

DISEÑO DE EQUIPO MECATRÓNICO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A BASE DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

DESIGN OF MECHATRONIC EQUIPMENT FOR OBTAINING BIOPLASTIC BASED ON SUGAR CANE BAGGAGE

JUSTINIANO BECERRA M. H.

RESUMEN

Los ingenios azucareros de Santa Cruz en general por zafra aproximadamente 3 toneladas de bagazo de las cuales se aprovecha el 19 % para la generación de energía eléctrica y como alimento para ganado. Una alternativa la utilización del bagazo es la producción de bioplásticos. Esta producción tiene 3 etapas: La mercerización o modificación de fibra en solución alcalina de hidróxido de sodio. El secado del bagazo tratado químicamente. El laminado o vulcanización. Se diseñó un equipo para demostrar el proceso automático de producción de este compuesto de una manera óptima y eficiente a los ingenios azucareros. Se utilizaron distintas técnicas para la automatización. El equipo mecatrónico debe satisfacer las etapas del proceso químico, en este caso, de igual manera tuvo 3 etapas, dos que son exclusivamente para la modificación del bagazo y la siguiente para la mezcla con los aditivos y la matriz que vendría a ser el caucho, para esto las tres máquinas esenciales son: Reactor con un tanque tipo tolva y un agitador. Secador con ventilador centrífugo y calentador. Laminadora de dos cilindros con velocidad constante. El reactor y el secador usan el mismo tanque de fondo cónico de 150 litros de capacidad con agitador de aspas a 45°. Para el secado: un ventilador centrífugo que soplara aire que pasará por un calentador y el aire entrará al tanque al abrirse una compuerta, mediante el control de la temperatura esta se mantendrá constante en 90 °C. El bagazo escapa por unas tuberías hasta llegar a un separador ciclónico que separe el aire y deposite el bagazo en un depósito. La laminadora de rodillos de 2,5 cm de diámetro, largo entre 50 - 60 cm el espesor que máximo debe ser de 1 cm, allí se integran el bagazo tratado, el caucho y demás aditivos. La automatización y el control se realizó mediante PLC, utilizando software como EcoStruxure Machine Expert Basic, Vijeo Designer y SCADA CITECT. Se realizó un diseño óptimo, reduciendo la mayor cantidad de etapas, utilizando válvulas, motores y posiciones adecuadas para la realización del proceso. Al mismo tiempo se pudo realizar un sistema de control, tomando en cuenta todas las variables posibles como ser cantidad de componentes, temperatura, nivel y tiempo, así demostrando que la máquina cumple con el proceso manual, produciendo el material en mucha mayor cantidad y menos tiempo.

PALABRAS CLAVE

Bagazo de caña de azúcar, Bioplásticos, Equipo mecatrónico. PLC.

ABSTRACT

The sugar factories in Santa Cruz generate approximately 3 tons of bagasse per harvest, from which the 19% is utilized for the generation of electricity and as cattle food. An alternative of usage for sugarcane bagasse is the production of bioplastics, this production has 3 stages. The mercerization or modification of the fiber in an alkaline solution of sodium hydroxide. The drying of the bagasse chemically treated. The lamination or vulcanization. A piece of equipment has been designed to demonstrate the automatic production process of this material, in an optimal and efficient manner in sugar factories. Different methods were used for the automatization. The mechatronic equipment must fulfill the needs of the stages of the chemical process. Of the 3 stages, 2 are exclusive for the modification of the bagasse, and the next for the additives mixing and the matrix that in this case is rubber. In order to achieve this, the essential machines are 3. A reactor with tank type hopper and a stirrer. A dryer with centrifugal fan and heater. Two-cylinder constant speed sheeter. The reactor and dryer use the same 150-liter capacity conical bottom tank with 45° blade stirrer. For drying: a centrifugal fan will blow air that will pass through a heater and the air will enter the tank when a gate is opened, by controlling the temperature that would remain constant at 90 °C. The bagasse escapes through pipes until it reaches a cyclone separator that separates the air and deposits the bagasse in a tank. The roll laminator has a diameter of 2.5 cm, a length of between 50 - 60 cm, the maximum thickness of 1 cm, where the treated bagasse, rubber and other additives are integrated. Automation and control were carried out by PLC, using software such as EcoStruxure Machine Expert Basic, Vijeo Designer and SCADA CITECT. An optimal design was carried out, reducing a big number of stages, using valves, motors and suitable positions to carry out the process. At the same time, a control system could be made, taking into account all possible variables such as number of components, temperature, level and time, thus demonstrating that the machine complies with the manual process, producing the material in much greater quantity and less time.

KEYWORDS

Sugarcane bagasse, Bioplastic, mechatronic equipment, PLC.

INTRODUCCIÓN

Existen cinco ingenios azucareros en Santa Cruz, con una capacidad total de molida por zafra de 7944086 toneladas.

El porcentaje de bagazo, en promedio departamental, es del 40 %, proporcionando 3095263 toneladas disponible.

Dos ingenios aprovechan el bagazo tanto para generar energía eléctrica como para hidrolizarlo y usarlo como alimento para ganado al mezclarse con melaza.

Todos los ingenios azucareros usan parte de su bagazo para generar energía eléctrica para la planta industrial y sólo algunos para conectar al Sistema Interconectado Nacional, SIN. Estos dos ingenios azucareros son: Guabirá y Roberto Barbery Paz, de la corporación UNAGRO. El primero produce 37 MWh, mientras el segundo genera 29 MWh, a partir del poder calorífico del bagazo, que por cada 1 kg de quemado se obtiene 2,2 kg de vapor. Se estima el consumo de bagazo en estos dos ingenios en 218301 y 171115 toneladas por zafra respectivamente. El consumo energético de los demás ingenios azucareros se estimó en 25 MWh con un consumo de 147501 toneladas de bagazo.

El ingenio Guabirá tiene capacidad de producir 24000 toneladas de alimento para ganado, que consta de 2 componentes: Bagazo hidrolizado y melaza con una composición en porcentaje es de 30% bagazo y 70% melaza, que representa sólo 7200 toneladas de bagazo.

Con base en los datos anteriores, en la tabla 1 se muestra los excedentes de bagazo por ingenio azucarero.

Tabla1. Generación, consumo y excedentes de bagazo por zafra en toneladas.

Ingenio azucarero	Bagazo generado	Consumo para la:		
		Generación de energía Eléctrica	Elaboración de alimento para ganado	Bagazo excedente
Guabirá	843725	218301	7200	618224
UNAGRO	7413411	71101	--	570240
Poplar	247024	41300	--	205724
S. Aurelio	483196	53100	--	430096
Aguí	544586	53100	--	491486
Total	2859872	535902	7200	2316770

El porcentaje de contribución de cada ingenio azucarero al exceso de bagazo fue: Guabira 27 %, UNAGRO 25%, Poplar 9 %, San Aurelio 18 % y Aguaf 21%.

DESARROLLO

El tratamiento del bagazo de caña de azúcar se divide en una reacción química, para que la resistencia del bagazo mejore, y el secado del bagazo químicamente tratado.

Para la modificación de fibra se utiliza el proceso de mercerización, que consiste en que el bagazo de caña de azúcar reaccione y modifique su superficie al estar en contacto con una solución alcalina de hidróxido de sodio por un periodo de 2 horas. (García Vargas, 2017).

Para el secado del bagazo tratado químicamente se procede a una temperatura de 90 °C durante 24 horas. Al final se obtiene la misma masa de bagazo que al inicio del tratamiento.

La etapa final es el laminado o vulcanización, que consiste en mezclar los materiales mediante cilindros. En esta etapa no hay límite de tiempo.

El porcentaje requerido de los componentes en esta etapa es de 38,0 % bagazo, 31,7 % caucho, 25,5 % sílice, 2,2 % tiza, 1,1 % óxido de zinc, 1,1 % PEG, y 0,4 % ácido esteárico.

El equipo mecatrónico satisface las etapas del proceso químico, es decir, tiene 3 etapas: Dos que son exclusivamente para la modificación del bagazo y la última para la mezcla con los aditivos y la matriz que vendría a ser el caucho. Las tres máquinas esenciales son:

Reactor con un tanque tipo tolva y un agitador.

Secador con ventilador centrífugo y calentador.

Laminadora de dos cilindros con velocidad constante.

El reactor y el secador según el criterio de diseño usan el mismo tanque. En la primera etapa, la reacción química, empieza con el ingreso de las cantidades de bagazo y solución de hidróxido de sodio requerida. Los componentes entran desde unos depósitos que cuentan con sensores ultrasónico y de nivel respectivamente. Se llena el tanque, empieza el agitado, que dura dos horas, usando un motor trifásico con caja reductora que se encuentra conectada a un eje con una paleta tipo ancla.

Finalizado el tiempo de reacción se procede al drenaje de la solución para pasar a la siguiente etapa, en el mismo tanque.

La etapa del secado consiste en un ventilador centrífugo que sopla aire que pasa por un calentador y entra al tanque al abrirse una compuerta. Mediante el control la temperatura se mantendrá a 90 °C constante, aumentando o la velocidad del ventilador o disminuyendo la temperatura en el calentador.

El aire entra al tanque haciendo que el bagazo químicamente tratado se seque en un periodo de 24 horas. Una vez transcurrido este tiempo, el bagazo escapa por unas tuberías hasta llegar a una bomba que saca el aire por un lado y deposita el bagazo por la parte inferior llevándolo a un depósito, obteniendo el bagazo tratado seco.

Una vez lleno este depósito se pasa la última etapa, que consiste en el ingreso del caucho a la laminadora seguido del añadido del bagazo y aditivos. Este proceso tiene sólo la realimentación del depósito del caucho y de los aditivos, ya que la mezcla es verificada por un operario: Si este ve que es homogénea la mezcla laminada, se saca la lámina y se obtiene el bioplástico laminado.

Una vez explicadas las tres etapas, se determina un bosquejo de la máquina, figura 1.

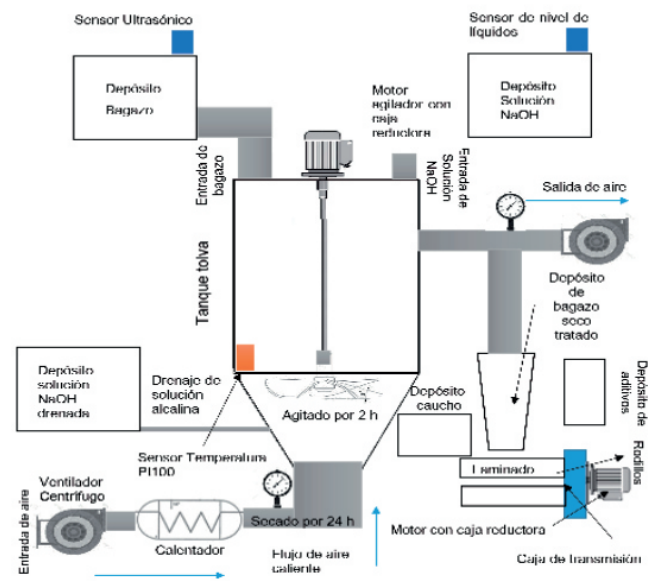


Figura 1. Bosquejo del proceso, maquinaria y controladores para la obtención del bioplástico

En la etapa de la reacción es importante mantener el nivel en el tanque para conservar las proporciones en la mezcla. Para esta etapa se usarán sensores ultrasónicos y de nivel en cada depósito, haciendo una ecuación dependiente de la altura y ancho de los depósitos de almacenamiento, controlando cuánto sólido o líquido sale del tanque.

La carga del tanque se realiza con 4,46 kg de bagazo y 189,9 kg. Los componentes para la primera etapa:

1 motor trifásico entre 0.37 y 15 kw, 1 motorreductor, 1 pala de flujo axial, 1 tanque acero inoxidable AISI 316, 1 sensor ultrasónico, 1 sensor de nivel, válvulas para drenaje.

Los componentes para la segunda etapa:

1 ventilador centrífugo, 1 calentador por serpentines, ductos de ventilación, 2 actuador electroneumático para apertura de compuerta, 1 encendido del calentador T-100, 1 separador ciclónico, 1 tanque depósito de bagazo de acero inoxidable AISI-316.

Los componentes para la tercera etapa:

1 motor trifásico, 1 caja de transmisión a los rodillos, 3 actuadores electroneumáticos para compuerta, 2 rodillos de acero, 3 sensor ultrasónico, 3 pulsadores.

El tanque agitador/secador necesita poder contener 100 litros como agitador, al mismo tiempo tiene que cumplir con los requerimientos para la parte de secado. Cumpliendo como la norma ASME y API, debido a la forma que tiene un secador de lecho fluidizado habitual, se escogió un ángulo de 60°. El tanque consta de dos formas: En la parte superior, tiene forma cilíndrica con medidas de radio 0,225 m y alto 0,8 m, obteniéndose una capacidad de 127,23 litros. Para la parte cónica el radio es de 0,225 m y alto 0,4 m, obteniéndose una capacidad de 21,21 litros. Los dos volúmenes dan una capacidad total de 148.44 litros. Los tanques de agitación tienen un margen de 20% del fluido a agitar, en el sacador el material a secar no debe exceder 30% del tanque, que es la zona cónica del tanque.

La norma API 650 en el apartado ASTM A 240 indica que para tanques de acero inoxidable el espesor no debe ser mayor a 0,125 pulgadas, por lo tanto, se selecciona un espesor de 3 mm de acero inoxidable AISI 316. De acuerdo con la geometría del tanque, los soportes se construyen con Tubo SCH 40 de acero inoxidable de 2 y 1 pulgadas. El tanque se diseña con el software SolidWorks, determinándose que las bridas a utilizar sean del tipo ANSI 150. Se simula que el tanque es llenado con materiales de diferentes densidades. El proceso se realiza con el Flow Simulation, con los siguientes parámetros: Masa del tanque, tipo de fluido y material que ingresa, velocidad de ingreso del flujo. Con los valores de viscosidad dinámica dados y el volumen del tanque, se utiliza un agitador tipo hélice de turbina axial de 3 aspas con diámetro de eje de 0,154 m y 0,8 m de largo, con aspas con 45° de inclinación, activado por un motor WEG 22 de 1,5 HP y un motorreductor, marca MOTOVARIO, con una entrada de 1450 rpm salida de 150 rpm.

Las válvulas que permiten la entrada del bagazo y el hidróxido de sodio son de tipo guillotina, con actuador neumático, de la marca ORBINOX, de 2 pulgadas de diámetro. Estas están situadas en la parte superior del tanque, a los lados de donde se encuentran el motor y el motorreductor.

El drenaje se realiza con un filtro que es una capa que cubra la tubería de filtrado en la parte interna del tanque, perforada con orificios de 1 mm, separados 2 mm, formando un patrón circular. En la base del tanque, para poder que la máquina sea agitador y secador al mismo tiempo, se escoge una válvula de guillotina bidireccional con actuador neumático, de la marca ORBINOX, de 6 pulgadas de diámetro, con presión 10 bares. La placa es de acero inoxidable AISI -316.

El secador tiene una sección transversal 0,023 m², con una capacidad de secado de 10,08 kg/hm² y un caudal de aire de 0,35 m³/s.

Las proporciones geométricas del separador ciclónico con velocidad de entrada igual a 10 m/s son: Diámetro del cilindro de 0,18 m; diámetro salida del gas de 0,09 m; altura del cilindro de 0,36 m; altura del cono de 0,36 m; diámetro salida de polvo de 0,045 m. En la placa distribuidora de aire se usa un sistema similar a usada para el drenaje, es decir, una placa con orificios de 1 mm de diámetro con separación de 5 mm, formando un patrón circular. La placa tiene la particularidad de no ser fija. Es una válvula de guillotina modificada para que la placa sea móvil para que al finalizar el proceso de fluidización o de secado, se abra la compuerta y pase el material a la siguiente etapa. La válvula es del mismo diámetro que la de la base del tanque.

El intercambiador de calor se coloca en contra corriente con las tuberías principales que hacen que pase el flujo de aire, tiene un diámetro de 6 pulgadas, con un flujo de 757 kg/h. La temperatura de entrada caliente es de 150 °C, la temperatura de salida caliente es de 100 °C, la temperatura de entrada fría es de 90 °C, la temperatura de entrada fría es de 30 °C y la temperatura media logarítmica (DTML) es de 64,9.

Se utiliza un ventilador centrífugo de 3 kW marca SODECA, con apertura de entrada y salida de los ventiladores de 6 pulgadas. La laminadora es accionada por un motor de 2 kW. Los rodillos de 2.5 cm de diámetro, largo entre 50 a 60 cm, el espesor de 1 cm.

Para el diseño del sistema de control, se necesitan saber las variables y cómo funciona cada una en el sistema. En la figura 2, se muestra un diagrama de flujo correspondiente.

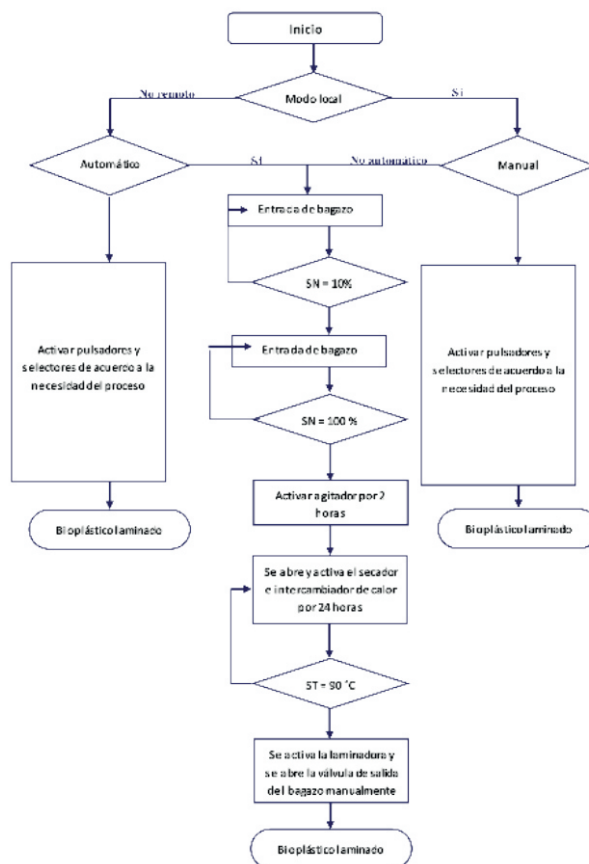


Figura 2. Diagrama de flujo para el diseño del sistema de control del proceso de obtención de bioplásticos a partir del bagazo de la caña de azúcar

Se requiere un PLC con capacidad para controlar variables digitales.

De entrada: 13 pulsadores de marcha, 13 pulsadores de paro, 19 contactos para motor y uno para válvula.

De salida: 3 motores, 2 bombas, 10 válvulas. El PLC debe controlar variables analógicas.

De entrada: 13 pulsadores de marcha, 13 pulsadores de paro, 19 Contactos para motor y uno para válvula.

De salida: 3 motores, 2 bombas, 10 válvulas.

Variables digitales: Entrada 4-20 mA para temperatura, 4-20 mA para nivel. Salida: 4-20 mA para válvula de control de vapor.

Para el control de la máquina se utiliza el dispositivo marca Schneider Electric, Modicon M221CE24R, que tiene 14 entradas y 10 salidas a relé, tensión de salida entre los 5-125 VCC y los 5-250 VCA. Como las entradas y salidas no son suficientes se requieren los módulos:

TM3DI6, módulo de expansión de entradas 16 digitales; TM3DM24R, módulo de expansión de entradas y salidas analógicas con 16 entradas y 8 salidas a relé; TM3TI4, módulo de entradas analógicas; TM3AQ4, módulo de salidas analógicas.

El HMI seleccionado tiene una pantalla de 800 x 480 pixeles de resolución y 7 pulgadas, es capaz de conectarse con el PLC mediante el protocolo TCP/IP, colocando la dirección IP del HMI.

De la marca Schneider Electric se escogió el HMI HMIGTO 3510. Para la programación del PLC se utiliza el Software EcoStruxure Machine Expert Basic, para la línea de controladores M221, que es bastante intuitivo, donde la conexión, simulación y puesta en funcionamiento es sencilla. Para el HMI se utiliza el software Vijeo Designer, compatible con la línea MODICON M221 y a su vez proporciona un simulador para poder detectar cualquier tipo de errores en la programación, sin necesidad de instalar físicamente un dispositivo. Ambos softwares son utilizados de manera local. Para la función de tarea remota se utiliza SCADA CITECT, el cual permite crear un sistema de supervisión, control y adquisición de datos del proceso de la máquina.

Se asignan las entradas, salidas y otras variables de memoria en un total de 287, tomando en cuenta los diferentes tipos que hay. La programación realiza por Bloques definidos por el usuario, luego se procede al Ladder. Se procede a la asignación de entradas y salidas por motor, 17 en total. 5 son para movimiento rotatorio y los demás son para válvulas de compuerta que tienen el accionamiento motorizado, excepto 2 que tienen accionamiento neumático debido a que no están sometidos a un peso considerable, simplemente abren y cierran para evitar el paso del aire en un sector y al paso del bagazo seco en el otro. Para el control de nivel se establece el cierre de las válvulas y bombas, dependiendo del nivel en el que se encuentre el tanque central, el 3, cuyo valor es TK003. Cuando el tanque 1 hace que el tanque 3 llegue a un 10% (porcentaje de lo que se llena de bagazo) se cierran las válvulas del TK001. Lo mismo para el TK002 cuando el tanque complete sus 100% se cierran las válvulas y bombas del tanque 2.

Se asignan las entradas, salidas y otras variables de memoria en un total de 287, tomando en cuenta los diferentes tipos que hay. La programación realiza por Bloques definidos por el usuario, luego se procede al Ladder. Se procede a la asignación de entradas y salidas por motor, 17 en total. 5 son para movimiento rotatorio y los demás son para válvulas de compuerta que tienen el accionamiento motorizado, excepto 2 que tienen accionamiento neumático debido a que no están sometidos a un peso considerable, simplemente abren y cierran para evitar el paso del aire en un sector y al paso del bagazo seco en el otro. Para el control de nivel se establece el cierre de las válvulas y bombas, dependiendo del nivel en el que se encuentre el tanque central, el 3, cuyo valor es TK003. Cuando el tanque 1 hace que el tanque 3 llegue a un 10% (porcentaje de lo que se llena de bagazo) se cierran las válvulas del TK001. Lo mismo para el TK002 cuando el tanque complete sus 100% se cierran las válvulas y bombas del tanque 2.

Se asignan las entradas, salidas y otras variables de memoria en un total de 287, tomando en cuenta los diferentes tipos que hay. La programación realiza por Bloques definidos por el usuario, luego se procede al Ladder. Se procede a la asignación de entradas y salidas por motor, 17 en total. 5 son para movimiento rotatorio y los demás son para válvulas de compuerta que tienen el accionamiento motorizado, excepto 2 que tienen accionamiento neumático debido a que no están sometidos a un peso considerable, simplemente abren y cierran para evitar el paso del aire en un sector y al paso del bagazo seco en el otro. Para el control de nivel se establece el cierre de las válvulas y bombas, dependiendo del nivel en el que se encuentre el tanque central, el 3, cuyo valor es TK003. Cuando el tanque 1 hace que el tanque 3 llegue a un 10% (porcentaje de lo que se llena de bagazo) se cierran las válvulas del TK001. Lo mismo para el TK002 cuando el tanque complete sus 100% se cierran las válvulas y bombas del tanque 2.

En el sistema SCADA se hace una interconexión del código con la animación gráfica, siendo el punto más importante el control remoto del proceso. En la figura 3 se pueden apreciar las distintas etapas de la máquina.

Para interconectar las variables se debe conectar a través de la IP, el localhost de todos los dispositivos, que va a ser 127.0.0.1.

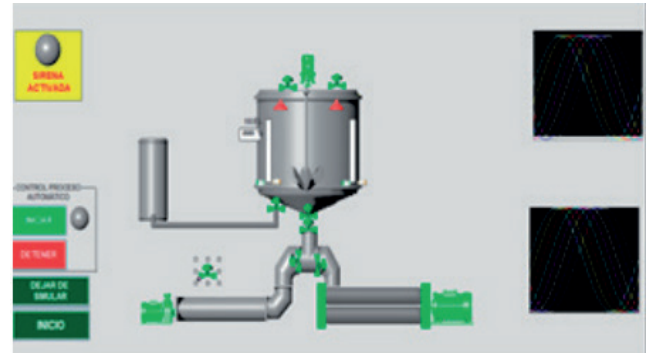


Figura 3 Pantalla del sistema SCADA para el proceso de obtención de bioplásticos a partir del bagazo de la caña de azúcar.

Se combinan los datos añadiendo las variables al programa del SCADA. Se realiza una configuración de las variables dentro del PLC.

Una vez lista la ventana de proceso se pasa a la ventana del analista del proceso.

DISCUSIÓN

Durante el diseño del sistema de control y de la interfaz gráfica se utilizó un PLC Modular, que permita la ampliación del sistema si se requiere alguna variable extra. En la parte del HMI, se escogió uno de alta calidad y de alta resolución para visualizar de una manera amplia la interfaz y tener la opción de añadir más gráficas.

Evidenciar la funcionalidad significa asegurar que el resultado sea práctico, tal como estaba especificado en el nivel de automatización que se pretendía. El Sistema de Control realiza configuraciones PID, de acuerdo con las especificaciones de nivel y temperatura que el sistema debe tener. Al mismo tiempo, el sistema se rige en base a tiempos determinados como ser 2 horas en la parte de mezclado y 24 horas en la parte del secado. Se optimizó espacio, material y tiempo, analizando los distintos factores y variables requeridos para que el proceso de elaboración de bioplástico sea estable.

Al considerar las posibles fallas que pudiera tener el sistema, éste puede trabajar de una manera segura, teniendo en cuenta que se deben accionar algunos dispositivos de protección, o si en caso estar usando el modo manual, no preocuparse por las cantidades que entran a las distintas etapas de la máquina.

REFERENCIAS

- AIMPLAS, Instituto Tecnológico Del Plástico. (2009). Año internacional de las fibras naturales. Valencia.
- BIRD, R. (2006). Fenómenos de transporte. Limusa Wiley.
- BIRD, R. (2006). Fenómenos de transporte. Limusa Wiley.
- BIRD, R. (2006). Fenómenos de transporte. Limusa Wiley.
- BLANCO ORTEGA, A., Madagán Salazar, A., & Gómez Becerra, F. (s.f.). DISEÑO DE SISTEMAS MECATRÓNICOS: PROTOTIPOS VIRTUALES.
- CREUS SOLÉ, A. (2010). Instrumentación Industrial. Marcombo S.A.
- GARCÍA ENRÍQUEZ, F. A. (2014). Historia de la Industria Azucarera Cruceña. Santa Cruz de la Sierra: El País.
- GARCÍA VARGAS, C. C. (2017). Obtención de un material biocompuesto a partir de bagazo de caña de azúcar y caucho natural como sustituto del plástico.
- GODA, K., Sreekala, M., & Gomes, A. (2006). Improvement of plant based natural fibers for tougheningImprovement of plant based natural fibers for toughening.
- MONTSERRAT IBORRA, F. C. (2010). Apuntes de reactores Químicos. Universitat de Barcelona

CITA

