



AUTOMATIZACIÓN DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE BODIESEL A PARTIR DE ALGAS Y MICROALGAS MARINAS

(AUTOMATION OF A BIODIESEL PRODUCTION PLANT FROM ALGAE AND
MARINE MICROALGAE)

Naranjo Moncada, Steighen

Universidad del Táchira

steighen@gmail.com

RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación presenta la automatización para una planta productora de biodiesel a partir de algas y microalgas marinas siguiendo la propuesta elaborada por Gutierrez, Pernalet y Rubio (2014) donde se desarrollaron las especificaciones que debe poseer una planta productora de biodiesel partiendo del ecosistema presente en el Lago de Maracaibo para extraer el aceite que luego será procesado a fin de obtener un biocombustible ecológico y autosustentable. Para ello, se desarrolló una investigación de tipo descriptiva y al mismo tiempo de tipo proyectiva, que permitió conocer el detalle del proceso de funcionamiento de la planta productora de biodiesel y buscar soluciones que permitan obtener un procesamiento óptimo de la materia prima. La investigación desarrollada se considera de tipo no experimental ya que el fenómeno fue estudiado y posteriormente analizado, como lo especifica en su teoría Salinas (2012). Como resultado obtenido, se ha logrado definir a detalle el funcionamiento de la planta productora de biodiesel a partir de algas y microalgas marinas en la cual se han especificado los diferentes procesos y equipos empleados por la misma y sobre los cuales se realizaron los respectivos estudios que permitió determinar las variables del proceso necesarios para lograr la automatización deseada. Por último se desarrolló una simulación del proceso de producción de la misma por medio del software LabView en su versión 2011 donde se observa la interacción de los equipos cuyo producto final es el biodiesel mediante un proceso totalmente automatizado.

ABSTRACT

The following research paper presents the automation for a biodiesel production plant from algae and marine microalgae following the proposal elaborated by Gutierrez, Pernalet and Rubio (2014) where they developed the specifications that must own a biodiesel production plant starting from the ecosystem present in the lake of Maracaibo to extract the oil that will then be processed to obtain an ecological and self-sustaining biofuel. For this, a research of descriptive type and at the same time of projective type was developed, in order to



know in detail the process of operation of the plant producing biodiesel and look for solutions that allow obtaining an optimal processing of the raw material. The research developed is considered non-experimental since the phenomenon was studied and later analyzed, as specified in Salinas (2012). As a result obtained, it has been possible to define in detail the operation of the biodiesel production plant from algae and marine microalgae in which the different processes and equipment used have been specified and on which the respective studies were carried out that allowed to determine the process variables necessary to achieve the desired automation. Finally a simulation of the production process of the same was developed through the software LabView in its version 2011 where the interaction of the equipment whose final product is biodiesel is observed through a fully automated process.

INTRODUCCIÓN

La energía primaria proviene aproximadamente en 80% de petróleo, carbón y gas natural y aunque varios expertos consideran que el mundo tiene reservas de petróleo para abastecer a la población por 40 años más, hay muchas empresas que ya se han puesto a la tarea de encontrar alternativas que logren suplir la necesidad de este importante combustible fósil con un menor impacto en el medio ambiente. La producción de biocombustibles a nivel mundial, ha crecido exponencialmente en los últimos años, esto debido a la subida del precio del petróleo y a la creciente concienciación social desarrollada en torno al cuidado medioambiental, hoy día la Unión Europea es líder mundial en la producción de biodiesel, entre los que resalta España con la obtención del producto a partir de las semillas de colza y girasol. (Muñoz, 2013).

Por otro lado, se tiene que en Latinoamérica esta alternativa es impulsada por varios países como Colombia y Brasil, donde las algas marinas se están convirtiendo en una de las soluciones con más aceptación para la producción de biodiesel. En un futuro se espera que este producto sea usado como combustible, y que se deje a un lado todas las emisiones que son generadas gracias al petróleo, ya que el combustible obtenido es ecológico y orgánico. Otra alternativa al uso de las algas marinas para la producción de biodiesel, son las microalgas marinas que contienen las proteínas, carbohidratos y aceites naturales en forma de triglicéridos ofreciendo otras ventajas para la obtención del biocombustible; aunado a una elevada carga fotosintética y una gran capacidad para crecer tanto en aguas marinas, dulces, residuales y salobres a una velocidad relativamente alta. Sin embargo, los sistemas de cultivo de microalgas presentan ciertas limitantes como la escasa información para su escalamiento, la dificultad para el mantenimiento de monocultivos, elevados costos de operación para la producción, entre otros.

En Venezuela, existe una propuesta de una planta productora de biodiesel a partir de algas y microalgas marinas en el estado Zulia, en donde se especifica su ubicación y el proceso de elaboración del biodiesel, desde el proceso de recolección de las algas y microalgas hasta la obtención del producto final, pero no indica ningún tipo de instrumentación ni control para el proceso de producción lo



cual es necesario para lograr el máximo rendimiento para la planta propuesta. Por ello se hace necesario determinar los niveles de automatización y control adecuados para avanzar de esta manera en el estudio de las Energías Alternativas ofreciendo al mismo tiempo un producto equivalente al existente en el mercado con materia prima orgánica

OBJETIVO GENERAL.

Proponer la automatización de una planta productora de biodiesel a partir de algas y microalgas marinas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Describir el funcionamiento de la planta productora de biodiesel a partir de algas y microalgas marinas
- Determinar los parámetros y requerimientos para la automatización de una planta productora de biodiesel a partir de algas y microalgas marinas.
- Diseñar el sistema automatizado para la planta productora de biodiesel a partir de algas y microalgas marinas.
- Seleccionar los instrumentos pertinentes para el sistema automatizado.
- Validar el sistema automatizado de la planta productora de biodiesel a partir de algas y microalgas marinas.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Según Salinas, (2012), la investigación descriptiva es aquella que se refiere a la descripción de algún objeto, sujeto, fenómeno, etc. en total o en parte del mismo, tal como un aparato, técnica, método, procedimiento, proceso, también estructuras atómicas o moleculares, organismos vivos, sean microorganismos o macro - organismos desde virus hasta vertebrados, incluso el hombre y por tanto deben ser nuevas para la ciencia. Sin embargo, se acepta como perfectamente válida y original, la descripción de alguna variación o modificación de algo ya descrito, por ejemplo, en un aparato o técnica o proceso, se pueden modificar sus componentes y así obtener resultados diferentes y mejores a los anteriormente descritos.

De manera semejante, Cortés e Iglesias (2004) definen la investigación descriptiva como aquella que busca especificar las propiedades, las características y los perfiles importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Describe situaciones, eventos o hechos, recolectando datos sobre una serie de cuestiones y se efectúan mediciones sobre ellas, buscan especificar propiedades, características y rasgos importantes del fenómeno que se analice. Estos estudios presentan correlaciones muy incipientes o poco elaboradas.

En tal sentido, los autores coinciden en la definición del tipo de investigación descriptiva como aquella que describe un proceso o evento cualquiera sea su naturaleza y a partir de allí se da un aporte al conocimiento científico. Tomando

esto en consideración, se tiene que el presente trabajo obedece a este tipo de investigación ya que se plantea el estudio del funcionamiento de una planta productora de biodiesel, y a partir de allí, se determinan las variables necesarias para lograr su automatización mediante la selección apropiada de equipos e instrumentos.

De otro modo, se puede clasificar la investigación como de tipo proyectiva, ya que siguiendo la teoría de Hurtado, (2008) la define como la elaboración de una propuesta o un modelo, como solución a un problema o necesidad de tipo práctico, ya sea de un grupo social, o de una institución, o de una región geográfica, en un área del conocimiento, a partir de un diagnóstico preciso de las necesidades del momento, los procesos explicativos o generadores involucrados y de las tendencias futuras, siendo esta teoría totalmente adaptable al proceso de investigación que se está desarrollando ya que plantea una propuesta de automatización sobre una planta para dar solución a un proceso productivo el cual se plantea inicialmente de modo manual.

Dentro de esta clasificación, se encuentra la definición de Salinas (2012) donde indica que la investigación no experimental se caracteriza porque no hay manipulación de la variable independiente, no se asignan al azar los grupos. Sólo se observan los cambios que ocurren. De igual manera, Cortes e Iglesias (2004) conceptualizan la investigación no experimental como aquella que no manipula deliberadamente las variables a estudiar. Lo que hace este tipo de investigación es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto actual, para después analizarlo.

De acuerdo a lo expuesto por los autores, el presente proyecto de investigación obedece a una investigación de tipo no experimental, ya que para lograr la automatización de la planta productora de biodiesel se utiliza el método de la observación para estudiar el fenómeno que se produce durante el proceso de transformación de la materia prima y a partir de allí tomar las acciones necesarias de acuerdo al comportamiento de las variables del proceso.

RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN

Durante el desarrollo de la primera fase de la investigación se logró describir el funcionamiento de la planta propuesta partiendo del diagrama mostrado en la figura N°1. El proceso comienza con la fase de cultivo donde por medio de fotobiorreactores tubulares en formas horizontales se le agregan ciertos nutrientes para mejorar la biomasa, luego se recolectan las algas y microalgas marinas las cuales son llevadas al siguiente punto en la planta propuesta donde son vaciadas en el contenedor donde estas se secan.

Las microalgas son llevadas a un reservorio de agua, donde se les extrae el agua, luego son impulsadas por una bomba centrífuga hacia unos tanques donde se le añaden nitrato de sodio y fosfato de potasio para mejorar sus propiedades, después son enviadas para el sistema de riego y pasan por un sistema de luz ultravioleta para verificar que no tengan ningún gen contaminante o insectos para pasar al fotobiorreactor.

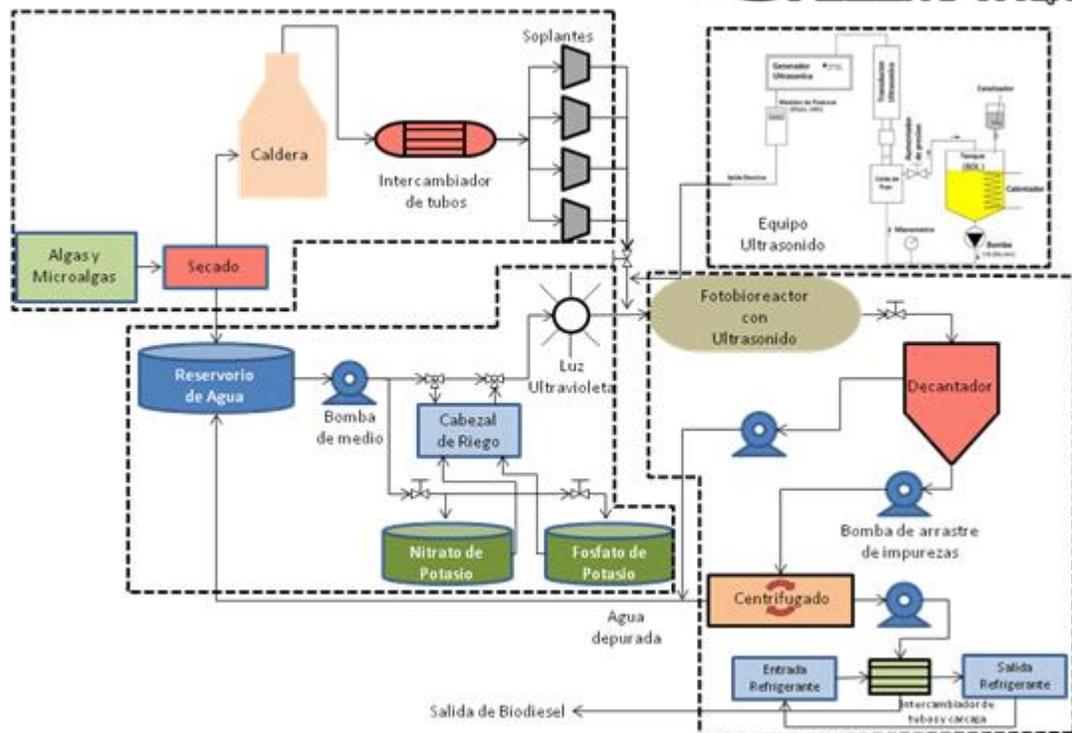


Figura N° 1. Proceso de producción de biodiesel.
Fuente: El Autor (2017)

Por su parte, las algas son llevadas hacia una caldera para el proceso de calentamiento y luego de enfriamiento, después son llevadas desde la caldera hasta el fotobiorreactor a través de unos soplantes, los cuales impulsan el gas de combustión a una presión de 0,3 bar liberando sustancias energéticas. Es en el fotobiorreactor donde se estimulan las algas y microalgas por medio del equipo ultrasonido para extraer el aceite (biomasa) para su limpieza y almacenamiento. Durante el proceso se le inyectan fertilizantes como el nitrato de potasio y fosfato de potasio desde un cabezal de riego los cuales le proporcionan a las algas un mayor valor energético, así como la radiación solar y los rayos ultravioletas que también estimulan la producción de aceites en las algas y microalgas con la finalidad que expulsan el aceite (biodiesel).

El aceite obtenido debe pasar por un proceso de decantación en donde se añaden sustancias coagulantes como alumbre, tanino o sulfato ferroso para limpiar las impurezas mediante la sedimentación de sólidos en suspensión procedentes del tratamiento biológico en el fotobiorreactor para ser separados posteriormente por un proceso de centrifugación en donde se dispersa el biocombustible de las impurezas para obtener el biodiesel que será almacenado en un tanque para su posterior uso.

Para lograr este funcionamiento se empleó una caldera de 125 BHP marca Continental, cuya función principal es obtener dióxido de carbono, así como también para suplir la necesidad de agua caliente al sistema. A la salida de la caldera se conecta un intercambiador de calor tubular para enfriar la corriente

gaseosa; la cual contará con una temperatura de entrada aproximadamente de 150°C que se pretender  enfriar hasta 18 °C antes de ser impulsado hasta el sistema de cultivo por medio de unos soplantes donde hay una temperatura ambiente aproximada de 35°C. Los soplantes son de tipo centrífugo multi-etapa exento de aceite, marca Atlas Copco, que proveen una presión de hasta 24 psig (1,6 bar) para impulsar el gas sobre la entrada, con simples controles On/Off y accionamientos de frecuencia variable con control completo del proceso.

Por su parte, para el contenido que se encuentra en el reservorio de agua se emplea una bomba centrífuga para impulsar el líquido que contiene las microalgas y al cual se le van a agregar sustancias para darle mayor valor energético al contenido. Además de las sustancias, se empleó un sistema de luz ultravioleta de canales cerrados y acoplados al sistema de tuberías de aguas a la entrada de la planta, para garantizar que todo el sistema de aguas que entra en la planta est  completamente desinfectado y libre de microorganismos e insectos.

Cómo método alternativo para la estimulación de las algas y microalgas y para mejorar el proceso de producción de biodiesel se utilizó un equipo ultrasonido de la marca Hielsher, el cual tiene Generador de ultrasonidos con una potencia de 500 – 1000 watios a 20 KHz y su respectiva celda de flujo para aumentar la presión y flujo. Tiene 2 tanques, uno para la pre - mezcla del catalizador y otro de procesamiento (10 litros y 80 litros respectivamente). La salida se produce por medio de una bomba centrífuga con un flujo de 10 a 20 mL/min a una presión de 1 – 3 bar.

En lo que respecta al proceso de obtención del aceite, se utilizó un conjunto de fotobioreactores tubulares de vidrio marca SCHOTT, que tienen un riesgo muy bajo de contaminación ya que no pueden acceder fácilmente otros microorganismos e insectos en la corriente, tienen una productividad significativa alta en términos de masa por área y día y trabajan en continuo para obtener la productividad de 1000 Tm/año.

La salida de este equipo va hacia un decantador – espesador de sólidos continuo. Los sólidos depositados en el fondo junto con el líquido espesado son continuamente dirigidos hacia la salida mediante un mecanismo de arrastre consistente en dos brazos largos con rastrillos de diseño convencional, que gira a una velocidad periférica de 8m/min. El líquido clarificado se retira continuamente a través de un rebosadero que rodea al borde superior del depósito. En dicho decantador se añadirán sustancias coagulantes como alumbre, tanino o sulfato ferroso.

Las bombas que se utilizan en el traslado del lodo de microalga hasta la centr fugadora serán de bombeo de lodos debido a la carga de sólidos. La centr fugadora es de la marca INOLAB AVANTI J-HC que tiene una velocidad máxima de rotación de 10000 rpm, fuerza centrífuga máxima de 17700 x g, con una capacidad de 7.5 litros, controlada por microprocesador programable, incorpora motor de alto par y con tolerancia a disequilibrios, que permite aceleraciones y deceleraciones rápidas, intervalo de velocidades entre 100 y 10000 rpm (en incrementos de 10 rpm).

La salida de la centrifugadora va hacia unos intercambiadores de tubo y carcasa marca Stándar Xchange, los cuales son un haz de tubos insertado dentro de otro de mayor diámetro llamado casco, donde circulan fluidos a distintas temperaturas, uno aporta calor y el otro lo recibe. Uno de los fluidos circula por el paquete tubular y el otro entre éste y el casco generando el mencionado intercambio, al ingresar el líquido la temperatura de entrada es aproximadamente de 43 °C, y salida a 5 °C. El líquido refrigerante es agua enfriada mediante un equipo de frío tipo Chiller. El agua refrigerante entra a -2 °C y sale a 15 °C. Los fluidos circulan en contracorriente. El producto final es enviado a unas piscinas de enfriamiento para conservarlo a una temperatura de 5 grados hasta su retirada.

Para poder obtener los productos deseados, se han especificado los requerimientos necesarios que debe cumplir el proceso y los parámetros que deben cumplir los equipos que deben ser automatizados. Por ello, el desarrollo de la segunda fase de la investigación se logró definir la materia prima para la obtención del biodiesel, como lo es el componente orgánico. Siguiendo la propuesta de Pernalet et al (2014) se ha seleccionado la diatomea *Phaeodactylum tricornutum*, ya que es posible de cultivar con agua salada de mar y tiene aceptables rendimientos de aceite. Además, no requiere de condiciones extremas de salinidad o luminosidad y las condiciones óptimas de temperatura del cultivo son cercanas a los 24 ° C. En la tabla N° 1 muestran las características de este tipo de algas.

Tabla N°1. Características del alga *Phaeodactylum tricornutum*.

Característica	Descripción
Hábitat	Marino
Salinidad (%)	3-4
Temperatura (°C)	24
pH óptimo	8
Porcentaje de aceite (%)	25
Porcentaje de proteínas (%)	50
Tasa específica de crecimiento promedio $\mu(1/h)$	0.04

Fuente: Pernalet et al (2014).

Partiendo de estas especificaciones se puede obtener, mediante la estimulación por los métodos antes mencionados el aceite a la salida del fotobiorreactor a partir del cual se obtiene el biodiesel y el mismo es necesario que cumpla con las características mostradas en la tabla N° 2, las cuales serán las que se necesitan como parámetros de entrada para los procesos posteriores de decantación y centrifugación de donde se obtendrá el biodiesel deseado.

Tabla N° 2. Características del aceite para obtener biodiesel.

Calidad del aceite para obtener biodiesel	
Estado	Líquido
Temperatura (°C)	20 – 60
Contenido de agua (%)	0.5
Contenido de sólido (%)	0.5
Ácidos libres grasos (%)	4.5
Fósforo (ppm)	20
Azufre (%)	0.0015

Fuente: Pernalette et al (2014).

El biodiesel obtenido debe cumplir con especificaciones mínimas para su implementación en motores de combustión sin afectar el rendimiento de los mismos, para estos es necesario que el producto obtenido cumpla con los requerimientos mostrados en la tabla N° 3.

Tabla N° 3. Características del biodiesel.

Calidad del biodiesel final	
Densidad a 15°C (kg/m ³)	860 – 900
Contenido de agua (mg/Kg)	500 máximo
Contaminación total (mg/Kg)	24 máximo
Destilación (°C)	360 máximo
Glicerina libre (% masa)	0.02 máximo
Glicerina total (% masa)	0.25 máximo

Fuente: El autor (2017)

Una vez que se ha logrado definir los requerimientos necesarios para el funcionamiento de la planta productora de biodiesel, se han especificado los parámetros de los equipos que se emplearon para obtener estos productos. De esta manera, para la generación de vapor se cuenta con una caldera marca Continental modelo E103AC-2M de tres pasos de gases con un quemador dual para trabajar alternativamente con combustible gas natural y ACPM. Las características generales de esta caldera se muestran en la tabla N 4.

Tabla N° 4. Características de la caldera.

Características de la caldera	
Tipo	Horizontal pirotubular
Combustible	Líquido / Gaseoso
Capacidad (BPH)	150
Presión máxima (psi)	150
Temperatura máxima (°F)	212

Fuente: el autor (2017)

Seguidamente, se usa un intercambiador de calor de la familia StandarXchace con las características que se muestran en la tabla N° 5

Tabla N° 5 Características del intercambiador de calor.

Características del intercambiador de calor	
Tipo	Tubular fijo
Presión máxima en tubos y carcasa (psi)	150
Temperatura máxima en tubos y carcasa (°C)	150

Fuente: el autor (2017)

Para llevar la corriente gaseosa desde la salida de los intercambiadores de calor hasta el fotobiorreactor se emplean sopladores con los parámetros indicados en la tabla N° 6.

Tabla N° 6 Características del soplador.

Características del soplador	
Tipo	Centrifugo velocidad variable
Presión máxima (psi)	30
Frecuencia de entrada (Hz)	50 – 60
Frecuencia de salida (Hz)	20 – 133

Fuente: el autor (2017)

En lo que respecta a la estimulación de las algas para la obtención del aceite, se tienen el uso de bombas centrifugas que impulsan el contenido líquido en donde se encuentran presentes las mismas cuyas características se muestran en la tabla N° 7.

Tabla N° 7 Características de las bombas.

Bombas	
Tipo	Centrifuga
Capacidad (HP)	1/2
Alimentación eléctrica (V)	110 Monofásico
Temperatura de fluido (°C)	90
Línea de entrada y salida (pulg)	1
Caudal máximo (L/hora)	4800

Fuente: el autor (2017)

Las características del equipo alternativo para estimulación de las algas se muestran en la tabla N° 8. Este consta de un equipo ultrasonido de la marca Hielsher.

Tabla N°8 Características del Ultrasonido.

Equipo Ultrasonido	
Potencia (W)	500 – 100
Frecuencia (Hz)	20
Capacidad procesamiento (L)	80
Capacidad catalizador (L)	10
Flujo salida (mL/min)	10 – 20

Fuente: el autor (2017)

Durante el proceso final para la obtención de aceite el cual debe cumplir con las propiedades ya mencionadas se ha seleccionado un fotobiorreactor con los parámetros de la tabla N° 9.

Tabla N° 9 Características del Fotobiorreactor.

Fotobiorreactor	
Marca	Schott
Tipo	Raceways
Capacidad de producción (Tm/año)	1000

Fuente: el autor (2017)

El proceso de separación del aceite y el biocombustible se obtiene por medio de un decantador que cumpla con los parámetros de la tabla N° 10 antes de enviar el líquido resultante al proceso de centrifugado.

Tabla N° 10 Características del Decantador.

Decantador	
Velocidad periférica (m/min)	8
Densidad máxima permitida (g/cm ³)	0,95

Fuente: el autor (2017)

La unidad centrifugadora que es donde se acelera el proceso de separación del biocombustible de las demás impurezas que pueda contener después del proceso de decantación debe cumplir con las características de la tablas N° 11.

Tabla N° 11 Características del Centrifugador.

Centrifugadora	
Marca	Inolab Avanti
Modelo	J-HC
Velocidad de rotación (rpm)	10000
Fuerza centrífuga (g)	17700
Capacidad (L)	7.5

Fuente: el autor (2017)

Por último, el producto final obtenido del proceso de centrifugado debe ser enfriado para su almacenamiento antes de su distribución y posterior uso. Es por ello que se utiliza un intercambiador de calor con características como las mostradas en la tabla N  12.

Tabla N  12 Características del intercambiador de calor.

Características del intercambiador de calor	
Tipo	Tubo y carcasa
Presión máxima en tubos (psi)	150
Presión máxima en carcasa (psi)	150
Temperatura máxima en tubos (�C)	150
Temperatura máxima en carcasa (�C)	150

Fuente: el autor (2017)

Una vez definido el funcionamiento y los parámetros de la planta productora de biodiesel, se procede a la elaboración del sistema automatizado que será implementado en la misma. Se elabora entonces, un diagrama de flujo de proceso a partir del cual se obtendrá una visión general del funcionamiento de la planta propuesta de manera automatizada y de la respectiva secuencia de ejecución de cada uno de los procesos que se llevarán a cabo en la misma. La figura 2 muestra el diagrama propuesto a partir del cual se desarrollará la automatización propuesta.

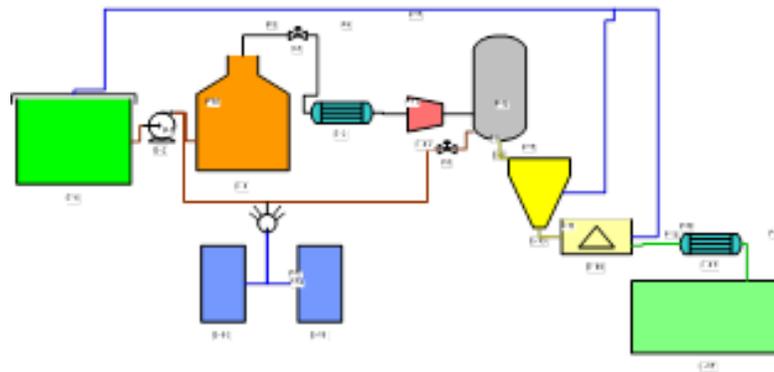


Figura N  2. Diagrama de flujo de procesos para la producción de biodiesel.

Fuente: el autor (2017)

Con la representación gráfica del flujo de procesos, se tiene el punto de partida para la elaboración del diagrama lógico del proceso automatizado donde se determina la secuencia de ejecución de las acciones y decisiones que debe realizar el modelo automatizado de la planta productora de biodiesel propuesta. El diagrama lógico correspondiente se muestra en la figura 3.

Como se observa en el mismo, se considera inicialmente un barrido de las señales de campo como lo son los transmisores de nivel, presión y temperatura que controlan el proceso. Según los valores que se obtienen de estos transmisores,

se puede tomar la acción a ejecutar de acuerdo al valor obtenido, ya sea que se encuentre dentro de los rangos normales de funcionamiento o se encuentre por valores por encima o por debajo de estos puntos de muestreo. Es así como se tiene para el caso de los medidores de nivel, la generación de alarmas y el respectivo cierre de válvulas de control en caso de generarse valores de nivel por encima del punto máximo permitido. De igual manera, se tiene el respectivo control para valores de temperatura, presión y pH del producto obtenido en cada fase del proceso.

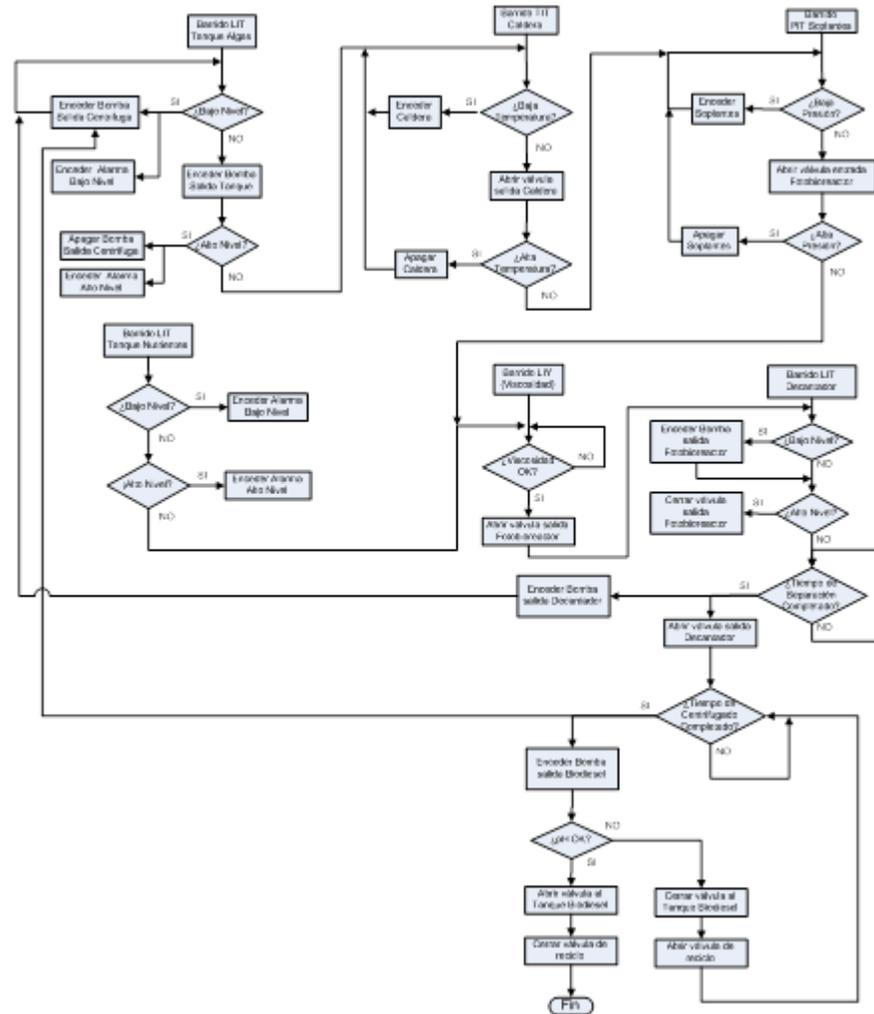


Figura Nº 3. Diagrama lógico del proceso de producción de biodiesel.
Fuente: el autor (2017)

Con el diagrama lógico especificado anteriormente, se puede detallar el proceso de ejecución de cada parte del proceso y a partir de allí definir los equipos de medición y control necesarios para la propuesta de automatización. El detalle de los equipos a utilizar y su ubicación en cada parte del proceso se puede

obtenido está dentro de las especificaciones antes de ser entregado al intercambiador de calor para su enfriado y posterior almacenamiento.

Para poder lograr el funcionamiento de los equipos que intervienen en este proceso, es necesario determinar los niveles electrónicos de los instrumentos que realizarán las acciones de medición y control, es así como se especifican los rangos de voltaje y corriente utilizados para lograr la conexión entre los equipos que serán instalados en la planta productora de biodiesel como se muestra en la figura 5.

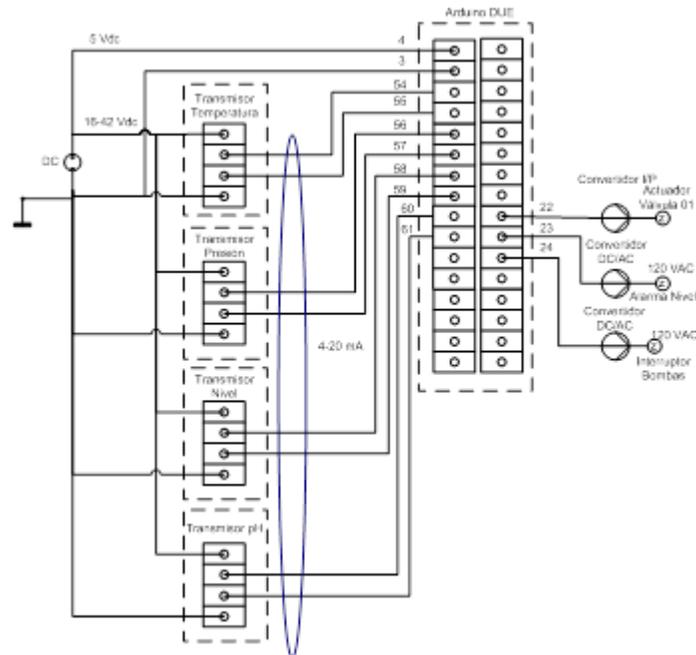


Figura N° 5. Diagrama de conexiones de la planta propuesta.
Fuente: el autor (2017)

A fin de lograr la comunicación entre los dispositivos de campo y los sistemas de control, es necesario implementar una arquitectura de comunicación que permita la interacción entre los ellos. Debido a la cantidad de instrumentos necesarios para la automatización propuesta y al tamaño de la red que se plantea, la arquitectura más adecuada a nivel de campo (instrumentos) es la de tipo lineal, ya que la planta obedece a una red pequeña y la misma puede trabajar con dos switch para asegurar la redundancia en caso de falla. Sin embargo, para la comunicación entre la estación de campo (PLC), el servidor de aplicaciones y la HMI se utilizará una red tipo estrella para lograr una comunicación directa entre las variables de campo, la base de datos del sistema y la interfaz del operador como se muestran en el cuadro N°1.

Cuadro 1. Características de la arquitectura de comunicación.

Tipo	Swiath	Tamaño	Información	Conexión
Lineal	2	Pequeña	Secuencial Bidireccional	Todos los equipos a una línea central
Estrella	Hasta 190	Mediana y Grande	Todas direcciones	Punto central (hub)

Fuente: el autor (2017)

Con la arquitectura de comunicación definida se establece el tipo de red de comunicación, en este punto se encuentra que la red de campo está compuesta por un PLC y los diferentes dispositivos e instrumentos que se emplean para capturar las señales de campo, el cableado empleado en esta sección de la red será seleccionado de acuerdo a las características de los equipos seleccionados, ya sean de tipo industrial, coaxial o fibra óptica. Definida la arquitectura de la red de comunicación, se determina el protocolo de comunicación de los equipos según las especificaciones del cuadro N°2 de acuerdo a los estándares internacionales para la interconexión de equipos de control y automatización en campo.

Cuadro 2 Matriz de comparación de tipo de red a utilizar (datos).

Protocolo	Comunicación	Compatibilidad	Estandar	Topología
Hart	Digital y Analógica	Varias marcas	Abierto	Maestro / Esclavo

Fuente: el autor (2017)

De acuerdo a las características necesarias del proceso, se requiere el empleo del protocolo Hart a nivel de campo, un protocolo Profibus para el nivel de control y protocolo TCP/IP para el nivel de planta a fin de lograr la comunicación entre los equipos de campo (instrumentos) y la HMI (Sala de control). En la figura N°6 se puede observar gráficamente el proceso de comunicación propuesto.

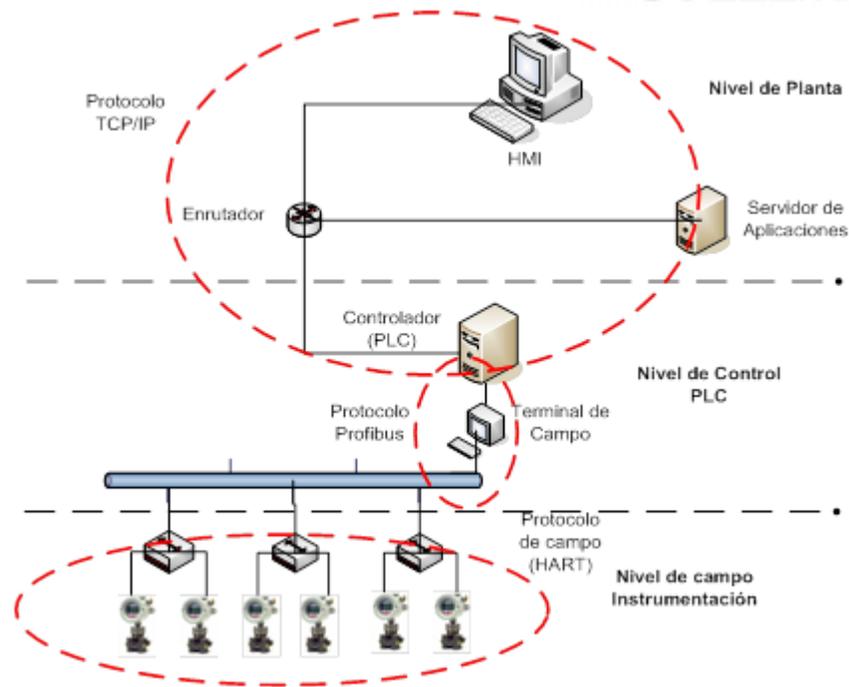


Figura Nº 6. Arquitectura de red (Lineal) de la planta propuesta.
Fuente: el autor (2017)

Finalmente, se desarrolla la interfaz hombre – máquina (HMI) que será visualizada por el operador desde la sala de control y a través de la cual estará monitoreando de manera constante las variables del proceso y tomar las respectivas acciones para controlar desviación y atender las alarmas que se puedan generar en un momento dado. Un diseño de la HMI propuesto se muestra en la figura 7.

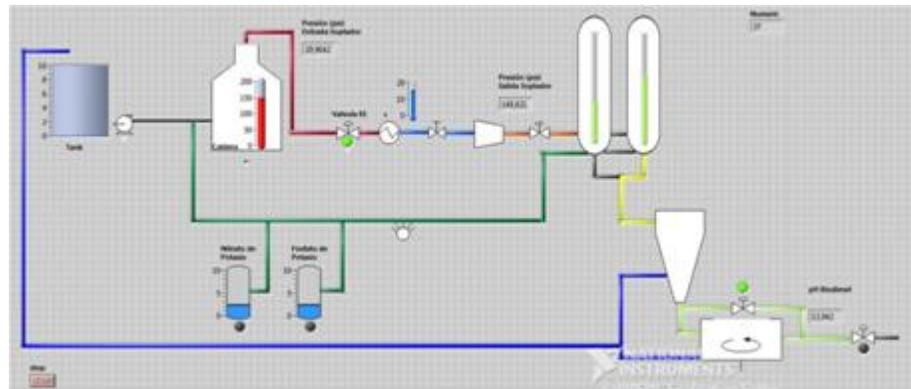


Figura Nº 7. HMI del sistema de control.
Fuente: el autor (2017)

Culminada la fase de diseño del sistema automatizado se procede a la selección de los equipos e instrumentos especificados en cada parte del proceso y que son necesarios para lograr la implementación del mismo. Es así como se



desarrollaron cada una de las matrices para comparar las diversas marcas y fabricantes que están actualmente en el mercado para obtener el equipo que mejor se adapta al sistema propuesto.

Se inicia con la selección de los transmisores de nivel que controlarán los niveles en los tanques de almacenamiento de algas, tanque de los nutrientes, del decantador y del recipiente de almacenamiento final de biodiesel a fin de evitar derrames por sobrecarga de los mismos o por el contrario evitar el uso de los equipos en vacío debido a falta de producto en los tanques. La mayoría de los fabricantes cumplen casi en su totalidad con los parámetros de temperatura y comunicación del proceso.

En cuanto a la exactitud, por ser niveles de líquido para el funcionamiento de los equipos y para evitar el derrame, podemos utilizar equipos con poca exactitud y repetibilidad a fin de reducir costos, compensando estas debilidades con un ajuste del set point en rangos de operación que eviten las condiciones críticas. De acuerdo a esto se selecciona el transmisor 5400 de la marca Rousemont que tiene como ventaja adicional ser un fabricante reconocido y ampliamente utilizado en la industria.

Se realiza un procedimiento similar para la selección de los transmisores de presión los cuales serán los encargados de controlar los niveles de presión necesarios a la entrada del fotobiorreactor entregados por los soplantes y del líquido contenido en los fotobiorreactores durante el proceso de extracción del aceite. Seguidamente, el caso anterior, los diferentes fabricantes tienen un rango de operación de presión por encima de los valores requeridos en el proceso por lo que no hay limitaciones para seleccionar el fabricante en cuanto al parámetro de presión. De igual manera, todos cumplen con los protocolos de comunicación y el nivel de exactitud para todos los casos son aceptables siendo el de la marca Endress – Hauser el que tiene mayor exactitud. Sin embargo, los transmisores Rousemont tienen un valor bastante bueno y debido a que los transmisores de nivel seleccionados son de este fabricante, se seleccionaron el modelo 2051 Coplanar.

Continuando con la selección de los equipos necesarios para la automatización se estudian los equipos que controlaran la temperatura en las diferentes fases del proceso, como es la salida de la caldera, de los intercambiadores de calor y del proceso de centrifugado donde se obtiene el biodiesel. Para la selección del transmisor de temperatura se tiene de manera semejante a los casos anteriores que los fabricantes cumplen con los parámetros requeridos por el proceso. Por esta razón, y a fin de mantener un sistema homogéneo en cuanto a los equipos que lo componen seleccionamos el transmisor de la marca Rosemount, específicamente el modelo 3144P ya que es el que posee mayor exactitud que su compañero de marca 644.

En cuanto a los transmisores de viscosidad, no existe gran variedad de estos equipos en el mercado, es así como siguiendo la línea de medidores de la casa fabricante Rosemount se tienen las características del modelo Micro Motion Fork que fue el seleccionado ya que el mismo cumple con la parámetros deseados para el control de viscosidad requerido por el proceso automatizado.

En cuanto a los sensores de pH al igual que los medidores de viscosidad, presenta poca variedad en el mercado, seleccionando el transmisor de la marca Rosemount modelo 5081 ya que según las especificaciones puede medir todo el rango de valores de pH teniendo además compatibilidad con los protocolos de comunicación industriales que se emplearán en la planta como lo es el protocolo Hart a nivel de campo

El último equipo que se ha seleccionado para el funcionamiento automatizado de la planta corresponde al controlador o PLC. Para ello, se ha considerado la tecnología ARDUINO por su facilidad en programación y que gracias a su compatibilidad con el software LabView simplifica el trabajo de simulación para la validación de la automatización de la planta. Específicamente se considera el uso del modelo ARDUINO DUE por su mayor número de pines de entrada y salida que permite manejar el total de la instrumentación presente en campo.

Con estas fases de la investigación desarrolladas, se procedió a la realizar la validación del sistema automatizado por medio del software LabView 2011 donde a través del Front Panel se diseña la interfaz de usuario para visualizar el proceso que está en ejecución y por medio del Block Diagram se establece el algoritmo y la lógica empleada para la simulación. El proceso se simuló completamente dentro de un lazo while donde se estará ejecutando de manera indefinida hasta que ocurra un comando de paro que para efectos de la simulación será forzado por medio de un botón. Es así como dentro de este lazo está toda la lógica del sistema automatizado que con sus respectivos controles mantendrá el sistema funcionando dentro de los parámetros requeridos.

El primer proceso a simular es la caldera donde se produce el CO₂ requerido por el fotobiorreactor para la fotosíntesis. Para ello, utilizando funciones matemáticas se envían señales a un indicador numérico que funcionará como un transmisor de temperatura y esta señal será monitoreada para activar las líneas de salida de la caldera así como el control de presión que permitirá abrir la válvula que está a la entrada del enfriador. En la figura N°8 se muestra el código que ejecuta este algoritmo.

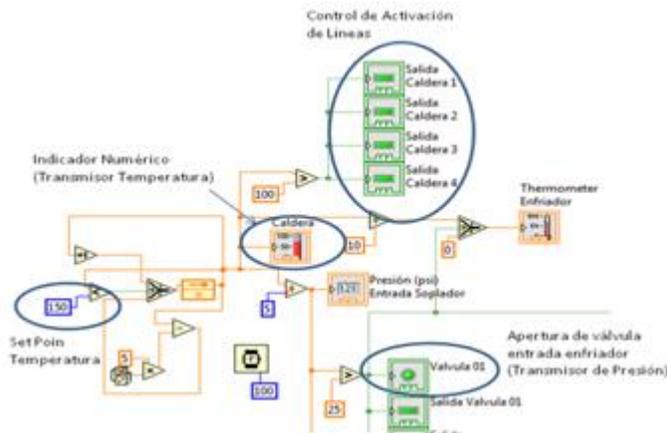


Figura N° 8. Código LabView Caldera.
Fuente: el autor (2017)

En la figura N°9 se muestra una parte de la interfaz de usuario donde se muestra la bomba que envía el contenido del tanque hacia la caldera donde se visualiza la temperatura del proceso y a su vez la activación de las líneas en la salida (en color rojo) donde posteriormente, se conecta la válvula antes del enfriador la cual será controlada por la presión que se indica en la parte superior de la caldera (el botón verde en la parte inferior indica el estado abierto de la válvula).

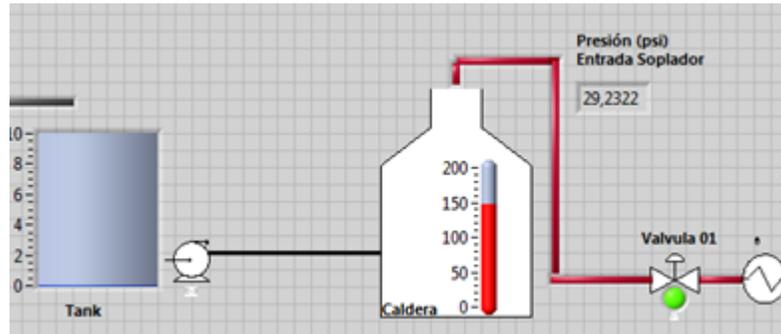


Figura N° 9. HMI de la Caldera.
Fuente: el autor (2017)

En la salida del enfriador se tiene un indicador que permite monitorear la temperatura de salida del proceso. El gas que fluye entra a los soplantes que son los encargados de elevar la presión del CO₂ antes de entrar al fotobiorreactor. Por medio de controles lógicos como se muestra en la figura 10 se simula la activación de líneas que son las encargadas de llevar el gas hasta la entrada del fotobiorreactor.

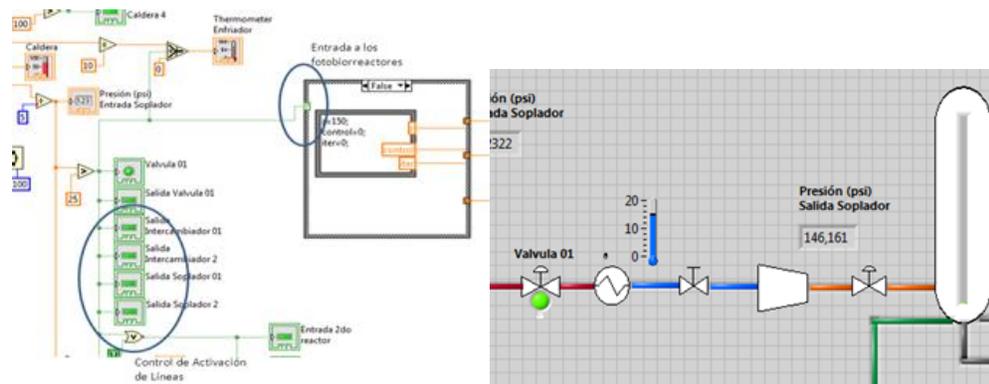


Figura N° 10. Código LabView Soplates.
Fuente: el autor (2017)

En la figura anterior, se observa como aguas abajo de la válvula 01 se activan las líneas que comunican hasta el enfriador (color azul) en el cual se observa un medidor de temperatura a la salida del mismo. De igual manera se muestra la imagen referencial de un compresor el cual simula al soplante donde además por medio de un transmisor de presión muestra el valor de presión a la

salida del proceso activando de igual manera la válvula de entrada a los fotobiorreactores.

Por otra parte, se tiene el proceso de alimentación de microalgas hacia los fotobiorreactores desde el tanque de almacenamiento, allí se tienen las líneas a las cuales se le van agregando ciertos nutrientes como el Nitrato de Potasio y Fosfato de Potasio para estimular la producción de aceite. Para simular este proceso se ha desarrollado un función en un Formula Node para el descenso en los niveles de los tanques de los nutrientes con su respectiva alarma de control al presentarse bajo nivel desactivando la inyección de los mismos a la línea del proceso hasta tanto no sean restablecidos los niveles en los tanques de almacenamiento. La figura N°11 muestra esta parte del código con sus respectivos comentarios.

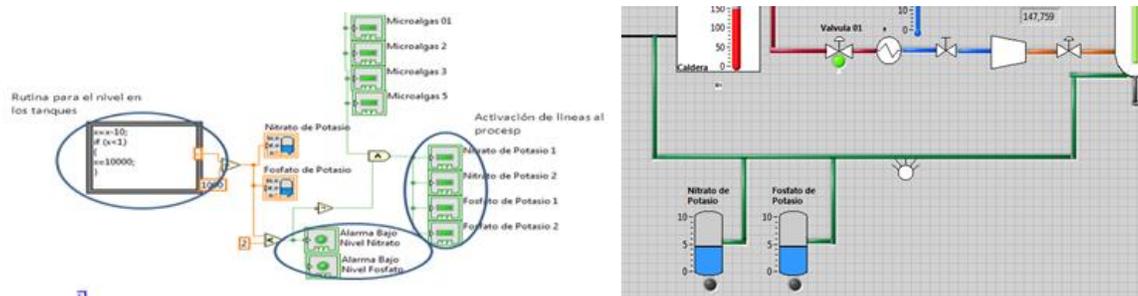


Figura N° 11. Código LabView Nutrientes.

Fuente: el autor (2017)

A nivel de la interfaz de usuario, la figura anterior muestra cómo se activan las líneas que llevan las microalgas hasta el sistema de los fotobiorreactores (en color verde) al mismo tiempo que muestra los tanques de los nutrientes conectados al proceso y en la parte inferior se observan las alarmas visuales (bombillos en rojo) cuando los niveles de los tanques están por debajo del valor mínimo para su funcionamiento.

Al llegar al proceso de los fotobiorreactores, el proceso de simulación cuenta con una condición inicial donde los mismos están en vacío y con los valores en cero hasta tanto no se cuente con la entrada de CO₂ para el proceso de fotosíntesis. Esto se logra con el uso de un Case Structure donde por medio de un control booleano colocamos los valores iniciales mostrados en la figura 14.

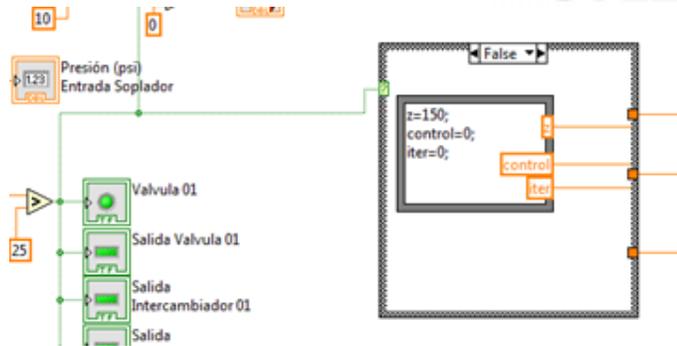


Figura N° 12. Código LabView Case Structure (False).
Fuente: el autor (2017)

Al activarse los soplantes, comienza el proceso de llenado de los fotobiorreactores los cuales se simulan con la opción True del Case Structure mostrado en la figura 13, allí se controla cual fotobiorreactor será el que recibe la inyección de CO₂ donde posteriormente activaremos los controles para los indicadores de nivel. En esta rutina se va a controlar el incremento de nivel así como un tiempo de reacción para el proceso de extracción de los aceites.

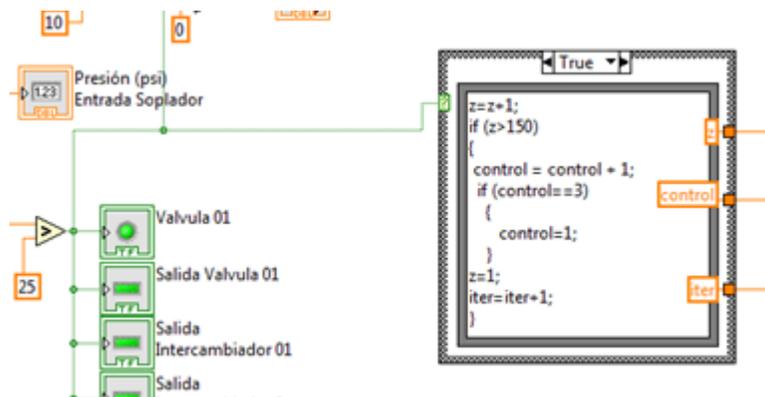


Figura N° 13. Código LabView Case Structure (True).
Fuente: el autor (2017)

El comportamiento del llenado, procesamiento y vaciado de los fotobiorreactores se muestran en la figura N°14 donde utilizando una función Case Structure se selecciona uno de los equipos que va a ser llenado mientras el otro equipo irá descargando su producto a la siguiente fase del proceso. Para efectos de simulación, se ha trabajado con 2 fotobiorreactores, siendo este procedimiento totalmente escalable hasta la cantidad necesarias en un proceso real.

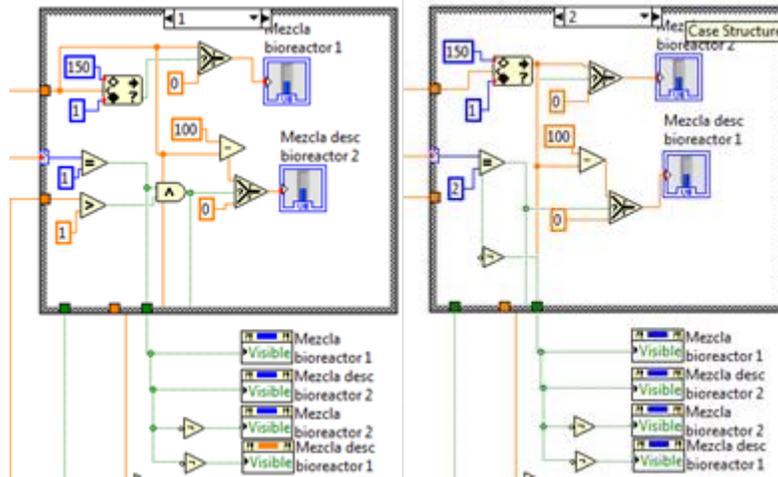


Figura N° 14. Código LabView Case Structure para Fotobiorreactores.
Fuente: el autor (2017)

La sección del HMI que muestra este comportamiento se observa en la figura N°17 donde se habilita el indicador de nivel en sentido ascendente del fotobiorreactor que está recibiendo la mezcla mientras que el otro equipo tiene habilitado el indicador de nivel en sentido descendente. Cuando se produce el cambio de equipo, estos indicadores cambian su condición para simular el proceso contrario cuando las condiciones así lo requieran.

A la salida de este proceso entramos a la decantación del aceite obtenido de las algas y microalgas marinas donde se controla la entrada de cada uno de los fotobiorreactores activando las líneas correspondientes por medio de controles booleanos simulando la apertura y cierre de válvulas en cada línea de descarga. De igual manera, al finalizar el proceso de decantación el aceite obtenido es enviado a la centrifugadora y el agua resultante es enviada de retorno al tanque de almacenamiento.

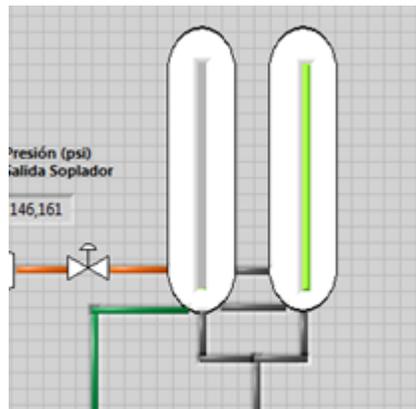


Figura N° 15. HMI de los Fotobiorreactores.
Fuente: el autor (2017)

En la figura 16 se muestra el algoritmo empleado para simular esta parte del proceso, el cual consistió en controles booleanos que activan y desactivan líneas para mostrar el recorrido de los líquidos de cada parte del proceso y de esta manera determinar la secuencia de ejecución de cada uno de los accionadores que trabajarán sobre las válvulas que contenga el proceso real.

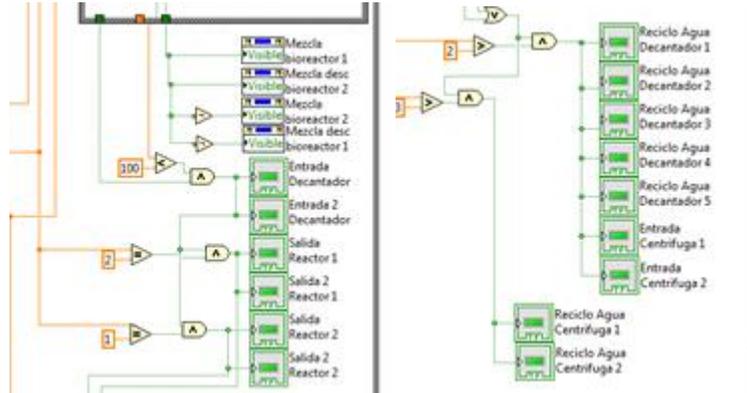


Figura N° 16. Código LabView Proceso Decantación y Centrifugado.
Fuente: el autor (2017)

El último algoritmo desarrollado está relacionado con la verificación de la propiedad de pH que debe tener el biodiesel para poder ser almacenado para su posterior comercialización. Para ello, se tiene una rutina de verificación donde se valida que el valor medido esté dentro del rango adecuado para abrir la válvula de salida o en caso contrario devolver el producto al proceso de centrifugado. La rutina que ejecuta este procedimiento se muestra en la figura N°17.

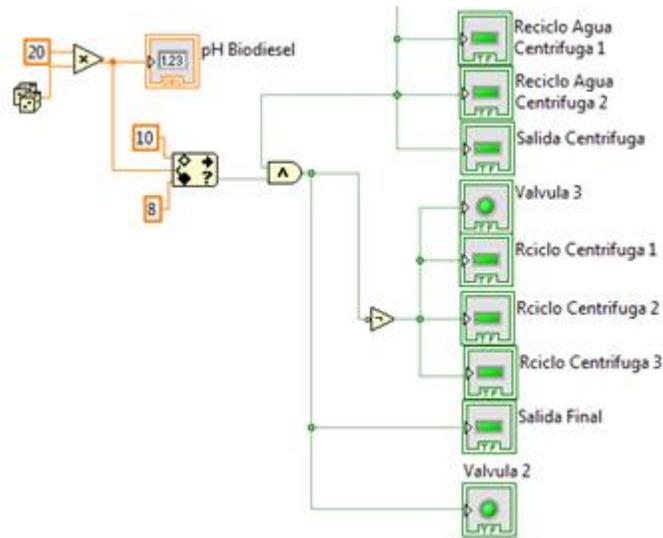


Figura N° 17. Código LabView Validación pH del biodiesel.
Fuente: El autor

La figura N°18 muestra la porción del HMI correspondiente a los procesos de decantación, centrifugado y entrega de biodiesel, donde se observan las correspondientes salidas de agua realimentada al tanque de almacenamiento y la interconexión de los procesos mediante la activación de líneas y los indicadores de apertura y cierre de las válvulas que controlan la entrega final del producto.

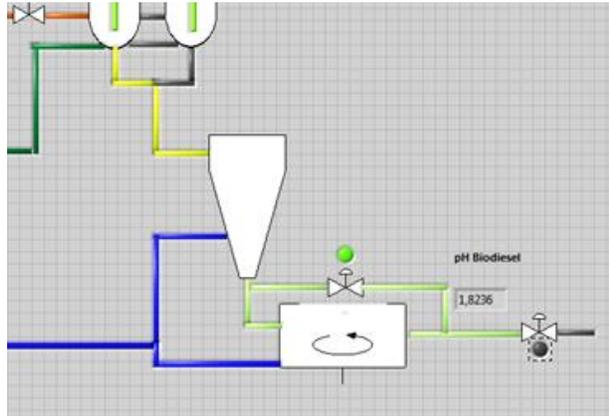


Figura N° 18. HMI decantación, centrifugado y entrega final.
Fuente: el autor (2017)

Se puede observar una vez revisadas cada una de las etapas del proceso de producción de biodiesel que es posible obtener el sistema automatizado ya que al integrar cada una de las partes que lo componen vemos como el sistema puede trabajar de manera continua y coordinada permitiendo de esta manera monitorear cada una de las etapas por medio de una interfaz de usuario de manera remota sin necesidad de acercarse directamente al proceso.

CONCLUSIONES

El proceso de producción de biodiesel se puede manejar de manera continua con el uso fotobiorreactores en paralelo lo que permite una mayor producción de aceite, y por lo tanto, mayor cantidad de producto final. Una correcta definición de los parámetros operacionales para la producción de biodiesel facilita la selección de los equipos a utilizar, y por lo tanto, permiten optimizar el uso de los equipos de acuerdo a los requerimientos del sistema para cada etapa del proceso.

El estudio del proceso de producción de biodiesel permitió diseñar el sistema automatizado a ser implementado en la planta, siguiendo la secuencia de procesamiento de la materia prima y las acciones a ejecutar en cada una de las etapas del mismo. El uso de matrices de comparación permitió determinar cuáles equipos se adaptaban mejor al funcionamiento del sistema automatizado tomando en consideración la naturaleza del proceso estudiado.

Se realizó la validación del sistema automatizado con resultados positivos ya que mediante simulación se logra ver cómo funciona todo el proceso de producción tomando en cuenta los respectivos sistemas de control. El estudio económico



desarrollado permitió sustentar la viabilidad financiera del proyecto ya que el mismo es autosustentable en sus costos de producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Gutierrez, V., Pernalete M. y Rubio Y. (2014) Planta Productora de Biodiesel a partir de Algas y Microalgas Marinas. Proyecto para concursar al premio Odebrecht.
- Muñoz P. (2013). Estudio Técnico-Económico de una Planta de Producción de Biodiesel. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Universidad de Andalucía, España.
- Salinas P. (2012). Metodología de la Investigación Científica. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Cortés M e Iglesias M. (2004). Generalidades sobre la Metodología de la Investigación. Universidad Autónoma del Carmen. Ciudad del Carmen, México.
- Hurtado J. (2008). Como Formular Objetivos de Investigación. Ediciones Quirón, Sypal. 2da edición. Caracas, Venezuela.
- Arias, F (2006). El proyecto de investigación. Editorial Episteme. 6ta edición. Caracas, Venezuela