableros eléctricos, deben ser instalados en lugares de fácil acceso, con cierto nivel de ventilación, de preferencia en lugares secos, bien iluminados y que permitan las tareas de mantenimiento o reparación en forma cómoda.

Sobre los distintos aparatos y componentes se necesita facilidad de operación. Los tableros y sus conexiones deben garantizar un nivel mínimo de seguridad para quien ejecuta tareas de mantenimiento; además de un lugar lo adecuadamente amplio que permita una mayor libertad de movimiento.

1.5 Programación e interfaces

1.5.1 Introducción

Para permitir la fabricación flexible, se utilizan máquinas y herramientas que permitan la realización de funciones genéricas, adaptables a las necesidades de cada proceso. Bajo esta premisa, la nueva

generación de máquinas herramientas se caracteriza por permitir que sus movimientos y funciones sean configurables por el usuario a medida de sus necesidades.

El dotar a los dispositivos de fabricación con la posibilidad de ajustarse a las necesidades de cada proceso implica que estos dispongan de un cierto grado de inteligencia. Para ellos, debe existir un elemento que controle sus funciones. Este elemento es, actualmente, el microprocesador.

La incorporación del microprocesador ha desarrollado a lo que se llama una máquina programable y esto implica que el sistema de control debe estar capacitado para adquirir la información necesaria acerca de cómo ejecutar una tarea. (García, 2003 pp. 24-27)

1.5.2 *Conceptos básicos*

1.5.2.1 *Lenguajes de programación*

Cada ordenador, según su diseño, entiende un cierto conjunto de instrucciones elementales, es decir, lenguaje máquina. No obstante, para facilitar la tarea del programador, se dispone también de lenguajes de alto nivel más fáciles de manejar y que no dependen del diseño específico de cada ordenador. Los programas escritos en un lenguaje de alto nivel no podrán ser ejecutados por un ordenador mientras no sean traducidos al lenguaje propio de éste. (Sala, 2003 pp. 4-6)

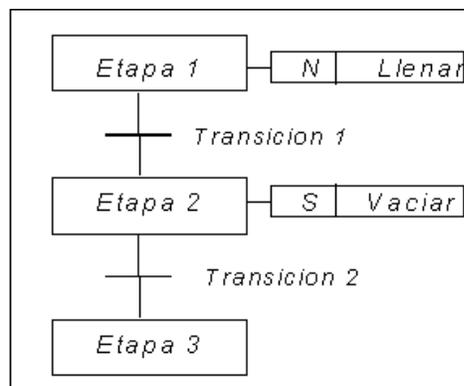


Figura 22-1 Lenguajes de programación

Fuente: (www.directindustry.es)

1.5.2.2 *Diagrama de contactos*

El diagrama de contactos o diagrama ladder, es un lenguaje de programación gráfico popular dentro de los autómatas programables debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control. Con este tipo de diagramas se describe normalmente la operación eléctrica de distintos tipos de máquinas, y puede utilizarse para sintetizar un sistema de control y, con las herramientas de software adecuadas, realizar la programación del PLC.

1.5.2.3 *Diagrama de funciones*

Es un potente método de representación puesto que se deriva de la utilización de los símbolos clásicos empleados en los esquemas de circuitos lógicos de electrónica digital. Sin embargo, a diferencia del logigrama, el diagrama de funciones si es ampliamente utilizado en sistemas basados en autómatas programables, aunque no sólo, sino junto con el diagrama de relés y la lista de instrucciones.

La mayor ventaja de este diagrama es que se incluye como bloques, no sólo los que efectúan las funciones combinatorias básicas (AND, OR, XOR, etc.), sino también bloques secuenciales como son temporizadores, contadores, registros de desplazamiento, sumadores y multiplicadores aritméticos, etc.

Los símbolos pueden estar formados por un bloque o caja rectangular en la que se incluye en su parte superior el nombre o símbolo que identifica la función que realiza y una serie de entradas a su izquierda o de salidas a su derecha.

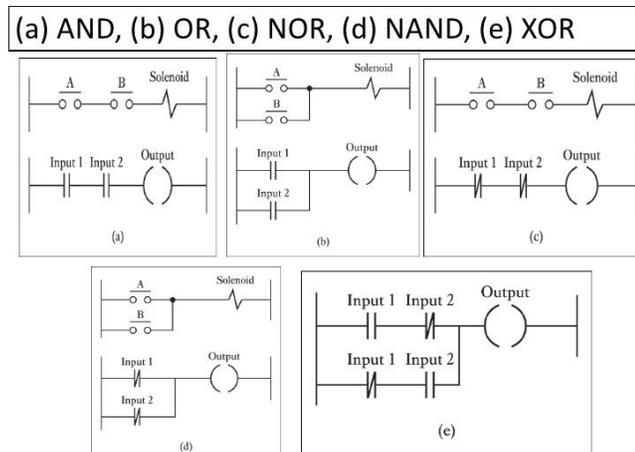


Figura 23-1 Funciones combinacionales básicas

Fuente: (www.slideshare.net)

1.5.2.4 GRAFCET

El GRAFCET (Gráfico Funcional de Control de Etapas y Transiciones) es una herramienta de descripción gráfica del control del proceso que usa un sistema para describir y diseñar una lógica de control independiente del lenguaje a utilizar. (Escuela de Ingenierías Industriales, 2010. <http://www.eis.uva.es>)

El diseño de control lógico se divide en las siguientes fases:

- Especificación
- División del proceso en etapas.
- Diseño de la parte secuencial.
- Diseño de la parte combinacional de cada etapa.
- Creación.

DIAGRAMA CONTACTOS (LD)

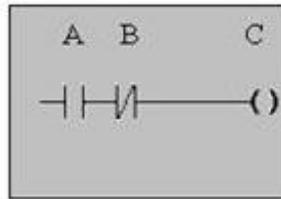


Figura 24-1 Diagrama de contactos

Fuente: (www.directindustry.es)

1.5.2.5 HMI (Interfaz hombre máquina)

El término HMI ha sido acuñado en los últimos años para calificar una de las características más importantes de los sistemas de supervisión, control, diseño y simulación. El deseo de acercar el ordenador al hombre y de conseguir un mayor diálogo y ergonomía con los procesos de control ha fructificado en la aparición de entornos gráficos mediante sinópticos de las plantas y procesos.

Son los elementos que permiten el dialogo entre el operario y la máquina. En la actualidad la mayoría de máquinas complejas disponen de HMI de tipo electrónico, como pantallas táctiles y teclados alfanuméricos, puesto que permiten aumentar el control y la información obtenida, así como ahorrar costos y evitar averías, puesto que un panel lleno de pulsadores y cables tiene muchas más posibilidades de fallar por desgaste. (Ortega, 2001 pp. 321-323)



Figura 25-1 HMI

Fuente: (<http://www.sah.rs/>)

1.6 Sistemas de control

Un sistema puede definirse conceptualmente como un ente que recibe unas acciones externas o variables de entrada, y cuya respuesta a estas acciones externas son las denominadas variables de salida. Las acciones externas al sistema se dividen en dos grupos, variables de control, que se pueden manipular, y perturbaciones sobre las que no es posible ningún tipo de control. La **Figura 26-1** ilustra de un modo conceptual el funcionamiento de un sistema.

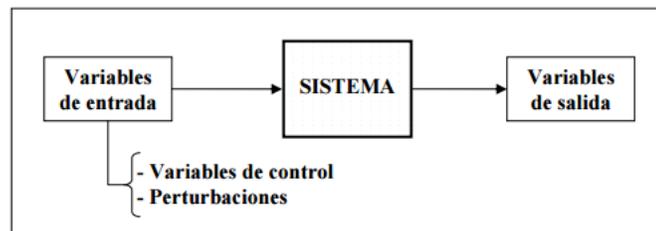


Figura 26-1: Esquema general de un sistema

Fuente: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf?sequence=5>

Dentro de los sistemas se encuentra el concepto de sistema de control. Un sistema de control es un tipo de sistema que se caracteriza por la presencia de una serie de elementos que permiten influir en el funcionamiento del sistema. La finalidad de un sistema de control es conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores prefijados.

Un sistema de control ideal debe ser capaz de conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos:

- Garantizar la estabilidad y, particularmente, ser robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos.
- Ser tan eficiente como sea posible, según un criterio preestablecido. Normalmente este criterio consiste en que la acción de control sobre las variables de entrada sea realizable, evitando comportamientos bruscos e irreales.
- Ser fácilmente colocado y cómodo de operar en tiempo real con ayuda de un ordenador.

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

- Sensores. Permiten conocer los valores de las variables medidas del sistema.
- Controlador. Utilizando los valores determinados por los sensores y la consigna impuesta, calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control en base a cierta estrategia.
- Actuador. Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control.

La **Figura 27-1** ilustra el esquema de funcionamiento de un sistema de control genérico.

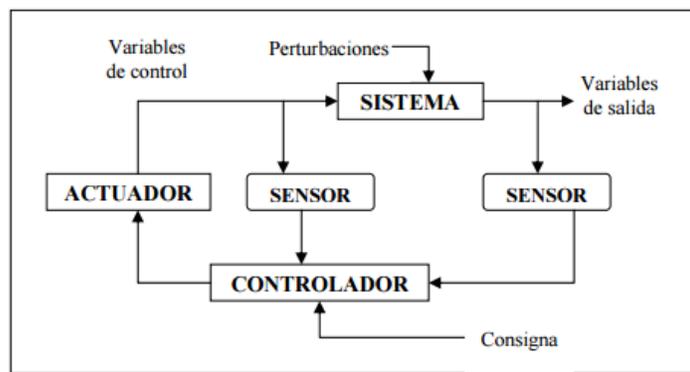


Figura 27-1: Esquema general de un sistema de control

Fuente: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf?sequence=5>

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

Para el desarrollo y ejecución de este proyecto de automatización de un reactor tipo batch para la obtención de biodiesel en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias, se revisó información sobre el proceso de producción, los reactivos que se emplean, materiales y equipos necesarios. Se aplicaron los siguientes métodos: inductivo, deductivo y experimental.

Inductivo: Ayudó a determinar y definir parámetros como temperatura, velocidad de agitación, concentración y pureza de los compuestos químicos.

Deductivo: La existencia de información relevante sobre la producción de biodiesel aportó significativamente al desarrollo de este proyecto, permitió conocer las etapas o fases de producción, los reactivos que pueden emplearse.

Experimental: Permitió la corrección de errores y fallas que se presentaron en la maniobra y operación del reactor. Con este método se procedió a la ubicación y calibración de sensores, depuración en los tiempos de reacción y velocidad de agitación según la etapa, referente a la parte eléctrica y electrónica; mientras que en la parte química permite determinar las cantidades exactas de reactivos y el manejo adecuado de los mismos.

2.1 Fases del proceso de obtención del biodiesel

Las fases o etapas de producción para la obtención del biodiesel a partir del aceite de cocina reciclado se detallan a continuación.

Tabla 1-2: Fases del proceso de obtención del biodiesel

Fase	Descripción
Eliminación de impurezas	Consiste en filtrar el aceite reciclado de forma manual y después, someterlo a una temperatura de 100 °C para eliminar el agua que podría contener.

Transesterificación	Se mezcla el aceite, el alcohol metílico en proporción del 20% del volumen de aceite y 3.5 gramos de hidróxido de sodio por cada litro de aceite; esta mezcla se calienta a 58° C con una agitación rápida al inicio y lenta hacia el final de la reacción.
Decantación	La mezcla debe reposar al menos 8 horas para poder separar la glicerina y el biodiesel o en su defecto se puede dejar la mezcla en reposo, después de la reacción, pero manteniendo una temperatura sobre los 38°C por al menos una hora lo cual permite la reducción del tiempo en esta fase.
Lavado	Consiste en separar los jabones del biocombustible lavándolo con agua a una proporción del 1/3 del volumen de aceite cargado y la agitación se produce a bajas velocidades, el agua ingresa desde uno de los tanques secundarios, posteriormente la mezcla debe permanecer en reposo para separar los líquidos.
Secado	El biocombustible obtenido es calentado nuevamente a 100° C para eliminar el agua presente. Finalmente se obtiene el biodiesel.

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.2 Automatización del reactor

La automatización del reactor de biodiesel permite tener un equipo operativo y seguro; permite el control, monitoreo y la interacción entre el usuario y la máquina a través de una HMI. Permite una reducción considerable en el tiempo de producción y la mejora en la calidad del producto obtenido.

2.3 Diseño y selección de hardware

En esta parte se consideran las innovaciones que se han realizado en la estructura física del reactor con la finalidad de colocar los nuevos dispositivos para la automatización del equipo.

2.3.1 Descripción de modificaciones en el reactor

Las modificaciones y trabajos adicionales que se han cumplido, se detallan a continuación.

2.3.1.1 Limpieza del reactor y tuberías.

El reactor permanecía mucho tiempo sin utilizarse por lo que se había acumulado polvo y había residuos de biodiesel y glicerina en la cámara de ebullición, en los recipientes de carga y en la tubería de descarga. Se procede a la limpieza integral, desarmando todo el reactor, utilizando jabón arranca grasa y agua caliente para la eliminación de la glicerina acumulada.



Figura 1-2 Limpieza del reactor
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.3.1.2 Vaciado del vapor condensado, instalación de una trampa de vapor.

El reactor no tenía incorporado una trampa de vapor que permita la descarga del condensado generado durante los procesos en las líneas que transportan vapor, por lo que había gran cantidad de agua y es estrictamente necesario desalojarla de la cámara de calefacción, fue posible gracias a una llave de desfogue instalada en la parte inferior del reactor.



Figura 2-2 Vaciado del condensado, trampa de vapor

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Se instaló la trampa de vapor para que el condensado sea desalojado del reactor sin que haya pérdida de vapor. La trampa de vapor colocada presenta las siguientes características:

Tabla 2-2: Características de la trampa de vapor

Tipo de Trampa	Mecánica
Marca/Modelo	Nicolson/B1
Conexión	1 ”
Presión Máxima	14 kg/cm ²

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.3.1.3 Incorporación de la estructura para el gabinete eléctrico

Se elimina la estructura del pequeño gabinete antiguo para colocar uno nuevo de las dimensiones correctas que pueda abarcar en su interior todos los elementos necesarios. Se instala en una nueva ubicación donde no interfiera con la máquina y resulte fácil de acceder y operar. Se realiza un soporte para la bomba de succión que se emplea en cargar el aceite o biodiesel al reactor, se instala en la parte inferior junto al recipiente de descarga.

2.3.1.4 Colocación de un nuevo tanque secundario, sensores de nivel y electroválvulas

Se coloca un nuevo tanque secundario de acero inoxidable para contener uno de los reactivos ya que el anterior era muy pequeño y no cabía la cantidad mínima necesaria de metóxido para la reacción.

Los sensores de nivel tipo flotador se emplean para detectar si los tanques secundarios contienen la cantidad mínima de metóxido o agua para dar paso a la fase de transesterificación o lavado del biodiesel respectivamente.



Figura 3-2 Arreglos en el reactor
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Las electroválvulas instaladas presentan los siguientes datos:

Tabla 3-2: Características de las electroválvulas de CC.

Alimentación	24 VDC
Potencia de Consumo	20 W
Tipo	Normalmente Cerrada
Presión de Operación	0 – 8 Bar
Conexión	½ “
Protección	IP 65

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.3.1.5 Construcción de las aspas para el motor agitador

En vista que se utilizaba un taladro con un eje adaptado para el sistema de agitación o mezclado en los procesos de reacción, se debió cambiar completamente este sistema, empleando un nuevo motor y un nuevo brazo de paletas de acero inoxidable y sujetándolo a la tapa del reactor. Se colocó un motor de 24 VDC con reducción incorporada para generar torque suficiente y mezclar los líquidos de

manera homogénea sin generar vórtices. Se realiza ese diseño de aspas porque su implementación es sencilla y económica.



Figura 4-2. Sistema de agitación
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.3.2 Selección de dispositivos de control y sensores

2.3.2.1 Pulsadores

Los pulsadores son importantes para la operación y control de la máquina, consta de tres botones: botón de inicio para arrancar el proceso; botón de paro de emergencia para cuando se precise detener el proceso por cuestiones de seguridad o debido a algún funcionamiento anormal y pulsador de reset.

2.3.2.2 Luces piloto

Funcionan como indicadores del estado del reactor, la luz de color verde indica un correcto funcionamiento y operación dentro de los parámetros establecidos, la luz de color rojo indica que la máquina se encuentra en estado de PARO/STOP y luz de color amarillo indica que se ha reseteado el equipo.



Figura 5-2 Pulsadores y luces piloto
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.3.2.3 Sensor de temperatura PT100

El sensor de temperatura se instaló en el fondo del reactor y permite conocer la temperatura en la cámara de ebullición durante cada fase; según el valor leído y las condiciones programadas en el PLC se realiza el control de la apertura o cierre de la electroválvula de paso de vapor, mismo que ingresa a través de la tubería hasta la cámara de calefacción.



Figura 6-2 Sensor PT100 y electroválvula de vapor.
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Se utilizó el sensor PT100 de 3 hilos porque el rango de medida habitual está comprendido entre -50°C y 450°C . La electroválvula para el paso de vapor se selecciona por su temperatura de operación (-5°C a 180°C) y presión de trabajo ($0,5$ a 15 kg/cm^2). En ambos casos los rangos de medida abarcan los parámetros del proceso.

2.3.3 Selección de PLC y módulo de funciones especiales (Board BD)

La selección del Controlador Lógico Programable se realiza en función del número de entradas y salidas a emplearse y dependiendo si éstas son digitales o analógicas. En la siguiente tabla se detalla el número de entradas requeridas.

Tabla 4-2: Descripción de entradas al PLC

Descripción de Entrada	Tipo de Señal	Cantidad
Sensor temperatura PT100	Analógica	1
Pulsador inicio	Digital	1
Pulsador reset	Digital	1
Pulsador paro emergencia	Digital	1
Sensores de nivel	Digital	2
TOTAL		6

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

La siguiente tabla presenta el detalle y número de salidas a manejarse.

Tabla 5-2: Descripción de salidas del PLC

Descripción de Salida	Tipo de Señal	Cantidad
Luz piloto de inicio	Digital	1
Luz piloto reset	Digital	1
Luz piloto paro	Digital	1
Electroválvulas	Digital	3
Motor agitador	Digital	2
Bomba de succión	Digital	1
TOTAL		9

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Por lo tanto, se requiere un PLC que permita el manejo de 6 entradas, una de ellas de tipo analógica y 9 salidas digitales. El controlador seleccionado debe permitir la incorporación de un módulo para el manejo de señales analógicas provenientes del sensor de temperatura PT100.

2.3.3.1 Características del PLC seleccionado

El PLC seleccionado es el modelo XC3-24R-E de la marca Xinje que se muestra en la **Figura 7-2** y presenta las características que se aprecia en la **Tabla 6-2**.



Figura 7-2 PLC Xinje XC3-24R-E
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Tabla 6-2: Características del PLC Xinje XC3-24R-E

Descripción	Cantidad	Tipo
Voltaje de alimentación	1	110/220 VAC
Fuente interna	1	24 VDC
Entradas	14	Digitales 24 VDC
COM Entradas	2	0 VDC
Salidas a relé	10	Digitales
COM Salidas	3	Fuentes variables
Puertos de comunicación	2	COM1 (RS-232), COM2 (RS-232/RS-485)
Módulos expansión permitidos	7	Varios modelos
Tarjeta de funciones especiales (Board BD)	1	Varios modelos

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.3.3.2 Selección y características del módulo de funciones especiales (Board BD)

Para el manejo de la señal proporcionada por el PT100 se requiere de una tarjeta de funciones especiales XC-2AD2PT que es compatible con el PLC Xinje XC3-24R-E y PLCs de la serie XC, esta tarjeta posee 4 canales, de los cuales 2 son canales directos para la conexión de sensores PT100 y los otros 2 canales para señales analógicas que se pueden configurar en rangos de 0-5v o 0-10v.

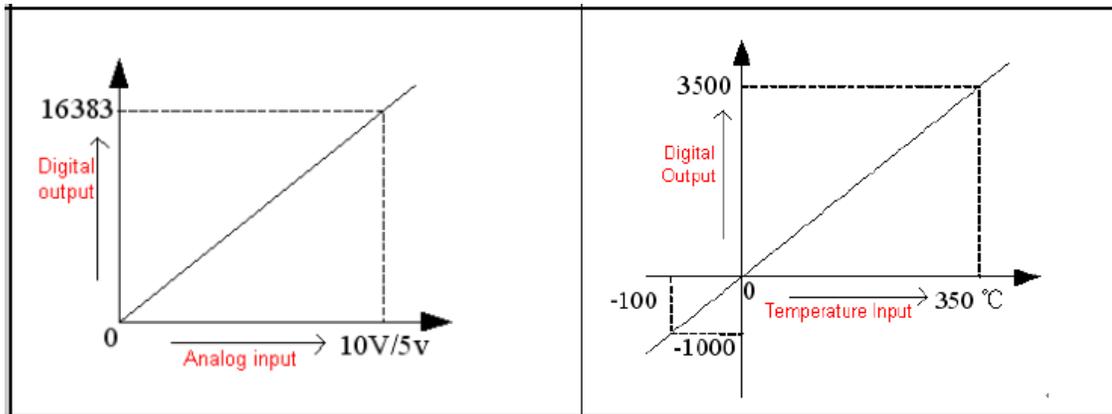


Figura 8-2 Comportamiento de señales analógicas en la BD

Fuente: www.oceancontrols.com.au/datasheet/xin/xp-bd_manual.pdf

El incremento de la resistencia del PT 100 no es lineal, pero si creciente, entonces la tarjeta asigna un valor proporcional y lineal de temperatura según incrementa la resistencia.

La Board BD se instala directamente sobre el PLC y la configuración se realiza con el software XC Series Program Tool.



Figura 9-2 Tarjeta de funciones especiales XC-2AD2PT

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.3.4 Selección de la fuente externa

La fuente empleada tiene las siguientes características. marca Autonics, modelo SPB-060-24, proporciona 24 VDC y 2.5 A, puede conectarse a 110 o 220 VAC. Se utilizó para accionar las electroválvulas empleadas en los recipientes de metóxido y agua; para alimentar el motor agitador, sensores; luces piloto y energizar las bobinas.



Figura 10-2 Fuente Autonics 24VDC
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.3.5 Diseño e implementación del gabinete eléctrico

En el gabinete eléctrico se instalan todos los elementos de control, tiene las siguientes características: marca Beaucoup, mide 400 x 400 x 200 mm, cuerpo y doble fondo fabricado en acero laminado en frío.

2.3.5.1 Conexiones, dimensionamiento de conductores y protecciones

- *PT100*: Se utilizó alambre de cobre como extensión para el PT100 de 1,5 m y se escogió el canal 3 para conectarlo.

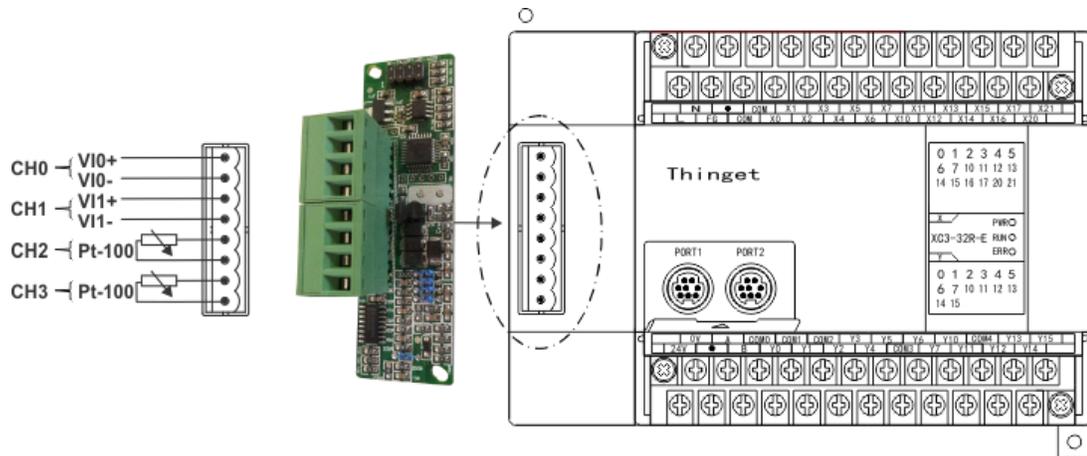


Figura 11-2 Conexión PT100

Fuente: http://www.sah.rs/PLC%20and%20HMI/XC-BD_eng.html

- *Bomba de agua:*

La bomba de agua es la carga que mayor consumo de potencia tiene. Para determinar el calibre del conductor que se emplea para la motobomba, se tiene los siguientes datos:

Voltaje nominal: 110 VAC

Corriente nominal: 3,4 A

Longitud: 2 m

Se calcula la caída de tensión en un circuito monofásico, debe ser menor al 5%.

$$\Delta V = 2 I R_e L$$

$$\Delta V = 2 (3,4) (0,0134) (2)$$

$$\Delta V = 0,182 \%$$

Se determina la sección del conductor eléctrico

$$S_e = \frac{2 * R_e * I * L}{V_p}$$

$$Se = \frac{2 * (0,0134) * 3,4 * 2}{0,182 * 110}$$

$$Se = 0,091 \text{ mm}^2$$

$$D = 2 * \sqrt{\frac{Se}{\pi}}$$

$$D = 0,34 \text{ mm}$$

El diámetro determina que el calibre de cable a utilizarse es el 20 AWG, según la tabla de la **Figura 12-2**.

CALIBRE AWG ó MCM	SECCION mm ²	FORMACION No. de hilos por diámetro mm.	ESPESOR AISLAMIENTO mm.	ESPESOR CHAQUETA mm.	DIAMETRO EXTERIOR mm.	PESO TOTAL Kg/Km	CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Amp.	CAPAC. DE CORRIENTE para 3 conductores en conduit Amp.	TIPO CABLE
20	0,519	1 x 0,813	0,38	0,10	1,77	7,07	15	10	TFN
18	0,823	1 x 1,02	0,38	0,10	1,98	10,94	15	10	TFN
16	1,31	1 x 1,29	0,38	0,10	2,25	16,48	20	15	TFN
14	2,08	1 x 1,63	0,38	0,10	2,59	23,17	35	25	THHN
12	3,31	1 x 2,05	0,38	0,10	3,01	34,16	40	30	THHN
10	5,26	1 x 2,59	0,51	0,10	3,81	55,04	55	40	THHN
8	8,34	1 x 3,26	0,76	0,13	5,04	91,22	80	55	THHN
16	1,31	19 x 0,30	0,38	0,10	2,46	17,95	20	15	TFN
14	2,08	19 x 0,38	0,38	0,10	2,86	23,80	35	25	THHN
12	3,31	19 x 0,47	0,38	0,10	3,31	35,70	40	30	THHN
10	5,26	19 x 0,60	0,51	0,10	4,22	56,20	55	40	THHN
8	8,37	7 x 1,23	0,76	0,13	5,47	93,70	80	55	THHN
6	13,30	7 x 1,55	0,76	0,13	6,43	141,30	105	75	THHN
4	21,15	7 x 1,96	1,02	0,15	8,22	227,60	140	95	THHN
2	33,62	7 x 2,47	1,02	0,15	9,75	348,10	190	130	THHN
1	42,36	7 x 2,78	1,27	0,18	11,24	446,20	220	150	THHN

Figura 12-2 Tabla para selección de conductores

Fuente: <http://electrocable.com/productos/cobre/THHN.html>

La siguiente tabla muestra el detalle de las cargas instaladas, cuyo consumo de potencia es muy bajo y las distancias son cortas. Por lo tanto, para su cableado se utiliza cables de calibre 18 AWG.

Tabla 7-2: Detalle de la carga instalada

Carga	Potencia	Voltaje nominal	Distancia
Motor agitador	24W	24 VDC	3m
Electroválvulas de CC	20W	24 VDC	3,5 m
Electroválvula de AC	10 W	110 VAC	3 m
Fuente externa	60 W	110 VAC	1 m
Bomba	370 W	110 VAC	2,5 m

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

El siguiente diagrama muestra la conexión para el encendido y apagado del tablero de control. Al accionar el breaker se energizan todos los dispositivos conectados: PLC, fuente de CC y relés para accionar la electroválvula de vapor y la bomba de agua.

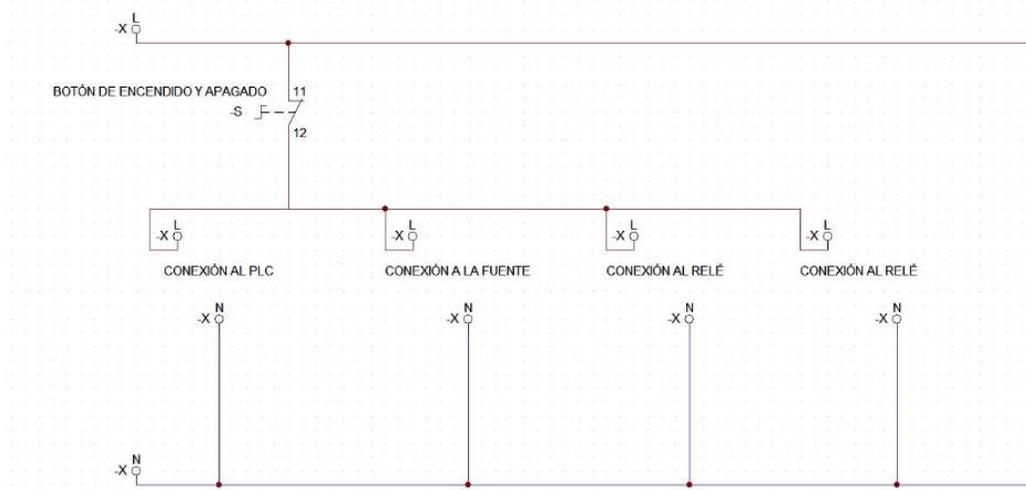


Figura 13-2 Esquema de encendido y apagado del tablero

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Se distribuyó el espacio disponible del interior del gabinete para la instalación de los dispositivos que se detallan en la **Tabla 7-2** de tal manera que facilite el cableado y las conexiones.

La **Figura 11-2** muestra el diagrama de conexiones de las entradas y salidas en el Controlador Lógico Programable.

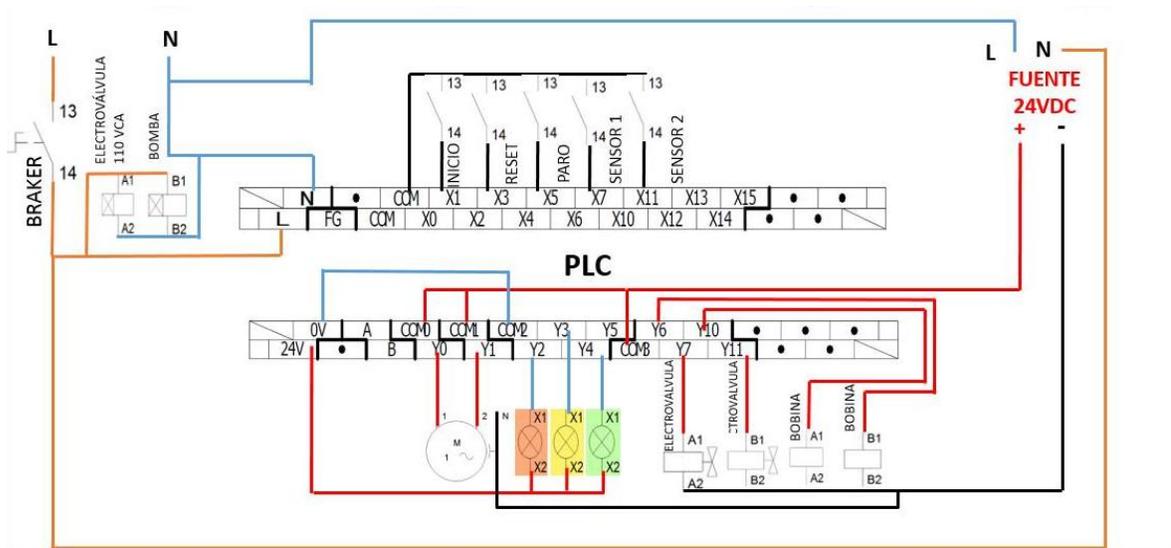


Figura 14-2 Diagrama de conexiones del PLC

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Para las cargas que requieren de una alimentación de 24 VDC se realiza las conexiones con cable flexible número 18 AWG, las conexiones de AC para alimentación del PLC y la fuente se realiza con cable flexible número 16 AWG, y finalmente para la alimentación desde la toma de 110 VAC al gabinete se emplea conductor flexible tipo gemelo número 14 AWG.

Tabla 8-2: Elementos del gabinete

Cantidad	Descripción	Ubicación
1	Controlador Lógico Programable	Interior del gabinete
1	Breaker de 10 A	Interior del gabinete
1	Fuente de 24 VDC / 2,5 A	Interior del gabinete
2	Relé 24 VDC, 8 pines con base	Interior del gabinete
14	Borneras	Interior del gabinete
1	Pantalla de interfaz	Compuerta del gabinete
3	Pulsadores	Compuerta del gabinete
3	Luces piloto	Compuerta del gabinete

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Se emplearon taladros y disco de corte para realizar las perforaciones en las que se colocaron los pulsadores, luces piloto y la pantalla de interfaz.



Figura 15-2 Gabinete eléctrico
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

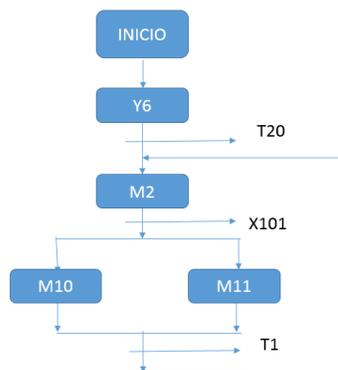
2.4 Diseño del software

2.4.1 Diseño de la solución para la automatización

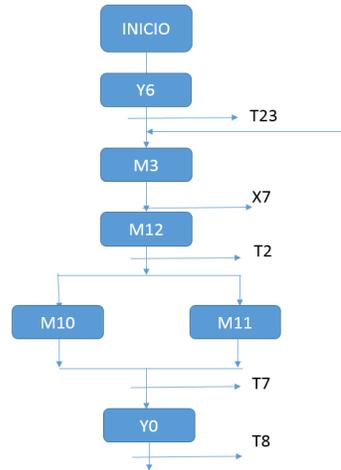
2.4.1.1 Diagramas GRAFCET

El GRAFCET es una herramienta que permite hacer un bosquejo de la programación que se lleva a cabo, es como una guía del funcionamiento general del reactor que describe cómo se desarrollaría el proceso de automatización. Aunque se emplea un GRAFCET por cada etapa del proceso, en realidad el programa implementado es uno solo. Las letras X, Y, M, T; indican entradas, salidas, memorias y temporizadores respectivamente.

Fases de eliminación de agua/secado biodiesel



Fase de Transesterificación



Fase de lavado del biodiesel

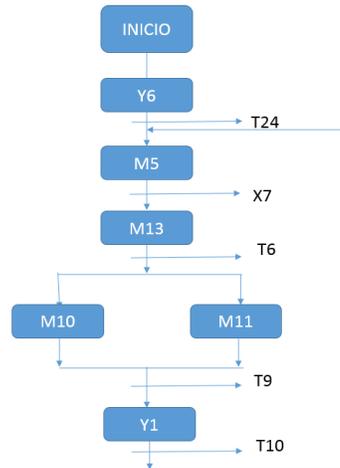


Figura 16-2 Diagramas GRAFCET según etapas
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.4.1.2 Entradas digitales y analógicas del PLC

Existen 14 entradas digitales en el PLC Xinje XC3-24R-E, de las cuales se utilizaron únicamente 5 de ellas.

La tarjeta XC-2AD2PT capta la señal analógica proveniente del sensor PT100. El sensor se conecta en el canal 3 y el identificador (ID) correspondiente es 1003.

Tabla 9-2: Asignación de entradas digitales del PLC

Entrada	Descripción
X1	Se encuentra conectada al pulsador de RESET, se emplea para detener de forma abrupta el proceso.
X3	Está asignada al pulsador de color verde (INICIO), se emplea para iniciar al proceso.
X5	Se encuentra conectada al pulsador rojo (PARO DE EMERGENCIA), se utiliza para detener y resetear el proceso, estando éste en cualquier fase o etapa.
X7	Asignada a la entrada de la señal del sensor de nivel 1, si este se activa entonces puede comenzar el proceso de transesterificación.
X11	Asignada a la entrada de la señal del sensor de nivel 2, si este se activa entonces puede comenzar la fase de lavado del biodiesel.

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.4.1.3 Salidas del PLC

Existe un total de 10 salidas digitales desde el PLC y se utilizaron 9 de ellas. A continuación, en la **Tabla 10-2** se detalla la conexión de cada una de estas salidas.

Tabla 10-2: Asignación de las salidas del PLC

Salida	Descripción
Y0	Se le asignó a un contacto del motor de 24 VDC, para obtener una velocidad de 60 rpm, empleado en la fase de lavado.
Y1	Se le asignó a otro contacto del motor de 24 VDC, para obtener una velocidad de 120 rpm, empleado en la fase de lavado.
Y2	Está conectada a la luz piloto de color rojo, indica que el proceso se detuvo en cualquiera de las 5 etapas.
Y3	Está conectada a la luz piloto de color amarillo, indica que el proceso se reseteó en alguna etapa.
Y4	Está conectada a la luz piloto de color verde, indica que el proceso está en ejecución.
Y6	Conectada a la bobina de un relé, el mismo que activa la bomba de succión.

Y7	Está asignada a una electroválvula de 24 VDC, que se encarga de permitir o cortar el paso del metóxido (mezcla entre el metanol y el hidróxido de sodio) hacia la cámara de ebullición para iniciar la reacción química.
Y10	Conectada a la bobina de un relé, el mismo que activa una electroválvula de 110 VCA. La electroválvula se encarga de la apertura y cierre del paso del vapor hacia la cámara de calefacción.
Y11	Se le asignó a otra electroválvula de 24 VDC, que se encarga de permitir o cortar el paso del agua para dar inicio al proceso de lavado del biodiesel.

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.4.1.4 Asignación de memorias

Se asignaron las siguientes memorias para el proceso de obtención de biodiesel, las mismas que se detallan a continuación.

Tabla 11-2: Asignación de memorias en el PLC.

Salidas	Descripción
M2	Se le asignó para comenzar con la primera etapa del proceso, eliminación de impurezas.
M3	Se le asignó para comenzar con la segunda etapa del proceso, transesterificación.
M4	Se le asignó para comenzar con la tercera etapa del proceso, decantación.
M5	Se le asignó para comenzar con la cuarta etapa del proceso, lavado.
M6	Se le asignó para comenzar con la quinta etapa del proceso, secado.
M7, M8	Activación y desactivación las electroválvulas de 24 VDC.
M10, M11	Activación y desactivación del motor de 24 VDC.
M12, M13	Es la memoria en donde se guarda si los tanques secundarios están cargados para poder comenzar con las etapas 2 y 4.
M14, M15, M16	Son las memorias en donde se activa las luces piloto, indicando que está en funcionamiento (color verde), que se detuvo (color rojo) y que se reseteo el proceso (color amarillo) respectivamente.
M30, M32, M33, M50	Cuando se activa esta memoria se activa la salida Y6.
M41, M31, M56	Cuando se activa esta memoria se activa la salida Y0.

M19, M53	Cuando se activa esta memoria se activa la salida Y7.
M20, M54	Cuando se activa esta memoria se activa la salida Y11.
M34, M35, M36, M37	Cuando se activa esta memoria se activa la salida Y4.
M57	Cuando se activa esta memoria se activa la salida Y1.
M55, M77	Cuando se activa esta memoria se activa la salida Y10.

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.4.1.5 Asignación de tiempos

Según el esquema de la **Figura 16-2**, se asignaron temporizadores para el proceso de obtención de biodiesel, los mismos que se detallan a continuación.

Tabla 12-2: Asignación de temporizadores en el PLC.

Salidas	Descripción
T25	Se le asignó el tiempo para la etapa de “Decantación”.
T29	Se le asignó el tiempo para la etapa de “Transesterificación”.
T30	Se le asignó el tiempo para la etapa de “Lavado”.
T31	Se le asignó el tiempo para la etapa de “Secado”.
T32	Se le asignó el tiempo para la etapa de “Carga de Aceite y Eliminación de Impurezas”.

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.4.1.6 Asignación de registros

Se asignaron registros para el proceso de obtención de biodiesel, los mismos que se detallan a continuación.

Tabla 13-2: Asignación de registros en el PLC.

Salidas	Descripción
D2	Se le asignó el registro para guardar el valor de la temperatura.
D4	Se le asignó el registro para guardar el valor de la temperatura multiplicado por 2.

D6	Se le asignó el registro para guardar el valor de D4 dividido para 20.
D8	Se le asignó el registro para guardar el valor D6.
D10	Se le asignó el registro para guardar el valor D8 sumado 2.
D12	Se le asignó el registro para guardar el valor D8 restado 2.
D50	Se le asignó el registro para guardar el valor T32.
D51	Se le asignó el registro para guardar el valor T29.
D52	Se le asignó el registro para guardar el valor T25.
D53	Se le asignó el registro para guardar el valor T30.
D52	Se le asignó el registro para guardar el valor T31.
D200	Se le asignó el registro para guardar el valor del ingresado en el HMI.
D201	Se le asignó el registro para guardar el valor D200.
D202	Se le asignó el registro para guardar el valor D201 sumado 2.
D203	Se le asignó el registro para guardar el valor D201 restado 2.

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.5 Interfaz Hombre Máquina (HMI)

La pantalla de interfaz seleccionada para el control y monitoreo del proceso de obtención de biodiesel tiene las siguientes características: marca TouchWin, modelo TG465-UT, pantalla táctil, voltaje de operación de 24 VDC, resolución 480*272 pixeles, 4.3” de tamaño de la pantalla.

2.5.2 Pantallas: principal y de selección

Al encender el equipo, aparece una pantalla de presentación, al presionar sobre la opción “Iniciar” se accede a otra ventana que contiene botones cuya selección permite que el proceso se ejecute de forma manual o automática.



Figura 17-2 Pantalla de presentación
 Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

La siguiente pantalla permite seleccionar el modo de operación del equipo, manual o automático. En el caso de seleccionarse el modo automático, la carga de aceite es mínimo 10 y máximo 15 litros y el caldero debe tener una presión mínima de 40 PSI y máxima de 50 PSI.



Figura 18-2 Pantalla de selección
 Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

En el modo automático se presenta la pantalla siguiente, en la que consta cada fase de la producción del biodiesel, al seleccionar cualquiera de ellas, se presenta una nueva pantalla a través de la cual se da inicio a la fase seleccionada.

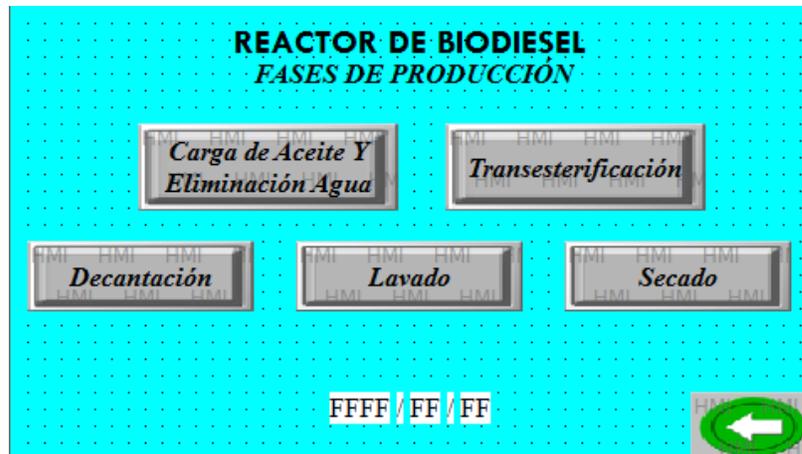


Figura 19-2 Pantalla modo automático
 Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

En el modo manual se tiene la pantalla de la **Figura 20-2**, este modo permite la maniobra del equipo cuando las cargas de aceite son menores o mayores de 15 litros o cuando se requiera utilizar el reactor en otros proyectos no necesariamente relacionados con la producción de biodiesel, empleándose otros compuestos y reactivos químicos en volúmenes diferentes.



Figura 20-2 Pantalla modo manual
 Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Al seleccionar en la opción Temperatura, aparece una nueva ventana en la que se puede ingresar un valor de temperatura, ese dato hace que la electroválvula permita o corte el paso del vapor hacia la cámara de calefacción. En función del dato ingresado la electroválvula se maneja con una tolerancia de $\pm 2^\circ \text{C}$.



Figura 21-2 Pantalla de ingreso de temperatura en modo manual
 Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Dentro del modo de operación manual se tiene una pantalla para cada fase, desde las cuales se enciende o apaga cualquiera de los actuadores.



Figura 22-2 Pantallas modo manual para cada fase
 Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Para accionar el sistema de agitación por un tiempo determinado, se presiona sobre el botón Ingresar Tiempo, que redirecciona a otra pantalla en la cual se puede ingresar el tiempo durante el cual se mantendrá encendido el motor sea en velocidad rápida o velocidad baja, para ingresar un nuevo valor hay que pulsar en Reinicio Contador.

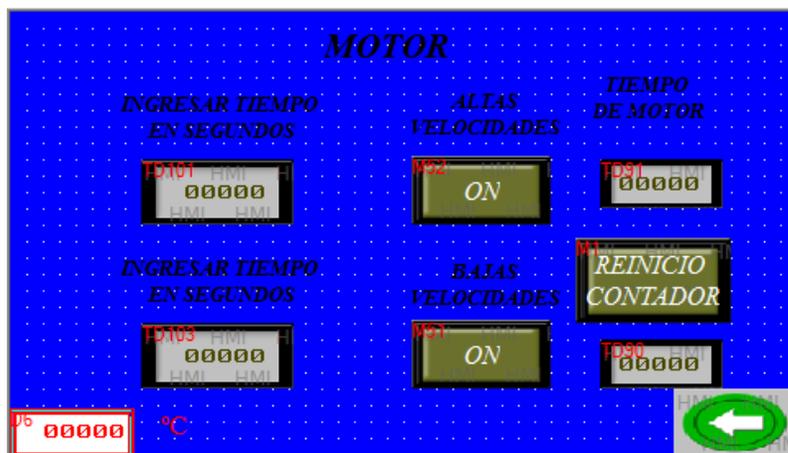


Figura 23-2 Ingreso tiempo de agitación
 Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.6 Procedimiento químico

2.6.1 *Equipo de protección individual*

La utilización del equipo de protección individual permite reducir los riesgos que podrían amenazar la seguridad o salud del operador del equipo. En el Laboratorio de Procesos Industriales es obligatorio registrarse por el Protocolo de Equipos de Protección Personal, el mismo que considera la utilización de:

- Protección Corporal (Mandil).
- Protección Visual (Gafas de seguridad).
- Protección Respiratoria (Mascarilla).
- Guantes de látex.



Figura 24-2 Equipo de protección individual empleado
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.6.2 *Limpieza del equipo*

Antes y después de realizar las prácticas en el reactor, se debe verificar que se encuentre completamente limpio: el tanque de reacción, los tanques secundarios y el recipiente de descarga, caso contrario el resultado final puede no ser el esperado.



Figura 25-2 Reactor de biodiesel limpio
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.6.3 *Filtrado de impurezas*

Se lo realiza cuando se emplea aceite de frituras para eliminar restos de alimentos, se utiliza material nylon o fieltro. Si se emplea aceite virgen no se ejecuta este paso.



Figura 26-2 Aceite de fritura filtrado
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.6.4 *Preparación del reactivo y catalizador*

2.6.4.1 *Metanol*

Se emplea el metanol absoluto, es decir, con una pureza del 99% para lograr una mejor conversión del aceite en biodiesel. Se emplea en proporción del 20% del volumen de aceite cargado.



Figura 27-2 Envases de metanol
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.6.4.2 *Hidróxido de sodio*

El hidróxido de sodio (NaOH) se debe manejar con mucha precaución ya que es corrosivo y expuesto al ambiente absorbe la humedad y pierde propiedades químicas. Se necesita 3.5 g de hidróxido por cada litro de aceite cargado, se emplea una balanza para su pesaje.



Figura 28-2 Pesado del NaOH

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

2.6.4.3 *Mezcla de los reactivos*

La presentación del NaOH es en escamas y para agregarse al aceite debe estar completamente diluido; una vez pesada la cantidad de catalizador se coloca en el vaso de precipitación, se añade el metanol y se utiliza una barra de agitación para la mezcla.

Esta preparación debe calentarse a 40° C por tiempos cortos en un reverbero eléctrico para diluir el NaOH. La mezcla puede evaporarse y para evitar las pérdidas de metanol, el vaso de precipitación o el tanque secundario del metóxido debe permanecer cubierto con papel aluminio.



Figura 29-2 Mezcla de metóxido

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

En esta preparación se debe tratar al metóxido de sodio con extremo cuidado. Se recomienda el uso de la mascarilla para evitar respirar sus vapores. Si se cae sobre la piel podría producir una quemadura, en caso de producirse hay que lavar la zona con muchísima agua. Cuando se manipula metóxido de sodio se debe tener siempre cerca agua corriente.

El metóxido de sodio también es muy corrosivo para las pinturas, esta mezcla reacciona con el aluminio, el estaño y el zinc. Para su aplicación se puede utilizar recipientes de vidrio, acero inoxidable, o esmaltados. Los mejores son los de acero inoxidable.

CAPÍTULO III

3 MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se exponen los resultados y comparaciones con datos experimentales obtenidos en el desarrollo de este trabajo y que permiten proporcionar respuestas a las preguntas planteadas en la sistematización del problema. Los procedimientos y operaciones llevadas a cabo en el laboratorio se ejecutan según el protocolo de Equipos de Protección Individual.

En el presente capítulo se detalla las mejoras obtenidas en el reactor tipo batch para la obtención de biodiesel, mismo que está ubicado en el Laboratorio de Procesos Industriales de la ESPOCH, posterior a la automatización.

Previamente se realizaron pruebas en el reactor de biodiesel antes de ser intervenido para su automatización para determinar los aspectos que provocaban ineficiencia en su operación y consumo excesivo de recursos.

Una vez implementado la automatización del proceso se realiza pruebas de funcionamiento para descartar cualquier tipo de fallo ya sea en hardware o software haciendo de este un equipo robusto al ambiente de operación, además con las debidas seguridades y lo que es más importante aún, la optimización de los recursos usados en el proceso para obtener un producto de calidad.

Y como parte final se resalta las mejoras más significativas obtenidas por la modernización del equipo del reactor tipo batch, también se realiza cuadros comparativos de la funcionalidad del equipo previo y posterior a la automatización manteniendo las mismas condiciones de operación.

3.1 Resultados, análisis y discusión.

3.1.1 *Sistema de Agitación*

El sistema de mezclado antiguo estaba constituido por un taladro apostado sobre la tapa del reactor y sujetado por una base fija, se debía mantener presionado el interruptor del taladro por una hora, lo que implica variaciones en la velocidad y la presencia obligada del operario en esta parte del proceso.



Figura 1-3 Sistema de agitación antiguo
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Para el sistema de agitación que se emplea en la mezcla de líquidos, inicialmente, se utilizó un motor de $\frac{1}{2}$ HP obtenido de una bomba de agua.

El control de la velocidad de giro se realizó con un circuito de control de fase, gobernado por una placa Arduino Nano y circuitería de electrónica de potencia adicional, sin embargo, el motor no generaba el torque necesario para mezclar los líquidos y llegaba a recalentarse en muy poco tiempo debido al sobre esfuerzo.

Posteriormente se colocó el motor de un esmeril, se empleó el mismo circuito de control, pero la velocidad era muy alta y generaba remolinos y burbujas que perjudican el resultado final en la obtención del biocombustible, además de recalentarse y presentar un consumo elevado de corriente eléctrica, por lo que tampoco se utilizó.



Figura 2-3 Motor agitador y circuito de control
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Dado que el mecanismo de agitación debe estar empotrado sobre la tapa del reactor cuya área es pequeña, se requería de un motor robusto y ligero por lo tanto no se podía emplear un motor-reductor de AC ya que ocupan mucho espacio, son pesados para las tareas de limpieza del equipo y son costosos.

Se decidió emplear un motor de 24 VDC que es pequeño, consume muy poca corriente y posee un mecanismo de reducción que le proporciona la velocidad y el torque suficientes para agitar la mezcla sin generar remolinos ni burbujas que perjudiquen la calidad del biodiesel.

En la fase de transesterificación se tiene una velocidad de 120 rpm, y en el lavado que se requiere estrictamente una velocidad baja, se obtiene 60 rpm.



Figura 3-3 Motor agitador 24 VDC
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

3.1.2 *Modificaciones en el Reactor*

La **Figura 4-3** muestra el estado del reactor cuando operaba en forma manual, y en la **Figura 5-3** se muestra el estado del reactor ahora automatizado.



Figura 4-3 Reactor manual
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016



Figura 5-3 Reactor automatizado
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

3.1.3 *Reactor Manual vs Reactor Automatizado*

3.1.3.1 *Manipulación directa del operador*

A través de la observación se determinó en qué eventos se encuentra presente el operador para la manipulación del reactor de biodiesel, antes y después de la automatización.

Tabla 1-3: Manipulación antes y después de la automatización.

Evento	Sin control	Automatizado
Carga de aceite / biodiesel	Si	No
Ingreso del metóxido	Si	No
Agitación en la fase de transesterificación	Si	No
Drenaje glicerina / agua	Si	Si
Ingreso de agua	Si	No
Agitación en la fase de lavado	Si	No
TOTAL EVENTOS	6	1

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

El operario debía estar presente y maniobrar el equipo en todas las etapas de la producción de biodiesel cuando el reactor funcionaba de forma manual. Con la automatización del equipo se requiere la intervención del usuario sólo en una etapa, porque el drenaje del agua o del glicerol se lo hace a través de las llaves de fondo. El hecho que la glicerina flote o se precipite depende de la calidad de la materia prima utilizada.

3.1.3.2 Análisis y comparaciones de tiempos por cada etapa.

- *Carga de aceite y eliminación de agua:* Con el equipo automatizado se tiene una reducción del 25% del tiempo que tomaba hacerlo manualmente.



Gráfico 1-3 Tiempos en carga de aceite y eliminación de agua
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

- *Transesterificación:* La automatización, en esta fase permite la reducir 10 minutos, es decir una reducción del 25% del tiempo que tomaba hacerlo de forma manual. Además, la agitación es constante y sin generación de vórtices.

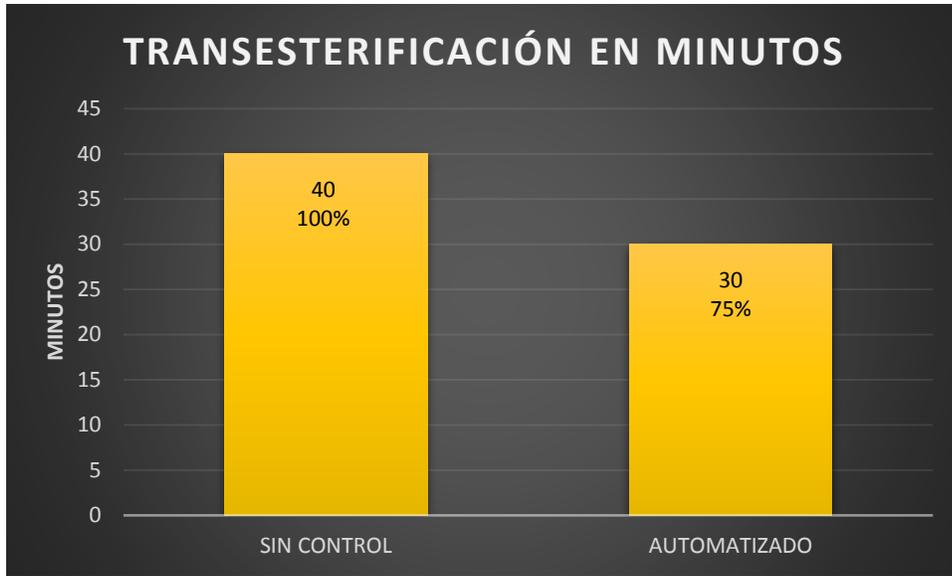


Gráfico 2-3 Tiempos en la fase de transesterificación

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

- *Decantación:* La decantación en forma manual requería de un tiempo de 8 horas, al automatizar el equipo el tiempo se reduce a 1 hora y 30 minutos, lo que representa una reducción del 81,25% del tiempo en la fase de decantación.

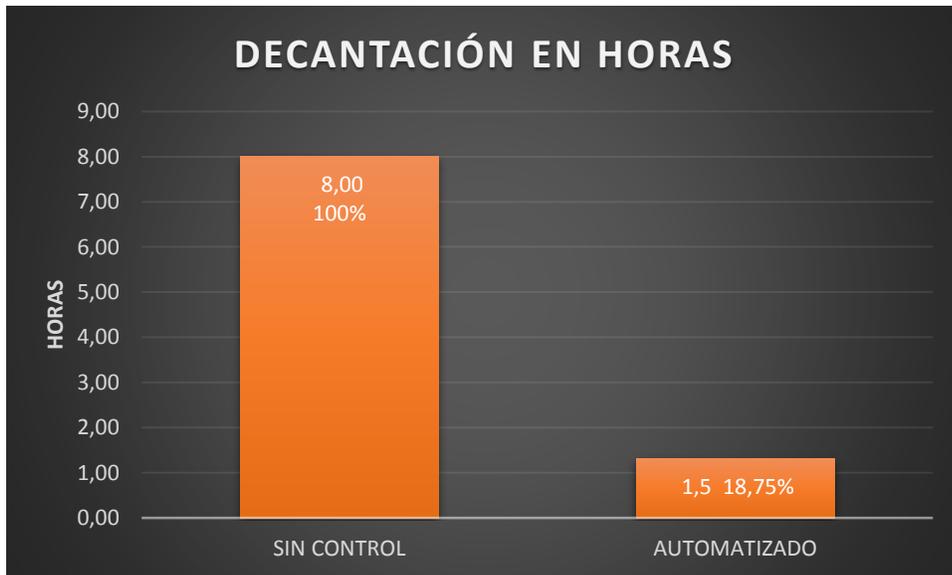


Gráfico 3-3 Tiempos en la fase de decantación

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

- *Secado*: Se lleva a cabo en solo 10 minutos, hasta alcanzar el punto de ebullición del agua, lo que representa una reducción del tiempo en un 33.33% comparado a la operación en forma manual.



Gráfico 4-3 Tiempos en la fase de secado
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

3.1.3.3 *Análisis y comparaciones de tiempos del proceso completo*

Para la automatización del reactor de biodiesel, los datos de tiempos y temperaturas obtenidos corresponden a cargas de 10 litros de aceite de cocina reciclado, teniendo en cuenta que la llave de paso de vapor desde la caldera debe estar abierta a media vuelta y trabajar con una presión mínima de 40 PSI y máxima de 50 PSI.

Tabla 2-3: Tiempos del reactor en operación manual

Proceso / Fase	Tiempo	Temperatura
Carga de aceite	5 min	Ambiente
Eliminación de agua	15 min	100° C
Tiempo de espera hasta llegar a 60° C	1 h 30 min	
Transesterificación	40 min	57° C ± 3° C
Decantación	8 h	Ambiente
Drenaje de la glicerina	5 min	Ambiente
Lavado del biodiesel	15 min	Ambiente

Drenaje de agua	5 min	Ambiente
Tiempo de reposo para separar los jabones	20 min	Ambiente
Secado	15 min	100° C
TOTAL TIEMPO	11 h 30 min	

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Cuando el reactor se operaba manualmente tomaba un tiempo de alrededor de 11 horas y media producir y obtener el biodiesel. La etapa que más tiempo consumía era la decantación.

A continuación, se detallan tiempos y temperaturas, con el reactor automatizado, según cada fase del proceso de obtención del biodiesel, incluyendo los tiempos que se requieren para el drenaje y el descenso en la temperatura del compuesto.

Tabla 3-3: Tiempos del reactor automatizado

Proceso / Fase	Tiempo	Temperatura
Carga de aceite y eliminación de agua	15 min	100° C
Tiempo de espera hasta que llegue a 60° C (fuera del reactor)	50 min	Ambiente
Transesterificación	30 min	58° C ± 2° C
Decantación	1 h 30 min	> 38° C
Drenaje de la glicerina	5 min	Ambiente
Lavado del biodiesel	15 min	Ambiente
Drenaje de agua	5 min	Ambiente
Tiempo de reposo para separar los jabones	20 min	Ambiente
Secado	10 min	100° C
TOTAL TIEMPO	4 h	

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Con el reactor automatizado, se lleva a cabo el mismo proceso en cuatro horas. Solamente que el drenaje del agua y la glicerina se realiza manualmente porque las características del aceite reciclado hacen que, en la etapa de decantación, la glicerina se precipite al fondo del reactor o flote sobre el biodiesel, hay que saber distinguir dichas capas y drenar con cuidado.



Gráfico 5-3 Tiempo en la producción del biodiesel

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Al disminuir el tiempo en la decantación, también disminuye el tiempo de producción del biodiesel. Cuando el equipo funcionaba en forma manual, se necesitaba alrededor de 11 horas y 30 minutos para obtener biodiesel. Con la automatización se lleva a cabo el mismo proceso en solo 4 horas, lo que representa una disminución del 65,22 % del tiempo inicial.

3.1.4 Características Físico-Químicas

Se presenta algunas de las características físico- químicas de: aceite de fritura empleado, glicerina y biodiesel obtenidos. Dos pruebas se realizaron con metanol con grado 99 de pureza. En esta parte se escoge la prueba con mejor resultado.

Las características del biodiesel pueden variar ligeramente, depende de la calidad del aceite empleado, la pureza y proporción del reactivo y del catalizador.

3.1.4.1 *Aceite de cocina usado*

Tabla 4-3: Caracterización del aceite de fritura

DETERMINACIÓN	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad	g/ml	1,05
Viscosidad	g/cm s	0,2585
Capacidad Calorífica	KJ/Kg K	14,19

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

3.1.4.2 *Glicerina*

Tabla 5-3: Caracterización de la glicerina

DETERMINACIÓN	UNIDADES	RESULTADOS
Densidad	g/ml	0,98
Capacidad Calorífica	KJ/Kg K	2,32

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

3.1.4.3 *Biodiesel*

Tabla 6-3: Caracterización del biodiesel

PARÁMETRO	CANTIDAD	UNIDADES
Gravedad API	27,2	Adimensional
Punto de Inflamación	72	C

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

3.1.5 *Rendimiento del reactor automatizado*

Tras la automatización del equipo se evalúa el consumo y optimización de los recursos.

Corriente: Antes de la automatización se tenía un consumo de 2,5 A y correspondía a la corriente que consume el taladro. Para la automatización se incorporó más dispositivos eléctricos, sin embargo, su consumo sigue siendo bajo, aproximadamente 4 A con varias cargas accionadas simultáneamente, la carga que mayor corriente consume es la bomba de agua (corriente nominal de 3,3 A)



Figura 6-3 Consumo de corriente del reactor
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Rendimiento: El rendimiento en tiempo del reactor se determina de acuerdo al número de horas que se necesitan para llevar a cabo el mismo trabajo que cuando funcionaba de forma manual.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Tiempo en manual}}{\text{Tiempo en automático}} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{11,5}{4} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = 287,5 \%$$

La calidad del biodiesel se determina a través de estudios químicos, que no se contemplan en este trabajo, sin embargo, hay factores que influyen directamente como: la calidad de la materia prima, el grado de pureza del metanol, la velocidad del sistema de agitación y la temperatura en cada fase.

3.2 Marco de Resultados

A través de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas se procede a responder las preguntas de sistematización del problema, mismas que engloban el alcance de este proyecto.

¿Cómo automatizar un reactor tipo batch para la obtención de biodiesel a partir de aceite de cocina reciclado?

La automatización del reactor tipo batch para producir biodiesel utilizando como materia prima el aceite de cocina de descarte se logra instalando sensores y actuadores acordes al proceso, definiendo y determinando variables que influyen en la producción del biocombustible, para plasmar tales condiciones en un código de instrucciones que el Controlador sea capaz de interpretar y ejecutar.

¿Cómo efectuar el control de los procesos mediante un PLC y el monitoreo del reactor desde un HMI?

Para el control se empleó un PLC que permite controlar la temperatura en el tanque principal, el accionamiento de los actuadores de acuerdo con las señales de entrada y los tiempos establecidos. La programación se llevó a cabo en diagrama ladder. El controlador facilita el uso de registros, memorias y variables que son manipuladas y visualizadas desde el HMI, lo que permite el monitoreo del equipo.

¿Cómo reducir el tiempo en la fase de decantación en al menos un 60%?

La decantación es el proceso en el cual el biodiesel se separa de la glicerina, por lo que se requiere reposo total de la mezcla después de la reacción química (transesterificación), pero la temperatura debe mantenerse sobre los 38° C por al menos una hora. Efectuadas las pruebas, se determinó que el tiempo ideal de reposo es 1 hora y 30 minutos.

Por lo tanto, el tiempo en la fase de decantación se reduce en un 81,25%; lo que ayuda a que el tiempo de producción también se reduzca en un 65,22% comparado a las 11 horas y media que se requerían cuando el proceso era netamente manual.

¿Cuáles son las condiciones y procesos para la elaboración de biodiesel a partir de aceite comestible de descarte?

Se requiere que el aceite sea filtrado para eliminar las impurezas como harinas y restos de alimentos; para la preparación del metóxido se necesita que el metanol sea absoluto (99% de pureza); en el lavado del biodiesel la agitación debe ser a velocidad baja.

¿Cómo seleccionar los dispositivos eléctricos y electrónicos a utilizar para este tipo de proceso?

Los dispositivos se seleccionan de acuerdo al dimensionamiento y a las condiciones del proceso; en el caso de las electroválvulas se consideran; temperatura y presión de trabajo; el sensor de temperatura se determina por su rango de medida; el PLC por el número y tipo de entradas y salidas; los conductores y las protecciones por la carga instalada.

¿Cómo verificar y evaluar el rendimiento del reactor automatizado?

El rendimiento actual del reactor es 287,5%. Anteriormente todas las operaciones se realizaban de forma manual, ahora sólo el drenaje de la glicerina o del agua se hace manualmente. En cuanto al biocombustible, en Ecuador ya existe una norma que establece los requisitos que debe reunir el biodiesel en una concentración del 100% (Norma NTE INEN 2482 publicada en el 2009). Su purificación implica tratamientos químicos más complejos y laboratorios bien equipados.

CONCLUSIONES.

- Se logró satisfactoriamente la automatización del reactor tipo batch para la obtención de biodiesel en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.
- Se establecieron las características y parámetros para el funcionamiento y operación del reactor, determinando: fases de producción, valores de temperatura, tiempos, velocidades de agitación y cantidades de reactivos químicos.
- El PLC permite el accionamiento de los actuadores en función de las señales recibidas y las condiciones programadas, enlazándose al HMI para facilitar el control y monitoreo del equipo.
- La decantación es una de las fases de producción del biodiesel, crítica debido al tiempo que se requería para llevarla a cabo de forma manual (8 horas mínimo). La forma de reducir el tiempo en esta fase es manteniendo la mezcla en reposo, después de la reacción, y la temperatura sobre los 38° C por una hora y media. Se logra reducir el tiempo en un 81,25%.
- El controlador, los sensores y actuadores se seleccionaron según los requerimientos del proceso; los conductores eléctricos, fuente de CC, y la protección se determinaron en función de la carga instalada.
- El rendimiento del reactor automatizado se incrementa notablemente en 287,5%. Se tiene un equipo operativo y seguro, muestra bajo consumo de corriente, reducción en la cantidad de agua empleada para el lavado del biodiesel y posee un sistema de agitación constante. El rendimiento en volumen del biodiesel obtenido depende en gran medida de la calidad del aceite de cocina reciclado y la pureza del metanol.

RECOMENDACIONES.

- Para encender, asegurarse que la toma sea de 110 VAC y antes de iniciar la práctica asegurarse de que el reactor se encuentre limpio y al finalizar proceder con la limpieza del equipo.
- Asegurarse de que el caldero se encuentre encendido y con una presión mínima de trabajo de 40 PSI y máxima de 50 PSI.
- Cuando se opere el reactor en modo Automático, la carga de aceite reciclado será mínimo 10 litros y máximo de 15 litros. Si el reactor se opera en modo Manual, se requiere presionar sobre los botones ON, OFF para activar o desactivar algún actuador, según la fase a ejecutarse. Para el motor agitador se puede ingresar el tiempo en segundos durante el cual se mantendrá encendido sea con velocidad alta o velocidad baja.
- Mantener precaución al manejar los reactivos químicos y seguir el Protocolo de Equipos de Protección Individual, el mismo que considera la utilización de: mandil, gafas de seguridad, mascarilla, guantes de látex.
- El drenaje de la glicerina y el agua se hacen por las llaves de fondo del reactor. En el caso de la glicerina a veces podría no precipitarse por lo que primero se evacuaría el biodiesel y luego el glicerol, esto debido a la naturaleza del aceite usado.
- Evitar el contacto con superficies calientes cuando se opere y manipule el reactor.
- En la fase de transesterificación, considerar el grado de pureza de los reactivos (metanol 99% de pureza), caso contrario el producto final será de mala calidad y no se logrará una mayor convertibilidad del aceite en biodiesel.
- Para operaciones de limpieza y mantenimiento el equipo debe estar apagado y desconectado de la red de energía.
- Se recomienda revisar el manual de instrucciones, en el que se describe el funcionamiento y operación del reactor de biodiesel.

BIBLIOGRAFÍA.

ARIAN, Arian Control & Instrumentación. *Pt100, su operación, instalación y tablas.* [En línea] 2016. [Consulta: 28 Marzo 2016]. Disponible en: <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>

BALCELLS, Josep; & ROMERAL, José. *Autómatas Programables.* Barcelona-España: Marcombo S.A, 1997. pp. 12-16

CARLETTI, Robots pasión por la Argentina. *Sensores.* [En línea] 2016. [Consulta: 30 Marzo 2016]. Disponible en: http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm

DOMINGUEZ, Julián. *Circuitos Eléctricos Auxiliares.* Madrid, España. 2012. pp. 59-62

ELECTRONICA, Electrónica Fácil. *Fuentes de Alimentación.* [En línea] 2016. [Consulta: 29 Marzo 2016]. Disponible en: <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Fuentes-alimentacion.php>

FILSER, Gregor. *Tecnologías de la Fabricación.* [En línea] 2013. [Consulta: 20 Agosto 2015]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/view/14686791/tecnologias-de-fabricacionpdf-1380kb-aug-14-administracion/261>

GARCÍA, Hilario & LIBRÁN, Rafael. *Programación de Robots Industriales.* Oviedo-España: Servicio de Publicaciones-Universidad de Oviedo, 2003. pp. 24-30

HARPER, Gilberto. *Fundamentos de Control de Motores Eléctricos en la Industria.* 3ª ed. México D.F: Limusa- Noriega Editores, 2004. pp. 90-100

HOLLAND, C. *Fundamentos y Modelos de Procesos de Separación.* Bogotá, 2005. pp. 60-74

OPENCOURSEWARE, Universidad de Sevilla. *Dispositivos hidráulicos auxiliares.* [En línea] 2007. [Consulta: 17 Marzo 2016]. Disponible en: http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%206.%20Elementos%20auxiliares/page_05.htm

ORTEGA, Manuel & BRAVO, José. *Sistemas de Interacción Hombre-Computador.* Ciudad Real-España: Universidad Castilla de la Mancha, 2001. pp. 321-323

ORDOÑEZ, Gasca Andrés Camilo. *Controles Eléctricos / Automatización y Neumática.* [blog], 2012. [Consulta: 01 Abril 2016]. Disponible en: <http://procesos2automatizacionyneumatica.blogspot.com/>

PALMAY, Paúl. *Diseño y construcción de un reactor batch para la obtención por transesterificación de biodiesel a partir de aceite de cocina reciclado* [En línea] (Tesis Pregrado) ESPOCH, Ciencias, Ingeniería Química, Riobamba-Ecuador. 2009. pp. 35-80. [Consulta: 1 Marzo 2016]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/248.pdf>

PANIMBOZA CAPUZ, Luis Aladino & ESPINOZA BELTRAN, Paul Stalin. *Automatización de una inyectora de plástico mediante un plc y sistema de interfaz humano (HMI)* [En línea] (Tesis Pregrado) ESPOCH, Informática y Electrónica, Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales, Riobamba-Ecuador. 2014. pp. 87-104. [Consulta: 12 Marzo 2016]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3591/1/108T0103.pdf>

PERIS, Enrique. *Sistemas Electrónicos Digitales, Fundamento y Diseño de Aplicaciones.* Valencia-España: Maite Simón, 2002. pp. 17-25

SALA, Jesús. *Introducción a la Programación Teórica y Práctica.* Alicante- España: Editorial Club Universitario, 2003. pp. 4-10

SMITH, C. *Control Automático de Proceso.* México-Limusa: 2ª Edición, 1995. pp. 25-35

UNICROM, Electrónica Unicrom. *Relé – Relay – Relevador (Interruptor operado magnéticamente).* [En línea] 2016. [Consulta: 28 Marzo 2016]. Disponible en: <http://unicrom.com/rele-relay-relevador-interruptor-operado-magneticamente/>

ANEXOS.

ANEXO A. PROGRAMACIÓN EN XCPRO PLC

```
; REACTOR BODIESEL          TESIS          ; SEGUNDA ETAPA
; JONATAHN CAMPOS           LD      X102
; JUAN PABLO RODRIGUEZ      OR      M3
; AUTOMATICO                OUT     M3
; LECTURA DE DATOS DE
TEMPERATURA
LD      M8000
DMUL T101  K10  D102
LD      M8000
DMUL T103  K10  D104
LD      M8000
MOV ID1003 D2
DMUL D2    K2    D4
DDIV D4    K20   D6
LD      M14
OUT C0     D101
LD      C0
OUT M78

; ENTRADAS Y ENCLAVAMIENTO
LD      X100
OR      M1
OUT M1

; PRIMER ETAPA
LD      X101
OR      M2

OUT M2

; TERCERA ETAPA
LD      X103
OR      M4
OUT M4

; CUARTA ETAPA
LD      X104
OR      M5
OUT M5

; QUINTA ETAPA
LD      X105
OR      M6
OUT M6

; SENSORES DE NIVEL
LD      X7
OR      M12
OUT M12

LD      X11
OR      M13
OUT M13

; LUZ PILOTO, VERDE, ROJO Y
AMARILLO
LD      X3
```

OR M14
 AND X5
 AND X1
 OUT M14
 LDI X5
 OR M15
 ANI X3
 AND X1
 OUT M15
 LDI X1
 OR M16
 ANI X3
 AND X5
 OUT M16

; VALORES DE TEMPERATURA

LDI M3
 ANI M4
 MOV K80 D8
 LD M3
 ANI M4
 MOV K57 D8
 LD M4
 ANI M3
 MOV K38 D8

; VALOR MINIMO Y MAXIMO DE TEMPERATURA

LD M8000
 ADD D8 K2 D10
 SUB D8 K3 D12

; BOMBA, MOTOR T20 T8 ELINICACION DE AGUA, SECADO, Y CARGA DE ACEITE

LD M2
 ANI M15
 ANI M16
 MCS
 OUT M30
 LD M30
 OUT T20 K600
 MCR
 LD M30
 OR Y6
 ANI T20
 ANI M15
 ANI M16
 OUT Y6
 LD T20
 OUT T33 K2400
 LD M6
 OUT T34 K2400
 LD T33
 ANI M15
 ANI M16
 MCS
 OUT M41
 LD T33
 OUT T22 K1200
 MCR
 LD T34
 ANI M15
 ANI M16
 MCS
 OUT M31

LD T34
 OUT T35 K1200
 MCR
 LD M31
 OR Y0
 OR M41
 ANI T22
 ANI T35
 ANI T1
 ANI T21
 ANI M15
 ANI M16
 OUT Y0

; TIEMPOS EN EL HMI

LD M51
 DDIV T80 K10 T90
 LD M8000
 DDIV T81 K10 T91
 DDIV T30 K10 D53
 DDIV T31 K10 D54
 DDIV T32 K10 D50

; COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS

LD M2
 OR M6
 LD> D6 D10
 OR M10
 ANB
 ANI M11
 ANI M15
 ANI M16
 MCS
 OUT M10

LD M2
 OUT T27 K4200
 LD M6
 OUT T28 K3000
 MCR

; LAVADO 38 GRADOS

LD M2
 OR M6
 LD< D6 D12
 OR M11
 ANB

ANI M10
 ANI M15
 ANI M16

MCS

OUT M11
 LD M2
 OUT T1 K4200
 LD M6
 OUT T21 K3000

MCR
 LD T1
 ANI M15

ANI M16
 RST M2
 LD T21

ANI M15
 ANI M16
 RST M6

LD M11
 OR Y10
 ANI M10
 ANI T1

ANI T21
ANI T27
ANI T28
ANI M15
ANI M16
OUT Y10

; MOTOR Y ELECTROVALVULAS

; TRANSESTERIFICACION 57 GRADOS
30 MINUTOS

; BOMBA PARA

TRANSESTERIFICACIÓN

LD M3
AND M12
ANI M15
ANI M16
MCS
OUT M32
LD M32
OUT T23 K600
MCR
LD M32
OR Y6
ANI T23
ANI M15
ANI M16
OUT Y6
LD T23
ANI M15
ANI M16
MCS
OUT M19
LD M19
OUT T5 K600

MCR
LD M19
OR Y7
ANI T5
ANI M15
ANI M16
OUT Y7
LD T5
ANI M15
ANI M16
OUT T7 K30
LD T7
OR Y1
ANI T8
ANI M15
ANI M16
MCS
OUT Y1
LD T7
OUT T8 K18000
MCR
LD T8
ANI M15
ANI M16
RST M3
RST M12
RST T7
RST M19

; DECANTACIÓN 38 GRADOS 1 HORA
LD M4
OR Y4
ANI T26
ANI M15

ANI M16
MCS
OUT Y4
LD M4
OUT T25 K32000
MCR
LD T25
ANI M15
ANI M16
OUT T26 K4000
LD T26
ANI M15
ANI M16
RST M4

; LAVADO TEMPERATURA AMBIENTE

10 MINUTOS

LD M5
AND M13
ANI M15
ANI M16
MCS
OUT M20
LD M20
OUT T6 K400
MCR
LD M20
OR Y11
ANI T6
ANI M15
ANI M16
OUT Y11

; BOMBA LAVADO

LD T6
ANI M15
ANI M16
MCS
OUT M33
LD M33
OUT T24 K600
MCR
LD M33
OR Y6
ANI T24
ANI M15
ANI M16
OUT Y6
LD T6
OR Y0
ANI T10
ANI M15
ANI M16
MCS
OUT Y0
LD T6
OUT T10 K6000
MCR
LD T10
ANI M15
ANI M16
RST M5
RST M13
RST M20
RST T6

; INDICADOR LUZ		OUT	Y4	
TRANSESTERIFICACION, LAVADO Y		LD	M6	
SECADO		ANI	M15	
LD	M3	ANI	M16	
AND	M12	MCS		
ANI	M15	OUT	M36	
ANI	M16	LD	M6	
MCS		OUT	T31	K3000
OUT	M34	MCR		
LD	M12	LD	M36	
AND	M3	OR	Y4	
OUT	T29	ANI	T31	K19200
MCR		ANI	M15	
LD	M34	ANI	M16	
OR	Y4	OUT	Y4	
ANI	T29	LD	M2	
ANI	M15	ANI	M15	
ANI	M16	ANI	M16	
OUT	Y4	MCS		
LD	M5	OUT	M37	
AND	M13	LD	M2	
ANI	M15	OUT	T32	K4200
ANI	M16	MCR		
MCS		LD	M37	
OUT	M35	OR	Y4	
LD	M12	ANI	T32	
AND	M5	ANI	M15	
OUT	T30	ANI	M16	K7000
MCR		OUT	Y4	
LD	M35	LD	T29	
OR	Y4	RST	T29	
ANI	T30	LD	T30	
ANI	M15	RST	T30	
ANI	M16	LD	T31	

RST T31
LD T32
RST T32
LD T25
RST T25

; LUZ PILOTO

LD M14
ANI M16
ANI M15
RST Y2
RST Y3
LD M15
OR Y2
ANI M14
ANI M16
OUT Y2
RST M14
RST M16
RST M2
RST M3
RST M4
RST M5
RST M6
RST M1
RST X100
RST M55
RST M54
RST M53
RST M52
RST M51
RST M50
RST M60
RST M61

RST M60
RST M61
RST M57
RST M56
LD M16
OR Y3
ANI M14
ANI M15
OUT Y3
RST M14
RST M15
RST M2
RST M3
RST M4
RST M5
RST M6
RST M1
RST X100
RST M55
RST M54
RST M53
RST M52
RST M51
RST M50
RST M60
RST M61
RST M60
RST M61
RST M57
RST M56

; MANUAL REACTOR BIODIESEL

; HMI MANUAL

LD M50

```

OR    Y6
ANI   M1
ANI   M15
ANI   M16
OUT   Y6

; TIEMPO MOTOR 1
LD    M51
AND>  D102 T80
OR    M56
ANI   M1
ANI   M15
ANI   M16
MCS
OUT   M56
LD    M51
OUT   T80 D102
MCR
LD    M51
AND<  D102 T80
OR    M58
ANI   M1
ANI   M15
ANI   M16
OUT   M58
LD    M58
RST   M51
SET   M8000
RST   M1
RST   T101
RST   D102
LD    M56
OR    Y0
ANI   T80

ANI   M58
ANI   M1
OUT   Y0

; TIEMPO MOTOR 2
LD    M52
AND>  D104 T81
OR    M57
ANI   M1
ANI   M15
ANI   M16
MCS
OUT   M57
LD    M52
OUT   T81 D104
MCR
LD    M52
AND<  D104 T81
OR    M59
ANI   M1
ANI   M15
ANI   M16
OUT   M59
LD    M57
OR    Y1
ANI   T81
ANI   M59
ANI   M1
OUT   Y1
LD    M59
RST   M52
SET   M8000
RST   T103
RST   M1

```

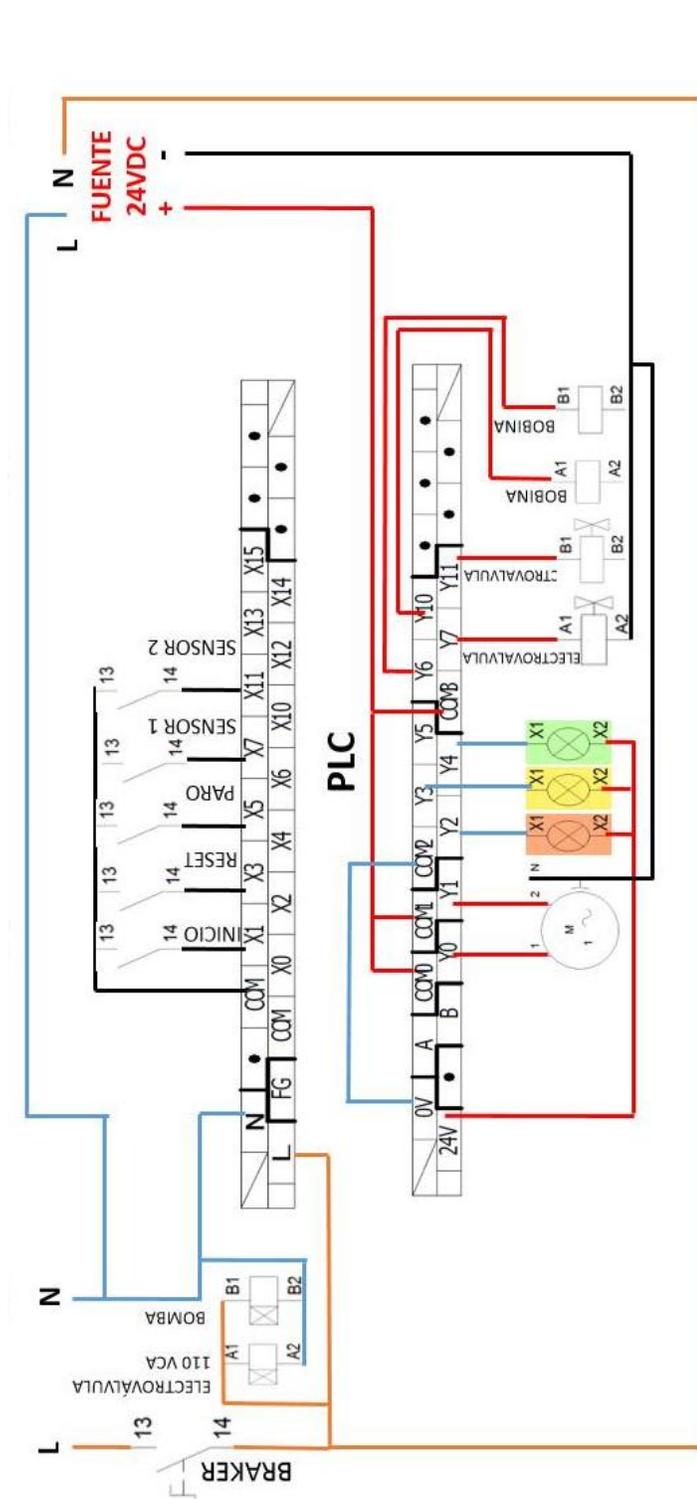
RST	D104	OR	Y7
LD	M60	ANI	M1
OR	Y1	ANI	M15
ANI	M1	ANI	M16
ANI	M15	OUT	Y7
ANI	M16	LD	M54
OUT	Y1	OR	Y11
LD	M61	ANI	M1
OR	Y0	ANI	M15
ANI	M1	ANI	M16
ANI	M15	OUT	Y11
ANI	M16	LD	M55
OUT	Y0	OR	Y10
; SEÑALIZACIÓN DE VERDEEN		ANI	M1
MANUAL		ANI	M15
LD	M50	ANI	M16
OR	M51	OUT	Y10
OR	M52	LD	M1
OR	M53	RST	M1
OR	M54	RST	X100
OR	M55	RST	M55
OR	Y4	RST	M54
OR	M60	RST	M53
OR	M61	RST	M52
OR	M57	RST	M51
OR	M56	RST	M50
ANI	M1	RST	M60
ANI	M15	RST	M61
ANI	M16	RST	M60
OUT	Y4	RST	M61
; ELETROVÁLVULAS		RST	M57
LD	M53	RST	M56

ANEXO B. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

<i>COMPONENTE / DESCRIPCIÓN</i>	<i>VALOR</i>	<i>INDICADOR</i>
Estructura del Reactor		
Capacidad Total	40	L
Altura Nominal	60	cm
Diámetro	35	cm
Estructura (Acero Inoxidable 304)	2	mm
Electroválvula de Paso de Vapor		
Voltaje de Alimentación	110	VAC
Presión de Trabajo	0,5 a 15	kg/cm ²
Temperatura de Operación	-5 a 180	°C
Tubería de Conexión	1/2	“
Electroválvulas de Paso Agua, Metóxido		
Voltaje de Alimentación	24	VDC
Presión de Trabajo	0 a 8	Bar
Tubería de Conexión	1/2	“
Motor Agitador		
Voltaje de Alimentación	24	VDC
Velocidad 1	120	rpm
Velocidad 2	60	rpm
PLC		
Voltaje de Alimentación	110/220	VAC
Fuente Interna	24	VDC
Entradas	14	Digitales 24 VDC
Salidas	10	Digitales a relé
Fuente		
Voltaje de Alimentación	110/220	VAC
Voltaje de Salida	24	VDC
Corriente de Salida	2,5	A

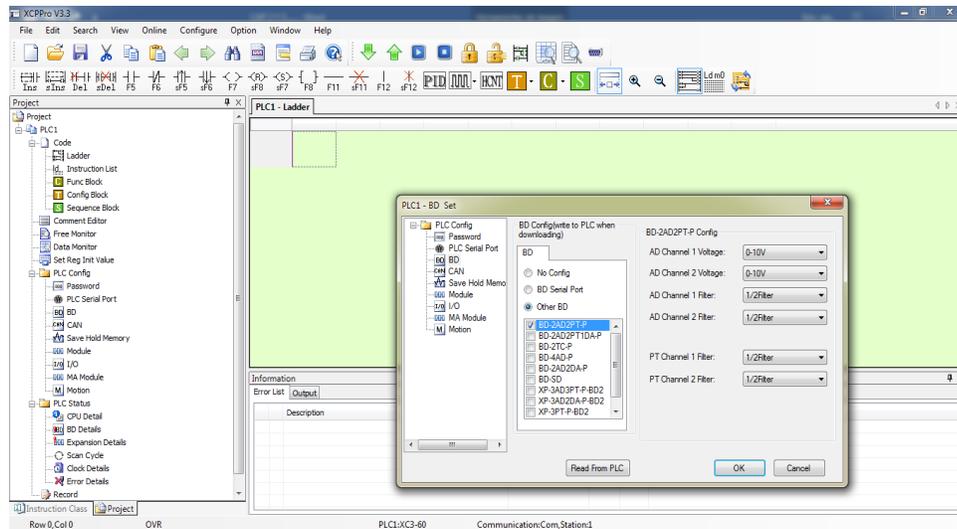
HMI		
Modelo	TG465-UT	
Voltaje de Alimentación	24	VDC
Resolución	480*272	pixeles
Tamaño de la Pantalla	4,3	“

ANEXO C. ESQUEMA DE CONEXIONES DEL PLC



- *Configuración del BD*

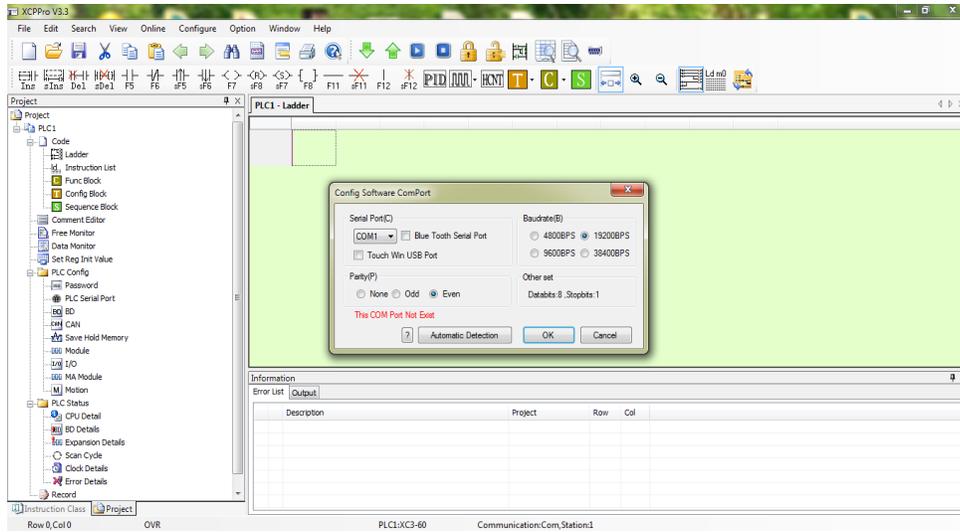
Ir a “Configure”, luego “BD Settings”. En el recuadro de “PLC Config” seleccionar “BD”, luego “Other BD” y marcar “BD-2AD2PT-P”, finalizar con “OK”. Esta configuración permite que el PLC reconozca a la tarjeta de funciones especiales que maneja señales de tipo analógicas de voltaje y provenientes de sensores PT100.



Configuración del BD
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

- *Establecer comunicación con el PLC*

Para establecer comunicación entre el PLC y la computadora basta con presionar sobre el ícono  (Software Serial Port Config) y darle click a “Automatic Detection”. Se requiere que el PLC esté energizado, conectar el cable de programación.

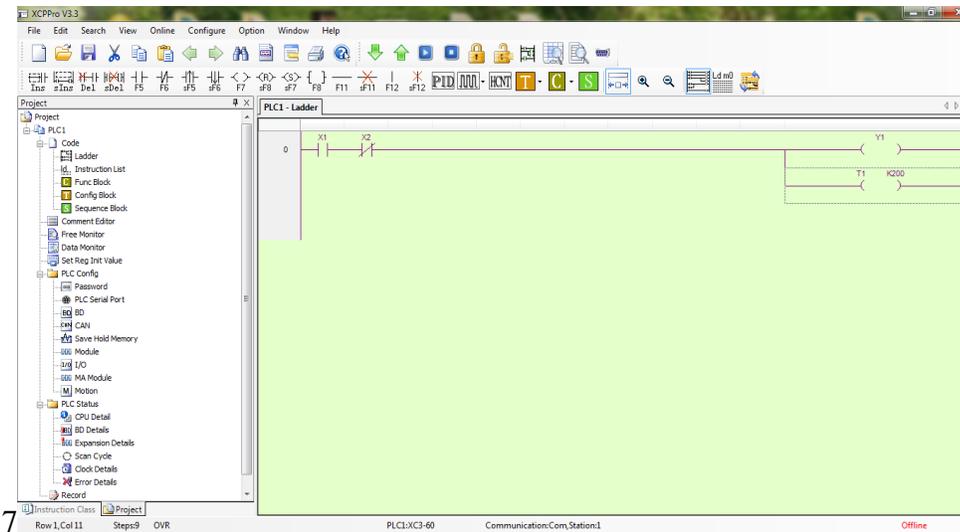


Comunicación PC-PLC
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

- *Inserción de contactos, temporizador y salida*



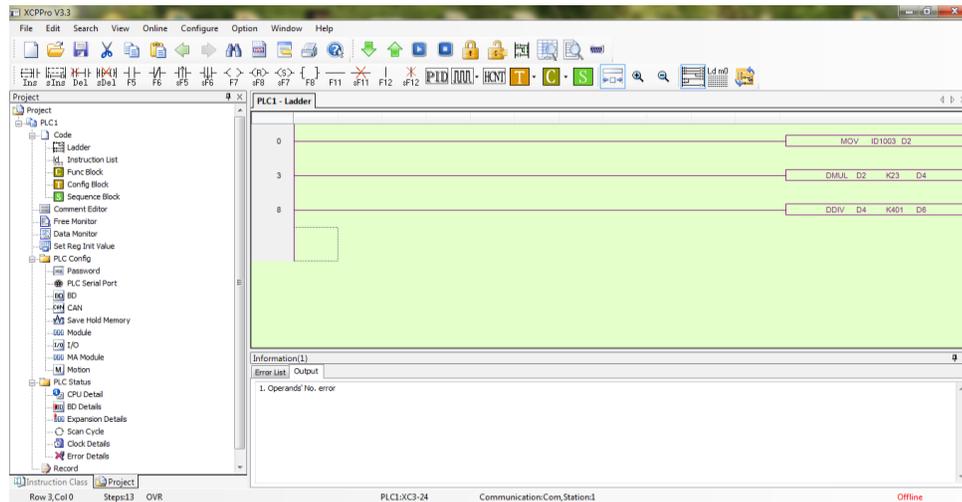
Estos íconos representan un contacto abierto, contacto cerrado y salida respectivamente, se los puede introducir en el diagrama ladder presionando las teclas de función: F5, F6, F7. Se debe tomar en cuenta que en el manejo de temporizadores el valor de 10 equivale a 1 segundo.



Contactos, temporizador y salida
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

- *Registros y operaciones aritméticas*

XCPPro permite el manejo de registros y con ellos realizar operaciones aritméticas.



Registros y operaciones aritméticas

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

El comando MOV es el más utilizado porque permite mover valores entre registros. Dentro de las operaciones aritméticas comúnmente empleadas están: ADD, SUB, MUL, DIV que permiten realizar adiciones, sustracciones, multiplicaciones y divisiones respectivamente.

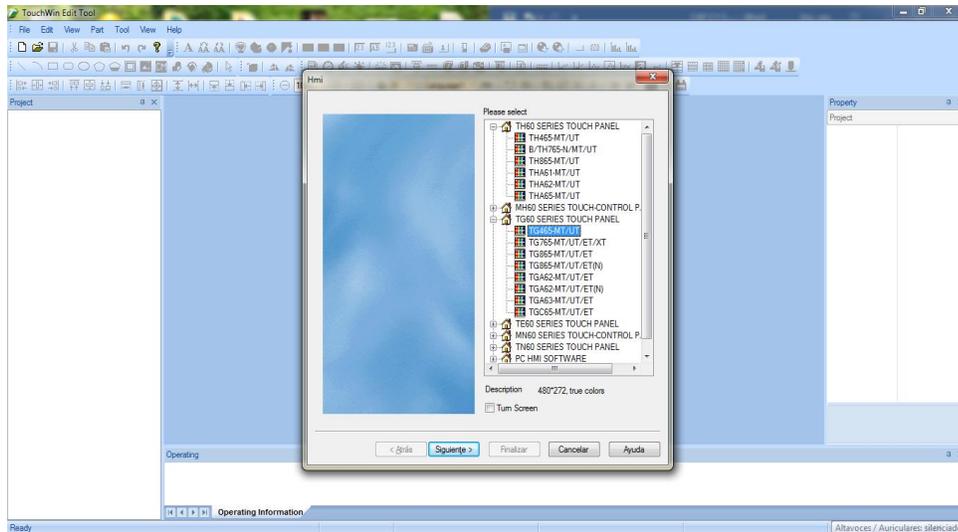
Descarga del programa al PLC

Se requiere conectar el cable de programación del PLC y haber establecido comunicación, para descargar el programa desde la computadora hacia el PLC se debe presionar sobre el ícono  (Download Program from PC to PLC). El programa se compila automáticamente antes de descargarse. Una vez finalizada la descarga, se debe presionar sobre el ícono  (Run).

Creación del entorno en el software TouchWin Edit Tool

Abrir el TouchWin Edit Tool. Se puede crear un nuevo proyecto al dar click sobre “File”, “New” o presionar las teclas Ctrl+N, seleccionar el modelo de HMI (TG465-MT/UT) disponible dentro de “TG60 SERIES TOUCH PANEL”, click en “Siguiente” y seleccionar el PLC al cual se enlazará,

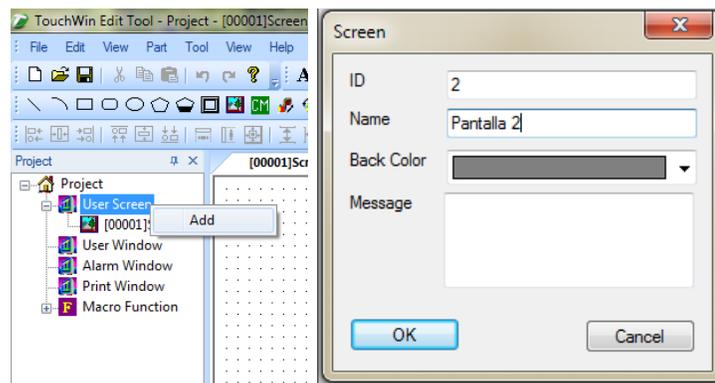
click en “Siguiente” nuevamente y aparece una nueva ventana para ingresar datos del proyecto, dar en “Finalizar”. Ahora ya se puede acceder al entorno de trabajo.



Creación de un nuevo proyecto
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

- *Añadir una nueva pantalla*

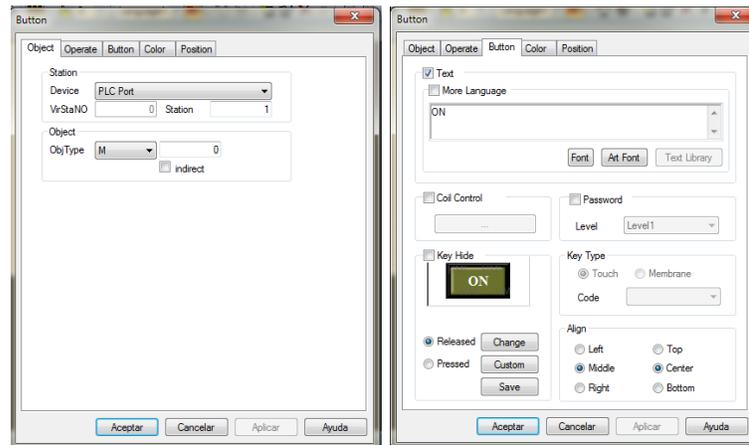
Para crear una nueva pantalla: click derecho sobre “User Screen”, seleccionar “Add” y asignar un número de identificador “ID”, color de fondo, nombre. Una vez seleccionado esos campos, pulsar en “OK”.



Añadir nueva pantalla
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

- *Insertar botón*

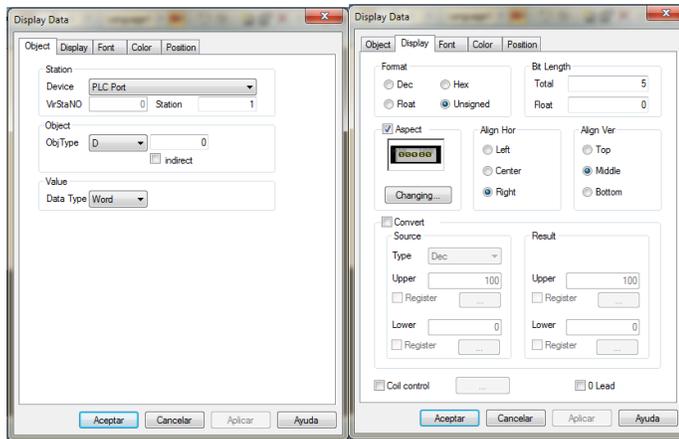
Para crear un botón, dar click sobre el ícono  “Bit Button”, soltar con un click en el área de trabajo. Click derecho en el botón creado, seleccionar “Property” para realizar las configuraciones necesarias. En el campo “Object” se asigna la dirección de memoria del PLC conectado. En “Operate” se configura el modo de operación del botón. El color del botón, forma y texto se configuran dentro de la opción “Button”. Para guardar los cambios efectuados, click en “Aceptar”.



Configuraciones para insertar un botón
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

- *Insertar display numérico y botón para entrada de datos*

Presionar en el ícono  “Digital Display”, soltar con un click en el espacio de trabajo y configurar los parámetros en “Object”, se selecciona la dirección y tipo de registro donde se encuentra almacenado el valor que se quiere visualizar.



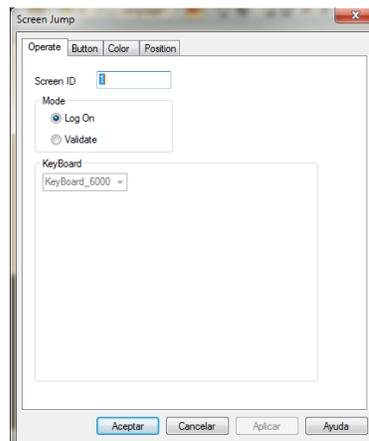
Configuraciones para insertar un display numérico

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Para crear un botón de entrada de datos, dar click en el ícono  “Digital Input”, su configuración permite la visualización del valor en diferentes formatos de números: entero, decimal, hexadecimal.

- *Salto de pantalla*

Se emplean para redireccionar a otra pantalla. Seleccionar el ícono  “Screen Jump”. En “Operate”, “Screen ID” se ingresa el identificador de la ventana a la que se hace la redirección, para finalizar click en “Aceptar”.

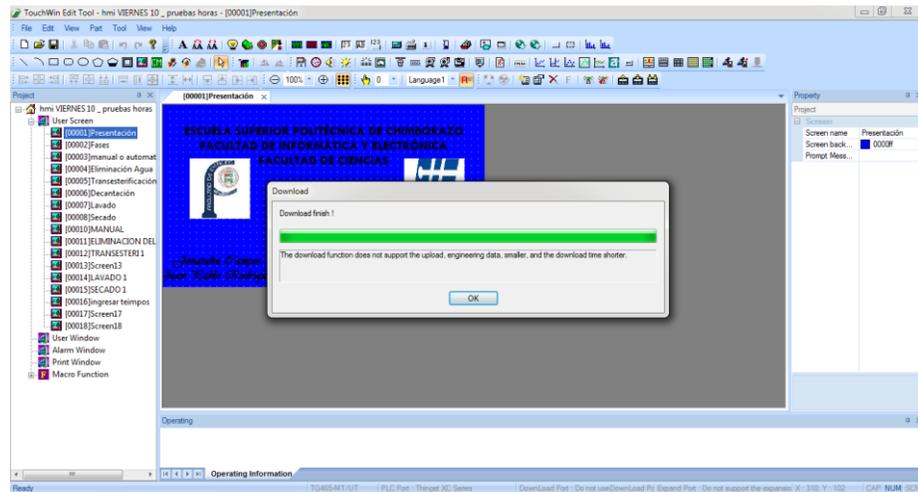


Configuración para el salto de pantalla

Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

Descarga del programa al HMI

Para descargar el proyecto a la HMI, click en “File” luego en “Download”, también se puede descargarlo al presionar las teclas Ctrl+D.



Descarga del programa
Realizado por: Campos J. y Rodríguez J. 2016

 <p style="text-align: center;">SISTEMA DE GESTIÓN DE LABORATORIOS FACULTAD DE CIENCIAS</p> <hr/> <p style="text-align: center; font-size: 2em;">ESPOCH</p>	REGISTRO No.: FC-L.PIN-65
	ELABORADO POR: JONATAHN CAMPOS, JUAN PABLO RODRÍGUEZ FECHA: MAYO 2016
	REVISADO: RESPONSABLE LABORATORIO APROBADO: HANNÍBAL BRITO M. FECHA: MAYO 2016
	EDICIÓN: PRIMERA
MANUAL DEL PROCEDIMIENTO: REACTOR DE BIODIESEL	

ANEXO D. MANUAL DE PROCEDIMIENTOS

OBJETO:

Describir y establecer los procedimientos que facilitan la operación del reactor de biodiesel para optimizar la calidad del producto, disminuir el tiempo de producción y garantizar la seguridad del equipo y el personal encargado.

ALCANCE:

Este manual de procedimiento se aplicará al uso del reactor de biodiesel que se encuentra en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo para la realización de prácticas estudiantiles e investigación.

REFERENCIAS:

Manual de Operación de Laboratorio de Procesos Industriales de la ESPOCH.

DEFINICIONES:

Reactor Químico.

Es un equipo en cuyo interior tiene lugar una reacción química, estando éste diseñado para maximizar la conversión y selectividad de la misma con el menor coste posible. El diseño de un reactor químico requiere conocimientos de termodinámica, cinética química, transferencia de masa y energía, así como de mecánica de fluidos; balances de materia y energía.

Por lo general se busca conocer el tamaño y tipo de reactor, así como el método de operación, además con base en los parámetros de diseño se espera poder predecir con cierta certidumbre la conducta de un reactor ante ciertas condiciones.

Biocombustible:

El biocombustible es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa, es decir, que se obtiene a partir de las plantas y sus derivados.

Son combustibles que tienen su origen en la materia orgánica renovable. Existen biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos, los sólidos son utilizados en procesos de combustión en calderas, los líquidos en motores de combustión interna y los combustibles gaseosos, que se obtienen a partir de biomasa diversa mediante pirolisis o gasificación son quemados en calderas y en motores.

Elaborado por: Jonatahn Campos Juan Pablo Rodríguez	Revisado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ	Aprobado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ
--	--	--

 <p style="text-align: center;">SISTEMA DE GESTIÓN DE LABORATORIOS FACULTAD DE CIENCIAS</p> <hr/> <p style="text-align: center; background-color: green; color: white; padding: 5px;">ESPOCH</p>	REGISTRO No.: FC-L.PIN-65
	ELABORADO POR: JONATAHN CAMPOS, JUAN PABLO RODRÍGUEZ FECHA: MAYO 2016
	REVISADO: RESPONSABLE LABORATORIO APROBADO: HANNÍBAL BRITO M. FECHA: MAYO 2016
	EDICIÓN: PRIMERA
MANUAL DEL PROCEDIMIENTO: REACTOR DE BIODIESEL	

El biodiesel, se define también como un biocombustible que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, nuevos o usados, mediante procesos químicos, para aplicar en la preparación de sustitutos totales o parciales de derivados del petróleo.

Ventajas del Biodiesel:

El biodiesel es un carburante ecológico que presenta grandes ventajas como:

- No contiene azufre
- No presenta compuestos aromáticos
- Es biodegradable.
- No es tóxico.
- El biodiesel no daña el medio ambiente por ser un combustible de origen vegetal en su estado 100% puro.
- Cualquier vehículo a diésel lo puede utilizar sin ningún problema.
- Se produce a partir de materias primas renovables.
- El Biodiesel se produce a partir de aceites vegetales, vírgenes y reciclados.
- Utilización de los excedentes de la producción agrícola.

El Proceso de Transesterificación:

La reacción química como proceso industrial utilizado en la producción de biodiesel, es la transesterificación, que consiste en tres acciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina.

Producción de Biodiesel:

Para producir biodiesel es necesario disponer de todos los elementos necesarios:

- Aceite vegetal (puede ser virgen o usado)
- Alcohol (puede ser etanol o metanol)
- Catalizador (KOH o NaOH)
- Agua

Elaborado por: Jonatahn Campos Juan Pablo Rodríguez	Revisado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ	Aprobado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ
--	--	--

 <p style="text-align: center;">SISTEMA DE GESTIÓN DE LABORATORIOS FACULTAD DE CIENCIAS</p> <hr/> <p style="text-align: center;">ESPOCH</p>	REGISTRO No.: FC-L.PIN-65
	ELABORADO POR: JONATAHN CAMPOS, JUAN PABLO RODRÍGUEZ FECHA: MAYO 2016
	REVISADO: RESPONSABLE LABORATORIO APROBADO: HANNÍBAL BRITO M. FECHA: MAYO 2016
	EDICIÓN: PRIMERA
MANUAL DEL PROCEDIMIENTO: REACTOR DE BIODIESEL	

RESPONSABILIDADES:

El Jefe del Laboratorio y Asistente de Cátedra son los responsables de:

- Planificar las prácticas de laboratorio de acuerdo a las carreras y materias.
- Guiar a los estudiantes en el manejo correcto del reactor para evitar daños y coordinar la limpieza del equipo.
- Efectuar una correcta gestión de los recursos, superando oportunamente los problemas que se puedan presentar en el Laboratorio de Procesos Industriales.

DESARROLLO:

Modalidad de Operación:

- Eliminación de impurezas: Consiste en filtrar las impurezas del aceite usado de forma manual para lo cual se puede utilizar material nylon o fieltro. Si se utiliza aceite virgen, se omite este paso.
- Conectar el cable de alimentación a la toma de 110 VAC.
- Accionar el breaker dentro del tablero de control.
- Medir cargas de aceite máximo 15 litros y colocar en el recipiente de descarga.
- Si se presiona sobre el botón de *Paro de Emergencia* o *Reset*, se debe pulsar sobre el botón de *Inicio* para iniciar de nuevo.
- Desde la pantalla de interfaz, presionar en *Iniciar* para seleccionar el modo de operación que puede ser *Automático* o *Manual*.
- Si el modo de operación es *Manual*, se requiere presionar sobre los botones *ON*, *OFF* para activar o desactivar algún actuador, según la fase a ejecutarse. Para el motor agitador se puede ingresar el tiempo en segundos durante el cual se mantendrá encendido sea con velocidad alta (120 rpm) o velocidad baja (60 rpm). Si se requiere ingresar un nuevo tiempo, presionar en *Reinicio Contador* y seleccionar *ON* para activar.
- Si el modo de operación es *Automático*, seleccionar *Carga de Aceite* y *Eliminación de Agua* desde el panel de control. El aceite se calienta a 100° C para eliminar el agua que puede contener. El agua se puede drenar a través de la válvula del fondo del reactor. Abrir la válvula de 1/2" del fondo para que el aceite se enfríe en el recipiente de descarga

Elaborado por: Jonatahn Campos Juan Pablo Rodríguez	Revisado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ	Aprobado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ
--	--	--

 <p style="text-align: center;">SISTEMA DE GESTIÓN DE LABORATORIOS FACULTAD DE CIENCIAS</p> <hr/> <p style="text-align: center; background-color: green; color: white; padding: 5px;">ESPOCH</p>	REGISTRO No.: FC-L.PIN-65
	ELABORADO POR: JONATAHN CAMPOS, JUAN PABLO RODRÍGUEZ FECHA: MAYO 2016
	REVISADO: RESPONSABLE LABORATORIO APROBADO: HANNÍBAL BRITO M. FECHA: MAYO 2016
MANUAL DEL PROCEDIMIENTO: REACTOR DE BIODIESEL	EDICIÓN: PRIMERA

- Preparación del metóxido: Se lo realiza en un recipiente aparte, disolviendo 3,5 gramos de hidróxido de sodio en el 20% de metanol por litro de aceite cargado; esta mezcla se coloca en uno de los tanques secundarios (METÓXIDO). En el otro tanque se coloca agua.
- Se escoge la opción *Transesterificación*, en esta fase se produce la reacción química entre el aceite y el metóxido, la mezcla es agitada con velocidad rápida.
- Seleccionar *Decantación*. Después de la reacción, la mezcla permanece en reposo y la temperatura debe mantenerse sobre los 38° C. La glicerina se precipita y se drena a través de la llave de fondo del reactor. Una vez drenada la glicerina, el biodiesel debe descender al recipiente de descarga.
- Seleccionar *Lavado* para que ingrese el agua al reactor y luego suba el biodiesel desde el recipiente de descarga, en esta fase se separan los jabones del biocombustible, la mezcla es agitada con bajas velocidades, luego debe reposar. El agua con los jabones disueltos se saca por la válvula en el fondo del reactor.
- Seleccionar *Secado* para que el combustible obtenido sea calentado nuevamente a 100° C para eliminar el agua presente.
- Finalmente se obtiene el biodiesel.
- Poner el breaker del tablero de control en OFF, para apagar completamente el equipo.
- Esperar que se enfríe el reactor para proceder con la limpieza, la cual se describe en el Instructivo – Reactor de Biodiesel.

Operación del reactor desde el HMI:

A través de las siguientes figuras se detalla la operación del reactor de biodiesel y el ingreso de parámetros desde la pantalla de interfaz:

Al encender el equipo, aparece una pantalla de presentación, al presionar sobre la opción *Iniciar* se accede a otra ventana que contiene botones cuya selección permite que el proceso se ejecute de forma manual o automática.

Elaborado por: Jonatahn Campos Juan Pablo Rodríguez	Revisado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ	Aprobado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ
--	--	--

 <p style="text-align: center;">SISTEMA DE GESTIÓN DE LABORATORIOS FACULTAD DE CIENCIAS</p> <hr/> <p style="text-align: center; background-color: green; color: white; font-size: 2em;">ESPOCH</p>	REGISTRO No.: FC-L.PIN-65
	ELABORADO POR: JONATAHN CAMPOS, JUAN PABLO RODRÍGUEZ
	FECHA: MAYO 2016
	REVISADO: RESPONSABLE LABORATORIO APROBADO: HANNÍBAL BRITO M. FECHA: MAYO 2016
MANUAL DEL PROCEDIMIENTO: REACTOR DE BIODIESEL	EDICIÓN: PRIMERA



FUENTE: Campos J, Rodríguez J., ESPOCH 2016

La siguiente pantalla permite seleccionar el modo de operación del equipo, manual o automático. En el caso de seleccionarse el modo automático, la carga de aceite es máximo 15 litros y el caldero debe tener una presión mínima de 40 PSI y máximo 50 PSI. Para regresar a la pantalla del menú principal, presionar sobre el ícono 

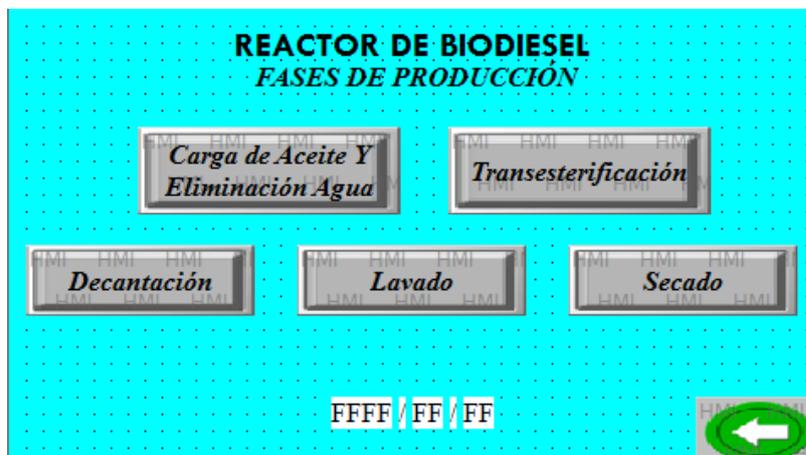


FUENTE: Campos J, Rodríguez J., ESPOCH 2016

En el modo *Automático* se presenta la pantalla siguiente, en la que consta cada fase de la producción del biodiesel, al seleccionar cualquiera de ellas, se presenta una nueva pantalla a través de la cual se da inicio a la fase seleccionada.

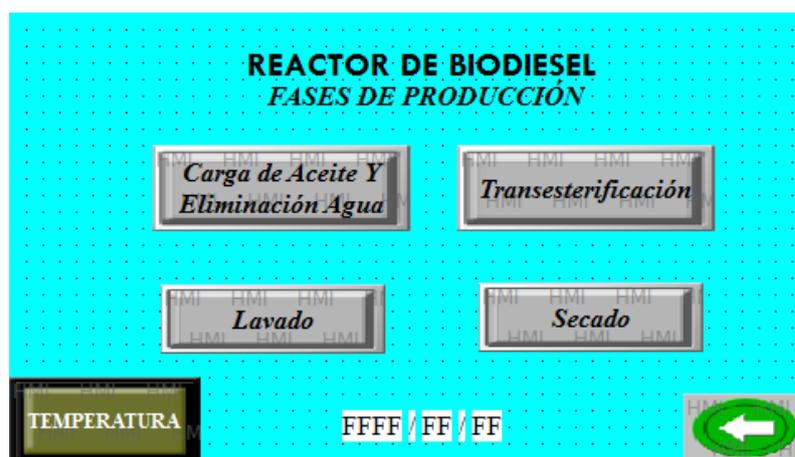
Elaborado por: Jonatahn Campos Juan Pablo Rodríguez	Revisado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ	Aprobado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ
--	--	--

	SISTEMA DE GESTIÓN DE LABORATORIOS FACULTAD DE CIENCIAS	REGISTRO No.: FC-L.PIN-65
	ESPOCH	ELABORADO POR: JONATAHN CAMPOS, JUAN PABLO RODRÍGUEZ FECHA: MAYO 2016
MANUAL DEL PROCEDIMIENTO: REACTOR DE BIODIESEL		REVISADO: RESPONSABLE LABORATORIO APROBADO: HANNÍBAL BRITO M. FECHA: MAYO 2016
		EDICIÓN: PRIMERA



FUENTE: Campos J, Rodríguez J., ESPOCH 2016

En el modo *Manual* se tiene la pantalla de la siguiente figura, este modo permite la maniobra del equipo cuando las cargas de aceite son menores o mayores de 15 litros o cuando se requiera utilizar el reactor en otros proyectos no necesariamente relacionados con la producción de biodiesel, empleándose otros compuestos y reactivos químicos en volúmenes diferentes.



FUENTE: Campos J, Rodríguez J., ESPOCH 2016

Al seleccionar en la opción *Temperatura*, aparece una nueva ventana en la que se puede ingresar un valor de temperatura, ese dato hace que la electroválvula permita o corte el paso del vapor

Elaborado por: Jonatahn Campos Juan Pablo Rodríguez	Revisado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ	Aprobado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ
--	--	--

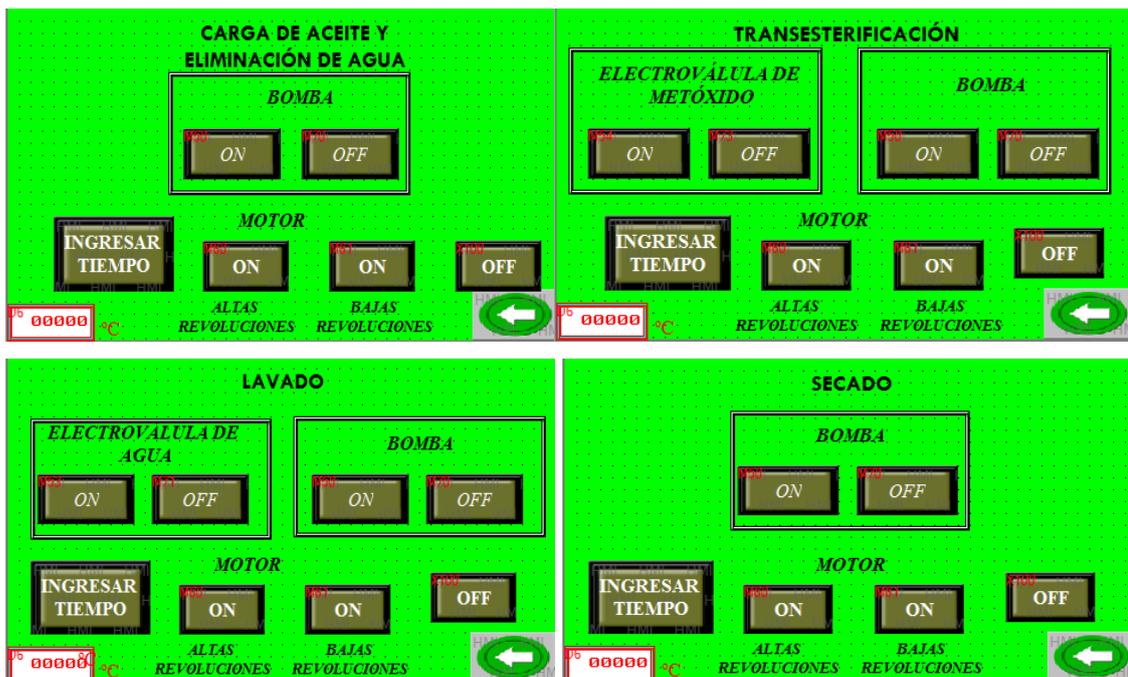
	SISTEMA DE GESTIÓN DE LABORATORIOS FACULTAD DE CIENCIAS	REGISTRO No.: FC-L.PIN-65
	ESPOCH	ELABORADO POR: JONATAHN CAMPOS, JUAN PABLO RODRÍGUEZ FECHA: MAYO 2016
MANUAL DEL PROCEDIMIENTO: REACTOR DE BIODIESEL		REVISADO: RESPONSABLE LABORATORIO APROBADO: HANNÍBAL BRITO M. FECHA: MAYO 2016
		EDICIÓN: PRIMERA

hacia la cámara de calefacción. En función del dato ingresado la electroválvula se maneja con una tolerancia de $\pm 2^\circ \text{C}$.



FUENTE: Campos J, Rodríguez J., ESPOCH 2016

Dentro del modo de operación *Manual* se tiene una pantalla para cada fase, desde las cuales se enciende o apaga cualquiera de los actuadores.

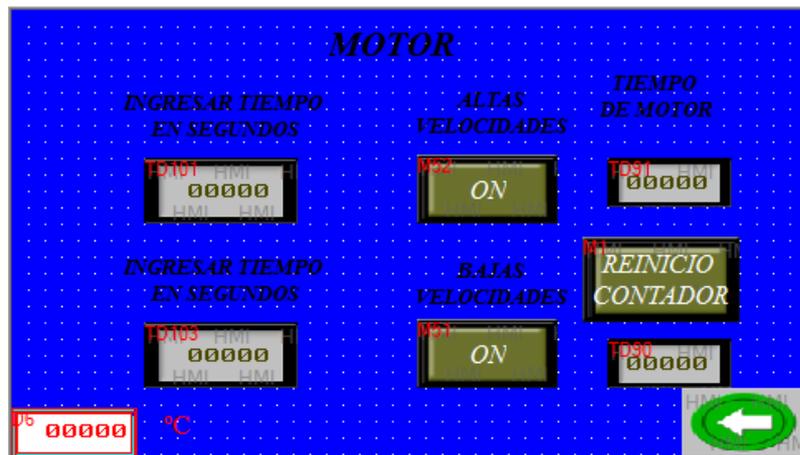


FUENTE: Campos J, Rodríguez J., ESPOCH 2016

Elaborado por: Jonatahn Campos Juan Pablo Rodríguez	Revisado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ	Aprobado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ
--	--	--

	SISTEMA DE GESTIÓN DE LABORATORIOS FACULTAD DE CIENCIAS	REGISTRO No.: FC-L.PIN-65
	ESPOCH	ELABORADO POR: JONATAHN CAMPOS, JUAN PABLO RODRÍGUEZ FECHA: MAYO 2016
MANUAL DEL PROCEDIMIENTO: REACTOR DE BIODIESEL		REVISADO: RESPONSABLE LABORATORIO APROBADO: HANNÍBAL BRITO M. FECHA: MAYO 2016
		EDICIÓN: PRIMERA

Para accionar el sistema de agitación por un tiempo determinado, se presiona sobre el botón *Ingresar Tiempo*, que redirecciona a otra pantalla en la cual se puede ingresar el tiempo durante el cual se mantendrá encendido el motor sea en velocidad rápida (120 rpm) o velocidad baja (60 rpm), para ingresar un nuevo valor hay que pulsar en *Reinicio Contador*.



FUENTE: Campos J, Rodríguez J., ESPOCH 2016

Diagrama de flujo del proceso para la obtención del biodiesel:

Elaborado por: Jonatahn Campos Juan Pablo Rodríguez	Revisado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ	Aprobado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ
--	--	--



SISTEMA DE GESTIÓN DE LABORATORIOS FACULTAD DE CIENCIAS

ESPOCH

MANUAL DEL PROCEDIMIENTO: REACTOR DE BIODIESEL

REGISTRO No.: FC-L.PIN-65

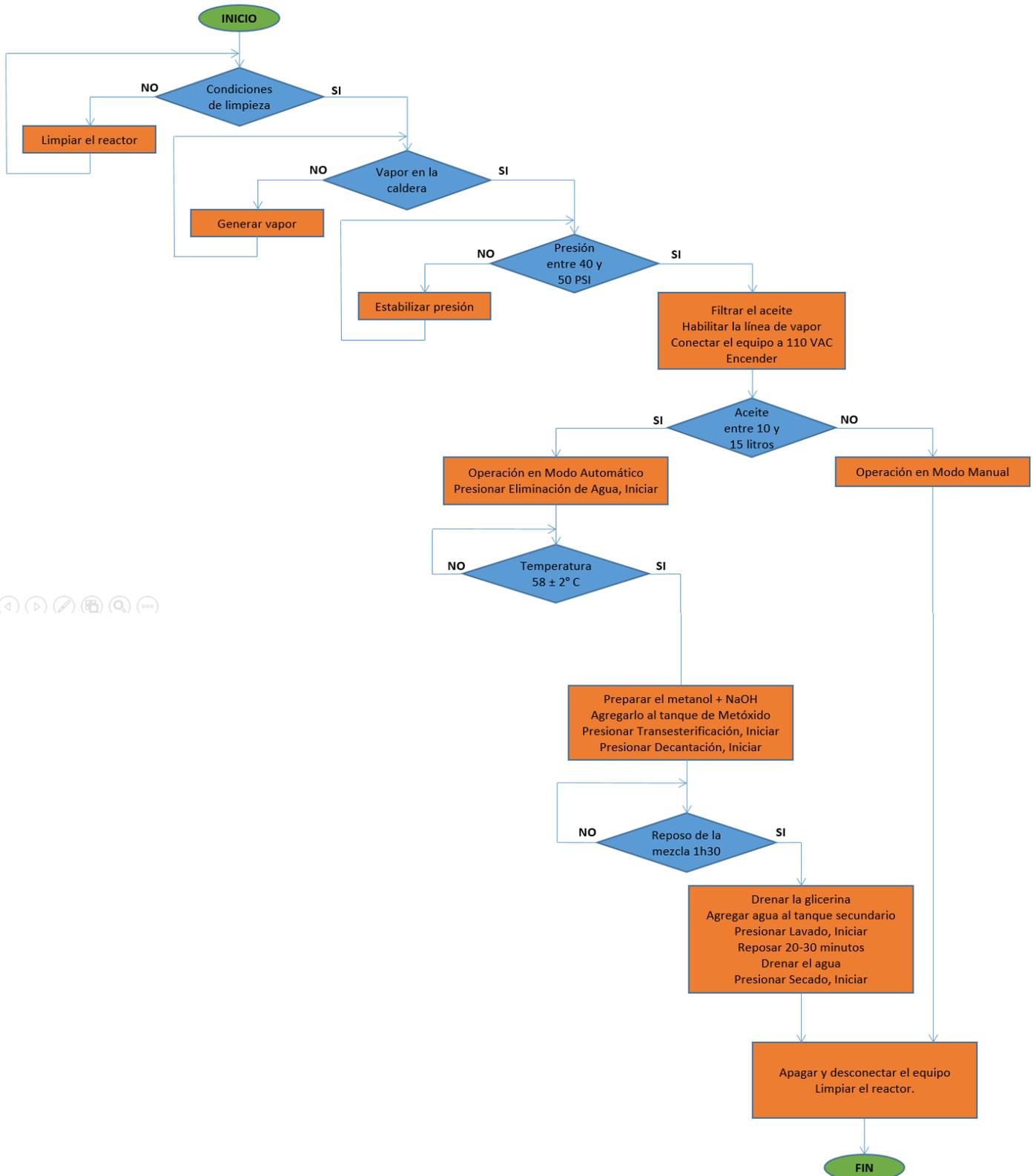
ELABORADO POR: JONATAHN CAMPOS,
JUAN PABLO RODRÍGUEZ

FECHA: MAYO 2016

REVISADO: RESPONSABLE LABORATORIO
APROBADO: HANNÍBAL BRITO M.

FECHA: MAYO 2016

EDICIÓN: PRIMERA



 <p style="text-align: center;">SISTEMA DE GESTIÓN DE LABORATORIOS FACULTAD DE CIENCIAS</p> <hr/> <p style="text-align: center; background-color: green; color: white; padding: 5px;">ESPOCH</p>	REGISTRO No.: FC-L.PIN-65
	ELABORADO POR: JONATAHN CAMPOS, JUAN PABLO RODRÍGUEZ FECHA: MAYO 2016
	REVISADO: RESPONSABLE LABORATORIO APROBADO: HANNÍBAL BRITO M. FECHA: MAYO 2016
	EDICIÓN: PRIMERA
MANUAL DEL PROCEDIMIENTO: REACTOR DE BIODIESEL	

ANEXOS:

- **ANEXO F:** HOJA DE SEGURIDAD DEL BIODIESEL
- **ANEXO G:** ILUSTRACIÓN DEL REACTOR DE BIODIESEL
- **ANEXO H:** PANEL DE CONTROL

Elaborado por: Jonatahn Campos Juan Pablo Rodríguez	Revisado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ	Aprobado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ
--	--	--



SISTEMA DE GESTIÓN DE LABORATORIOS FACULTAD DE CIENCIAS

ESPOCH

MANUAL DEL PROCEDIMIENTO: REACTOR DE BIODIESEL

REGISTRO No.: FC-L.PIN-65

ELABORADO POR: JONATAHN CAMPOS,
JUAN PABLO RODRÍGUEZ

FECHA: MAYO 2016

REVISADO: RESPONSABLE LABORATORIO
APROBADO: HANNÍBAL BRITO M.

FECHA: MAYO 2016

EDICIÓN: PRIMERA



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

BIODIESEL

1. Identificación de la sustancia y de la empresa

Nombre común: Biodiesel
Proveedor: Biocombustibles sostenibles del Caribe S.A.
Teléfono: (095) 438 1728
Santa Marta - Magdalena - Colombia

2. Composición/Indicaciones de los componentes

Descripción Química: Esteres metílicos de ácidos grasos
Fórmula: C14-C24 Metilester
Familia química: CAS No. 67784-80-9

3. Posibles peligros

Este producto no contiene componentes peligrosos
Inhalación: Despreciable
Ingestión: 1d<50 ml/ng (retas albinas)
Contacto con los ojos: Productos similares no están clasificados como irritantes
Contacto con la piel: No clasificado como irritante de la piel o corrosivo



4. Medidas de primeros auxilios

Ingestión: Aclarar la boca con agua. No provocar vómito. Buscar atención médica. No dejar ingerir nada a una persona inconsciente, puede provocar irritación gastrointestinal.
Inhalación: Llevar la persona fuera de la zona contaminada y a un lugar fresco. Buscar atención médica.
Contacto con los ojos: Aclarar los ojos con agua abundante durante 15 minutos. No dejar que la persona se frote los ojos. Si la víctima usa lentes de contacto retirarlos. Si la irritación persiste buscar atención médica.

5. Medidas de protección para la extinción de incendios

Utilizar agua, productos químicos secos, espuma o CO₂. El agua puede ser no efectiva pero debe usarse para mantener frescos los recipientes expuestos al fuego. Si un derrame no se ha inflamado, utilizar agua para dispersar los vapores.

SECTOR INDUSTRIAL SAN FRANCISCO KM 1 VÍA A SAMATOCO. TEL: (95) 438 17 27- TELEFAX: (95) 438 17 28
SANTA MARTA - COLOMBIA

Elaborado por:
Jonatahn Campos
Juan Pablo Rodríguez

Revisado por:
Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ

Aprobado por:
Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ



SISTEMA DE GESTIÓN DE LABORATORIOS FACULTAD DE CIENCIAS

ESPOCH

MANUAL DEL PROCEDIMIENTO: REACTOR DE BIODIESEL

REGISTRO No.: FC-L.PIN-65

ELABORADO POR: JONATAHN CAMPOS,
JUAN PABLO RODRÍGUEZ
FECHA: MAYO 2016

REVISADO: RESPONSABLE LABORATORIO
APROBADO: HANNÍBAL BRITO M.
FECHA: MAYO 2016

EDICIÓN: PRIMERA



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Riesgos especiales: Combustible. Mantener alejado de fuentes de ignición.

6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental

Transferir el material derramado a contenedores de seguridad. Donde sea necesario recoger utilizando medios absorbentes. Trapos empapados con producto pueden causar combustión espontánea si se dejan expuestos a temperaturas iguales o superiores a 35°C. En caso de derrame incontrolado de este producto se debe poner en conocimiento a las autoridades competentes siguiendo las leyes aplicables. Evitar llamas abiertas.

7. Precauciones en el manejo y almacenamiento

Almacenar el producto en contenedores cerrados en un área fresca, seca, aislada y bien ventilada, lejos de fuentes de ignición y materiales incompatibles. Este producto puede soportar elevadas temperaturas y/o presiones.

8. Protección personal

Medidas de control: Ventilación adecuada
Protección respiratoria: No aplicable
ropa protectora: No aplicable
Protección de los ojos: Gafas de seguridad
Otras protecciones personales: Lavar la ropa impregnada. Lavarse las manos con agua y jabón tras su manipulación.

9. Datos físicos

Punto de ebullición: Superior a 204°C a 1760 mm Hg
Punto fusión: -1°C
Presión de vapor: inferior a 1 mm Hg a 72°C
Densidad relativa: 0,88 a 15°C
Solubilidad en agua: despreciable a temperatura ambiente
Olor y apariencia: Líquido amarillo-anaranjado a temperatura ambiente. Ligero olor a aceite de fritura
Ratio de evaporación: (n-butyl acetato=U) no determinado

10. Reactividad

Estabilidad: Estable en condiciones normales
Polimerización peligrosa: No aplicable
Materiales a evitar: Evitar el contacto con oxidantes fuertes, ácidos y bases fuertes
Productos de descomposición peligrosos: CO, CO2
Condiciones a evitar: Calor, chispas, llamas o fuego

11. Información toxicológica

LD50 agudo oral:	>2.000 mg/Kg	(OECD
	Directiva 401)	
LD50 agudo dermal:	>2.000 mg/Kg	(OECD
	Directiva 402)	

Se trata por tanto de un producto poco tóxico por ingestión o inhalación.

12. Información ecológica

Producto biodegradable. En 28 días se degrada entre el 85% y el 88% en agua.

SECTOR INDUSTRIAL SAN FRANCISCO 808, 1 VÍA A MAMAYSCO. TEL: (051) 438 17 27- TELEFAX: (051) 438 17 28
SANTA MARTA - PERÚ

Elaborado por:
Jonatahn Campos
Juan Pablo Rodríguez

Revisado por:
Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ

Aprobado por:
Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ



SISTEMA DE GESTIÓN DE LABORATORIOS FACULTAD DE CIENCIAS

ESPOCH

MANUAL DEL PROCEDIMIENTO: REACTOR DE BIODIESEL

REGISTRO No.: FC-L.PIN-65

ELABORADO POR: JONATAHN CAMPOS,
JUAN PABLO RODRÍGUEZ

FECHA: MAYO 2016

REVISADO: RESPONSABLE LABORATORIO
APROBADO: HANNÍBAL BRITO M.

FECHA: MAYO 2016

EDICIÓN: PRIMERA



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Clase peligrosa en agua - 1

Toxicidad acuática (peces) LC50: 18gr/l (concentración letal).

Toxicidad oral (bacterias) EC10: 78gr/l (concentración de extinción).

EC0: 100% (CNDQM B 5104)

Toxicidad en algas verdes EC10: 4% (OECD Directiva 201)

13. Consideraciones sobre la eliminación

El residuo debe ser eliminado a través de una empresa de residuos homologada. El material contaminado debe ser eliminado de igual modo. Siga las regulaciones estatales en legislación de residuos industriales.

14. Información sobre el transporte

No peligroso para el transporte por carretera
No peligroso para el transporte marítimo
No peligroso para el transporte
Seguir la legislación vigente en el país.

15. Información reglamentaria

No peligrosos según la directiva 67/548/EC.

16. Información adicional

NFPA
Salud (0)
Fuego (1)
Reactividad (0)

Los datos proporcionados en esta hoja se entregan sin garantía expresa o implícita respecto de su exactitud o actualidad. Este documento debe utilizarse solamente como guía para la manipulación del producto con la precaución apropiada. BioSC S.A. no se hace responsable por reclamos pérdidas o daños que resulten del uso inapropiado del producto. El usuario debe hacer sus propias investigaciones para determinar la aplicabilidad de la información contenida en esta hoja de seguridad según su uso particular.

SECTOR INDUSTRIAL SAN FRANCISCO KM. 1 VÍA A BAMBAYCO. TEL: (091) 428 17 27. TELFAX: (091) 428 17 28
SANTA MARTA - TUDUMBA

Elaborado por:
Jonatahn Campos
Juan Pablo Rodríguez

Revisado por:
Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ

Aprobado por:
Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ



**SISTEMA DE GESTIÓN DE
LABORATORIOS FACULTAD DE CIENCIAS**

ESPOCH

MANUAL DEL PROCEDIMIENTO: REACTOR DE BIODIESEL

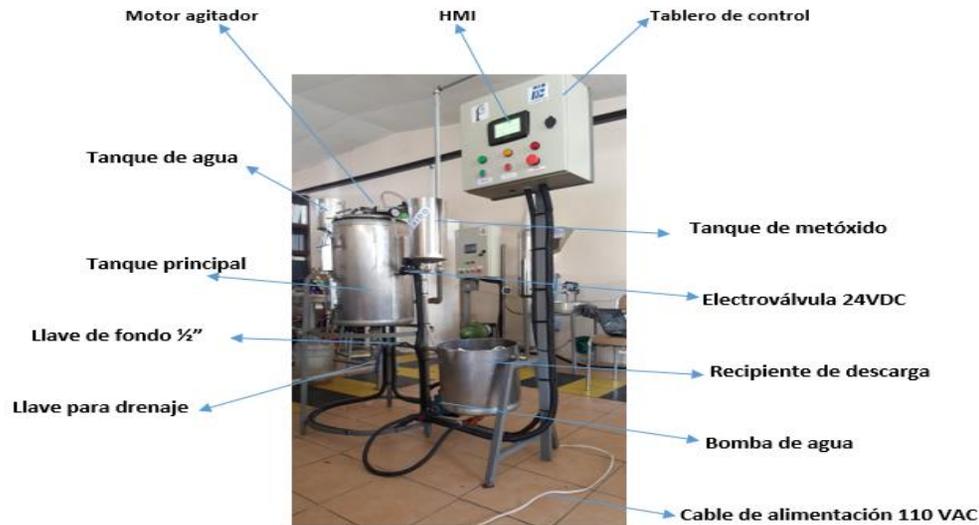
REGISTRO No.: FC-L.PIN-65

ELABORADO POR: JONATAHN CAMPOS,
JUAN PABLO RODRÍGUEZ
FECHA: MAYO 2016

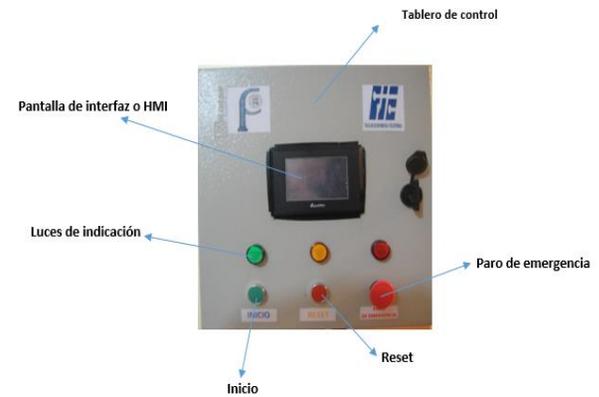
REVISADO: RESPONSABLE LABORATORIO
APROBADO: HANNÍBAL BRITO M.
FECHA: MAYO 2016

EDICIÓN: PRIMERA

Anexo G. ILUSTRACIÓN DEL REACTOR DE BIODIESEL



Anexo H. PANEL DE CONTROL



NOTAS

G: ILUSTRACIÓN DEL REACTOR DE BIODIESEL
H: PANEL DE CONTROL

**CATEGORIA DEL
DIAGRAMA**

<input type="checkbox"/>	Certificado
<input checked="" type="checkbox"/>	Aprobado
<input type="checkbox"/>	Por Aprobar
<input type="checkbox"/>	Por calificar
<input type="checkbox"/>	Por verificar

**ESPOCH
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA**

**REALIZADO POR:
JONATAHN CAMPOS
JUAN PABLO RODRÍGUEZ**

**MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA
EL
REACTOR DE BIODIESEL**

ESCALA	FECHA	LAMINA
A4	MAYO 2016	1

Elaborado por:
Jonatahn Campos
Juan Pablo Rodríguez

Revisado por:
Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ

Aprobado por:
Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ

 <p>SISTEMA DE GESTIÓN DE LABORATORIOS FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESPOCH</p>	REGISTRO No.: FC-L.PIN-65
	ELABORADO POR: JONATAHN CAMPOS, JUAN PABLO RODRÍGUEZ FECHA: MAYO 2016
<p>MANUAL DEL PROCEDIMIENTO: REACTOR DE BIODIESEL</p>	REVISADO: RESPONSABLE LABORATORIO APROBADO: HANNÍBAL BRITO M. FECHA: MAYO 2016
	EDICIÓN: PRIMERA



Elaborado por: Jonatahn Campos Juan Pablo Rodríguez	Revisado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ	Aprobado por: Ing. Hanníbal Brito - DOCENTE IQ
--	--	--