



MICROPLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL COMBUSTIBLE A PARTIR DE LIGNOCELULOSAS.

(MICROPLANT FOR BIOETHANOL FUEL PRODUCTION FROM LIGNOCELLULOSES)

Jose Luis Nuñez

Alimentos Polar, Empresas Polar C.A.

josuis6@gmail.com

RESUMEN

En las últimas décadas se han estudiado alternativas energéticas que sean amigables con el medio ambiente y que permitan el crecimiento de la sociedad actual; los biocombustibles, para los cuales se ha empleado biomasa como materia prima. Dicha tecnología ha sido desarrollada incluso en países latinoamericanos como Brasil. Para que Venezuela inicie la producción de biocombustibles debía primero disponer de una herramienta para generar data confiable que esquematice el modelo de producción a implantar. En base al contexto anterior, la presente investigación tuvo como propósito proponer una Microplanta para la producción de bioetanol combustible a partir de lignocelulosas que funcione como herramienta de consulta, diseño e impulso para dicha tecnología dentro del país. Para ello se empleó el análisis bibliográfico avalado por autores como Ogata, K., (2010), en el ramo de sistemas de control, Bustillos, O., (2001) en el área de instrumentación así como Navarro E., (2012) en el eje de producción de biocombustibles. La metodología de la investigación fue de tipo descriptiva con diseño no experimental. Los resultados determinaron que el diseño ingenieril determino que la mejor materia prima a emplear resultó el bagazo de caña de azúcar alrededor del cual se describió todo el proceso productivo; el primer punto de partida para establecer condiciones de operación fueron investigaciones previas a escala laboratorio; el diseño de los P&ID permitió describir el comportamiento de los sensores y actuadores frente a los parámetros seleccionados; la robustez es de gran importancia para el diseño del sistema de comunicación entre los elementos electrónicos del proceso. Como resultado se logró una validación exitosa de la microplanta a través del software LabView, concluyendo que con el proceso automatizado es posible obtener un mejor rendimiento (50% mayor) derivando en más generación de litros anuales (712) y un flujo de caja considerablemente superior (por encima de 1000\$).

Palabras clave: Biomasa, Microplanta, Lignocelulosa, Bioetanol, Biocombustible, LabView.

INTRODUCCIÓN.

Son innumerables los avances que los hidrocarburos han permitido alcanzar hasta la actualidad. Sin embargo, las técnicas de extracción, procesamiento y uso final (combustión) de las fuentes fósiles han acelerado el calentamiento global. Cuando ocurre la combustión se producen gases que terminan acumulados en la atmósfera (dióxidos de carbono, metano, óxidos de nitrógeno, entre otros) los cuales ocasionan cambios térmicos por absorción excesiva de energía infrarroja y por re-radiación.



En vista de lo expuesto, la comunidad científica ha desarrollado alternativas para continuar con las actividades de transporte sin perjudicar el medio ambiente; los biocombustibles. Los combustibles verdes también generan emisiones de dióxido de carbono, pero éste es procesado con mayor facilidad por la estructura vegetal, por lo que facilita su eliminación de la atmósfera. Para ellos han empleado biomasa como materia prima, principalmente desechos de cultivos.

Los biocombustibles se han desarrollado incluso en países latinoamericanos como Brasil, lo que está generando un cambio en el mercado energético mundial. Para que Venezuela inicie la producción de biocombustibles y pueda integrarse al cambio tecnológico, cultural y económico actual, debe primero disponer de una herramienta para generar data confiable que esquematice el modelo de producción a implantar; tecnología que permita análisis económicos y ambientales, evaluación de eficiencia, criterios de automatización y costos de implantación/operación.

Hoy en día, una de las herramientas más utilizadas en el campo de desarrollo industrial es la simulación para escalamiento de procesos, ya que permite estudiar sistemas muy complejos a una menor escala. En orden de impulsar la producción de biocombustibles en Venezuela, y en base al cuestionamiento "*¿cuál sería la mejor alternativa para el estudio de la producción de biocombustibles a partir de biomasa en Venezuela?*" la presente investigación propone el diseño de una Microplanta para la Producción de Bioetanol combustible a partir de lignocelulosas, desarrollado como parte del programa de investigación de la Universidad Rafael Belloso Chacín división de postgrado de Ingeniería de Control y Automatización de procesos.

METODOLOGÍA

Los tipos de investigación suelen clasificarse según diferentes criterios dados por el objetivo o propósito de la investigación. Con esto, se pueden identificar diferentes tipos o categorías sin que éstas sean excluyentes entre sí. La investigación descriptiva, según Arias (2006, p.24), consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo, o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento. De acuerdo a lo anterior, esta investigación puede definirse como descriptiva, debido a que en un estudio descriptivo se seleccionan una serie de conceptos o variables y se mide cada una de ellas independientemente de las otras, con el fin, precisamente, de describirlas.

Estos estudios buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno. De acuerdo a Tamayo y Tamayo (2007, p.46), lo descriptivo es el registro, análisis e interpretación de la naturaleza y la composición o procesos de los fenómenos; esta trabaja sobre realidades de hechos y su punto imprescindible es la de la interpretación correcta

Por otra parte y de acuerdo con los criterios expuestos por Hurtado, J (2010, p.114) la presente investigación fue Proyectiva por cuanto intenta "plantear soluciones a una situación determinada a partir de un proceso previo de indagación. Implica explorar, describir, explicar y proponer alternativas de cambio, más no necesariamente ejecutar la propuesta"

La presente investigación es descriptiva, catalogada como proyecto factible no experimental con la microplanta propuesta como unidad de análisis. Para la recolección de datos se trabajó con la metodología tipo investigación basada en el diseño conceptual. De forma similar se empleó la observación documental bibliográfica apoyada en diferentes textos, papers e investigaciones documentadas con anterioridad. Así mismo, se empleó la



técnica entrevista basada en las consultas otorgadas por el comité presente en la Universidad Rafael Bellosó Chacín en calidad de asesorías técnicas no estructuradas.

Tal como lo expresa Hernandez, Fernandez y Batista (2014) recolectar datos implica elaborar un plan detallado de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico. La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo individuo u objeto produce resultados iguales.

Por otra parte, Arias (2006) hace referencia a las diferencias entre técnicas e instrumentos de recolección de datos. En sí, la técnica habla del procedimiento de obtención de data mientras que el instrumento se refiere a cualquier recurso y/o herramienta que participe en dicho procedimiento para registrar información, como fichas, formatos de cuestionarios, guías de entrevistas, entre otros.

Para la descripción del proceso de producción se justificó la elección del bagazo de caña de azúcar, la selección y organización de cada etapa y como todas se relacionan entre sí. La documentación recopilada permitió avalar el proceso seleccionado en cuanto a mejoras tecnológicas y minimización de costos, así como también en base a las necesidades y recursos naturales con los que cuenta Venezuela.

Con el proceso definido en su totalidad fue posible avanzar a la descripción de los parámetros y requerimientos. Fue consultada bibliografía referente a investigaciones anteriores realizadas a escala laboratorio, esto permitió realizar comparaciones entre diferentes autores y seleccionar los parámetros para cada etapa considerando menor consumo de energía y recursos vs mejor rendimiento.

El siguiente paso fue diseñar cada etapa, se definieron los controles y los riesgos implicados para cada equipo mediante los P&ID. Así mismo se describió la estructura de comunicación a implementar tomando como referencia la pirámide de automatización. De la mano con lo anterior se llevó a cabo la selección de equipos e instrumentos según el diseño elaborado. Para finalizar, se validó el diseño propuesto a través del software Labview® en el cual se ejecutaron las simulaciones en tiempo real observables en las HMI diseñadas.

RESULTADOS

En cuanto al análisis de resultados observados, la materia prima seleccionada fue el Bagazo de caña de azúcar gracias a su contenido de celulosa y bajo porcentaje de lignina. El diseño del proceso basado en el bagazo corresponde a dos etapas de pretratamiento (hidrólisis ácida y básica), seguida por la Sacarificación y Fermentación simultanea (SSF) y culminando con la purificación de la mezcla alcohol agua en la destilación.

Cuadro 1.
Parámetros a emplear en las etapas de la Microplanta.

Etapa	Parámetros
Hidrólisis ácida diluida.	Temperatura 155°C por 10 minutos. Relación sólido-líquido de 1:8 con ácido sulfúrico al 2% v/v.
Hidrólisis alcalina	Temperatura 110°C por 180 minutos. Relación sólido-líquido 1:10 con Hidróxido de Sodio al 3% v/v.
Sacarificación y Fermentación simultánea.	Temperatura 30 °C durante 96 horas, pH de 5,5 con inoculo de 3% v/v a 300 rpm. Levadura empleada <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> con enzimas y nutrientes (30FPU/g de enzimas con 0.225 g MgSO ₄ y 1.05 g K ₂ HPO ₄ de nutrientes en medio acuoso).
Destilación	Extractiva empleando etilenglicol a 70°C y 101,325 Kpa.

Fuente: El autor (2017).

La hidrólisis ácida debilita la estructura vegetal para hacerla más susceptible al efecto alcalino que extrae la mayor parte de la lignina. Posterior a ello, se facilita el ataque enzimático, alcanzando así altos rendimientos en la SSF, minimizando costos y tiempos de operación al llevarse a cabo en una etapa. La destilación rompe el azeótropo de la mezcla hasta obtener una pureza del bioetanol de 98% ideal para el mercado.

El cuadro 1 muestra cada etapa de proceso de la microplanta en base a un límite de carga de 2 kg de bagazo de caña de azúcar para producir alrededor de 10 litros de etanol por corrida; a su vez, señala las variables a controlar. La figura 1 muestra el esquema de producción con los parámetros establecidos; el proceso fue concebido por carga puesto que es la metodología aplicada para evaluación de procesos en plantas piloto.

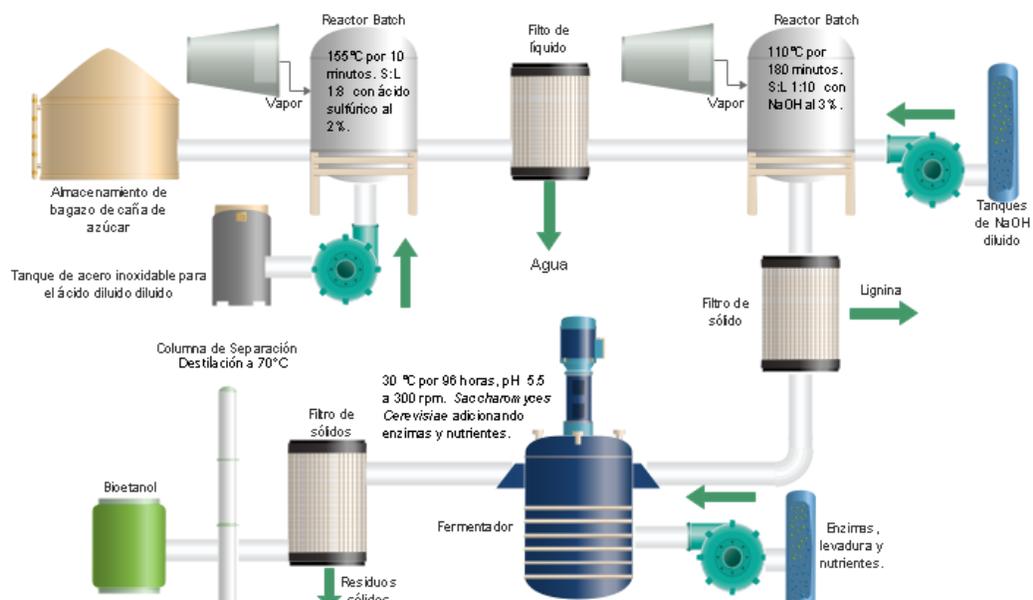


Figura 1. Diagrama de flujo general del proceso de producción de bioetanol.
Fuente: El autor (2017).

En base al esquema del proceso se diseñaron los P&ID; en la Figura 2 se muestra el de la hidrólisis ácida. Reactor enchaquetado para asegurar homogeneidad de la temperatura de la mezcla bifásica (sólido-líquido). El flujo de vapor a la chaqueta es direccionado por dos válvulas, una electroválvula de seguridad y una válvula neumática de control. Los sensores de temperatura van dentro del reactor. Como factor de seguridad se incorporó un elemento de medición de presión (P-101) sujeto a una válvula de control que activa la purga de escape cuando el valor alcanza límites peligrosos.

El reactor cuenta con sensores de nivel bajo, medio y alto para indicar las fases de carga. Para la dosificación inicial se usó un tornillo sinfín de paso constante con el sensor de nivel bajo. Finalizado el movimiento del tornillo se activa un temporizador para contabilizar el tiempo de todo el proceso, el cual solo permite el arranque del tornillo una vez el conteo haya finalizado (ahorro energético). También se incluyó un temporizador de reacción, al alcanzar la temperatura establecida inicia el conteo que al finalizar abre la electroválvula de descarga.

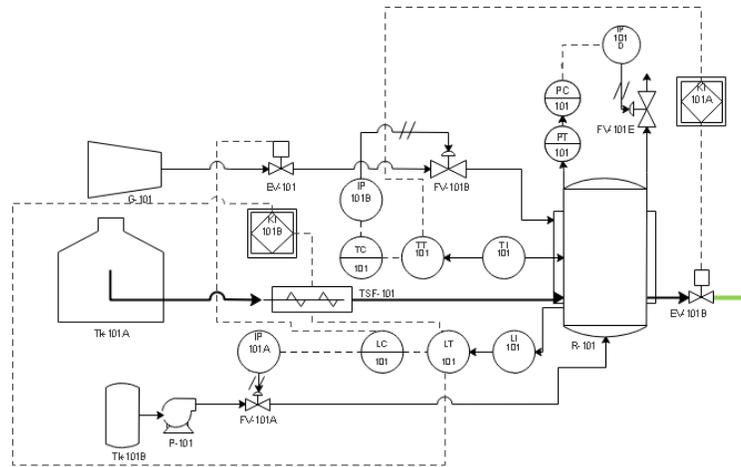


Figura 2. P&ID etapa Hidrólisis Ácida.

Fuente: El autor (2017).

Las consideraciones de diseño para la etapa de hidrólisis básica son las mismas aplicadas en la etapa anterior mostradas en la figura 3 puesto que el proceso es muy similar. Las modificaciones en el diseño se basan en el lazo de control de nivel en el filtro inicial dónde se separará el líquido, al detectar variaciones en el nivel enviará pulsos eléctricos al tornillo sinfín de paso constante para transportar el bagazo pre - tratado al siguiente reactor.

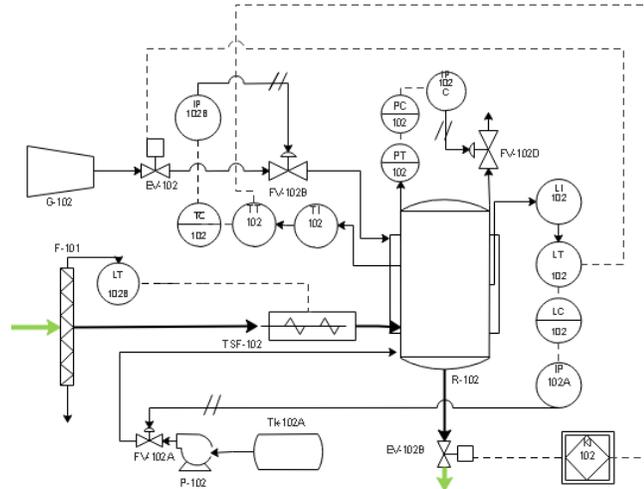


Figura 3. P&ID etapa de hidrólisis básica.
Fuente: Elaboración propia (2017).

Sigue la etapa de SSF en la próxima figura, primeramente una filtración para remover la lignina extraída con el álcali. Reactor con chaqueta de enfriamiento, ya que tras la hidrólisis básica la temperatura se incrementó, y la *Saccharomyces Cerevisiae* solo está activa a los 30°C; se implementaron sensores de temperatura dentro del reactor para activar el lazo de control de ser necesario (agua como fluido de enfriamiento). Sensores de nivel activaran la dosificación de reactivos una vez ingresada la biomasa al reactor.

El reactor cuenta con un agitador de cuatro aspas planas para asegurar la mezcla de los reactivos. La agitación y el temporizador de retención se activarán cuando la temperatura sea la de reacción. Un medidor de pH monitorea la variable in situ y en el tablero de control para conocimiento del avance de la reacción. Al finalizar el temporizador se abre una electroválvula para la descarga del reactor. La corriente de salida se somete a una filtración de sólidos para continuar el proceso con la corriente líquida rica en bioetanol.

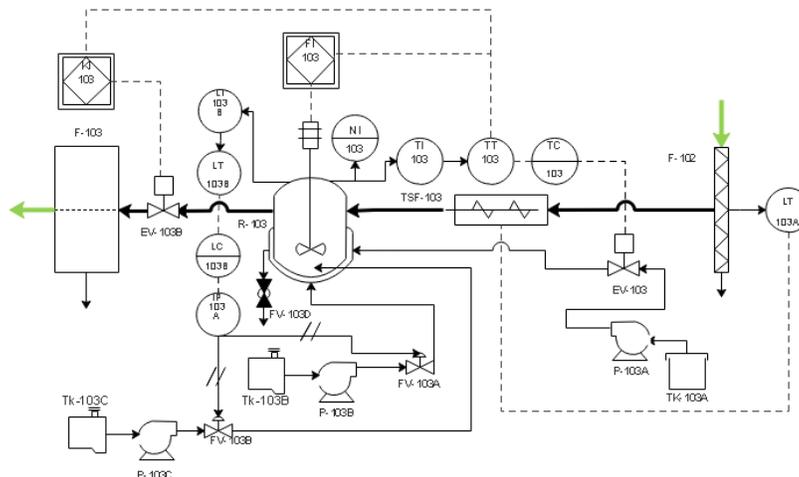


Figura 4. P&ID etapa SSF.
Fuente: El autor (2017).

Como la temperatura es una variable crítica para la última etapa, la destilación, se monitorea antes de que el fluido entre a la columna. Para ello se cuenta con un sensor de temperatura en la alimentación relacionado con un intercambiador de calor para calentar la corriente; la temperatura de la etapa anterior es 30°C y la columna opera a 70°C (Figura 5). Solo al alcanzar 70°C se abre la electroválvula para dar paso a la columna.

La corriente atraviesa entonces un medidor de flujo instalado para mantener la relación alimentación/solvente. El medidor de flujo manipula dos válvulas de control; la primera de alimentación a la columna, y la segunda de circulación del solvente. El solvente se dosificará en una etapa superior y la mezcla etanol-agua en una sección inferior aprovechando las diferencias de densidades.

La columna de separación es una torre empacada cuyo empaque es el Nutter ring #0,7 en acero inoxidable 316 comúnmente empleado para romper azeótropos. La columna cuenta con un rehervidor dónde tiene lugar la separación del etanol del agua. Por otra parte, a la torre está acoplado un enfriador de tubo y carcasa para condensar el destilado con agua como fluido de enfriamiento.

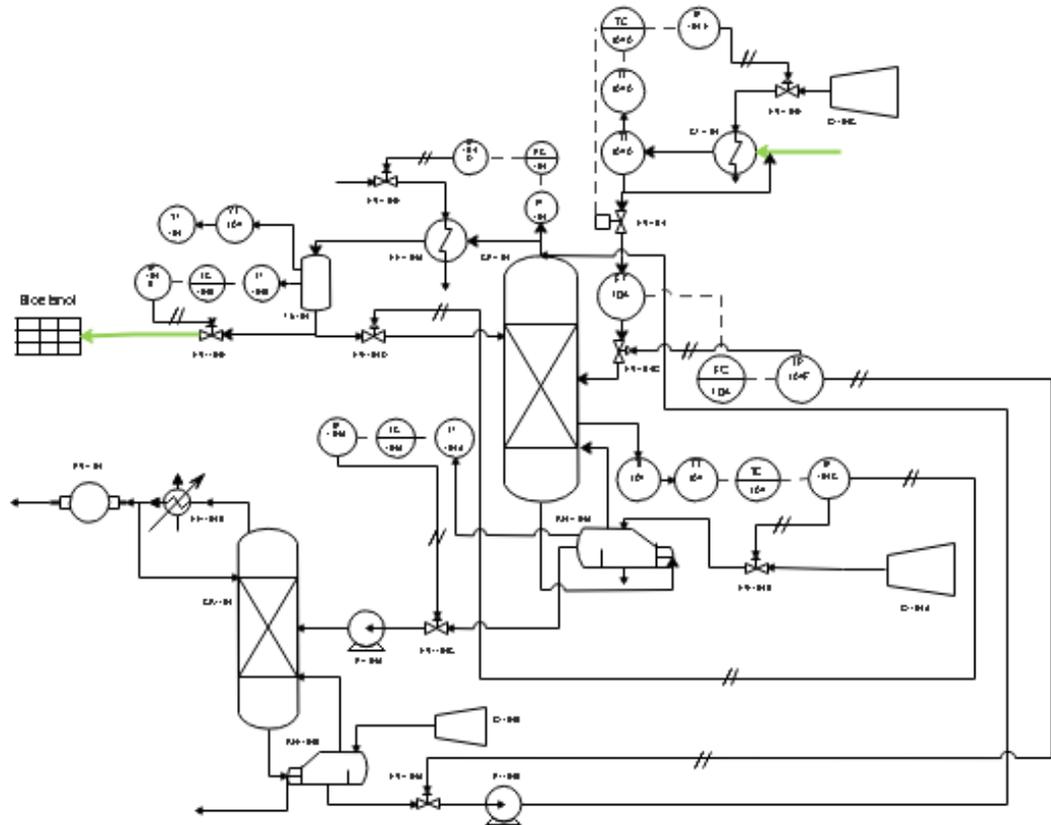


Figura 5. P&ID de la destilación extractiva con solvente.
Fuente: El autor (2017).

Para controlar el nivel en la columna se implementan lazos de control de nivel en el tanque acumulador de destilado (parte superior) y en el rehervidor (parte inferior); las válvulas regulan el paso del destilado y del solvente saturado respectivamente. En la parte superior de la columna se ubica el lazo de control de presión para garantizar la presión atmosférica interna; el control se basa en regular el flujo de agua en el condensador, por lo que la válvula de entrada al intercambiador será el actuador final de este lazo.

Para asegurar la concentración del bioetanol se implementa un lazo de control de temperatura debido a que existe una relación directa entre ambas variables. Dicho lazo se apoya en sensores/trasmisores de temperatura que cierran el lazo de control en dos válvulas: una controla la recirculación a la columna y la otra regula el flujo de vapor al rehervidor. Para finalizar, cuenta con la sección de recuperación de solvente donde el etilenglicol saturado es sometido a una separación en otra columna empacada.

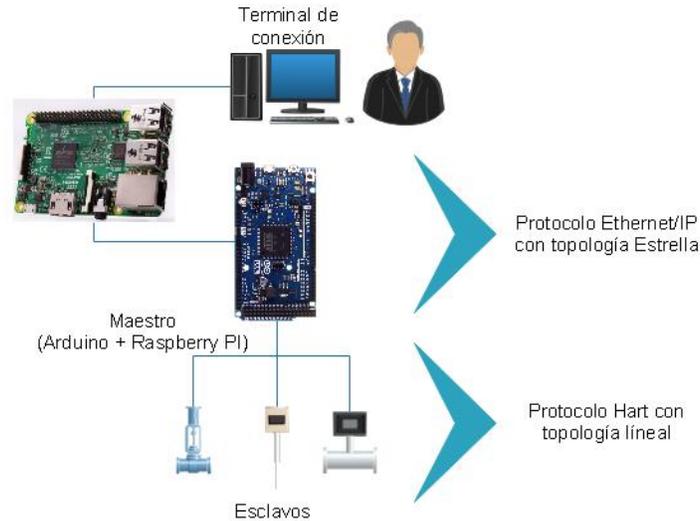


Figura 6. Estructura de comunicación de la microplanta.
Fuente: El autor (2017).

Diseñados P&ID se define la estructura de comunicación. A nivel de los sensores/actuadores se estableció el protocolo Hart por ser el más empleado a nivel industrial; gran cantidad de marcas fabrican instrumentos compatibles con este protocolo. Para un nivel superior la red de comunicación Ethernet, resultó la opción más atractiva para manejar el flujo de información, gracias a que emplea la topología estrella con switches sin colisiones al dirigir el flujo de datos.

En base a lo anterior, se propuso usar un microcontrolador acoplado a un microprocesador en lugar de un PLC, principalmente debido a las exigencias del proyecto y su escala. Gracias a su fácil programación y compatibilidad con el software LabView, la tecnología Arduino resultó la mejor opción. el Arduino Due fue el seleccionado, por presentar mayor potencia que los modelos Uno y Leonardo. Como microprocesador se seleccionó el Raspberry Pi 3 Modelo B por ser compatible con el Arduino Due, económico y funcionar con Ethernet Como se mostró en la figura anterior

DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Posterior al diseño, se realizó la validación del mismo en el software LabView®, comprobándose el funcionamiento de los sensores y actuadores según los parámetros seleccionados, de forma que hubo respuesta efectiva por parte de todos los elementos de control que se diseñaron para cada etapa. Una vez validada la propuesta, se procedió a realizar una comparación entre la producción automatizada y la manual durante el periodo de un año. La producción automatizada abarca 99 horas, en corridas normales es recomendable dedicar un día a mantenimiento (24 h). Considerando este último punto, se

tiene que, para completar todo el proceso, producir 10 litros de bioetanol y volver a arrancar son necesarias 123 horas. Relacionado el nivel de producción en base a un año (8760 horas) se tiene que anualmente es posible producir 712 litros con el proceso automatizado.

Por otro lado, la elaboración manual de bioetanol conlleva mayores tiempos de reacción para asegurar la fermentación al no contar con los equipos y controles necesarios. Se manejan periodos de 8 días para lograr que la levadura actúe, retrasando el volumen de producción. Con la misma metodología de cálculo anterior se tiene que el tiempo total para la producción anual es de 219 horas obteniéndose 400 litros/año como se muestra en la tabla 1

Ahora bien, el Portal Caña (Brasil) informa que el precio del bioetanol es de \$3,389/L (octubre de 2017). Este valor es la base de cálculo de ingresos para la comercialización. Con el proceso automatizado se contabilizan ingresos anuales de \$2412,97 mientras que para el proceso manual son de \$1374,42\$.

Tabla 1.
Producción de bioetanol manual vs automatizada en periodo anual

Producción	Manual	Automatizado	Diferencia	Rentabilidad
Tiempo (h)	219	123	96	56,20%
Litros anuales	400	712	312	
Ingreso anual	\$1355,60	\$2412,97	\$1057,37	

Fuente: El autor (2017).

La diferencia en el volumen de producción es notoria, así como en los ingresos (un 56% mayor). Aunado a lo anterior, resalta que el proceso automatizado brinda mayor control de las variables, asegurando con esto mayores porcentajes de conversión en las reacciones, lo que se traduce en mejor calidad del producto final. Lo expuesto anteriormente ratifica la viabilidad de la microplanta propuesta.

Tabla 2.
Dimensiones de equipos seleccionados para la microplanta.

Equipo	Cantidad	Alto (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (cm)
Columna	2	250	100	60
Reactor	3	180	62	50
Total	5	250	162	110

Fuente: El autor (2018).

Al demostrar que la propuesta es viable económicamente, se procede a establecer el área de la microplanta. Para ello, se consideró el dimensionamiento de los principales equipos que intervienen (reactores y columna de destilación) y la cantidad de los mismos, relacionando ambos factores para determinar el espacio necesario como se presentó en la tabla anterior. Ahora bien, se tienen las dimensiones totales de la microplanta.

Tabla 3.
Dimensiones totales de la microplanta.

Área	Alto (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (cm)
Equipos	375	810	550
Desplazamiento	375	405	275
Total	375	1215	825

Fuente: El autor (2017).

Multiplicando el total de equipos por las medidas se obtiene el dimensionamiento de la microplanta. Adicionalmente, considerando que es necesaria un área de desplazamiento para los operadores así como disponibilidad para instalar equipos menores (filtros), se tomó un factor de seguridad de 1,5. En la tabla 3 se reflejan entonces los resultados finales del dimensionamiento del área destinada para el proyecto (3,75 x 12,15 x 8,25 m).

Simulaciones.

Ahora bien para validar los resultados obtenidos se tienen las siguientes simulaciones llevadas a cabo en la herramienta Labview® a fin de comprobar los estados operativos del proceso explicado. Por lo que se presentan las etapas de hidrólisis ácida y básica así como también, la etapa SSF y posterior destilación a fin de obtener bioetanol. Con esto se puede afirmar, las teorías de automatización de variables críticas y su modo de comunicación a través de una interfaz hombre-máquina.

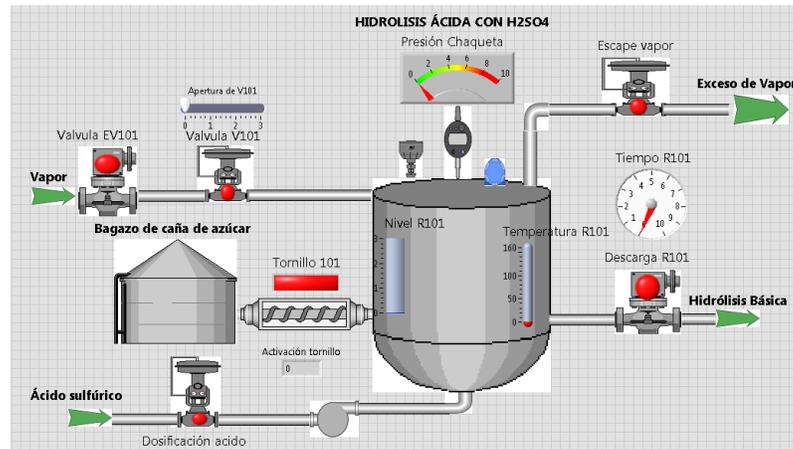


Figura 7. HMI en LabVIEW® etapa Hidrólisis ácida.

Fuente: El autor (2017).

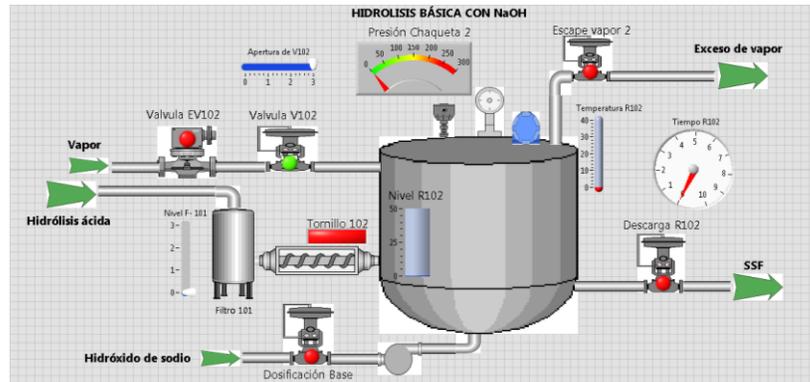


Figura 8. HMI en LabVIEW etapa Hidrólisis básica.
Fuente: El autor (2017).

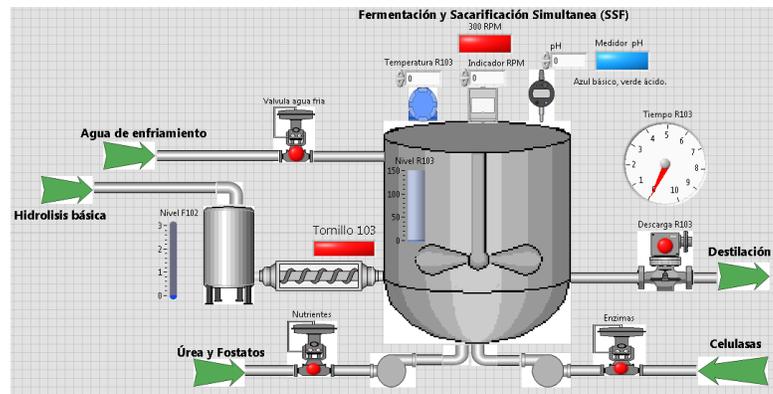


Figura 9. Interfaz en LabVIEW etapa SSF.
Fuente: El autor (2017).

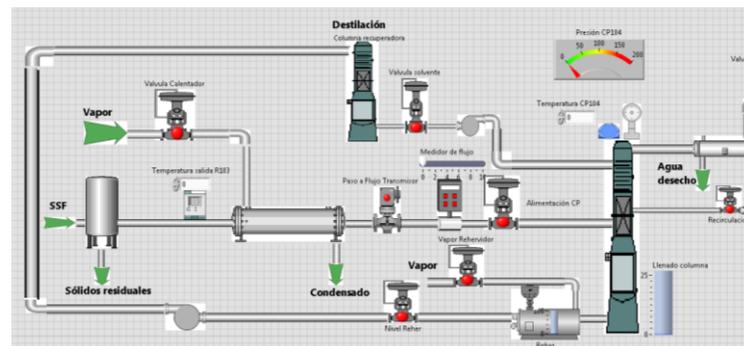


Figura 10. HMI en LabVIEW etapa de Destilación parte 1.
Fuente: El autor (2017).

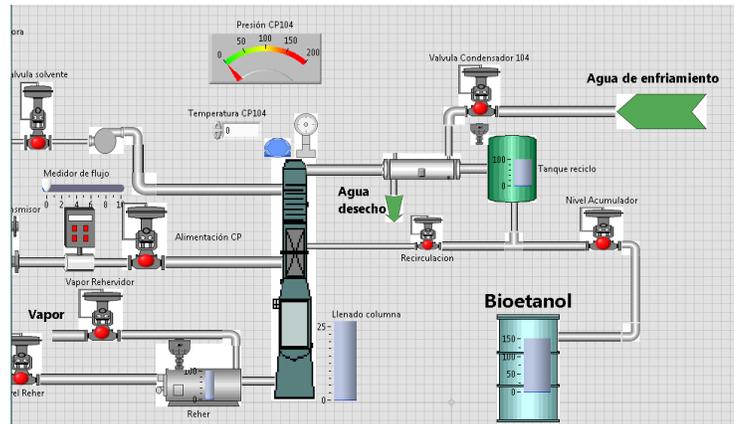


Figura 10. HMI en LabVIEW etapa de Destilación parte 2.
Fuente: El autor (2017).

Una vez realizada la simulación para validar el funcionamiento de la microplanta, y conociendo los elementos que la integran, es posible el planteamiento de un análisis económico que permita soportar la implementación del proyecto. Como se hizo mención en fases anteriores, el proyecto de automatización requiere de los siguientes equipos e instrumentos para asegurar su operatividad. En la tabla 6 se listan los elementos que la integran:

Tabla 4
Listado de equipos y precios

Elemento	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Total (\$)
Controlador Arduino DUE	1	35	35
Raspberry PI 3 modelo B	1	39	39
Arduino ethernet shield	1	23,99	23,99
Transmisor de Nivel Rosemount 5400	7	500	3500
Transmisor de Presión Rosemount 305 in-Line	3	300	900
Transmisor de Temperatura Rosemount 3144P	6	700	4200
Transmisor de grado alcohol ED300 Smar	1	149	149
Transmisor de pH HACCH SI792xP	1	399	399
Transmisor SITRANS FX300	1	300	300
Reactor miniPilot Buchi	3	8090,29	24270,87
Filtro Nucha PTFE	3	800	2400
Intercambiador tubo y carcasa Buchi	3	1000	3000
PILODIST 107	1	650	650
PILODIST 104	1	650	650
Válvula serie 19 Flow Tek	7	785,99	5501,93
Válvula Mariposa SOMAS	20	830,58	16611,6
Bomba centrífuga IPC-C	10	459,69	4596,2
Generador de vapor eléctrico	1	900	900
Total	71	16612,54	68127,29

Fuente: Elaboración propia (2017)

El análisis económico se enfoca principalmente en la inversión inicial a realizarse a nivel de equipos e instrumentos para la implantación del proyecto, con la finalidad de esquematizar el punto fuerte de capital a aportar desde un primer plano; son estos los costos que tiene mayor peso. Los costos asociados a insumos (nutrientes, enzimas, levadura) no se tomarán en cuenta puesto que, pese a ser costosos, el proyecto se encuentra en una fase netamente inicial, incluso sin poder llegar a ser considerada como una planificación. Importante tener en cuenta que la materia prima es bagazo de caña de azúcar, desecho de otro proceso, por lo que su costo podría resumirse solo al traslado y transporte, a menos que el proyecto se establezca cercano a las azucareras.

Tabla 4
Duración de cada etapa del proceso de la microplanta automatizada vs manual.

Etapa	Automatización (min)	Manual (min)
Hidrólisis ácida	10	10
Hidrólisis Básica	180	180
SSF	5760	11520
Totalización en minutos	5950	11710
Totalización en horas	99	195

Fuente: Elaboración propia (2017)

La tabla 4 arroja el resultado de la totalidad de horas invertidas para producir 10 L de bioetanol según las dimensiones de la microplanta diseñada en comparación con la producción a escala manual. La destilación no es tomada en cuenta pues no va asociada a un tiempo de retención preestablecido y puede variar significativamente en base a los controles implantados. El punto fuerte del análisis de duración del proceso (etapa crítica) es la Sacarificación y Fermentación, puesto que es dónde se da la reacción de conversión más importante y es la que aporta un mayor valor de tiempo de retención.

La producción automatizada abarca 99 horas, en corridas normales es recomendable dedicar un día a mantenimiento, limpieza y/o cualquier otra actividad que sea necesaria para asegurar la producción futura. Considerando este último punto se tiene que, para completar todo el proceso, producir 10 litros de bioetanol y volver a arrancar son necesarias 123 horas (99 más 24). Relacionado el nivel de producción en base a un año de producción (8760 horas) se tiene que anualmente es posible producir 712 litros con el proceso automatizado.

Por otro lado, la elaboración casera y/o a nivel de laboratorio de bioetanol combustible conlleva mayores tiempos y condiciones no del todo controladas, por lo que los porcentajes de conversión de celulosa a glucosa (fermentable) pueden incluso alcanzar valores de 39% (valor reportado por Villalobos, 2012). La elaboración manual del bioetanol por lo general requiere de mayores tiempos de reacción para asegurar la fermentación puesto que no se cuenta con todos los equipos que y controles que intervienen en un proceso a escala.

Se manejan periodos de 8 días (192 horas) para lograr que la levadura logre su efecto (etapa crítica del proceso) en la producción manual de bioetanol, trayendo consigo un retraso considerable de volumen de producción. Manejando la misma metodología de cálculo anterior (tomando un día de por medio entre ambos lotes) se tiene que el tiempo total es de 219 horas produciendo anualmente 400 litros.

Ahora bien, consultando el mercado de precios del bioetanol en el vecino país, Brasil, el Portal Caña informa que es de \$3,389/L (octubre de 2017). Este valor es la base para el cálculo de ingresos por la comercialización del biocombustible. Con el proceso automatizado se contabilizan ingresos totales por \$2412,97 mientras que para el proceso manual son de \$1374,42\$. La diferencia de producción es notable (Tabla 8) tanto en litros como ingresos.

Tabla 5
Producción de bioetanol manual vs automatizada.

Producción	Manual	Automatizado	Diferencia	Diferencia (%)
Tiempo (h)	219	123	96	56,20
Litros por año	400	712	312	
Ingresos por año	\$1355,60	\$2412,97	\$1057,37	

Fuente: elaboración propia (2017)

Al relacionar la inversión inicial (\$68127,39) con las ganancias anuales el plazo de recuperación de inversión es de 28 años. Sin embargo, a nivel de volumen de producción la diferencia es notoria obteniéndose 312 litros adicionales, generando con ello mayores ingresos por año para el proceso automatizado (un 56% más) equivalentes a más de \$1000. Aunado a lo anterior, se debe considerar que el proceso automatizado brinda mayor control de las variables, asegurando con esto mayores porcentajes de conversión en las reacciones, lo que se traduce en mejor calidad del producto final junto a un mayor volumen aprovechable. Lo expuesto anteriormente sin duda ratifica la viabilidad de la microplanta propuesta.

Al demostrar que la propuesta es viable se procede a establecer el área de ocupación de la microplanta así como el espacio de desplazamiento para el personal encargado de la misma a modo de establecer el área idónea para el desarrollo del proyecto. Para ello se consideró el dimensionamiento de los principales equipos que intervienen (reactores y columna de destilación) y la cantidad de los mismos, relacionando ambos factores para determinar el espacio necesario.

Tabla 6
Dimensiones de equipos seleccionados para la microplanta.

Equipo	Cantidad	Alto (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (cm)
Columna	2	250	100	60
Reactor	3	180	62	50
Total	5	430	162	110

Fuente: Elaboración propia (2017)

Multiplicando el total de equipos por las medidas, se obtiene el dimensionamiento a escala de la microplanta para la producción de bioetanol. Adicionalmente, considerando que es necesaria un área de desplazamiento para los operadores así como disponibilidad para instalar equipos menores (los filtros), se tomó un factor de seguridad de 1,5. En la

tabla 10 se reflejan entonces los resultados finales del dimensionamiento del área destinada para el proyecto.

Tabla 7
Dimensiones totales de equipos seleccionados para la microplanta.

Área	Alto (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (cm)
Equipos	2150	810	550
Desplazamiento	1075	405	275
Total	3225	1215	825

Fuente: elaboración propia (2017)

Adicional al dimensionamiento, se sugiera una posible ubicación de la microplanta propuesta dentro del país. La localización se elige en base a la disponibilidad de la zona respecto a la materia prima del proceso, el bagazo de caña de azúcar, con lo cual se disminuirán los costos de transporte asociados al traslado de la misma. Por reunir con esta característica, El Central Azucarero ubicado en el estado Portuguesa es una opción viable para la implantación del proyecto desarrollado.



Figura 11. Ubicación Central Azucarero en el estado portuguesa.

Fuente: Google maps (2017)

Teniendo en cuenta todos los factores definidos para cada aspecto del proyecto, también es importante recalcar que la presente investigación es una propuesta dirigida a entes gubernamentales que puede tomar dicha iniciativa de inversión esperando obtener beneficios y aportes más allá de lo económico. El proyecto en el país sin duda impulsaría la cultura ambientalista en la población, fomentaría mayores estudios de rentabilidad y sostenibilidad de dicha industria, ofrecería opciones de expansión con los mercados vecinos, como Brasil, que hasta ahora ha demostrado que existen gran variedad de beneficios en continuar con la producción de biocombustibles.



REFLEXION FINAL

Finalizada la investigación y desarrollados todos los objetivos planteados, es posible asegurar que se cuenta con una propuesta técnicamente viable según los resultados reflejados en el desarrollo de las fases del capítulo IV. En base a lo anterior se desglosan a continuación las siguientes conclusiones:

- a) Describir paso a paso el proceso de producción de bioetanol combustible a partir de lignocelulosa, es el punto de partida para el desarrollo de la microplanta, solo así es posible definir todas sus etapas.
- b) Contar con una concreta descripción del proceso permite definir los parámetros operacionales de producción de bioetanol para la microplanta. La parametrización de las variables es el paso clave en la elección de las tecnologías a emplear.
- c) El conocimiento, estudio e investigación del proceso de producción de bioetanol y de las tecnologías que intervienen en el mismo permiten diseñar una propuesta de automatización para la microplanta.
- d) La naturaleza del proceso, el diseño previo y los parámetros seleccionados son claves al momento de llevar a cabo la selección de equipos e instrumentos que integran la microplanta propuesta.
- e) Establecer todos los elementos que integran la microplanta y su interrelación entre ellos permite desarrollar la simulación en el software LabView para la validación de la propuesta.
- f) La visualización en el simulador del comportamiento de sensores/actuadores de la microplanta frente a las variables establecidas brinda certeza respecto a los controles diseñados para su automatización.
- g) Un estudio económico sustenta significativamente la implantación de la microplanta en contraste con un proceso no automatizado, incluso considerando los costos de inversión inicial.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias (2006) El Proyecto de Investigación. Guía para su elaboración 4ta Edición. Editorial Episteme. Caracas (Venezuela).
- Abril A., Navarro E., (2012). Etanol a partir de biomasa lignocelulósica. Editorial Aleta Ediciones. ISBN: 978-84-15225-50-8.
- Albernas, Y., Corsano G. (2015). "Un enfoque basado en programación matemática para la representación de las etapas de sacarificación y fermentación de una planta de bioetanol". Revista Centro Azúcar. Volumen 42, N°4, pp 37-48. ISSN: 2223- 4861.
- Bustillos, O., (2001). Instrumentación Industrial. Especialización en automatización en informática. Universidad de Oriente, escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas – Departamento de Eléctrica.
- Carlile, M., (2001). The Fungi. 2ª ed. Academic Press, San Diego. ISBN 0127384464.
- Carreón, O. Ramos, A., (2009). Etanol Carburante. Revista de la sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería A.C. Volumen 13 N°3, p. 79-102. ISSN 0188-4786.



- Chandler C., Villalobos N., (2012). Hidrólisis ácida diluida en dos etapas de bagazo de caña de azúcar para la producción de azúcares fermentables. *Revista Multiciencias*. Volumen 12, Número 3, pp 245-253. ISSN 1317-2255.
- Creus, A., (2011). *Instrumentación Industrial 8va Edición*. México, DF. Alfaomega Grupo Editor S.A. ISBN: 978-607-707-042-9.
- García, E. (1999). *Automatización de Procesos Industriales: Robótica y Automática*. España. Editorial: Universidad politécnica de Valencia. ISBN 978-84-7721-759-6.
- García, Néco (2016). Automatización de un reactor anaerobio para la digestión de lodos de una planta tratadora de aguas residuales. *CULCyT//Mayo – Agosto, 2016*. Año 13, No 59, Especial No. 1. ISSN 2007-0411.
- Guerra Y., Zumalacárregui de Cárdenas L., (2016). Simulación de la destilación extractiva para la obtención de etanol anhidro empleando glicoles. *Revista Ciencia, Docencia y Tecnología*. Volumen 27, N° 53. ISSN 1851-1716.
- Google Maps (2017). <https://www.google.com/maps>. Consultado en Enero 2017
- Hurtado, J (2010, p.114) *Paradigmas y métodos de investigación en tiempos de cambios*. Los libros del nacional. Caracas Venezuela
- Krasberg, N.; Hohmann, L.; Bieringer, T.; Bramsiepe, C.; Kockmann, N. Selection of Technical Reactor Equipment for Modular, Continuous Small-Scale Plants. *Processes* 2014, 2, 265-292. ISBN 978-3-03842-039-2.
- Martínez, M. (2016). Automatización del proceso de producción de queso mozzarella de búfala empleando energías alternativas. Trabajo de grado para optar al título de M. Sc en Automatización y Control de Procesos en la Universidad Rafael Bellosó Chacín (URBE).
- Mendoza, C. (2013). Automatización de un Sistema de control de flujo para la transferencia de producto vinícola hacia envasado. Trabajo de grado para optar al título de M. Sc en Automatización y Control de Procesos en la Universidad Rafael Bellosó Chacín (URBE).
- McCabe, W., Smith, J., (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*, 7ma Edición. Editorial McGraw-Hill. ISBN-13: 978-970-10-6174-9.
- Ogata, K., (2010). "Ingeniería de control moderna 5ta edición". Editorial Pearson. ISBN: 978-84-8322-660-5.
- Ordóñez I., Mariño I., (2013). Propuesta de automatización de un proceso de producción de inóculo de levadura a escala industrial para la producción de etanol. *Revista UPTC I²+D de Colombia*. ISN impreso 1900-771x. ISN digital: 2422-4324. Vol. 13 No. 1.
- Hernandez, Fernandez y Batista (2014) "Metodología de la Investigación" Editorial Mw Graw Hill. 2da Edición
- Sánchez A., Gutiérrez A., (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Revista Tumbaga*, Volumen 5, pp 61-91. ISSN 1909-4841.
- Uyasán A., Gil I., (2004). Deshidratación del etanol. *Revista Ingeniería e Investigación*. Vol 4, N°3, pp 49-59. ISSN 0120-5609.
- Viñals M., Bell-García A., (2012). Obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica. *Revista ICIDCA*. Vol 46, N°1, pp 7-16. ISSN 0138-6204.