

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas
Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Automática y Sistemas Computacionales



Trabajo de Diploma

**Diseño de la automatización basada en autómatas programables
del proceso de cristalización en el Central Azucarero “Carlos
Baliño”**

Autor: Sandy Morales Galvez

Tutores: Dr. Roberto Luis Ballesteros Horta

Ing. Claudio González Márquez

Ing. Yunior Hernández León

Santa Clara

2014

“Año 56 de la Revolución”

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas
Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Automática y Sistemas Computacionales



Trabajo de Diploma

**Diseño de la automatización basada en autómatas programables
del proceso de cristalización en el Central Azucarero “Carlos
Baliño”**

Trabajo de Diploma presentado en opción al Título Académico de
Ingeniero en Automática

Autor: Sandy Morales Galvez email: smgalvez@uclv.edu.cu

Tutores: Dr. Roberto Luis Ballesteros Horta email: rball@uclv.edu.cu

Ing. Claudio González Márquez email: claudio.gonzalez@zetivc.azcuba.cu

Ing. Yunior Hernández León email: yunior.hernandez@zetivc.azcuba.cu

Santa Clara

2014

“Año 56 de la Revolución”



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Automática, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Autor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

“El futuro tiene muchos nombres. Para los débiles es lo inalcanzable. Para los temerosos, lo desconocido. Para los valientes es la oportunidad.”

Víctor Hugo.

DEDICATORIA

A mi abuela Zoila, por ser esa persona que siempre se ha mantenido a mi lado.

A mis padres, por representar tanto para mí.

A mis hermanos, por apoyarme en todo momento de mi vida.

A mis demás familiares y amigos.

AGRADECIMIENTOS

A mi abuela, porque desde mi infancia me engendró los principios para lograr esta meta.

A mis padres, Diosdada y Horacio, por estar siempre a mi lado y porque sin su apoyo y cariño no hubiese podido lograr tantas cosas.

A mis hermanos Cristóbal y Víctor Manuel, porque incondicionalmente se han mantenido a mi lado y me han inspirado a seguir superándome.

A mi prima Yamila, mi tío Omar, su esposa y sus hijos que han representado mucho para mí en toda mi vida.

A mis amigos del cuarto y de la vida: Carlos Manuel, Emilio, Oriel, Alejandro, Danny, Yadier, Humberto, Dennis y a todos los que la vida no me dejó terminar este triunfo con ellos, por todos los momentos felices que compartimos.

A mis amigos del aula con los que culminaré este largo camino: Eliseo, Yissel, Eduardo, Elizabeth y Alejandro por apoyarme siempre en uno de los momentos más difíciles de mi vida.

A los amigos de enseñanzas anteriores, en especial a Adrian, Yuliet, Adriana y Lisbetys.

A mis tutores: Ballester, Claudio y Yunion por ser eslabones importantes en la culminación de este proyecto.

A todos los trabajadores del ZETI porque sin su oportunidad este proyecto no hubiese sido el fin de mi carrera profesional.

A mis profesores y compañeros de aula.

A mis demás familiares y amigos.

RESUMEN

El sector azucarero ha sido, sin lugar a dudas, el más importante en la producción agroindustrial cubana en las últimas décadas. Su principal propósito se ha mostrado principalmente en la obtención de cristales de alta calidad logrando destreza y eficiencia en el proceso de cristalización. En la realización de este trabajo, se expone un esquema de control que cumple con las condiciones de operación del proceso y apoyado en la fiable medición de las variables de entrada/salida más compleja en la operación del tacho cristizador. Se realizó el diseño de un software sobre aplicaciones de autómatas programables que permite el funcionamiento de forma automática de dicho proceso así como garantizar la eficiencia del mismo. Se realiza las pruebas pertinentes a las secuencias utilizadas para la operación del diseño realizado, el cual arrojó resultados satisfactorios y la conformidad del cliente.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 CRISTALIZACIÓN DE LA SACAROSA EN TACHOS AL VACÍO Y SU AUTOMATIZACIÓN.....	6
1.1 Proceso de fabricación de azúcar	6
1.1.1 Extracción del jugo	6
1.1.2 Purificación del guarapo	7
1.1.3 Evaporación.....	8
1.1.4 Cristalización	8
1.1.5 Centrifugación o purga	9
1.1.6 Secado y Almacenamiento	9
Separación de partículas ferrosas	10
Tamizado y Envasado	10
1.2 Cristalizadores en la industria azucarera	10
1.2.1 Principio de funcionamiento de los cristalizadores al vacío	11

1.3	Papel de la automática en los cristalizadores de sacarosa	12
1.3.1	Automatización de cristalizadores en industrias extranjeras	13
1.3.2	Automatización de cristalizadores de azúcar en industria nacionales ...	14
1.4	Principales técnicas en la automatización	16
1.4.1	Técnicas de control supervisorio	16
	Principales funciones de un sistema SCADA	17
	Elementos que conforman un SCADA	18
1.4.2	Técnicas de lazo abierto	18
1.4.3	Técnicas de lazo cerrado.....	18
1.5	Principales esquemas de control utilizados en la automatización de tachos cristalizadores	19
1.6	Papel de los autómatas programables en el empleo de la cristalización de azúcar	22
1.6.1	Implementación de los autómatas programables en la industria azucarera cubana	23
1.6.2	Principales medios técnicos de automatización	24
1.7	Programación del autómatas	26
1.7.1	La familia FX de Mitsubishi	27
1.8	Consideraciones Parciales.....	28
CAPÍTULO 2 CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL PLC PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL TACHO DE CRISTALIZAR DE LA UEB “CARLOS BALIÑO”		29
2.1	Caracterización general de la industria azucarera “Carlos Baliño”	29
2.2	Caracterización de la estación de tachos de la UEB “Carlos Baliño”	31

2.2.1	Estructura del área de tachos	32
2.2.2	Esquema de operación general de los tachos	32
2.3	Definición de las variables de entrada/salida	35
2.4	Elección de la familia de autómatas FX-3U.....	37
2.4.1	La familia de autómatas de Mitsubishi. FX	38
2.5	Configuración del autómata FX-3U	39
2.6	Algunas herramientas utilizadas en el trabajo	43
2.6.1	El GX Works	43
2.7	Concepción de la programación del autómata FX-3U.....	44
2.7.1	Transferencia de las variables de entada/salida a variables internas....	44
CAPÍTULO 3 PRUEBAS Y VALORACIÓN ECONÓMICA-AMBIENTAL		48
3.1	Configuración del FX-3U para la realización de las pruebas.....	48
3.2	Pruebas funcionales.....	49
3.3	Valoración económica y ambiental.....	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		57
Conclusiones		57
Recomendaciones		58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		59
ANEXOS.....		61

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la agroindustria azucarera cubana es representativa en el desarrollo de la economía del país, la misma, está basada en la producción por medio del aprovechamiento de recursos naturales en zonas productoras de cañas de azúcar. Los centrales azucareros han logrado complementar un programa de trabajo que beneficia, no sólo al país, sino a la comunidad latinoamericana, enfocando sus esfuerzos a programas educativos y del medio ambiente, lo que ofrece estabilidad en todos sus niveles, además, muestra la capacidad de competencia en los mercados internacionales.

El desarrollo y empleo de nuevas tecnologías en la industria azucarera, ha tenido marcada influencia en la mayoría de los países desarrollados que se dedican a la producción de azúcar, determinando, en muchos casos, la posición en el mercado de sus economías. En las condiciones competitivas de la agroindustria azucarera a escala mundial, se destaca un imperativo: una de las estrategia efectiva posible, para aquellos que pretenden sacar ventajas de las favorables condiciones previsibles del mercado de los productos de la agroindustria azucarera, es la aplicación consecuente de una política de desarrollo y modernización, tendiente a la conservación del sector en un complejo productivo, eficiente, flexible y diversificado (Castellanos 2006).

Esta industria posee características particulares: consume una significativa cantidad de recursos energéticos en estrecha relación con el desarrollo del proceso productivo en general y proporciona una mayor fuente de empleo, si la misma no contase con un alto nivel de automatización. Es importante contar con una industria eficiente, que fortalezca la actividad productiva del ser humano para alcanzar elevados niveles de producción, además, que

contribuya al ahorro de combustibles, con el fin de evadir altos precios y evitar la contaminación ambiental (Fernández 2000).

Los sistemas digitales con fines industriales han evolucionado en las últimas décadas debido a los avances alcanzados en las tecnologías de integración de los circuitos, la aparición de nuevas arquitecturas de computadoras e interconexión entre ellas y al desarrollo de nuevos lenguajes y sistemas de comunicación.

La industria azucarera a nivel mundial ha estado intensamente involucrada en técnicas novedosas que hacen referencias a la automatización del proceso productivo, exceptuando otras etapas donde el seguimiento se sigue realizando de forma manual. Lograr un buen funcionamiento en la etapa de cristalización de azúcar ha sido objeto de innumerables estudios y proyecciones, pero aun en muchos lugares es un problema no resuelto y el hombre mediante su destreza, es quien define su resultado (Tadeo, Álvarez et al. 2000).

La operación conocida en la industria azucarera como cocción del azúcar, es esencialmente el proceso de cristalización que tiene lugar en los tachos al vacío, sean estos continuos o discontinuos; este proceso es la clave del éxito en la fabricación de azúcar (Langhans 2004). La automatización de este proceso requiere de dispositivos adecuados y calibrados correctamente ya que a lo largo del mismo se miden parámetros físicos involucrados en la calidad del producto final.

En las industrias azucareras se han utilizados diferentes elementos de medición y control de la concentración ($^{\circ}$ Brix) en masas cocidas sometidas a la cristalización, tales como: el basado en el principio de la elevación del punto de ebullición (E.P.E), el refractómetro de tacho, el conductímetro (conductividad de la masa) y el cuitómetro han provocado que se busquen otras alternativas para lograr mayor exactitud en la medición de una de las variables más importante de este proceso. Numerosos estudios han arrojado que grandes productores como Estados Unidos, Australia y Brasil utilizan otras técnicas de medición de concentración tales como: método de radiofrecuencia y el de microondas (Johnson and F 2004), (Langhans 2004) .

Los sistemas de regulación para el control de la cristalización, transitaron desde los reguladores autónomos para el control de cada variable con instrumentación neumática, hasta el desarrollo alcanzado en la actualidad donde se introducen nuevas tecnologías mediante las

cuales un grupo de tareas esenciales para el proceso quedan, ahora, coordinadas y registradas (Zayas 2008).

En Cuba, se implementaron variantes con algunos de los métodos de medición de la concentración mencionados anteriormente, que proporcionaron discretos y aislados resultados (López and García 1970). Actualmente se está incursionando en la incorporación de tecnologías novedosas que aporten fiabilidad y exactitud en las mediciones realizadas en el proceso, teniendo en cuenta que las mismas deben contar con un análisis previo en cuanto al índice económico.

La investigación está referida a la transformación del proceso productivo, desde la vía manual a la automática, apoyándose en la incorporación de las nuevas tecnologías. En el año 2013, AZCUBA decidió, por el impacto económico que presenta el costo del azúcar a nivel internacional, y que la industria en cuestión es la única productora de azúcar ecológica en el país, financiar un proyecto de automatización total del proceso de cristalización. De esta forma se identificaron con claridad las deficiencias fundamentales presentadas en el proceso de cristalización:

1. A pesar de existir la instrumentación adecuada, instalada en el proceso, no se logra mantener un estable tamaño del grano formado en el tacho cristizador.
2. El proceso no cuenta con un sistema de almacenamiento y registro de las variables de entrada/salida.
3. No se cuenta con un sistema automatizado a base de autómatas que responda cíclicamente y en tiempo real con las características eficientes con las que debe funcionar el proceso más importante dentro de la industria azucarera.

A partir de lo tratado anteriormente, se define como problema de **investigación**: que no se dispone de un sistema automatizado que permita mejorar la eficiencia en el proceso de cristalización de la sacarosa que tiene lugar en el área de tachos de la UEB: Central Azucarero “Carlos Baliño.”

De esta manera, se formula la siguiente hipótesis:

El diseño de la automatización sobre la base de autómatas programables y con la correcta instrumentación capaz de ofrecer información constante del proceso, será posible desarrollar,

de forma más eficiente el proceso de cristalización en la UEB: Central azucarero “Carlos Baliño”

Motivados por lo anteriormente expuesto, se formuló las siguientes **interrogantes científicas**:

- ¿Qué requisitos desea el cliente para la correcta automatización de la etapa de cocción de masas cocidas de primera?
- ¿Qué componentes tiene el sistema de automatización basado en autómatas programables de la etapa de cocción de masas cocidas de primera?
- ¿Qué requisitos existen para la utilización del esquema de control a utilizar en el diseño?
- ¿Qué requisitos de diseño se deben tener en cuenta para el desarrollo del software para el autómata de la etapa de cocción de masas cocidas de primera?
- ¿Cómo valorar la programación de los PLC?

Para dar solución al problema científico planteado, se formuló como objetivo general de este trabajo: diseñar la automatización basada en autómatas programables de la cristalización en la UEB: Central Azucarero “Carlos Baliño que permita mejorar la eficiencia del proceso.”

A continuación se presentan como objetivos específicos, que permiten perfilar en mayor medida los resultados esperados, los siguientes:

- Analizar la bibliografía existente referente a la automatización de cristalizadores de azúcar.
- Caracterizar el funcionamiento del proceso de cristalización de la azúcar en Central Azucarero “Carlos Baliño.”
- Definir las variables de entrada/salida del proceso según la tarea técnica del cliente.
- Diseñar en el Software del autómata, la aplicación que permita que el proceso opere eficientemente.
- Valorar los resultados en base a las pruebas realizadas.

Como posibles impactos al implementar una correcta automatización basada en autómatas programables se pretende lograr: que la investigación contribuya a que la producción de esta industria presente un carácter relevante para la economía del país; en el proceso de cristalización mejore la eficiencia directa en el ahorro de vapor; estabilidad en el trabajo de la fábrica y mejora en el tiempo de obtención del producto final, lo cual favorece las condiciones medioambientales. El estudio realizado permitirá que los especialistas e investigadores realicen análisis comparativos de las variables a medir en el proceso y así se continúen desarrollando nuevas investigaciones.

Este trabajo resulta novedoso para el control automático de la cristalización de tachos al vacío en la industria azucarera cubana, debido al empleo de modernas tecnologías en la automatización de procesos como es el caso de: medidores de concentración por microondas, PLC Mitsubishi y PC, a lo que se añade que es posible su inclusión con facilidad a infraestructuras informáticas, lo que proporciona una gran ventaja para el control productivo y la toma de decisiones.

El informe final está estructurado de la manera siguiente: la presente introducción, capitulario, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

Los temas abordados en cada uno de nuestros capítulos son:

Capítulo 1: Se muestra un estudio sobre el estado del arte del proceso de obtención de azúcar desde su surgimiento hasta la actualidad y se expondrán los esquemas de control propuestos en la literatura nacional o extranjera para determinar con cual se pudiera diseñar un programa que logre un funcionamiento que no afecta la obtención del producto final.

Capítulo 2: Se caracteriza la etapa de cristalización de azúcar de caña, en específico el de la industria Carlos Baliño se muestra la selección de los medios técnicos de automatización y se expondrán comentarios sobre la implementación del programa en el autómata.

Capítulo 3: Se expone las pruebas realizadas al programa donde se valora los resultados obtenidos así como valoraciones económicas y medioambientales.

CAPÍTULO 1 CRISTALIZACIÓN DE LA SACAROSA EN TACHOS AL VACÍO Y SU AUTOMATIZACIÓN

Las modernas tecnologías, capaces de hacer frente a las tareas de automatización en la industria azucarera, resultan aplicables a escala global, las mismas aportan excelentes alternativas para incrementar los niveles de eficiencia en procesos tan importantes para esta industria, como la cristalización, que tiene lugar en los tachos al vacío. Se aborda de forma general el proceso de obtención de azúcar de caña. Se exponen aspectos teóricos relacionados con el proceso de cristalización y los esquemas de control aplicables a los mismos según sus condiciones de operación. Se establece un estado del arte de la aplicación de las técnicas de automatización en este tipo de proceso empleando los autómatas programables.

1.1 Proceso de fabricación de azúcar

Desde sus inicios, el objetivo principal de la Industria Azucarera, fue la fabricación y obtención de azúcar con alta calidad. En la actualidad, para la eficiente obtención de este preciado producto, se necesitan seguir una serie de procesos que serán descritos con más detenimiento en los acápites posteriores.

1.1.1 Extracción del jugo

El primero de los pasos a seguir en la fabricación del azúcar es la extracción del jugo a partir de la molienda de la caña por medio de pesados rodillos o mazas. La caña procedente del campo es pesada en los vagones del ferrocarril, desde donde se traslada al basculador de la industria azucarera. Ya en el central, la carga cae sobre la superficie de una estera alimentadora en movimiento que provoca que la misma entre en contacto con el gallego o

nivelador; encargado de moldear el colchón de caña antes de que entre en contacto con las cuchillas giratorias (Spencer and Meade 1967). Dichas cuchillas fraccionan la caña en porciones pequeñas pero no extraen el jugo.

Luego de desmenuzada la caña, es vertida al área de molinos. Para ayudar a la extracción del jugo (guarapo), a la entrada en el último molino se alimenta agua o guarapo a 70 °C aproximadamente en una proporción del doble de la fibra, lo anterior contribuye a extraer por lixiviación el azúcar. El proceso, conocido como imbibición (o con menor frecuencia, saturación o maceración), puede presentar muchas modificaciones. El guarapo que se extrae en este molino es recirculado en el anterior y así sucesivamente hasta llegar al primer molino. El guarapo que se extrae en el molino desmenuzador y el primer molino es enviado al proceso de purificación (jugo mezclado).

En las prácticas de molienda más eficientes, más del 95% del azúcar contenido en la caña pasa al guarapo; este porcentaje se conoce como la extracción de sacarosa (Pol de la extracción), o, más sencillamente, la extracción.

En esta etapa del proceso de extracción, además de guarapo, se obtiene bagazo proveniente del último molino, que contiene la azúcar no extraída, fibra leñosa y de un 45 a un 55% de agua. Una parte del bagazo se envía a las calderas mediante conductores para generar energía (GUARDADO 2012). El resultado de este proceso permite la generación de vapor para la obtención de energía eléctrica como fuerza motriz de las turbinas del tándem y cuchillas de picar caña.

1.1.2 Purificación del guarapo

El guarapo procedente de los molinos es ácido y turbio, este es sometido a un proceso de purificación con el objetivo de eliminar inicialmente los sólidos en suspensión mediante el colado en un colador rotatorio; el resto de las impurezas se separa en la clarificación, para lo cual el guarapo es calentado hasta el punto de ebullición o ligeramente arriba (102 – 105 °C) y neutralizado con la adición de hidróxido de calcio (Ca OH) para facilitar la reacción de éste con el fosfórico presente en el jugo y lograr la formación de flóculos que logran arrastrar en sus cuerpos las impurezas presentes (albúmina coagulada, algunas grasas, ceras y gomas), lográndose obtener de esta etapa jugo clarificado (Mauricio 2012) .

Los lodos se separan del jugo clarificado por sedimentación y se filtran en tambores rotativos de filtración. El jugo filtrado regresa al proceso o pasa directamente al jugo clarificado y la tora de la prensa (cachaza) se desecha o se regresa a los campos como fertilizante. El jugo clarificado transparente y de un color parduzco pasa a los evaporadores sin tratamiento adicional. Asimismo, se ha desarrollado una amplia variedad de modificaciones del tratamiento con calor y cal (Hugot and Ruiz 1967) .

1.1.3 Evaporación

El jugo clarificado, que tiene más o menos la misma composición que el jugo crudo extraído, excepto las impurezas precipitadas por el tratamiento con cal, contiene aproximadamente 70% de agua. Dos terceras partes de esta agua se evaporan en evaporadores al vacío de múltiple efecto, de manera que cada cuerpo subsiguiente tiene un grado más alto de vacío y, por consiguiente, hierve a una temperatura más baja. Esta serie de múltiple efecto evita la formación del color y garantiza una diferencia de temperatura entre el vapor calefactor y el guarapo a concentrar. A la salida del último evaporador se obtiene la meladura, donde la misma constituye la materia prima para la obtención de los cristales de azúcar (Jenskins 1971).

1.1.4 Cristalización

La cristalización tiene lugar en tachos al vacío de simple efecto, donde la meladura se evapora hasta quedar saturado de azúcar (HONING 1978), (Hugot and Ruiz 1967). En este momento se añaden semillas a fin de que sirvan de núcleos para los cristales de azúcar, y se proporciona más meladura según se evapora el agua. El crecimiento de los cristales continúa hasta que se llena el tacho. Bajo la vigilancia del operador y la instalación de los instrumentos adecuados los cristales originales crecen sin que se formen cristales adicionales, de manera, que cuando el tacho está totalmente lleno, todos los cristales tienen el tamaño deseado, los cuales conjuntamente con la meladura forman una masa densa conocida como masa cocida (Jenskins 1971).

La templa (el contenido del tacho) se descarga luego por medio de una válvula de pie a un mezclador o cristalizador. La ebullición de las masas cocidas y la reebullición de las mieles se llevan a cabo utilizando sistemas escogidos para ajustarse a muchas condiciones.

1.1.5 Centrifugación o purga

Las masas elaboradas en los tachos son una mezcla de cristales de azúcar y miel, siendo necesario su separación para la continuidad del proceso.

La masa proveniente del mezclador o del cristizador se lleva a máquinas giratorias llamadas centrífugas donde deben ser purgadas con un Brix aproximado de 92° a la máxima carga posible y los tiempos de operación serán de acuerdo a las características de la masa cocida que se purga en ese momento. El tambor cilíndrico suspendido de un eje tiene paredes laterales perforadas forradas en el interior con tela metálica; entre esta y las paredes hay láminas metálicas que contienen de 400 a 600 perforaciones por pulgada cuadrada. El tambor gira a velocidades que oscilan entre 1000 y 1800 rpm. El revestimiento perforado retiene los cristales de azúcar que pueden lavarse con agua si se desea (Lezana 2006).

La miel A producida, vuelve al departamento de cristalización para extraerle el contenido de sacarosa restante, esta miel debe incrementar su pureza al paso por las centrifugas en hasta 3 puntos por encima de la pureza de su miel madre por la aplicación del agua de lavado.

Las masas cocidas de segunda, fabricadas en los tachos, deben ser purgadas con un Brix de 94°, a la máxima carga posible de acuerdo a la característica de la masa cocida. El azúcar producido aquí se le llama semilla B y debe tener una pureza de 90 a 92%. La miel B se almacenará en el tanque de miel final, incrementándose la pureza hasta 2 puntos sobre la miel madre originaria al paso por las centrífugas y debe producirse entre 52 y 56 % de pureza (Jenskins 1971).

1.1.6 Secado y Almacenamiento

El azúcar de primera, lavada convenientemente con agua a presión y a 80°C se descarga en los sinfines que la transportan hasta el secador, ya que es conveniente reducirle el contenido de humedad para impedir el desarrollo de microorganismos y endurecimiento que pudieran ocasionar afectaciones en el producto almacenado y mejorar su manipulación.

El procedimiento para secar el azúcar con aire caliente consiste en calentar el aire, y ponerlo en contacto con el azúcar, de la cual se evaporará el agua, el azúcar que entra al secador, por medio de unas aletas situadas en el interior del tambor se mantiene en suspensión para favorecer el contacto con el aire. A cada revolución del secador el azúcar

avanza una distancia que depende del diámetro y de la inclinación del tambor, hacia la salida donde se encuentra la compuerta de regulación que mantiene el nivel de operación deseado. El aire caliente es el primero que se pone en contacto con el azúcar en la primera mitad del tambor, en la segunda mitad el azúcar entra en contacto con el aire frío que hará disminuir la temperatura del azúcar a valores inferiores a 42⁰C, el aire caliente y el frío son extraídos hacia el exterior y separadas las partículas más pequeñas de azúcar que van con él.

Separación de partículas ferrosas

La separación de partículas ferrosas se realiza mediante separadores magnéticos fijos y autolimpiables ubicados a la salida del secador (Hugot and Ruiz 1967).

Tamizado y Envasado

El azúcar que sale de las trampas magnéticas es tamizado para eliminarle los conglomerados portadores de color y garantizar así una mayor uniformidad de los cristales de azúcar. El azúcar tamizado es enviado a la tolva que alimenta la romana la cual contabiliza el peso de cada saco. El producto es envasado en sacos o a granel según el destino predeterminado del mismo.

1.2 Cristalizadores en la industria azucarera

En general, en la industria azucarera existen dos tipos de tachos al vacío: los de cristalización continua y los de cristalización discontinua o *batch*. La discontinuidad se caracteriza por que la sacarosa se cristaliza de la meladura en etapas o templas. Esta tecnología es bien conocida por los técnicos del área y no genera problemas de manera especial, pero la falta de información científica disponible para el control de parámetros del proceso si es aún causa de dificultades en la calidad del producto final (Rivera and Gamboa 2007).

En la Industria Azucarera cubana actualmente se utilizan los tachos *batch*, los cuales se pueden clasificar en dos modos diferentes de operación según el área donde se realiza la cocción de la meladura: los de serpentín que trabajan satisfactoriamente con vapor directo y los de calandria que trabajan con vapor de escape a baja presión o con vapores extraídos del primer cuerpo de un múltiple efecto, o de un pre-evaporador.

1.2.1 Principio de funcionamiento de los cristalizadores al vacío

Tacho Continuo

El tacho continuo de vacío es una unidad de tipo horizontal o vertical, con una calandria tubular, montada verticalmente a lo largo del eje de la carcasa. La calandria puede tener una cámara sencilla o doble, y está diseñada para operar a diferentes presiones de vapor. El vapor es alimentado a la calandria, y el condensado es drenado a través de una serie de tubos existentes en el fondo de la placa inferior de las tuberías. El Tacho está dividido en 10 o 12 celdas separadas, estas permiten diferentes configuraciones de flujo de masas cocidas. El vapor que se desprende de las masas cocidas es recolectado desde la parte alta del cuerpo y enviado al condensador. Las masas cocidas en ebullición fluyen por gravedad a través de cada celda y pasan de una celda a otra por medio de una serie de pórticos u orificios de transferencia. Estos están diseñados de tal forma que evitan atascamientos y garantizan un buen flujo. Cada celda tiene su múltiple de admisión, sistema de agitación y sistema de control. Gracias a un diseño meticuloso, la configuración del tacho permite un flujo uniforme de masas cocidas que evitan áreas de estancamiento y de conflicto en el flujo. Se pueden instalar múltiples unidades que operen en serie o en paralelo. También pueden instalarse uno encima de otro, en forma de torre (López and García 1970).

Tacho Discontinuo o Batch

Un tacho discontinuo es un equipo que consta de dos recintos cerrados que están separados entre sí por paredes metálicas delgadas en forma de tubos o serpentines, a estas paredes se les denomina superficie de calefacción o calandria (Spencer and Meade 1967). El vapor entra en uno de estos espacios a temperatura y presión fijas, a las cuales se condensa liberando así su calor latente. En el otro espacio hay una solución a temperatura y presión menor que absorbe el calor liberado por la condensación del vapor. La velocidad del flujo a través de la superficie de calefacción es proporcional a la diferencia de temperatura existente entre el vapor que está en un lado y el líquido en ebullición que está en el otro. Para el tacho poder evaporar una libra de agua, es necesario suministrar el equivalente de su calor latente, a la misma presión a que se lleva a cabo la evaporación, asumiendo que la solución esté a su temperatura de ebullición (Jenskins 1971). Si no lo está, hay que proporcionar el calor sensible adicional suficiente para llevarla a dicho punto de ebullición.

Si, en caso contrario, la solución entra al tacho con una temperatura más alta que el punto de ebullición, ocurrirá la autoevaporación, y la cantidad de calor requerida para evaporar una libra de agua será menos que el calor latente en la cantidad de unidades térmicas así liberadas.

- **Tachos de Serpentín**

Los Tachos de Serpentín son evaporadores verticales de simple efecto operados al vacío. Su superficie calórica se compone de 6 ó 7 serpentines de cobre a los cuales se admite vapor directo de 50 a 90 lbs. Estos serpentines son independientes, y se suelen construir de tubería de cobre de 4 pulgadas de diámetro, enrollada en forma de espiral cónico alto en la periferia exterior y bajo en el centro, con lo que se ajusta a la forma del fondo del tacho y permite un buen drenaje del vapor condensado (Jenskins 1971), (Spencer and Meade 1967). Los serpentines se apoyan y se fijan sobre soportes, con piezas apropiadas en forma de silletas para que el cobre no sea dañado por la vibración, expansión y contracción.

- **Tachos de Calandria**

Un tacho de calandria es un evaporador de simple-efecto, de diseño especial, dotado de tubos cortos de gran diámetro y un tubo central grande, para facilitar la circulación de la masa cocida pesada y viscosa que se elabora en las cochuras llamadas templeas (Hugot and Ruiz 1967). El jarabe y las melazas, en ciertas proporciones, desarrollan cristales de azúcar. Se comienza por la cobertura de la superficie calórica a un nivel apenas suficiente para lograr que haya circulación, y se termina con la carga completa que constituye la templea, cuyo volumen es el triple del volumen con que se comienza.

1.3 Papel de la automática en los cristalizadores de sacarosa

La automatización industrial durante los últimos años, ha propuesto mejoras en los procesos productivos, ya que de una forma indirecta ayuda a eliminar parte de los errores humanos, al delegar la responsabilidad de manipular los elementos finales de control, a un instrumento o mecanismo autónomo que responde a instrucciones definidas, con lo cual se puede garantizar que las variables de proceso se mantendrán en los valores necesarios para la correcta operación del mismo.

1.3.1 Automatización de cristalizadores en industrias extranjeras

El desarrollo y empleo de nuevas tecnologías en la industria azucarera, ha tenido marcada influencia en la mayoría de los países desarrollados que se dedican a la producción de azúcar de caña (Zayas 2008). El uso de cocedores continuos, tanto para masas de baja como de alta pureza en la industria brasileña, ha permitido redefinir los conceptos que se utilizaban en tiempos anteriores al construir las fábricas de azúcar, de lo que han resultado fábricas más compactas y de operación simplificada por el mayor nivel de automatización que se emplea, si se compara con las convencionales.

Según Luis Roberto da Cunha (Machado 2012), ingeniero de proyectos de Procknor, empresa especializada en consultoría e ingeniería de proyectos de unidades de azúcar y etanol: ...“una de las ventajas de la cocción continua es evitar picos de consumo de vapor, que afectan los niveles de escape de la evaporación que, a su vez, afectan el consumo de vapor de escape y hacen variar el Brix del jarabe que se está produciendo” y ...“El tacho o cocedor por lotes se vaporiza de tres a ocho veces al día generando agua dulce, lo que significa dilución en el proceso, además de que el equipo también se calienta y se enfría alternativamente de forma sistemática”.

En la actualidad, Brasil es reconocido como el mayor productor de azúcar del mundo, todo esto sumado a un dato que valoriza enormemente este primer lugar: Brasil no es solamente el mayor productor sino también es el de menor costo de producción, todo lo consigue sólo de una forma: modernizando el parque de maquinaria instalado, perfeccionando el proceso de producción y automatizando el completo trabajo de los ingenios.

Por otra parte, el sector de cocimiento es el núcleo central de la producción del azúcar, los sistemas de automatización para tachos de cristalizar en Brasil son proyectados para obtener la máxima flexibilidad en la selección de estrategias productivas para el sector. Este gran productor utiliza un sistema basado en autómatas programables, el cual presenta una secuencia lógica de esta etapa, el corte y la descarga de los tachos controlados gracias a la versatilidad de sus programa (Gorini 2013).

Actualmente, Australia, Estados Unidos y Brasil son los máximos productores de azúcar a nivel mundial, ellos realizan la medición de concentración, por medios de microondas donde es posible controlar el proceso de cristalización y determinar exactamente la densidad de soluciones de azúcar. Esta técnica mostró una apertura a una nueva generación

de determinaciones continuas de densidad y concentración en la industria azucarera (Zayas 2008).

En España, el proceso de cristalización es supervisado manualmente por un operario que sigue reglas heurísticas basadas en la observación a través de un microscopio. Según adelantos de la automática propusieron una solución al problema de detección de las diferentes fases del proceso de cristalización, de forma que se proporcione al operario correspondiente información objetiva del estado en que se encuentra el proceso. Esta solución propuesta se basa en el análisis automático de las imágenes captadas mediante una cámara adosada al microscopio óptico que suele utilizarse en los cristalizadores de azúcar (Tadeo, Álvarez et al. 2000).

1.3.2 Automatización de cristalizadores de azúcar en industria nacionales

En nuestro país se dan los primeros pasos en cuanto a la automatización de los tachos hacia la etapa de 1980 al 1988, donde se desarrollaron diferentes elementos de medición que le dieron auge a la automática en la industria azucarera cubana. Un ejemplo de lo anteriormente expuesto, es el empleo del cuitómetro para medir la concentración de la meladura durante el proceso de cristalización. En tanto, otro ejemplo se aprecia en José Smith Comas, donde se implementó el uso del conductímetro con el mismo fin. El uso del conductímetro se generalizó posteriormente en todas las industrias del país, resaltando en el Central Espartaco de la provincia de Cienfuegos (O'Farril and Peralta 2005).

En investigaciones posteriores se implementó la radiofrecuencia y la instrumentación electrónica por primera vez en el central Camilo Cienfuegos. En el Central Batalla de Santa Clara se realizó la validación de un método de medición del grado de la sobresaturación basado en un sistema de microcómputo el cual recibía señales de los captadores de por ciento de masa seca y la temperatura de la masa cocida y se normalizaba a un nivel de voltaje para su posterior transformación de señales analógicas a digitales para proseguir con el procesamiento de las mismas (Tadeo, Álvarez et al. 2000).

Los instrumentos hasta ese momento existentes en la industria para realizar la medición de la concentración, presentaban desventajas que los hacían poco utilizados, por lo que eran los puntistas generalmente los encargados de regular este parámetro, apoyados en su

experiencia y apreciación. Desde 1989 comienzan a gestarse en los países socialistas de Europa, cambios que dieron lugar a la disolución del campo socialista y por ende la ruptura de sus relaciones mercantiles, así como las principales fuentes de suministros, mercados y precios. Esta situación trajo consigo severas consecuencias para todas las ramas de la economía en general, pero sin lugar a dudas una de las más afectadas fue la industria azucarera que se encontraba en una etapa de tránsito hacia el perfeccionamiento. Para atenuar los efectos del déficit de recursos materiales y buscando disminuir los costos de mantenimiento, se elaboró una estrategia que se denominó "Plan de Rehabilitación"(AZUCAR 2004), donde se contempló la introducción y generalización de nuevas técnicas de recuperación de piezas y equipos, y modificaciones tecnológicas aplicadas al equipamiento existente. A finales de la década del 90 se realizaron modificaciones tecnológicas en el proceso de producción de azúcar de caña que ha mantenido la misma tendencia de fabricación. Las principales modificaciones tecnológicas realizadas en esta industria en los últimos años han sido las siguientes (Mainegra 2012):

- Se automatizó la alimentación de caña a plantas moledoras, para lograr la estabilidad del proceso tecnológico.
- Se montaron tolvas Donnelli para lograr alimentación forzada en los molinos, lográndose *setting* más ajustados y aumento de eficiencia y capacidad.
- Se aplicó aspereza transversal en las masas superiores de todos los molinos, para disminuir el desgaste de masas y eliminar el rayado helicoidal de las mismas.
- Se eliminaron desmenuzadoras, lográndose disminuir la potencia instalada en 20,5 MW.
- Se automatizó la limpieza con vapor en plantas de moler, para disminuir las pérdidas de azúcar por infección en molinos.
- Se modificaron clarificadores y se montaron otros de bajo tiempo de residencia lográndose disminuir los índices.
- Se disminuyó la existencia de masas de tercera por medio de la modificación de cristalizadores por varias vías:

- a) Aumento de velocidad del sistema de enfriamiento actual.
 - b) Cambio del sistema de enfriamiento por agua al de aire.
 - c) Introducción de cristalizadores verticales.
- Modificación en la alimentación de las centrífugas de tercera para aumentar su eficiencia y capacidad.
 - Aumento de la presión de vapor con nuevos esquemas que permiten el uso de menos equipos en evaporación y tacho en los centrales.

A principio de este siglo se ha proyectado una industria moderna, conformada por una red de empresas eficientes, con alto nivel de independencia en su gestión, entrelazadas entre sí y con sus clientes y proveedores, sobre bases económicas y comerciales, pero que respondan a objetivos estratégicos de interés común y dirección única, profesional y colegiada. La automatización de la industria azucarera es hoy el proyecto fundamental y la principal fuente de entradas de tecnologías de punta en nuestro país. El grupo AZCUBA se ha trazado metas para proporcionar resultados satisfactorios en la obtención del producto final de cada industria azucarera del país. Ha sido siempre un propósito de la industria azucarera producir cristales de alta en el proceso de cristalización así como lograr una eficiencia desde el punto de vista energético en el mencionado proceso.

1.4 Principales técnicas en la automatización

Algunas de las principales técnicas que se realizan hoy en día en la automatización vienen dadas por la apertura o cierre de los lazos de control así como el control supervisorio.

1.4.1 Técnicas de control supervisorio

Esta incluye, entre otras, al monitoreo y supervisión del proceso en cuestión. Hoy en día estos conceptos están muy ligados al de sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). En el compendio sistemas de automatización del profesor Eduardo Izaguirre Castellanos (CASTELLASNOS 2010), se plantea que los sistemas SCADA, consisten en un software de aplicación diseñado especialmente para ejecutarse sobre ordenadores

destinados al control de la producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador.

Un SCADA no se trata de un sistema de control, sino de un software de monitorización y supervisión, que realiza la tarea de interfaz entre los niveles de control como los PLC y los de gestión a un nivel superior. Un sistema SCADA puede controlar, monitorear y supervisar desde un centro de control, los procesos de estaciones remotas distantes, empleando diversos tipos de enlaces de comunicaciones (sistema satelital, red de microondas, radiocomunicaciones, fibra óptica, telefonía celular, entre otros). Todos los programas necesarios y en su caso el hardware adicional, que evidentemente siempre se necesita, se denomina en general sistema SCADA (PENIN 2007)

Principales funciones de un sistema SCADA

Algunas de las funciones básicas realizadas por un sistema SCADA son (Meza 2007):

- **Supervisión remota de instalaciones y equipos:** permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y los equipos alojados en la planta, lo que permite dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.
- **Acciones de control:** para modificar la evolución del proceso, actuando sobre los reguladores autónomos básicos, (consignas, alarmas, menús) o directamente sobre el proceso, mediante las salidas conectadas. Muchas veces el encargado de cerrar el lazo de control después de una correcta supervisión de las variables en particular y del proceso en general es el operario.
- **Representación gráfica:** se grafican y animan las variables del proceso y a la vez se monitorean, ya sea por uso de alarmas u otros medios.
- **Control remoto de instalaciones y equipos.**
- **Generación de reportes.**
- **Representación de señales de alarma.**
- **Almacenamiento de información histórica.**

Elementos que conforman un SCADA

De forma general un sistema SCADA está compuesto por elementos como (Díaz 2010):

- Un interfaz hombre-máquina (HMI), que se encarga de presentar los datos a un operador humano. A través de ella el operador supervisa y controla el proceso.
- Un sistema de control, encargado de la adquisición de datos del proceso y el envío de comandos hacia el mismo.
- Las RTU (*Remote Terminal Unit*) que son dispositivos de control de procesos remotos encargado de adquirir datos provenientes de equipos externos y sensores, transferir los datos hacia la estación central, donde se encuentra operando el SCADA, usando una o más variantes de comunicación y a su vez comandan a los actuadores y demás elementos de control final. Entre sus funciones también se encuentra el envío de alarmas hacia el centro de control o a personas específicas.
- La infraestructura de comunicación que conecta el sistema de control con las RTU.

1.4.2 Técnicas de lazo abierto

Los sistemas en los cuales la salida no afecta la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Por tanto, a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado (Ogata 1997).

1.4.3 Técnicas de lazo cerrado

Se incluyen las técnicas de control, que tienen su sustento en la llamada Teoría de Control Automático. En el libro Ingeniería de Control Moderna de Katsuhiko Ogata (Ogata 1997) se plantea que un sistema en lazo cerrado o realimentado, es aquel en el que se alimenta al

controlador la señal de error, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la señal de salida misma o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema.

El control de la cristalización en un tacho al vacío es esencialmente el control de la sobresaturación del licor madre. El mismo se realiza con realimentación teniendo en cuenta que la medida de la sobresaturación no se obtiene de forma directa sino que exige la obtención de variables adicionales y el respectivo cálculo matemático, o en su lugar efectuar la medida de otras variables que de alguna forma mantienen una relación con la sobresaturación del material como ocurre con: la elevación del punto de ebullición, la viscosidad, la medición de la consistencia de la masa cocida, la conductividad eléctrica, la medición de la impedancia o radiofrecuencia y la medición de la densidad del material.

Según lo reportado por varios autores (HONING 1978), (Jenskins 1971), (Hugot and Ruiz 1967) las variables fundamentales del proceso de cristalización a vacío que han sido objeto de regulación en esquemas de control automático son: sobresaturación, consistencia, conductividad, presión absoluta y contenido de cristales y como variables reguladoras (manipuladas) se presentan: flujo de vapor, flujo de meladura y flujo de agua al condensador.

1.5 Principales esquemas de control utilizados en la automatización de tachos cristalizadores

En este epígrafe se acomete realizar la revisión de siete esquemas de control automático, se tiene en cuenta las variables fundamentales del proceso de cristalización a vacío que han sido objeto de regulación en esquemas de control automático, así como las variables reguladoras más empleadas para alcanzar este objetivo.

Desde algunas décadas atrás se viene investigando con gran interés sobre la regulación del proceso de cocción. Se han aplicado técnicas de regulación que van desde los métodos más sencillos, a partir de los más elementales conceptos del control automático, hasta algunos sistemas que indican algún grado de complejidad. Teniendo en cuenta las variables

fundamentales del proceso de cocción a vacío, así como las variables reguladoras más empleadas para alcanzar el objetivo deseado, se exponen a continuación los siguientes esquemas de control.

En estudios realizados por O'Farril and Peralta (O'Farril and Peralta 2005) se establecen seis esquemas de control que se muestran a continuación.

Esquema #1:

Se encuentra conformado por tres lazos de control que cumplen las funciones siguientes:

- Control de la sobresaturación manipulando el flujo de vapor al tacho.
- Control de la presión absoluta del tacho a partir de la manipulación del flujo de agua de los condensadores. (Se considera que la presión absoluta del tacho permanece constante).
- Control del flujo de meladura a partir de su propia manipulación. (Se considera el flujo de meladura constante).

Esquema #2

Se encuentra conformado por tres lazos de control que cumplen las funciones siguientes:

- Control en cascada de la sobresaturación y el flujo de meladura con la manipulación del flujo de meladura al tacho.
- Control de la presión absoluta del tacho a partir de la manipulación del flujo de agua de los condensadores. (Se considera que la presión absoluta del tacho permanece constante).
- Control de la temperatura o presión del vapor en la calandria a partir de la manipulación del flujo de vapor. (Se considera constante, puesto que debe existir un control del flujo de vapor que lo mantiene constante).

Esquema #3

Se encuentra conformado por tres lazos de control que cumplen las funciones siguientes:

- Control de la masa de cristales manipulando el flujo de vapor al tacho.
- Control de la presión absoluta del tacho a partir de la manipulación del flujo de agua

de los condensadores. (Se considera que la presión absoluta del tacho permanece constante).

- Control del flujo de meladura a partir de su propia manipulación. (Se considera el flujo de meladura constante).

Esquema #4

Se encuentra conformado por tres lazos de control que cumplen las funciones siguientes:

- Control en cascada de la masa de cristales y el flujo de meladura, con la manipulación del flujo de meladura al tacho.
- Control de la presión absoluta del tacho a partir de la manipulación del flujo de agua de los condensadores. (Se considera que la presión absoluta del tacho permanece constante).
- Control de la temperatura o presión del vapor en la calandria a partir de la manipulación del flujo de vapor. (Se considera constante, puesto que debe existir un control del flujo de vapor que lo mantiene constante).

Esquema #5

Se encuentra conformado por tres lazos de control que cumplen las funciones siguientes:

- Control de la sobresaturación manipulando el flujo de vapor al tacho.
- Control de la masa de cristales manipulando el flujo de meladura al tacho.
- Control de la presión absoluta del tacho a partir de la manipulación del flujo de agua de los condensadores. (Se considera que la presión absoluta del tacho permanece constante).

Esquema #6

Se encuentra conformado por tres lazos de control que cumplen las funciones siguientes:

- Control de la sobresaturación manipulando el flujo de meladura al tacho.
- Control de la masa de cristales manipulando el flujo de vapor al tacho.
- Control de la presión absoluta del tacho a partir de la manipulación del flujo de agua

de los condensadores. (Se considera que la presión absoluta del tacho permanece constante).

Un diseño de automatización del tacho cristizador ha sido desarrollado por ZETI (Empresa de automatización de la industria azucarera) (ZETI 2013) el cual se plantea a continuación.

Esquema #7

Se encuentra conformado por tres lazos de control que cumplen las funciones siguientes:

- Control de la presión de vacío en el cuerpo del tacho cristizador.
- Control de la presión de vapor suministrado en la calandria.
- Control de la concentración mediante la cebo de agua en la estabilización del grano.
- Control de concentración mediante la alimentación de meladura en la fase final de la cristalización.

Este sistema se apoya en la relación existente entre el contenido de cristales y la sobresaturación con la conductividad de la masa en el tacho (HONING 1978). El mismo desarrolla el proceso de cristalización después de cargado el tacho hasta el final del proceso, teniendo en cuenta la introducción de la semilla en automático. Después de este posee un cambio en el punto de ajuste del sistema de forma automática. Sus ventajas fundamentales son:

- Facilidad en la medición del parámetro fundamental utilizando un medidor de microondas.
- Reducción del tiempo de cocción y aumento en la calidad del producto final.

1.6 Papel de los autómatas programables en el empleo de la cristalización de azúcar

La incorporación de los autómatas programables en la industria azucarera ha tenido un auge en las últimas décadas en los países productores de azúcar de remolacha y de caña, el control de varios procesos de esta industria es implementado sobre estos dispositivos (Hugot and Ruiz 1967).

Para la realización del control de las distintas fases en las que trabaja el tacho de cristalizar, la implementación de una correcta automatización es una herramienta que permite mejorar

el rendimiento de todo sistema donde es aplicada. En el caso de los procesos industriales, ésta se involucra en el manejo de gran cantidad de información asociada a los equipos, dispositivos y características del proceso.

1.6.1 Implementación de los autómatas programables en la industria azucarera cubana

Desde finales de la década del 90, en el país se trabaja con novedosos elementos para el control en los procesos industriales azucareros. En la zafra del 97-98 se instalaron autómatas cubanos NODOREM producidos por el ICID, con el objetivo de ser utilizados como parte de los sistemas de control y supervisión de varias fábricas azucareras del país. El mismo fue utilizado en la empresa azucarera Jesús Rabí del municipio de Jovellanos, en la provincia de Matanzas, con dificultades como: tratamiento limitado a 8 bit e interfaz de comunicación por tarjeta red BMS en slot ISA de la PC referenciar.

De las experiencias obtenidas por la explotación de este modelo de autómatas, se decidió la fabricación en nuestro país de un nuevo autómata más acorde con las necesidades del proceso azucarero. Como resultado de estas experiencias surgen en esa época los PLC NOVA, compuestos por un módulo inteligente que posee 16 entradas digitales y 24 analógicas así como 8 salidas digitales y 8 analógicas, además, permite ampliarse con módulos de extensión que aumentan la configuración de las entradas/salidas, según la aplicación deseada. Su electrónica es altamente inmune al ruido y puede explotarse en condiciones adversas de temperatura y vibración. El mismo fue diseñado en su principio para asumir todas las prestaciones requeridas por la mencionada industria. Con el transcurso del tiempo se fueron realizando revisiones para mejorar el funcionamiento del mismo. En la empresa azucarera Ramón Ponciano también se empleó este PLC, logrando por vez primera ejecutar diferentes fases del proceso que suceden bajo ciertas condiciones de estados de variables, siguiendo los algoritmos del controlador lógico programable (Zayas 2008).

En la empresa azucarera Chiquitico Fábrega se realizó la automatización del proceso industrial utilizando autómatas programables donde se implementó una de las revisiones de la tecnología NOVA v 4.6, el cual aumenta en prestaciones y rendimiento para la obtención del producto final: tratamiento tanto de byte como de palabra (16 bits), ejecución

de las secuencias cada 0.1 segundo, interfaz de comunicación RS-232/485 y trabajo con el SCADA sobre el sistema operativo (Windows). Posteriormente, debido a los adelantos científicos y al nivel de integración de los componentes electrónicos, surge el PLC Glofa de LG, que está instalado todavía en más del 30% de las industrias azucareras del país. Más adelante, en el central azucarero George Washington se incorporó en la estación de cristalización de azúcar refino el control basado en autómatas programables, con el PLC Mitsubishi, para mejorar las condiciones de trabajo de los operadores del área al liberarlos, mediante el control automático, de la manipulación constante de las válvulas del tacho. Esta tecnología de PLC está siendo actualmente generalizada en todo el país por sus prestaciones fiables y robustas en el entorno industrial(Zayas 2008).

1.6.2 Principales medios técnicos de automatización

Los medios técnicos de automatización lo constituye todo hardware necesario, ya sean sensores, válvulas, motores, hasta los medios técnicos de cómputo, sin los cuales no serían posibles las funciones que se necesitan para que un sistema automatizado trabaje de manera correcta. Así, sobre buena parte de este hardware se ejecutan los diferentes tipos de programas. Sin embargo, uno de los pilares fundamentales de tales sistemas lo constituyen los controladores lógicos programables, también llamados controladores programables o PLC, los cuales forman parte de la familia de las computadoras, usando circuitos integrados en vez de dispositivos electromecánicos para implementar funciones de control. Ellos son capaces de almacenar instrucciones como secuenciación, temporización, conteo, operaciones aritméticas, manipulación de datos, comunicación, para controlar máquinas industriales y procesos (L.A.Bryan-E.A.Bryan 1997).

Otro trabajo define (Alemán 2010) que un autómata programable es una microcomputadora de propósitos específicos, especialmente diseñada para el control industrial y adquisición de datos donde se mezclan elementos de cómputo (lenguaje de programación, interfaz hombre-máquina, unidades de memoria) y elementos de control (regulación PID, procesamiento analógico, señalización, mando, temporización y conteo) integrados en un mismo equipo, para cumplir las funciones de automatización de procesos en tiempo real con elevada fiabilidad y seguridad.

Entre las características de los PLC se encuentran las siguientes (Castellanos 2010):

- Constituyen elementos inteligentes de control, potentes, de alta fiabilidad y robustez.
- Presentan estructura modular y expandible.
- Alta flexibilidad en la configuración tanto del software como del hardware.
- Emplean lenguajes de programación de alto nivel, con lenguajes estructurados, programación sencilla y elementos de programación bien diseñados acorde a las aplicaciones industriales.
- Alta capacidad de realización de tareas (multitareas) y operación en tiempo real.
- Adaptabilidad máxima debido a que presenta un gran número de módulos de entradas/salidas configurables, garantizando alta versatilidad según el tipo de aplicación, incluyéndose módulos con funciones.
- Permiten la realización del tratamiento primario de la información.
- Amplias facilidades de comunicación a través de procesadores de comunicación con elementos periféricos de todo tipo.
- Capaces de formar redes de comunicación de alto nivel que garantizan la transmisión de información segura y transparente a todos los niveles dentro de la jerarquía de automatización.
- Conforman familias de grado de potencialidad y prestaciones ascendentes, garantizando niveles de funcionalidad escalonada.
- Fácil montaje, puesta en marcha, ajuste y mantenimiento donde se incluyen: menús de ayuda, programas prueba, generación de código de errores y detección de fallas

La arquitectura de un PLC puede ser dividida en varios bloques (Departamento-de-Ingeniería-de-Sistemas-y-Automática.Universidad-de-Oviedo 2005):

- Fuente de alimentación: Es el corazón del PLC y nutre de energía al resto de los módulos del mismo y en ocasiones a los sensores del proceso.
- La Unidad Central de Proceso (CPU): Es el cerebro del PLC y está formada por un microprocesador, una unidad de memoria y una unidad aritmética y lógica. La CPU realiza el control interno y externo del autómatas y la interpretación de las instrucciones del

programa. A partir de las instrucciones almacenadas en la memoria y de los datos que recibe de las entradas, genera las señales de las salidas.

- **Rack:** Es un soporte, por lo general metálico, sobre el cual se montan todos los módulos del PLC. Sobre este soporte va adosado el bus de datos que permite llevar a cabo el intercambio efectivo de información en todas las partes que conforman el PLC. Los distintos módulos se conectan a ranuras o *slots* que están fijados sobre el *rack*.
- **Entradas/Salidas Digitales:** Permite al PLC leer valores de sensores digitales del proceso y enviar órdenes hacia los componentes del proceso. Todas estas señales serán en formato todo/nada, es decir que permitirán intercambiar información que representa dos únicos estados posibles. O sea, para sensores esta información indicará la existencia o no del proceso respectivamente y para el caso de los actuadores codificará la orden de actuar o no respectivamente.
- **Entradas/Salidas Analógicas:** En el caso de las entradas tienen como función, la conversión de una magnitud analógica en una expresión binaria, dependiendo de la precisión deseada. Esto se realiza mediante conversores analógico-digitales, los cuales transformarán el valor de la magnitud física en cada momento, almacenando este valor transformado en la memoria de entradas analógicas del PLC para su uso posterior desde el programa de control. En el caso de las salidas, estos módulos contienen conversores digitales-analógicos los cuales transformarán un valor numérico depositado por el programa de control en una posición de la memoria, en una corriente eléctrica proporcional, la cual será empleada para llevar a cabo la acción sobre el proceso.
- **Otros módulos:** Para la comunicación, conexiones como RS-232 entre otros.

1.7 Programación del autómata

Los primeros PLC fueron diseñados para ser usados por electricistas que podían aprender a programarlos en el trabajo. Estos eran programados con “lógica de escalera” (*ladder logic*). Los PLC modernos pueden ser programados de diferentes vías, con los lenguajes de programación tradicionales como el *BASIC* o C. Otro método es usar la Lógica de Estados (*State Logic*), un lenguaje de programación de alto nivel del tipo gráfico diseñado para programar PLC basándose en los diagramas de transición de estados. El *ladder* es mucho

más eficiente que el *BASIC* para manejar variables digitales. Este está estructurado de manera que en el ambiente de programación, a la izquierda se encuentran las entradas, asociadas a las entradas físicas reales y a la derecha están las salidas asociadas a las salidas físicas reales, las cuales se activan si las condiciones de entrada se cumplen (TechnoTrade 2005).

En el libro *Programmable Controllers. Theory and Implementation* de los autores L.A. Bryan y E.A. Bryan (1997), se plantea que el diagrama *ladder* es la forma tradicional de representar secuencias eléctricas de operación. El diagrama *ladder* original fue establecido para representar circuitos lógicos para controlar máquinas y equipos. Debido al amplio uso industrial, se convirtió en una manera estándar de comunicar la información de control desde los diseñadores a los usuarios de equipos. Mientras los controladores programables eran introducidos, este tipo de representación circuital resultaba cada vez más fácil de usar e interpretar lo que conllevaba a un mayor uso en la industria.

Los controladores programables pueden implementar todas las condiciones del diagrama *ladder*. Su propósito es realizar estas operaciones de control de una manera más confiable y a menor costo. Un PLC implementa en su CPU, todas las interconexiones, con el uso de instrucciones de software. Esto es cumplido con el uso diagramas *ladder* en una manera que es transparente para el ingeniero o el programador.

1.7.1 La familia FX de Mitsubishi

Desde que hizo su entrada, los FX han tenido un rotundo éxito a nivel mundial, y es que la versatilidad, eficiencia y magnífico trabajo están a la orden del día cuando se trabaja con estos dispositivos. Así se le pueden encontrar en lugares debidamente acondicionados o que no estén en condiciones óptimas para su funcionamiento. Toda esta familia tiene características comunes tales como:

1. Utilización de extensión modular que proporciona 16 entradas y 16 salidas digitales adicionales.
2. Gran cantidad de puertos de comunicación.
3. Lazos PID integrados.
4. Protocolo de comunicación ModBus.

5. Sistema de alarmas múltiples.

1.8 Consideraciones Parciales

Los sistemas digitales en la actualidad son un papel importante en la automatización de la industria azucarera. Estos han contribuido a mejorar el trabajo de los operarios y colaborar en el almacenamiento de registros históricos en cuanto a la evolución, estabilidad y desarrollo de cada proceso. El desarrollo de estos sistemas, ha permitido la aparición de instrumentos de campos con mayor calidad, algunos considerados inteligentes por su alto grado de autonomía.

Luego de un análisis coherente de los esquemas de control anteriormente expuestos, se puede concluir que entre los esquemas planteados, el #7 es el que más se ajusta a las condiciones de operación del tacho cristalizador y a los recursos existentes para su implementación.

Por todo lo anteriormente expuesto se puede afirmar que los PLC constituyen uno de los pilares fundamentales de la automatización en la industria, por sus características y prestaciones disponibles. Por su parte, la familia del PLC FX ofrece, especialmente, razones muy ventajosas como es el caso de: robustez, fiabilidad y un buen soporte en ambientes agresivos para permitir un buen desarrollo del proyecto de automatización del tacho cristalizador de la UEB “Carlos Baliño”.

CAPÍTULO 2 CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL PLC PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL TACHO DE CRISTALIZAR DE LA UEB “CARLOS BALIÑO”

En el presente capítulo se expondrán aspectos y características relacionadas con el proceso fabril de la UEB “Carlos Baliño”, con la breve descripción de cada etapa del mismo, así como la descripción en particular del proceso de cristalización en los tachos al vacío. Se exponen algunas características fundamentales del PLC **FX-3U** debido a que esta familia posee extraordinaria importancia para la implementación del proyecto. Posteriormente, se analizan los aspectos esenciales sobre la programación del proceso de cristalización de azúcar, tanto la definición de las variables del proceso como la confección de los diagramas de flujos de cada etapa concebida para la programación.

2.1 Caracterización general de la industria azucarera “Carlos Baliño”

El proceso de obtención de azúcar de la industria Carlos Baliño comienza cuando la caña es vertida sobre la estera alimentadora, sobre esta se encuentra el rompe bultos y el gallego nivelador, encargados de nivelar el colchón de caña antes que entre en contacto con las cuchillas. Las cuchillas son las primeras en tener contacto con la caña, en la industria existen dos juegos para garantizar una correcta preparación que facilite la extracción del jugo en el tándem. Según (Hugot and Ruiz 1967), la preparación de la caña con el uso este juego de cuchillas garantiza un acomodo de la misma para su procesamiento en la entrada de los molinos. A la entrada del cuarto molino se alimenta agua de imbibición a 70 °C aproximadamente en una proporción del doble de la fibra, el guarapo que se extrae en este molino es recirculado para el tercero, el de éste al segundo y así sucesivamente hasta llegar

todo el jugo al primer molino. El guarapo que se extrae en el molino desmenuzador y el primer molino es enviado al proceso de purificación (jugo mezclado). En esta etapa del proceso de extracción además de guarapo se obtiene bagazo, éste se envía a las calderas mediante conductores para generar energía en los hornos (Ver Figura 2.1).

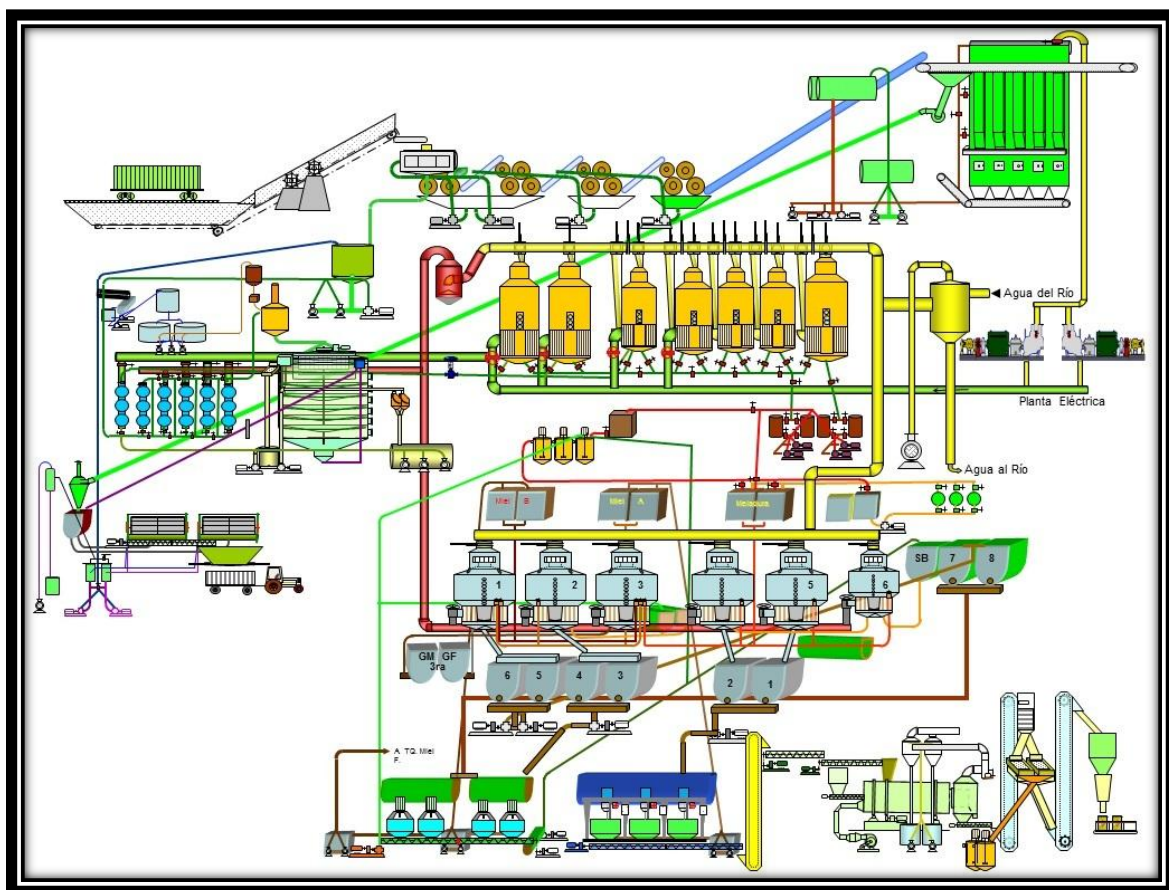


Figura 2.1. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de azúcar orgánica en la UEB “Carlos Baliño”

El guarapo es sometido a un proceso de purificación, con el objetivo de eliminar primeramente los sólidos en suspensión mediante un colador rotatorio en los molinos, el resto de las impurezas se separa en la clarificación para lo cual el guarapo es calentado de 102 – 105 °C y vertido en el tanque *flash* donde es mezclado con el hidróxido de calcio (Ca OH) para neutralizar el pH y facilitar la reacción de este con el fosfórico presente en el jugo y conseguir la formación de flóculos que logran arrastrar en sus cuerpos las impurezas presentes. Ya en esta etapa, se obtiene un jugo clarificado y un sedimento denominado

cachaza, además de garantizar una temperatura uniforme de 100 °C a la entrada del clarificador.

Una vez eliminada gran cantidad de impurezas contenidas en el jugo, en la etapa de purificación, es necesario concentrarlo, para esto se alimenta a los evaporadores donde se elimina cerca del 70% del agua contenida en él; este proceso se realiza en dos evaporadores que trabajan como uno en paralelo y un cuádruple efecto que trabaja al vacío para reducir la temperatura de ebullición del agua y evitar un cambio en la coloración de guarapo. A la salida del último evaporador se obtiene la meladura con una concentración de 60 - 65 °Bx donde la cual constituye la materia prima para la obtención de los cristales de azúcar.

En los tachos se hace cristalizar la meladura, existen posibilidades de varios esquemas de producción, pero el más usado en esta industria es el de la doble semilla, cristalizándose para obtener el azúcar comercial aunque en los tachos se producen los tres tipos de masas cocidas.

La masa proveniente del mezclador o del cristizador se lleva a máquinas giratorias llamadas centrífugas donde deben ser purgadas a 92 °Bx a la máxima carga posible y los tiempos de operación serán de acuerdo a las características de la masa cocida que se purga en ese momento.

El azúcar de primera, lavada convenientemente con agua a presión y a 80°C se descarga en los sinfines que la transportan hasta el secador, en este se disminuye la humedad del azúcar desde aproximadamente un 1% hasta valores inferiores a 0.10% para lo cual se pone en contacto el azúcar con aire caliente que evapora la humedad que trae a la salida de la centrífuga. Una vez que el azúcar es secado y enfriado, se hace pasar por los imanes que separan las partículas ferromagnéticas que puedan estar presentes y seguidamente se tamiza el azúcar para lograr una homogeneidad en el tamaño del grano final.

2.2 Caracterización de la estación de tachos de la UEB “Carlos Baliño”

Los tachos reciben la meladura concentrada por los evaporadores y a partir de una secuencia de operaciones básicas de ingeniería producen la semilla necesaria para la fabricación del azúcar granulado.

Estas operaciones en los tachos tienen como fin:

- Concentrar los materiales que se les alimentan hasta un nivel de sobresaturación tal que permita un rápido crecimiento de los granos.
- Agotar progresivamente los materiales mediante una operación por etapas.
- Lograr como producto final un azúcar granulado de tamaño tal que cumpla los requisitos normados.

Este conjunto de operaciones tiene un tiempo de duración que oscila entre las **24 y las 32 horas** y está vinculado a las condiciones de operación y a la destreza del personal del área.

2.2.1 Estructura del área de tachos

A continuación se definen los equipos y las funciones de cada uno dentro del área de tachos.

Tachos: Es el equipo básico del área, en él se realizan las operaciones de concentración (se definió en el epígrafe 1.2). Es un equipo activo debido a que para la realización de sus funciones requiere del suministro de vapor, mieles, agua y debe, además, estar conectado al vacío.

Semillero: Equipo abierto y dotado de movimiento para mantener de forma homogénea todo el magma de semilla “C” que se produce en las centrifugas, para ser alimentado a los tachos comerciales o ser disuelta y convertida en meladura.

Granero: Equipo abierto y dotado de movimiento para mantener, de forma homogénea, los productos en su interior.

Cristalizadores: Son equipos abiertos y dotados de movimientos para mantener de forma homogénea toda la masa. Se consideran equipos activos porque forman parte del ciclo de agotamiento de las masas en los tachos.

2.2.2 Esquema de operación general de los tachos

El esquema de trabajo que se adopta en la estación de tachos garantiza, el cumplimiento de las especificaciones de calidad del azúcar y el agotamiento de las mieles intermedias y finales. Dicho esquema se establece a partir de las condiciones técnicas en las instalaciones y la forma de desarrollo de la molida. El esquemas de operación que responde a las necesidades de la industria azucarera es:

❖ **Sistema de dos masas cocidas** el cual se utiliza para lograr una alta calidad del azúcar de bajo color, realizando la cristalización para las masas cocidas A con semilla B disuelta y para masas cocidas B con meladura y miel A, para alcanzar una pureza en la miel B aproximadamente de 52 a 56 unidades de pureza, pudiéndose incrementar la operación de repurga de la semilla B si fuera necesario. Su obtención se realiza a partir de meladura procedente de caña certificada como caña orgánica sin empleo de otro producto químico que no sea la lechada de cal.

Para utilizar el sistema de dos masas cocidas, inicialmente las masas cocidas de primeras se fabrican con la selección de un pie de semilla B y disolviéndolo en el interior del tacho, realizando la cristalización por *shock* y alimentando posteriormente una mezcla de meladura y semilla B disuelta. Por la realización de cada cristalización se debe obtener dos o tres masas cocidas que originen azúcar con tamaño de grano de 0.5 mm como máximo.

La pureza de ésta masa será un promedio de la pureza de la meladura y la semilla B, la caída de pureza de la masa a la miel madre debe ser de 15 puntos como mínimo. Los tachos descargarán masas de 1000 ó 1100 pies³ en un solo cristalizador, ya que una vez purgada, se le suministra suficiente vapor al tacho cristalizador para que termine de liquidar y quede limpio sin contaminar de granos la próxima masa.

Las masas de segunda se fabrican cristalizando con meladura, para 6 masas cocidas de 1100 pies³ de tamaño de grano algo superior al grano de terceras, de 0.30 a 0.35 mm, el grano fino producido virgen en el tacho №3 de 1100 pies³, se bajará a 733 pies³ lo cual representa 2/3 partes del nivel de tacho, para el granero, el pie de grano fino que queda en el tacho se alimenta con meladura y miel A, según cálculo de la pureza hasta completar 2 pie donde se reduce a la mitad para el llamado semillero C (granero mejorado de segunda), el pie que queda en el tacho será tomado por el tacho encargado de fabricar las masas de segunda, fabricando la masa con alimentación de miel A. El tacho 3 queda vacío hasta que el tacho de segunda tome el pie que se situó anteriormente en el granero mejorado. Al concluir esta operación, el tacho 3 puede tomar la mitad del grano fino para repetir dos veces más las operaciones de fabricación de granos mejorados. Por otra parte, cuando en los graneros quede un pie de grano mejorado y esté adelantado el tacho de segunda, entonces el tacho 3 podrá cargar para cristalizar de inmediato, realizando nuevamente el

proceso descrito con anterioridad. La pureza de esta masa debe ser de 74 y su caída a la pureza de su miel madre 15 puntos como mínimo.

Cuando por algún motivo en el momento de efectuar la cristalización, ésta sale con mínima cantidad de granos, se debe disolver e intentar de nuevo cristalizar para lograr la cantidad de grano deseado, es por eso que se aplica otro método:

❖ **Sistema de dos masas cocidas y media:** es el que se utiliza cuando la caída de pureza de las masas a su miel madre sea baja y la pureza de la miel B promedio tienda a sobrepasar el valor medio de la norma de pérdidas en miel B final alcanzando aproximadamente de 52 a 56 unidades de pureza. Siempre se trabaja para buscar que el promedio hasta la fecha esté cercano al valor de pureza inferior. Se cristaliza para 6 masas cocidas, de cada grano mejorado se obtiene una masa de segunda que es fabricada en el tacho N^{ro}2 y otra que será segunda y media porque se alimenta con miel B, con una pureza al descargar de 70 y se fabrica en el tacho N^{ro}1.

Agotamiento en cristalizadores

Las masas cocidas en los cristalizadores de primera no reciben enfriamiento y el tiempo de residencia en el cristalizador es solo el tiempo que dure para ser purgado, de esta misma forma se procede con la masa de segunda.

Las masas cocidas A y B se lubrican al enfriarse la masa o tener alta viscosidad ya que en estos casos, no son operables debido a la pérdida de fluidez necesaria para ser bombeadas y purgadas. Para las masas de primera se le aplica la lubricación con meladura y a las segundas con miel de lubricación de aproximadamente 73⁰Bx. La cantidad de lubricación será la que restablezca la fluidez mínima de la masa y la capacidad de purga de las máquinas.

Filtrado de la meladura

El filtro de meladura siempre se pondrá en funcionamiento para lo cual se le exige al jefe de brigada de purificación el cumplimiento del Brix de salida de la meladura de los evaporadores en valores de 60 a 62 % para con ella garantizar una completa disolución de la semilla sobrante y posterior filtración.

Para organizar el trabajo en esta área se deben tener en cuenta los aspectos tecnológicos siguientes:

- El crecimiento volumétrico de la masa está definido por el del grano de azúcar, de ahí es que el Jefe de Fabricación deberá valorar el comportamiento del crecimiento del grano como elemento básico para definir el número de cortes.
- Todas las masas cocidas se realizan con el mismo número de cortes y el empleo de idénticas proporciones en el pie y el volumen final para garantizar la equidad de sus purezas, la uniformidad y el tamaño del grano de azúcar que producirán.
- La cristalización se realiza mediante la introducción de la semilla en el interior del tacho cristizador para obtener 4 masas cocidas utilizando como núcleo el cristal 600.
- La cristalización se prepara en la medida que lo permita la pureza, con meladura virgen.
- El empleo de meladura y mieles a los diferentes materiales que se fabrican en el proceso, deberá partir del principio de alimentarlos en el orden descendente de sus purezas.

2.3 Definición de las variables de entrada/salida

Debido a la necesidad del operador de conocer el comportamiento de la concentración en el transcurso de la formación del cristal de azúcar, temperatura de la masa, nivel, vacío y presión de vapor en el tacho, se establecieron cinco variables de entrada analógicas y diez de entradas digitales para el conteo de los pulsos provenientes de las válvulas reguladoras respectivamente, en las cuales se retienen las lecturas de estos sensores, con el objetivo de tenerlas disponibles para usos posteriores.

Por otra parte se definieron una serie de entradas digitales, donde se precisaron diez, por cada válvula reguladora, para conocer el estado de cada una de ellas, es decir, si se encuentran abiertas o cerradas. También se especificaron las salidas digitales (por cada una de las válvulas reguladoras) para conocer el estado de cada una de ellas (abiertas o cerradas).

Para el logro del control de las diferentes variables del proceso de cristalización de azúcar atendiendo al esquema de control #7, se especificaron una serie de variables de entrada/salida tanto analógicas como digitales, que propician un buen desempeño y

cumplimiento con las condiciones de operación del proceso. A continuación se describe con mayor precisión dichas variables.

Entradas Analógicas

- Nivel en el tacho.
- Vacío en el tacho.
- Presión del Vapor en el tacho.
- Concentración de la masa.
- Temperatura de la masa.

Salidas Analógicas

- Válvula Reguladora de producto azucarado al tacho.
- Válvula Reguladora de Alimentación de Agua para la ceba.
- Válvula Reguladora de Alimentación de Vapor al tacho.
- Válvula reguladora para el Control de Vacío General al tacho.
- Válvula reguladora para el Control de Vacío Auxiliar al tacho.

Entradas Digitales

- Válvula de pase al tacho, normalmente abierta.
- Válvula de meladura al tacho, normalmente abierta.
- Válvula de romper vacío en el tacho, normalmente abierta.
- Válvulas de escoba al tacho, normalmente abierta.
- Válvula de semillar al tacho, normalmente abierta.
- Válvula de descarga de masa, normalmente cerrada.
- Válvula de descarga de limpieza, normalmente cerrada.
- Válvula de descarga de masa del tacho, normalmente abierta.
- Válvula de descarga de limpieza, normalmente abierta.
- Válvula de pase al tacho, normalmente cerrada

Salidas Digitales

- Válvula de descarga de masa del tacho.
- Válvula de descarga de limpieza.

- Válvula de pase al tacho.
- Válvula de meladura al tacho.
- Válvula de romper vacío en el tacho.
- Válvula de escoba al tacho.
- Válvula de semillar al tacho.
- Válvula de descarga de masa del tacho.

2.4 Elección de la familia de autómatas FX-3U

Una de las partes más importantes del proceso de producción de azúcar en la industria azucarera es el proceso de cristalización. La utilización de la serie de autómatas **FX- 3U** ha traído consigo un elevado rendimiento en el producto final y mejoras en la producción del mismo ya que ha sido utilizado en otras áreas de la industria con rendimientos satisfactorio. Según las experiencia de los trabajadores de la entidad aplicadas en otras industrias de la región central este autómata es seleccionado por cubrir con la necesidades de operación de este proyecto tanto desde el punto de vista técnico-económico. A continuación se exponen las características fundamentales por las cuales se propone la utilización del autómata:

1. El autómata FX- 3U cubre las necesidades técnicas para la realización de la automatización en las industrias azucareras ya que son empleados para el control y sistemas de redes. Permite la conexión en todas las redes actuales, como: Ethernet, Profibus-DP, Motbus, CC-Link, DeviceNet y CANopen.
2. Poseen bajo consumo de energía.
3. Poseen excelentes resultados, probados en múltiples aplicaciones en Cuba, en condiciones de trabajo difícil, ambiente agresivo y de elevada humedad.
4. Desde el año 2006, AZCUBA utiliza los servicios de este autómata ya que son más sencillos en su programación, con mayor robustez en cuanto a la agresividad del entorno y su fiabilidad, debido a que son fabricados con los más altos estándares internacionales.
5. Se han empleado en Cuba con anterioridad, con excelentes resultados, en múltiples aplicaciones de automática: en la Empresa Eléctrica, Empresas Papeleras y Alimatic.
6. Presenta una excelente relación entre precios y prestaciones.

2.4.1 La familia de autómatas de Mitsubishi. FX

Los PLC compactos de las series FX ofrecen soluciones económicas para tareas pequeñas a medias de control y posicionamiento de 10 a 256 entradas/salidas integradas en la industria, artesanía y técnica doméstica. Con excepción de FX1S, en caso de modificaciones de las instalaciones se pueden ampliar todas las series FX, por lo cual ofrecen la posibilidad de seguir creciendo en función de la necesidad real. Además, existe la posibilidad de la integración en redes. De esta forma, los controles de la familia FX pueden comunicarse con otros PLC, sistemas de regulación y MMI. Así estos se pueden integrar solos por un lado como estaciones locales en las redes de MITSUBISHI y por otro lado como equipos esclavos en redes abiertas (PROFIBUS/DP). La familia FX ofrece además la posibilidad de establecer una red tipo *multidrop* y una red tipo *peer-to-peer*.

En caso de tener que solucionar tareas complejas de control y requerir una gran cantidad de funciones especiales, como por ejemplo la conversión analógica-digital o viceversa, o bien la posibilidad de integración en una red, se recomienda la selección de las series FX1N, FX2N y FX3U con su posibilidad de ampliación modular. Todos los tipos de control forman parte de la gran familia FX de MELSEC con su compatibilidad completa entre sí. En la tabla 2.1 se relacionan características de diferentes PLC de la familia FX.

Tabla 2.1 Comparación de autómatas de la familia FX de Mitsubishi.

Codificación	FX1S	FX1N	FX2N	FX2NC	FX3U
Cantidad máximo. de entradas integradas	30	60	128	96	80
Expansión (Cantidad E/S máx.)	34	132	256	256	384
Memoria de programa (pasos)	2000	8000	16000	16000	64000
Tiempo de ciclo por	0.55- 0.7	0.55- 0.7	0.08	0.08	0.065

instrucción					
Cantidad de instrucciones (instrucciones estándares/de estado de paso/especiales)	27/2/85	27/2/89	27/2/107	27/2/107	27/2/209
Módulos especiales máximo. conectables	—	2	8	4	8(derecha) 10(izquierdo)

2.5 Configuración del autómata FX-3U

Debido a las prestaciones del mismo y la facilidad económica para su adquisición, el autómata descrito anteriormente, fue el seleccionado para cumplir el rol de adquisición de datos en ambientes agresivos y con altas interferencias como es el caso de la industria azucarera.

Para la implementación del diseño de la programación en la estación tachos se definieron los siguientes módulos (Ver Figura 2.2):

- ❖ M0: Tarjeta Adaptadora de comunicación FX-3U-CNV
- ❖ M1: Procesador Central FX-3U-32MR/ES (16ED+16SD)
 - Cantidad máxima de entradas/salidas integradas: 32, ampliable hasta 384 puntos.
 - Fuente de alimentación: 100-240 V AC.
 - Entradas integradas: 16.
 - Salidas integradas: 16.
 - Tipo de salida: Relé.
 - Memoria de programa (pasos): 64000

- Tiempo de ciclo por instrucción lógica: 0.065 μ s.
- Reloj de tiempo real integrado.
- Módulos especiales máximos conectables: 8 a la derecha y 10 a la izquierda.
- ❖ M2: Módulo de 16 Entradas Digitales FX-2N-16EX-ES/UL
 - Entradas integradas: 16.
 - Salidas integradas: 16.
 - Aplicación: FX1N, FX3G y FX3U/FX3UC series de unidades base.
 - Voltaje de conmutación (máxima.): <240 V AC y <30 V DC.
 - Relación de puntos entrada/salidas: 16.
 - Dimensiones 40 x 90 x 87mm (ancho x largo x alto).
- ❖ M3 Módulo de 16 Salidas Digitales FX-2N-16EYR-ES/UL
- ❖ M4 Módulo de 8 Entradas Analógicas FX-2N-8AD
 - Rango analógico de entrada (-10 a +10V DC, -20 a +20 mA ó 4 a +20 mA).
 - 8 Conversores A/D con una resolución de 0.63 mV (14 bit signo +) y de 2.5 μ A (13 bit signo +).
- Ajuste de offset y ganancia por software para cada entrada.
- Selección de entradas para V/I independientes con configuración de offset y ganancia para cada canal.
- Velocidad de conversión de datos de 500 μ s/canal. (500 μ s*8 canales=4 ms).
- Histórico de medidas analógicas. (Cada canal de entrada tiene 400 registros en la memoria interna del módulo para almacenamiento de datos analógicos).
- Almacena valor máximo y mínimo de cada canal.
- Cálculo del valor medio de cada entrada.
- ❖ M5, M6: Módulo de 4 Salidas Analógicas FX-2N -4DA
 - Rango analógico de salida (-10 a +10V DC, 0 a +20 mA ó 4 a +20 mA).
 - 4 Conversores D/A con una resolución de 5 mV (10 bit) y de 20 μ A (11 bit signo +).
- Conversión a 2.1 ms (4 canales) independiente de los canales usados.
- Selección de salidas para V/I independientes.
- Ajuste de offset y ganancia por software para cada salida.

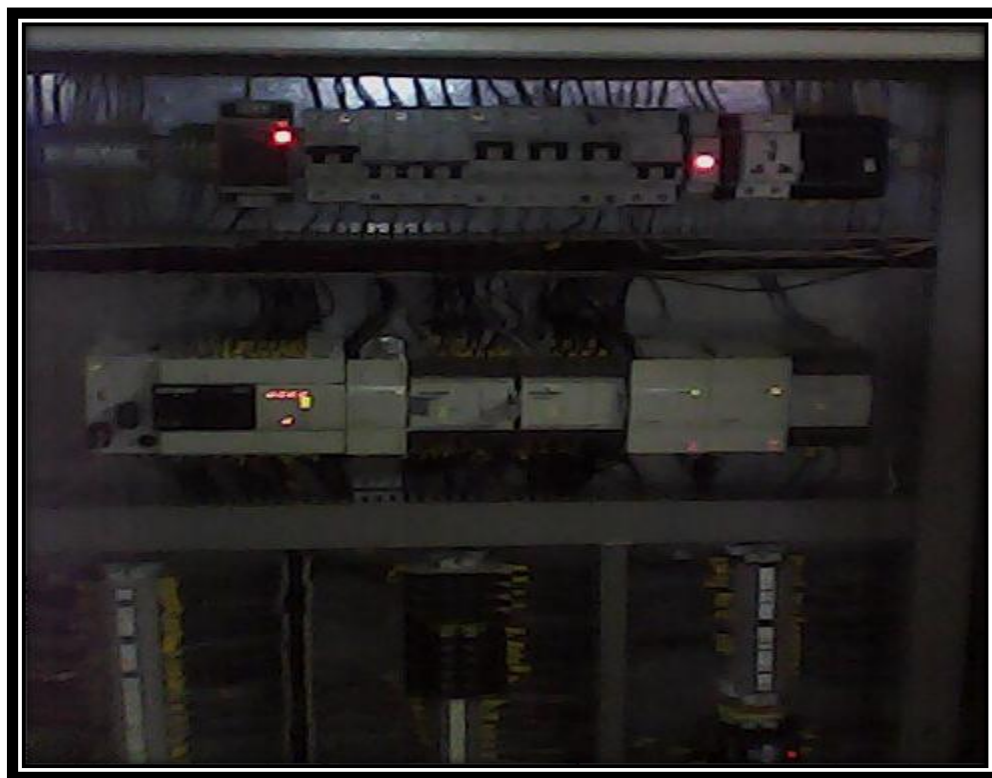


Figura 2.2. PLC instalado en la industria

Después de haber descrito detalladamente la configuración de la estación de autómatas, se procedió a la creación de un nuevo proyecto en el software de programación, donde inicialmente se instalaron las bibliotecas para poder utilizar las herramientas propuestas por el mismo.

Una vez creado el proyecto se adicionaron los distintos módulos antes mencionados, todos de vital importancia, pues incluyen, por ejemplo, los módulos de entrada/salida a los cuales están conectadas todas las variables de entradas y de salidas físicas del proceso tanto analógicas como digitales

Posteriormente se procedió a la declaración de todas las variables que se emplearán en el desarrollo de la aplicación, ya sean analógicas o digitales de entrada/salida, internas, pertenecientes al sistema, temporizadores, entre otras (Ver Anexo III).

Posteriormente, se realiza la configuración del módulo de entrada analógica FX2N-8AD (Ver Anexo IV), el mismo, se utiliza para leer el valor promedio digital de ocho canales de entrada analógica, mostrando en las salidas ese valor promedio realizado en las toma de

muestras por un período de un milisegundo. En dicho módulo, se utilizan cinco canales de entrada y cinco de salida, por ser esa la cantidad de variables analógicas de entrada con la que cuenta el diseño. Además, cuenta con una primera entrada que es la encargada de habilitar o deshabilitar el módulo. Su segunda entrada es la que hace referencia a la posición física del módulo de extensión y su tercera entrada es la encargada de recibir el tipo de señal de entrada al módulo. Dado que existen dieciséis configuraciones de señal de entrada posibles, el autómatas es capaz de reconocer el tipo de señal que está recibiendo y los estados en que se encuentra el canal (recibiendo señal o sin recibir señal). En este caso la seleccionada es la entrada número tres la cual indica que se está recibiendo una señal de corriente de 4-20 mA del sensor transductor encargado de realizar las mediciones directamente en el proceso.

El próximo módulo que se le realiza su configuración es el de salidas analógicas FX3U-4DA (Ver Anexo V). El mismo se utiliza para accionar las electroválvulas instaladas en el proceso, teniéndose en cuenta una configuración muy parecida al módulo anterior ya que posee una serie de combinaciones según la señal poseída por los canales de entrada.

Los bloques PID son definidos en el software del autómatas. Los mismos cuentan con una entrada de inicio de PID que es la que comienza el funcionamiento del mismo, tiene la entrada de *set point* que es el punto donde el operador desea que su proceso se mantenga operando, cuenta además con entradas donde se ubican los valores de Kp, Ti, Td, los cuales tienen la opción de ajustarse por otra entrada que posee el bloque (Pre Ajuste) encargada de sintonizar el regulador y guardar los valores obtenidos en el registro designado para realizar dicha función, el cual permite que aunque surja alguna avería o por determinada causa falte la alimentación al autómatas, siempre se almacenen los valores, ya que estos son registros de retención, mantenidos como en el caso del programa, por memoria RAM alimentada por una batería. Cuenta también con una salida donde se almacenan los errores cometidos en la ejecución del programa, los cuales son guardados en un registro del sistema para poder analizarlos (Ver Anexo XV).

2.6 Algunas herramientas utilizadas en el trabajo

2.6.1 El GX Works

Este es el software necesario para crear aplicaciones de programación para los autómatas **FX-3U** de Mitsubishi. De esta manera **GX Work** es un programa industrial destinado al control de los sistemas automatizados. Está compuesto de herramientas de programación, de un motor de ejecución en tiempo real, así como de herramientas de desarrollo personalizadas por los constructores de material y los integradores. El editor resulta inmediatamente familiar para un programador e intuitivo para un programador novato. Basta con combinar la utilización del ratón y los mandos del teclado para completar los desarrollos.

El **GX Work** incorpora un conjunto completo de herramientas como editores, herramientas de puesta a punto, generadores de código, generador de documentación, gestor de bibliotecas, archivador, control en línea, etc. Permite además añadir líneas o comentarios, duplicar partes enteras de programas, crear nuevas variables, módulos o macros, disminuir el tiempo de diseño al utilizar directamente las bibliotecas de funciones y subprogramas predefinidos, en los que se encuentran especialmente, funciones potentes de regulación (PID), funciones matemáticas y conversiones, funciones booleanas entre otras.

Por otra parte, la concepción de los programas de automatismos se facilita por el uso de bloques funcionales de fácil uso, interactivo y conforme a la norma *IEC601131- 3*, (ELECTRIC 2011) una norma internacional reconocida para la definición de los lenguajes de automatización. Para los programadores más familiarizados con lenguajes evolucionados, también está disponible la programación en el lenguaje de lista de instrucciones el cual permite crear toda la secuencia a partir de una lista de comandos encadenados de forma secuencial. Tiene herramientas de análisis dinámico tales como: visualización *ladder* en línea, estado de los temporizadores, estado de los contadores y registros internos, todo con una completa seguridad (ELECTRIC 2011). Además, incorpora un simulador de PLC e interacción con GT Simulator2 (simulador HMI) para el testeo de la aplicación HMI+PLC.

2.7 Concepción de la programación del autómeta FX-3U

Para la realización del diseño de programa se subdividió en cuatro fases, la cuarta, es la encargada de forma general del funcionamiento del sistema y las tres primeras están vinculadas directamente a las fases de trabajo del tacho cristalizador. Así, las cuatro fases fundamentales son:

1. Formación del grano de azúcar en el proceso de cristalización.
2. Consolidación del grano de azúcar.
3. Elevación del nivel del azúcar formado en el interior del tacho.
4. Fase encargada de las rutinas generales de la programación.

2.7.1 Transferencia de las variables de entrada/salida a variables internas

Inicialmente, antes de comenzar el diseño de la primera fase, se realiza un análisis del estado de todas las entradas digitales donde las mismas se transfieren a variables digitales internas del autómeta, así como el valor de las variables de entrada analógicas se guardaron en registros internos. Se usaron variables digitales internas las cuales eran conectadas luego a las variables digitales físicas de salida. Esto es de extraordinaria importancia puesto que por ejemplo, si se desea cambiar una variable de entrada física por otra, tan solo basta con asociarle, una sola vez, al inicio a esta nueva variable de entrada física, la variable interna disponible, sin necesidad de cambiar a lo largo de todo el programa, donde estaba la variable de entrada anterior, la nueva que se desea utilizar.

Una vez realizadas las asignaciones anteriormente explicadas, se entró la fase de uso general, para realizar las atenciones al modo manual, si se cumple que el selector manual/automático esté en manual, o al modo automático, si se cumple que el selector manual/automático esté en automático, según lo que se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 2.3.

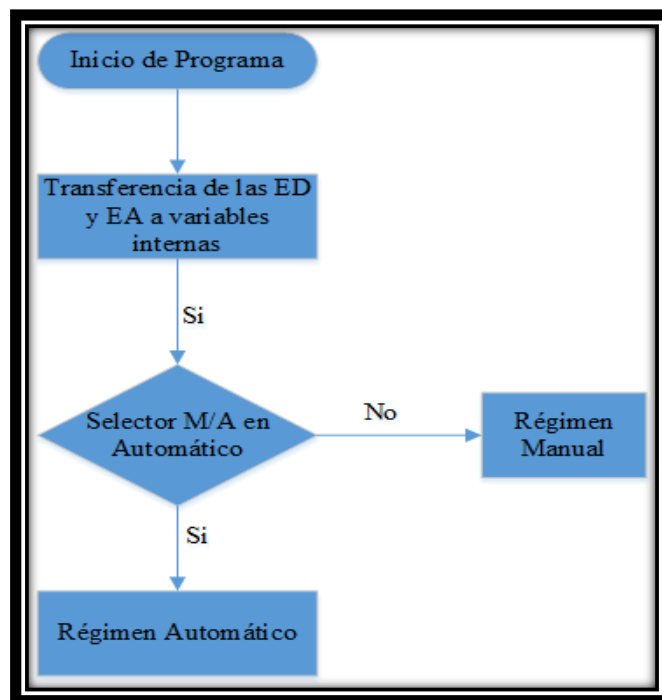


Figura 2.3 Diagrama de flujo para la selección del trabajo en modo manual o automático.

Primera Fase: Formación del grano de azúcar en el proceso de cristalización.

Una vez que el sistema se encuentre trabajando en modo automático, están listas las condiciones para que desde el SCADA se puedan realizar cambios según el operario decida, siempre y cuando se cumplan otra serie de condiciones tales como : cuando el vacío en el cuerpo del tacho sea el necesario para comenzar a cargar el pie de templa; cuando el nivel del pie de templa sea el requerido para comenzar el proceso de cristalización de la sacarosa; cuando se logre que la presión de vapor esté en la zona de trabajo requerida (5-8 lb/plg²) y que la temperatura en el interior del tacho sea igual a 80 0C para que se comience a diluir el pie de semilla cargada inicialmente hasta que alcance la concentración deseada y así lograr estabilizar el vacío para llevar la concentración al valor que el operador desea para realizar la introducción de la semilla en el interior del proceso.

Segunda Fase: Consolidación del grano de azúcar

Una vez ocurrida la introducción de la semilla en el interior del proceso es que se comienzan a formar los granos de azúcar. Debido a que en su inicio son partículas muy pequeñas e imperceptibles a la vista humana, el motivo de la siguiente etapa es la

consolidación del grano, es decir, ganar en tamaño y consistencia. Los estudios realizados (Monserrat 2011) han aportado que para proceder con la ceba de agua para lograr una mejor consolidación del grano, la concentración tiene que aumentar 2 °Bx por encima de la concentración de introducción de semilla en el interior del proceso, es justamente en ese momento cuando se activa el PID de ceba de agua simultáneamente con su tiempo de desactivación introducido por el operador desde el SCADA. Todo esto se realiza con el punto de consigna de la presión de vapor a la calandria en 2 lb/plg² (Ver Figura 2.4).

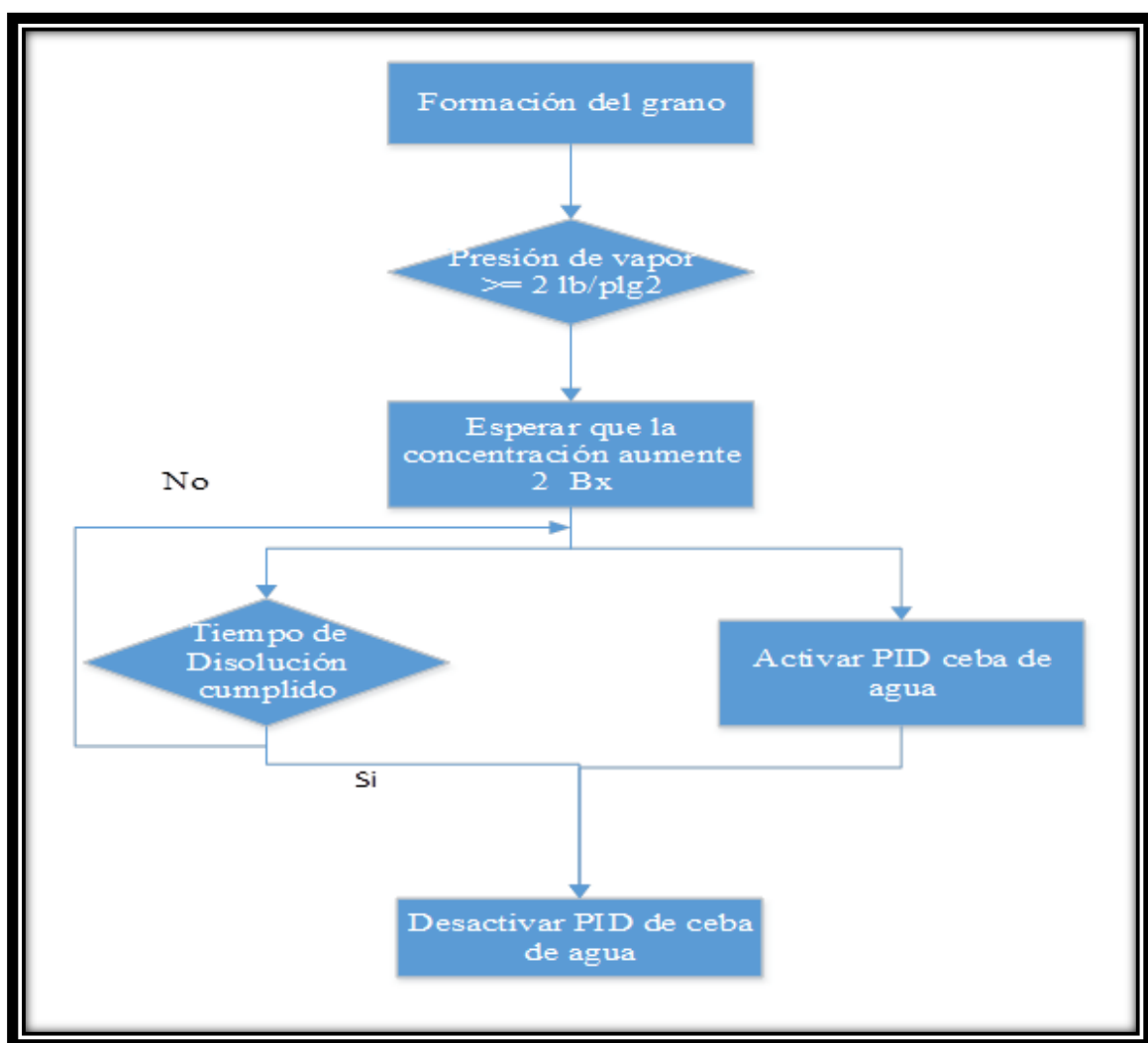


Figura 2.4 Diagrama de flujo para el diseño de consolidación del grano de azúcar.

Tercera Fase: Elevación del nivel del azúcar formada en el interior del tachó

La tercera fase es la encargada de subir el nivel en el tachó para un correcto crecimiento de los cristales anteriormente formados. Como condición principal, a medida que el proceso se está acercando a su fase final se debe tener controlada la concentración, por tanto, la primera condición de esta etapa es activar el PID del lazo concentración. Con esto previamente establecido, se compara el nivel del tachó con el nivel final requerido para la cristalización. Después de lograr lo expuesto anteriormente, se procede al cierre de la válvula de suministro de vapor y desactivación del PID del lazo de concentración, se llega finalmente el fin de la templa (Ver Figura 2.5).



Figura 2.5 Diagrama de flujo para el diseño de elevación del nivel del azúcar formada en el interior del tachó.

CAPÍTULO 3 PRUEBAS Y VALORACIÓN ECONÓMICA-AMBIENTAL

En este capítulo se expone una valoración de las pruebas realizadas al programa con la realización de las simulaciones con las variables más importantes del proceso de cristalización de azúcar, lo cual permitió comprobar su correcto funcionamiento de forma automática. Por último, como aspecto de vital importancia, se realiza una valoración económica y ambiental, sobre todo en lo relativo a las ventajas económicas y cuidado del medio ambiente que aportará la automatización en su conjunto.

3.1 Configuración del FX-3U para la realización de las pruebas

Para la realización de las pruebas locales se usó un PLC tipo FX-3U como el que se instalará en el proceso de cristalización de azúcar. Una vez realizada la programación, con el propósito de evaluar la eficacia del software, se procedió a la compilación del mismo, prueba que arrojó resultados exitosos, condición necesaria para poder proseguir. Finalmente, se estableció la configuración del canal de comunicación, en este caso se usó una de las posibilidades de comunicación del FX-3U vía RS-422 con convertidor a RS-232 utilizando un cable adaptador USB (ver figura 3-1).

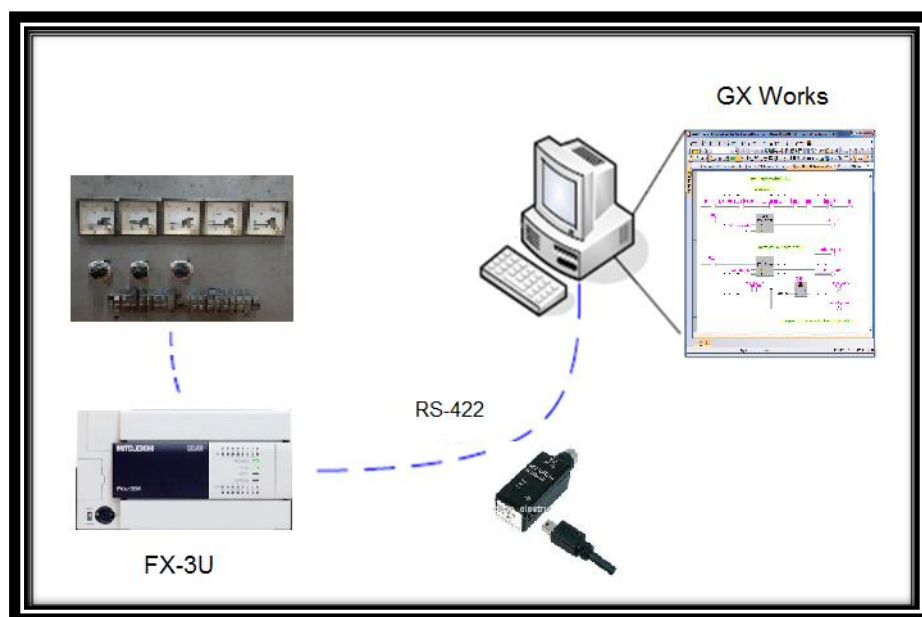


Figura 3.1: Esquema de red de comunicaciones, diseñada para las pruebas locales.

3.2 Pruebas funcionales

Para la realización de las pruebas funcionales a nivel primeramente, se comprobó que todas las entradas del proceso se guardaban correctamente en las variables internas habilitadas con tal fin. En el caso de las variables analógicas, como muestra en el (Anexo IV), la adquisición o muestreo de las variables reales se realizó correctamente así como el almacenamiento en los registros designados con este fin. Por otra parte, se comprobó el trabajo en régimen manual o automático. Estas pruebas se realizaron con el uso del sistema supervisorio (SCADA) diseñado por los compañeros de la entidad que representa este proyecto. La interfaz diseñada para el trabajo, en la misma se cuenta con un botón de selección de régimen manual o automático (Ver Anexo VII). Cuando se selecciona el régimen manual, el sistema abre las válvulas reguladoras de vapor y vacío auxiliar manteniendo cerradas las válvulas de alimentación de agua y meladura. En caso contrario, cuando se activa el régimen automático, las válvulas de alimentación de vapor, vacío auxiliar, alimentación de producto azucarado y ceba de agua, pasan a la posición de cerradas, para comenzar a preparar las condiciones de trabajo. Desde el SCADA, se selecciona la opción de **CRISTALIZACIÓN**, la cual se activa mediante un botón de selección. Después de realizada esta operación aparece una pantalla en el SCADA que se

encarga de fijar los valores con los cuales el operario desea realizar la cristalización. Los mismos se muestran a continuación:

- Presión de vapor en la calandria.
- Vacío en el interior del cuerpo de tacho
- Bx de disolución (Bx al que se quiere disolver la semilla cargada en el interior del tacho)
- Bx de introducción de la semilla en el interior del tacho.
- Bx de ceba de agua (Bx al que se quiere mantener el material dentro del tacho durante el proceso de la ceba de agua)
- Bx subir el tacho (Bx con que se quiere subir el nivel del tacho, luego de terminada la ceba de agua)
- Pie (es el nivel al que queremos cargar el tacho para comenzar el trabajo). Está dado en % de 0 a 100
- Nivel final (Nivel al que se quiere subir el tacho para terminar la templa de cristalización)
- Tiempo de ceba (es el tiempo que se quiere mantener la ceba de agua). Está dado en minutos
- Tiempo de introducción de la semilla en el interior del tacho (es el tiempo que queremos mantener abierta la válvula de introducir semilla). Está dado en segundos.

Después de creadas las condiciones expuestas anteriormente, el operador tiene en el SCADA, la opción de presionar el botón de inicio para comenzar el proceso. Cuando esta acción es realizada, se activa en el diseño una bobina que nos posibilita el permiso de comenzar la ejecución del programa y a su vez la activación de un temporizador de pulsos por un segundo. Dicho temporizador se activa para que al finalizar este tiempo se ejecute el cierre de la válvula de romper vacío ya que para un inicio correcto, la misma debe estar cerrada, puesto que el vacío tiene que crearse en un sistema completamente cerrado (Ver Anexo IX).

Posteriormente, se procede a crear vacío en el interior del cuerpo del tacho cristizador, donde la señal de la bobina permiso de inicio habilita un bloque de comparación. El bloque, compara la variable digital (mando válvula de vacío auxiliar) con la acción de apertura o

cierre de la válvula, siendo la misma normalmente cerrada; dicha válvula se activa cuando recibe una señal digital (1 abierta; 0 cerrada). Es decir, cuando esta recibe un pulso, habilita la válvula de vacío auxiliar provocando pequeños pasos de apertura para que no ocurra una caída de vacío en el interior del cuerpo del tacho, encontrándose cerrada la válvula de romper vacío y el resto de las válvulas del tacho.

Una vez que esté el vacío creado en el interior del tacho, es comparado con el valor del vacío necesario para activar la bobina que refleja que el vacío está en condiciones de operación (vacío sí) y se cierra la válvula de vacío auxiliar. Esta comprobación se realiza mediante la manipulación del primer potenciómetro (ver Anexo VI), donde se varía el vacío en el interior del tacho y se comprueba la apertura o cierre de la válvula de vacío auxiliar.

❖ Fase 1

Cuando se alcance en el interior del tacho un vacío de 21 plg de mercurio, se procede a cargar el pie de semilla, siendo esta la condición de habilitación de las dos válvulas que permiten la adquisición del pie de semilla hacia el proceso. Una válvula, está ubicada cercana al granero y la otra más cerca al proceso, situadas en la misma línea a petición del cliente. Para comprobar el nivel del tacho se realiza primeramente una comparación entre el valor introducido por el operador y el medido por el sensor de nivel. En este caso, para la realización de las pruebas locales se varía el potenciómetro dos mostrado en el anexo VII.

Después de chequeada la adquisición del pie de semilla, se procede al cierre de las válvulas de comunicación entre el semillero y el proceso. En el diseño existen dos bobinas, una indica el cierre de la válvula más cercana al semillero (*abrir_val_paseII*) y la segunda indica el cierre de la segunda válvula que es la más cercana al proceso. Existe también una bobina que indica su cierre después que se desactive el temporizador habilitado durante 2 minutos para que no queden residuos de semilla en la conductora de comunicación entre el semillero y el tacho.

Terminado de cargar el pie, se abren las válvulas de vacío (vacío auxiliar y romper vacío) para disminuir el vacío a un valor menor o igual a 22 plg de mercurio. Cuando se obtiene ese valor, se ejecuta la apertura de la válvula de suministro de vapor en la calandria y se comienza a regular la presión en la calandria en el valor que había fijado el operador anteriormente, hasta que se tenga una temperatura de 80 °C en el material que se introdujo

como pie. Mientras no se alcance la temperatura deseada con el vacío correspondiente para que no exista evaporación y ocurra la disolución, es decir, hasta que la disolución no haya terminado, se mantiene activo el PID suministro de vapor en la calandria. Cuando se logra ese valor de temperatura en el material introducido, se ejecuta en el proceso el cierre de la válvula de suministro de vapor en la calandria.

El chequeo de la temperatura de disolución se realiza con un bloque comparador: si la temperatura es mayor o igual que el valor a comparar, se activa una bobina que indica la existencia de la temperatura necesaria para comenzar la disolución del pie de semilla, lo cual no depende solamente de este factor, sino también de las condiciones expuestas anteriormente.

Con estas condiciones cumplidas comienza el proceso de disolución de la semilla, el sistema procede con la apertura de la válvula de ceba de agua que se activa mediante dos bloques de movimiento de señales digitales de entrada hacia la salida (la entrada es el recorrido del vástago de la válvula). Los mismos, dependen de una serie de condiciones como las que se muestran en el Anexo XI. La condición **disolución ok** genera dos caminos para el cierre o apertura de la válvula de ceba de agua, la cual se mantiene abierta hasta que se obtenga el valor de Bx que se había fijado para la disolución.

Es decir, cuando **disolución ok** se encuentra negada, es que no se ha terminado la disolución de la semilla introducida y la válvula de ceba de agua se encuentra abierta. Cuando sucede lo contrario, se habilita la condición **disolución ok** y se cierra la válvula de ceba de agua.

Una vez disuelto el material introducido en el interior del proceso, se abre la válvula de vapor para comenzar a regular la presión de vapor en la calandria al valor que se había fijado anteriormente y se comienza a restablecer el vacío en el interior del proceso hasta que se encuentre por valores superiores o iguales a 23 pulgadas de mercurio para ir concentrando la disolución.

Posteriormente, para observar el comportamiento de la concentración, se comienza a realizar un chequeo de la misma en el interior del proceso, donde, si la concentración cumple con la condición de comparación (llega al Bx que se fijó como Bx de introducción de la semilla en el interior del proceso), se activa una bobina indicando que la

concentración de la masa presenta un Brix que se encuentra en la zona necesaria para realizar la introducción de la semilla en la disolución. Cumplida esta condición, se realiza el mando de apertura de la válvula de introducción de la semilla en el interior del proceso. Para la realización de esta operación, el operador anteriormente introdujo en el SCADA el tiempo de apertura de la válvula.

El valor introducido en la pantalla del SCADA por el operador está dado en números enteros y el PLC lo procesa en unidades de tiempo. Para ello, se utiliza un bloque de conversión de la información de formato entero a unidades de ingeniería de segundos. Con esta condición cumplida, se precisa que la válvula de introducción de la semilla debe permanecer abierta por el tiempo establecido y para ello se utiliza un bloque temporizador que cuenta el tiempo y se activa mandando una señal digital a la válvula. De esta manera, se realiza su cierre, reflejándose el cumplimiento de esta operación en las reiteradas pruebas de validación.

Una vez cumplido el cierre de la válvula de introducción de la semilla en el interior del proceso, se termina la fase 1 y se da comienzo a la fase 2.

Durante la ejecución del proceso se estableció la activación de diferentes alarmas, en el Anexo XII se puede apreciar que si se abre inesperadamente la válvula de vacío auxiliar, se activa una bobina con nombre alarma de vacío que se proyecta en el SCADA.

❖ Segunda fase

Después de culminar la Fase 1, se activa una bobina que indica el permiso para comenzar la Fase 2, como se muestra en la figura 3.2.

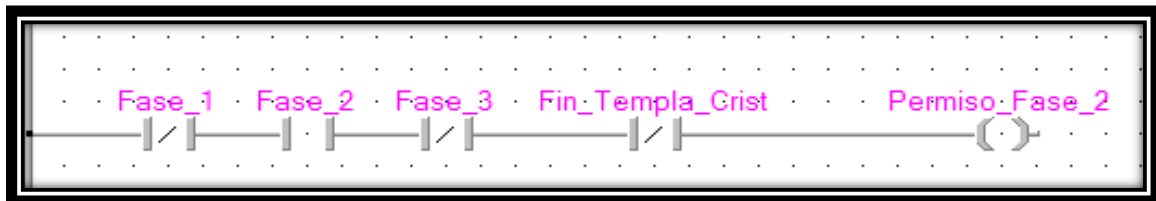


Figura 3.2: Sentencia de inicio de la programación de fase 2

Después de activado el permiso de Fase 2, el primer paso que se realiza en la sección 2 de dicha fase es la programación del reposo que deber realizar el proceso para la correcta

formación de granos. En la primera línea del programa de esta sección se tiene en cuenta el estado de los contactos (Fase 1 y habilitar PID de agua ceba). Este último es el que regula la apertura o cierre de la válvula de agua de ceba. El sistema en el proceso de reposo cambia el valor deseado de presión en la calandria a 2 Lbs/pulg², esperando a que el Bx suba 2.4 °Bx por encima del valor a que se introdujo la semilla en el interior de proceso (valor de la concentración de introducción de semilla en el tacho + 2.4 °Bx).

Una vez realizado el chequeo del aumento de la concentración en 2.4 °Bx, se procede a comparar con la concentración existente en el tacho. Si la misma es mayor o igual a la suma anteriormente expuesta, se activa el PID de agua de ceba, encargado de interrumpir la formación de granos en el proceso de cristalización y mantener el valor de Bx que se había fijado al añadir agua al sistema.

Para fijar el tiempo de ceba de agua, se tuvo en cuenta que el operador desde el SCADA tuviera la posibilidad de introducir el tiempo que él pretendiera para realizar tal operación. El mismo es introducido en enteros y el programa con bloques funcionales lo convierte a escala de tiempo, ya que el autómatas trabaja en base de tiempos. Una vez llevado a base de tiempo, se introduce en un temporizador para que regule el tiempo de agua de ceba, el mismo es habilitado por permiso de fase 2 y habilitación de PID de agua de ceba. Cuando este temporizador cuenta el tiempo establecido, ordena el fin de la fase 2, habilitación de PID de agua de ceba y el comienzo de la Fase 3.

❖ Tercera fase

Con las condiciones iniciales creadas para el inicio de fase 3, se procede a elevar el nivel del tacho con el objetivo de aumentar y darle forma al tamaño del grano de azúcar.

Después de terminada la ceba de agua, el sistema cambia el valor deseado de presión en la calandria al fijado en el comienzo y espera que el Bx suba 1.5 unidades para que los granos alcancen la consistencia y dureza recomendada. Para realizar tal empeño, se activa el PID de alimentación de meladura que ejecuta la apertura de la válvula de alimentación de meladura y así termina la formación de granos de azúcar regulando el Bx al valor que se había fijado hasta que el tacho llegue al nivel final.

Cuando el proceso llegue al nivel final, el sistema cierra la válvula de alimentación de meladura y la válvula de suministro de vapor en la calandria, terminando así la templa de cristalización.

3.3 Valoración económica y ambiental

La agroindustria azucarera UEB Carlos Baliño es una unidad con casi un siglo de experiencia azucarera. La misma ha adquirido una importancia relevante para la economía del país, siendo la única productora de azúcar orgánica en el territorio nacional, con un mercado en expansión hacia el exterior como parte de un ambicioso proyecto de diversificación ecológica que se encuentra en plena ejecución. Para ello el comportamiento eficiente del proceso de cristalización, ayuda a producir y comercializar, azúcares y mieles derivados de la caña de azúcar y producciones agropecuarias orgánicas.

Por otra parte, para determinar otra arista del impacto económico de la automatización del proceso de cristalización de dicha industria, es necesario tener en cuenta el significado económico de la producción de azúcar de la industria. La industria puede llegar a afirmar que el sistema automático del tacho cristizador reduce hasta un 30% el tiempo de la templa por concepto de operación, pero la verdadera ganancia de la automatización del tacho cristizador está dada en la uniformidad del grano que se pueda lograr en este caso, y es porque esto es la solución del problema planteado por la empresa el cual tenía un rechazo de un 50% del grano en la zaranda, es decir la mitad de la azúcar procesada y purgada tenía que ser disuelta para pasar por el mismo proceso otra vez (ZETI 2013). En números esto se refleja muy bien, la industria realiza 6 templeas de cristalizar diaria que representan 260 toneladas de azúcar y de las cuales la mitad se dejan de envasar lo que representa en términos monetarios un 100100.00 USD en el mercado mundial siendo el precio de una tonelada 770.00 USD, pero si a ese monto se le suma el tiempo de operación se puede obtener la automatización de tacho por el concepto de operaciones, por lo que el 30% de reducción del tiempo de trabajo representa en obtención del producto final unas 78 toneladas diarias más que las que se podrían aportar, el cual representa 60060.00 USD de aporte a la industria. En total, la fábrica antes de automatizar el tacho perdía alrededor de 160160.00 USD diarios. Si a eso se le multiplica por los días de zafra que son alrededor de 130 días, arroja una pérdida de 20820800.00 USD por temporadas. Como se puede apreciar

toda la automatización del tacho está en el orden de los 100000.00 USD, como dejan demostrados los números se pagaría en 1 día de zafra solamente, y le dará a la industria un incremento sustancial a la producción de la fábrica.

En relación con todo lo expuesto anteriormente, desde el punto de vista ambiental la implementación de automatización permitirá un manejo más eficiente del jugo tratado en el proceso de cristalización de azúcar, teniendo la obtención del producto final un rol importante hoy en día en Cuba por ser esta industria la única de su tipo. Además este manejo eficiente de dicho proceso trae consigo un ahorro considerable también de energía ya que se reducen los tiempos de realización de cristalizaciones completas. Por último se ha concebido que los componentes de automatización no sean ni contaminantes sonoros, ni del aire, ni de los suelos, ni de las aguas, además de que estén en estrecha armonía con el entorno.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

En la realización de la investigación se cumplieron con las tareas asignadas y los objetivos propuestos. El análisis de los principales resultados de la presente investigación permitió arribar a las siguientes conclusiones:

- Del análisis bibliográfico realizado sobre la cristalización y su automatización se constata la importancia del funcionamiento eficiente de los tachos cristalizadores y los medios técnicos de automatización en especial los PLC.
- La programación del FX-3U, implicó un estudio minucioso de la tarea técnica, lo cual trae implícito la selección de las variables de entrada/salida del proceso, estas garantizan la correcta implementación del esquema de control utilizado.
- Con el diseño de la automatización basada en autómatas programables de la cristalización en la UEB: Central Azucarero “Carlos Baliño y de las pruebas realizadas, permite asegurar que mejora la eficiencia del proceso.

Recomendaciones

Como seguimiento a nuestro tema de investigación, proponemos las siguientes recomendaciones:

- Profundizar en el estudio de la programación de PLC en la carrera, así como expandir el uso de los diferentes lenguajes de programación de los mismos, para buscar diversidad de conocimientos y capacidad de gestión frente a cualquier autómata.
- Extender a otras industrias del país el uso de autómatas no sólo para el trabajo del proceso de cristalización sino en otros procesos dentro y fuera de la industria azucarera por ser tan versátil y ostentar buena fiabilidad y resistencias en ambientes tan agresivos.

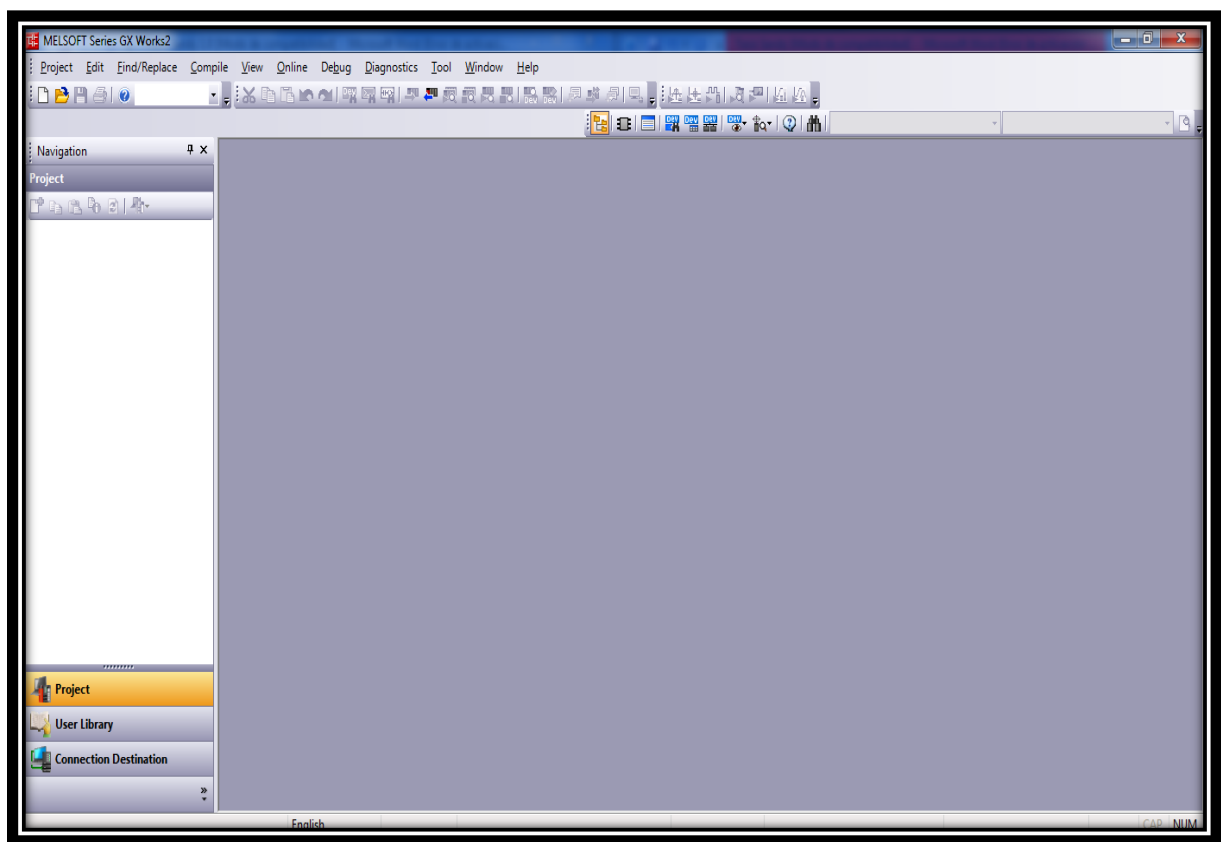
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

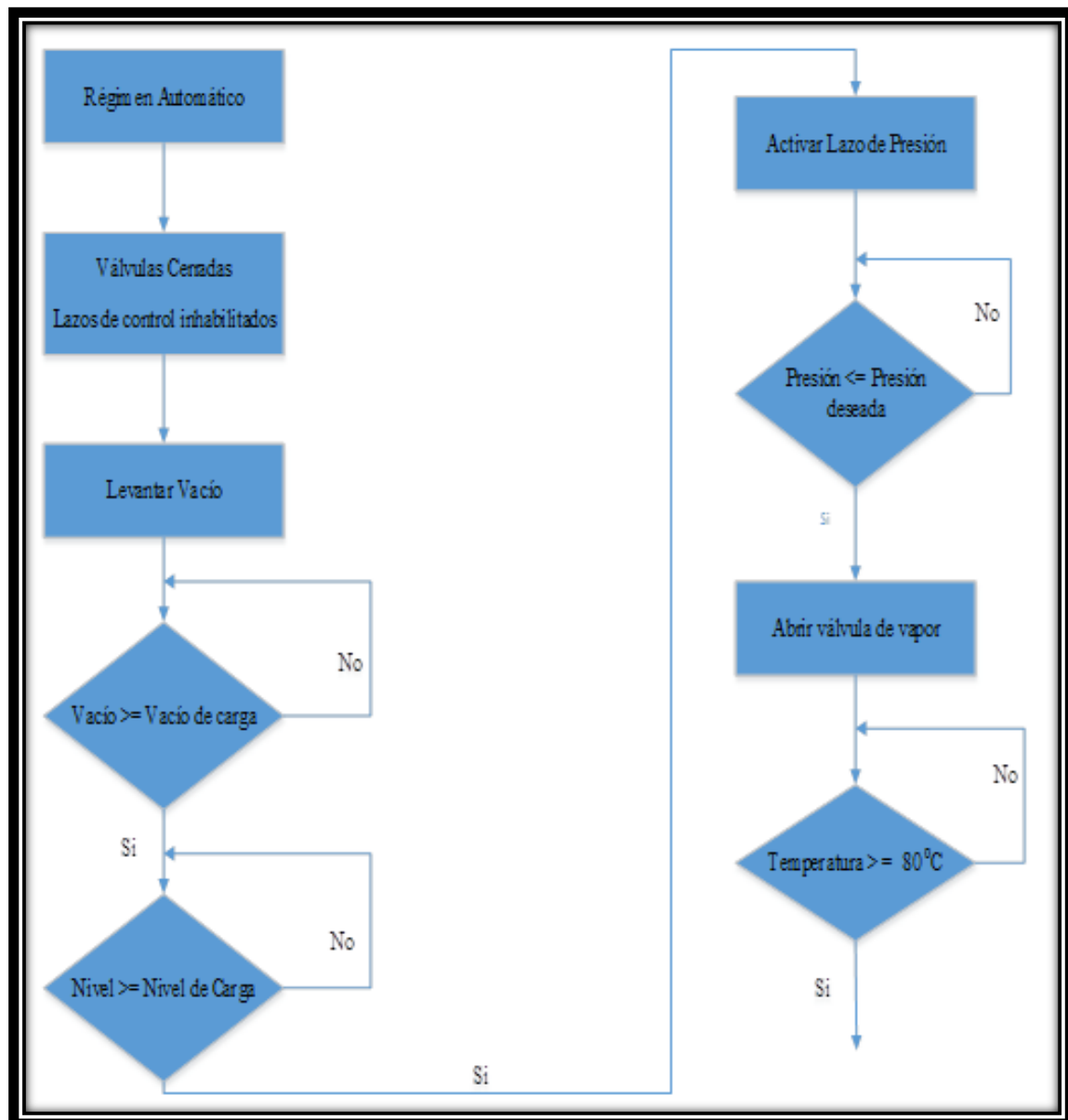
- AZUCAR, I. N. D. I. D. L. C. D. (2004). "Análisis del comportamiento de la producción azucarera en Cuba."
- Castellanos, E. I. (2010). Sistemas de Automatización. Santa Clara, Villa Clara, Cuba, Editorial Samuel Feijóo, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Castellanos, L. P. (2006). "Seminario de las Cátedras Azucareras Álvaro Reynoso de las Universidades Cubanas." Revista ATAC NO. 2/2006.
- CASTELLASNOS, E. I. (2010). Sistemas de Automatización. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.
- Departamento-de-Ingeniería-de-Sistemas-y-Automática.Universidad-de-Oviedo (2005). Autómatas Programables. Visión General. Oviedo, Asturias, España.
- Díaz, R. C. (2010). Implementación de la Interfaz Hombre-Máquina para el Sistema de Automática Pueblo Dunas, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- ELECTRIC, M. (2011). "Programacion de Automatas. Serie FX." 1: 97.
- Fernández, R. F. (2000). "El edificio Inteligente: desafío de la arquitectura y la automática." Revista GIGA, Numero 4.
- Gorini, E. (2013). "Libros de referencias para el azúcar y el alcohol." 46.
- GUARDADO, E. R. Z. (2012). EDWIN ROMEO ZEPEDA GUARDADO, EL SALVADOR.
- HONING, P. (1978). Principios de Tecnología Azucarera. La Habana.
- Hugot, E. and C. C. Ruiz (1967). Manual para Ingenieros Azucareros. La Habana.
- Jenkins, G. H. (1971). Introduccion de la tecnologia del azúcar de caña. La Habana.
- Johnson, T. P. and J. F (2004). "The Florida Sugar Industrytechnologies and trends." Journal American Society Sugar Cane Technologists 24.
- L.A.Bryan-E.A.Bryan (1997). Programmable controllers. Theory and implementation. Atlanta, Georgia, Estados Unidos, Industrial Text Company.
- Langhans, B. (2004). "Crystallization a central competence, the key to success." Vol. 106, No.1265.
- Lezana, S. G. G. (2006). ANALISIS Y GUIA DE MONTAJE DE CENTRIFUGAS BATCH Y CONTINUAS EN INGENIO LA UNION, S.A., UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA.

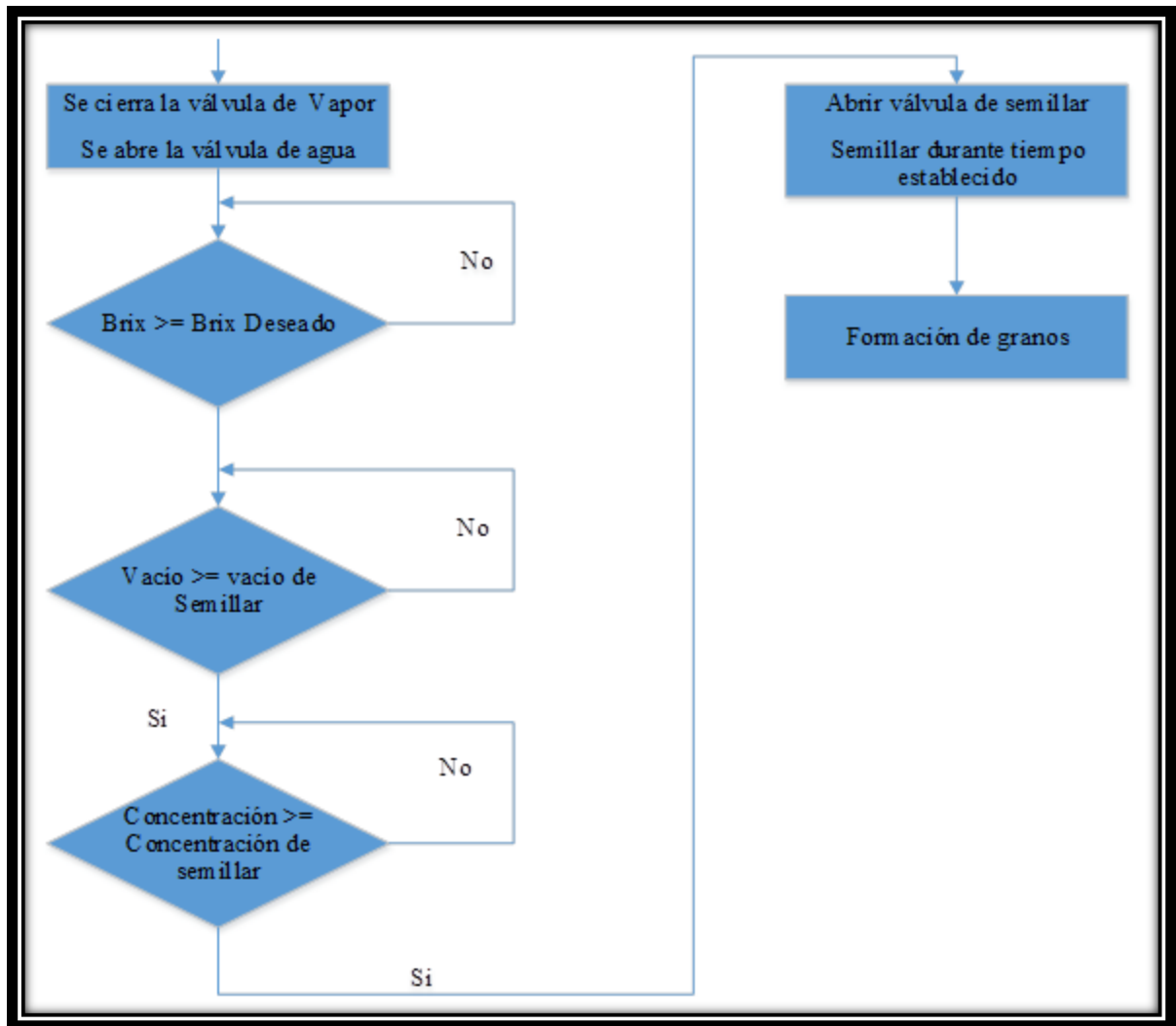
- López, J. A. C. and F. García (1970). El proceso de fabricación de azúcar crudo en los tachos. La Habana.
- Machado, F. P. (2012). "La cocción continua hace más compactas las fábricas de azúcar."
- Mainegra, E. C. (2012). Reseña Histrica del desarrollo de la Industria Azucarera Cubana en el siglo pasado.
- Mauricio, D. R. C. (2012). ANÁLISIS Y EFECTOS DE LOS PROCESOS DE SULFITACIÓN DE JUGO Y MELADURA SOBRE EL COLOR DEL AZÚCAR PRODUCIDA, PARA EL PROCESO DE DISOLUCIÓN EN UNA REFINERÍA, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Meza, L. E. C. (2007). SCADA Systems & Telemetry. Atlantic International University, México.
- Monserat, M. M. (2011). Sistema de supervicion y control del área de cristalización del central azucarero Jesus Rabi. Minaz. La Habana.
- O'Farril, M. E. and L. M. Peralta (2005). "SEGUIMIENTO DE LA CRISTALIZACION DE AZUCAR MEDIANTE PROCESADO DE IMAGEN CON WAVELETS." 5.
- Ogata, K. (1997). Teoría de control moderna.
- PENIN, A. R. (2007). Sistemas SCADAS. Ciudad de Mexico, Mexico.
- Rivera, N. A. and C. R. Gamboa (2007). "Aspectos teóricos y aplicaciones de la operacion unitaria de cristalización ".
- Spencer, E. E. and G. P. Meade (1967). Manual de Azúcar de Caña: para fabricantes de azucar de caña y químicos especializados La Habana.
- Tadeo, F., T. Álvarez, et al. (2000). "SEGUIMIENTO DE LA CRISTALIZACION DE AZUCAR MEDIANTE PROCESADO DE IMAGEN CON WAVELETS." 6.
- TechnoTrade (2005). "BASIC & Ladder for TBox."
- Zayas, M. P. (2008). Automatizacion del proceso de cristalización en la Emp.Azuc."Ramón Ponciano" con uso de tecnologías avanzadas, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
- ZETI (2013). Curso de Tecnología Azucarera. ZETI. Villa Clara.

ANEXOS

Anexo I: Interfaz de inicial del software de programación GX Works



Anexo II a: Diagrama de flujo para el diseño de consolidación del grano de azúcar

Anexo II b: Diagrama de flujo para el diseño de consolidación del grano de azúcar

Anexo III: Variables utilizadas en el diseño de la programación del autómatas FX-3U.

	Label Name	Data Type		Device	Address
1	cerrar_valv_descarga	Bit	...	M12	%MX0.12
2	cerrar_valv_pase	Bit	...	M30	%MX0.30
3	cerrar_valv_ducha	Bit	...	M31	%MX0.31
4	cerrar_valv_romper_vacio	Bit	...	M35	%MX0.35
5	cerrar_valv_escoba	Bit	...	M36	%MX0.36
6	cerrar_valv_semillamiento	Bit	...	M37	%MX0.37
7	nivel_masa_tacho	Word[Signed]	...	D0	%MW0.0
8	concentracion_tacho	Word[Signed]	...	D1	%MW0.1
9	temperatura_tacho	Word[Signed]	...	D2	%MW0.2
10	presion_calandria	Word[Signed]	...	D3	%MW0.3
11	vacio_cuerpo	Word[Signed]	...	D4	%MW0.4
12	mando_val_producto_azucarado	Word[Signed]	...	D25	%MW0.25
13	mando_val_vapor	Word[Signed]	...	D26	%MW0.26
14	mando_val_ceba_agua	Word[Signed]	...	D28	%MW0.28
15	mando_val_vacio_auxiliar	Word[Signed]	...	D29	%MW0.29
16	inicio	Bit	...	M20	%MX0.20
17	manual	Bit	...	M14	%MX0.14
18	automatico	Bit	...	M14	%MX0.14
19	cristalizacion	Bit	...	M13	%MX0.13
20	mejora_grano	Bit	...	M18	%MX0.18
21	detener_templa	Bit	...	M41	%MX0.41
22	sp_vacio_tacho	Word[Signed]	...	D100	%MW0.100
23	AM_val_agua_inyeccion	Bit	...	M50	%MX0.50
24	LR_val_agua_inyeccion	Bit	...	M108	%MX0.108
25	KP_val_agua_inyeccion	Word[Signed]	...	D306	%MW0.306

	Label Name	Data Type		Device	Address
26	TI_val_agua_inyeccion	Word[Signed]	...	D307	%MW0.307
27	TD_val_agua_inyeccion	Word[Signed]	...	D309	%MW0.309
28	sp_presion_vapor	Word[Signed]	...	D101	%MW0.101
29	AM_presion_vapor	Bit	...	M51	%MX0.51
30	LR_presion_vapor	Bit	...	M109	%MX0.109
31	KP_presion_vapor	Word[Signed]	...	D300	%MW0.300
32	TI_presion_vapor	Word[Signed]	...	D301	%MW0.301
33	TD_presion_vapor	Word[Signed]	...	D302	%MW0.302
34	sp_concentracion_semillamiento	Word[Signed]	...	D50	%MW0.50
35	Pie_Cristaliz	Word[Signed]	...	D37	%MW0.37
36	AM_val_producto_azucarado	Bit	...	M52	%MX0.52
37	LR_val_producto_azucarado	Bit	...	M110	%MX0.110
38	KP_val_producto_azucarado	Word[Signed]	...	D303	%MW0.303
39	TI_val_producto_azucarado	Word[Signed]	...	D304	%MW0.304
40	TD_val_producto_azucarado	Word[Signed]	...	D305	%MW0.305
41	sp_concentracion_ceba	Word[Signed]	...	D34	%MW0.34
42	AM_val_ceba_agua	Bit	...	M53	%MX0.53
43	LR_val_ceba_agua	Bit	...	M111	%MX0.111
44	KP_val_ceba_agua	Word[Signed]	...	D309	%MW0.309
45	TI_val_ceba_agua	Word[Signed]	...	D310	%MW0.310
46	TD_val_ceba_agua	Word[Signed]	...	D311	%MW0.311
47	vacio_auxiliar	Word[Signed]	...	D4	%MW0.4
48	NivelFin_cristaliz	Word[Signed]	...	D58	%MW0.58
49	Pie_Ceder	Word[Signed]	...	D65	%MW0.65
50	Nivel_Comercial	Word[Signed]	...	D66	%MW0.66

	Label Name	Data Type		Device	Address
51	T_Semillamiento	Word[Signed]	...	D59	%MW0.59
52	T_AguaCristal	Word[Signed]	...	D60	%MW0.60
53	SP_Comercial	Word[Signed]	...	D61	%MW0.61
54	SP_Punto	Word[Signed]	...	D62	%MW0.62
55	SP_Concent	Word[Signed]	...	D63	%MW0.63
56	T_LimpEscoba	Word[Signed]	...	D64	%MW0.64
57	POSC_ValvVapor_GOT	Word[Signed]	...	D46	%MW0.46
58	POSC_ValvProdAzuc_GOT	Word[Signed]	...	D47	%MW0.47
59	POSC_ValvAgua_GOT	Word[Signed]	...	D48	%MW0.48
60	POSC_ValvVacioauxiliar_GOT	Word[Signed]	...	D52	%MW0.52
61	permiso_inicio	Bit	...	M10	%MX0.10
62	Fin_Escoba	Bit	...	M21	%MX0.21
63	Fin_Templa_Crist	Bit	...	M22	%MX0.22
64	Fin_Pase	Bit	...	M23	%MX0.23
65	Fin_Templa_Comercial	Bit	...	M24	%MX0.24
66	Fin_Descarga	Bit	...	M25	%MX0.25
67	Fase_1	Bit	...	M26	%MX0.26
68	Fase_2	Bit	...	M27	%MX0.27
69	Fase_3	Bit	...	M28	%MX0.28
70	Alama_Vacio	Bit	...	M29	%MX0.29
71	val_descarga_abierta	Bit	...	X000	%IX0
72	val_descarga_cerrada	Bit	...	X007	%IX7
73	val_escoba_abierta	Bit	...	X005	%IX5
74	val_escoba_cerrada	Bit	...	X014	%IX12
75	val_ducha_abierta	Bit	...	X003	%IX3

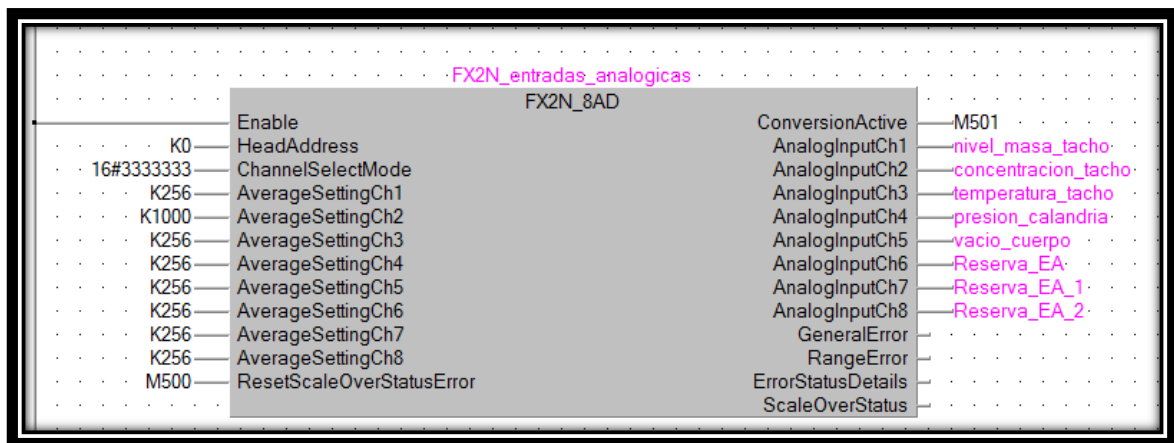
	Label Name	Data Type		Device	Address
76	val_ducha_cerrada	Bit	...	X012	%IX10
77	val_pase_abierta	Bit	...	X002	%IX2
78	val_pase_cerrada	Bit	...	X011	%IX9
79	val_romper_vacio_abierta	Bit	...	X004	%IX4
80	val_romper_vacio_cerrada	Bit	...	X013	%IX11
81	abrir_val_descarga	Bit	...	Y000	%QX0
82	abrir_val_pase	Bit	...	Y002	%QX2
83	abrir_val_ducha	Bit	...	Y003	%QX3
84	abrir_val_romper_vacio	Bit	...	Y011	%QX9
85	abrir_val_escoba	Bit	...	Y005	%QX5
86	abrir_val_semillamiento	Bit	...	Y006	%QX6
87	salida_pid_agua_inyeccion	Word[Signed]	...	D211	%MW0.211
88	salida_pid_presion_vapor	Word[Signed]	...	D212	%MW0.212
89	salida_pid_producto_azucarado	Word[Signed]	...	D213	%MW0.213
90	salida_pid_agua_ceba	Word[Signed]	...	D214	%MW0.214
91	salida_pid_vacio_general_y_auxil	Word[Signed]	...	D215	%MW0.215
92	var_pid_concentracion	Word[Signed]	...	D198	%MW0.198
93	var_pid_vacio	Word[Signed]	...	D196	%MW0.196
94	var_nivel	Word[Signed]	...	D203	%MW0.203
95	var_pid_vapor	Word[Signed]	...	D197	%MW0.197
96	var_temp_masa	Word[Signed]	...	D202	%MW0.202
97	autorizo_cristalizacion	Bit	...	M42	%MX0.42
98	autorizo_mejora_grano	Bit	...	M43	%MX0.43
99	reserva	Word[Unsigned]/Bit	...	D8	%MW0.8
100	resrva_sa	Word[Signed]	...	D30	%MW0.30

	Label Name	Data Type		Device	Address
101	reserva_sa_1	Word[Signed]	...	D31	%MW0.31
102	sp_presion_vapor_op	Word[Signed]	...	D53	%MW0.53
103	permiso_manual	Bit	...	M86	%MX0.86
104	permiso_automatico	Bit	...	M85	%MX0.85
105	BP_abrir_val_descarga	Bit	...	M44	%MX0.44
106	BP_abrir_val_pase	Bit	...	M45	%MX0.45
107	BP_abrir_val_ducha	Bit	...	M46	%MX0.46
108	BP_abrir_val_mielA	Bit	...	M47	%MX0.47
109	BP_abrir_val_mielB	Bit	...	M48	%MX0.48
110	BP_abrir_val_romper_vacio	Bit	...	M49	%MX0.49
111	BP_abrir_val_escoba	Bit	...	M38	%MX0.38
112	BP_abrir_val_semillamiento	Bit	...	M39	%MX0.39
113	val_vacio_general_abierta	Bit	...	M60	%MX0.60
114	val_vacio_auxiliar_abierta	Bit	...	M61	%MX0.61
115	valor_vacio_general	Bit	...	M62	%MX0.62
116	vacio_general_ok	Bit	...	M63	%MX0.63
117	salida_pid_vacio_auxiliar	Word[Signed]	...	D216	%MW0.216
118	habilitar_pid_vapor	Bit	...	M64	%MX0.64
119	mando_manual_val_vapor	Word[Signed]	...	D117	%MW0.117
120	marca_1	Bit	...	M8013	%MX0.8013
121	habilitar_pid_vacio	Bit	...	M65	%MX0.65
122	mando_manual_val_agua_inyecc	Word[Signed]	...	D116	%MW0.116
123	nivel_pie_ok	Bit	...	M66	%MX0.66
124	recuperar_nivel	Bit	...	M67	%MX0.67
125	nivel_final_crist_ok	Bit	...	M68	%MX0.68

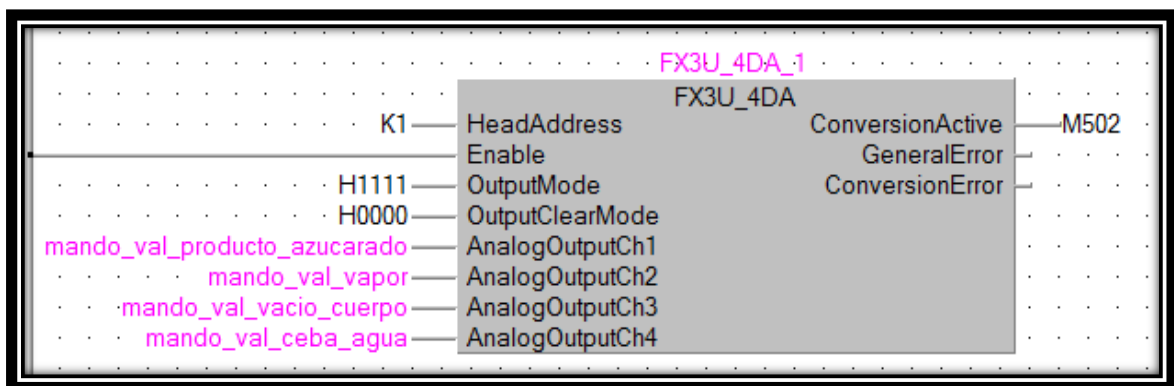
	Label Name	Data Type		Device	Address
126	concent_crist_ok	Bit	...	M69	%MX0.69
127	SP_pid_val_prod_azucarado	Word[Signed]	...	D102	%MW0.102
128	EF_2	Time	...		
129	SP_pid_val_ceba	Word[Signed]	...	D103	%MW0.103
130	Permiso_Fase_2	Bit	...	M70	%MX0.70
131	habilitar_pid_agua_ceba	Bit	...	M71	%MX0.71
132	T_Fase2_crist	Time	...		
133	mando_manual_val_agua_ceba	Word[Signed]	...	D119	%MW0.119
134	Permiso_fase_3	Bit	...	M72	%MX0.72
135	mando_manual_val_producto_az	Word[Signed]	...	D118	%MW0.118
136	BP_mejora_meladura	Bit	...	M73	%MX0.73
137	Pie_ceder_validado	Word[Signed]	...	D51	%MW0.51
138	nivel_pase_ok	Bit	...	M76	%MX0.76
139	Pase	Bit	...	M77	%MX0.77
140	Autorizar_pase	Bit	...	M78	%MX0.78
141	nivel_final_mejora	Bit	...	M79	%MX0.79
142	Pie_Comercial	Word[Signed]	...	D37	%MW0.37
143	habilitar_pid_concentracion_com	Bit	...	M80	%MX0.80
144	Descarga	Bit	...	M12	%MX0.12
145	autorizar_descarga	Bit	...	M81	%MX0.81
146	Inicio_escoba	Bit	...	M83	%MX0.83
147	T_E	Time	...		
148	Reserva_EA	Word[Signed]	...	D5	%MW0.5
149	const_0	Word[Signed]	...	D250	%MW0.250
150	const_10	Word[Signed]	...	D251	%MW0.251

	Label Name	Data Type		Device	Address
201	subir_manual_cebagua	Bit	...	M121	%MX0.121
202	Bajar_manual_cebagua	Bit	...	M122	%MX0.122
203	subir_manual_prodazuc	Bit	...	M115	%MX0.115
204	Bajar_manual_prodazuc	Bit	...	M116	%MX0.116
205	habilitar_pid_conc_fase3	Bit	...	M136	%MX0.136
206	Temp_disolucio_ok	Bit	...	M137	%MX0.137
207			...		
208			...		
209			...		

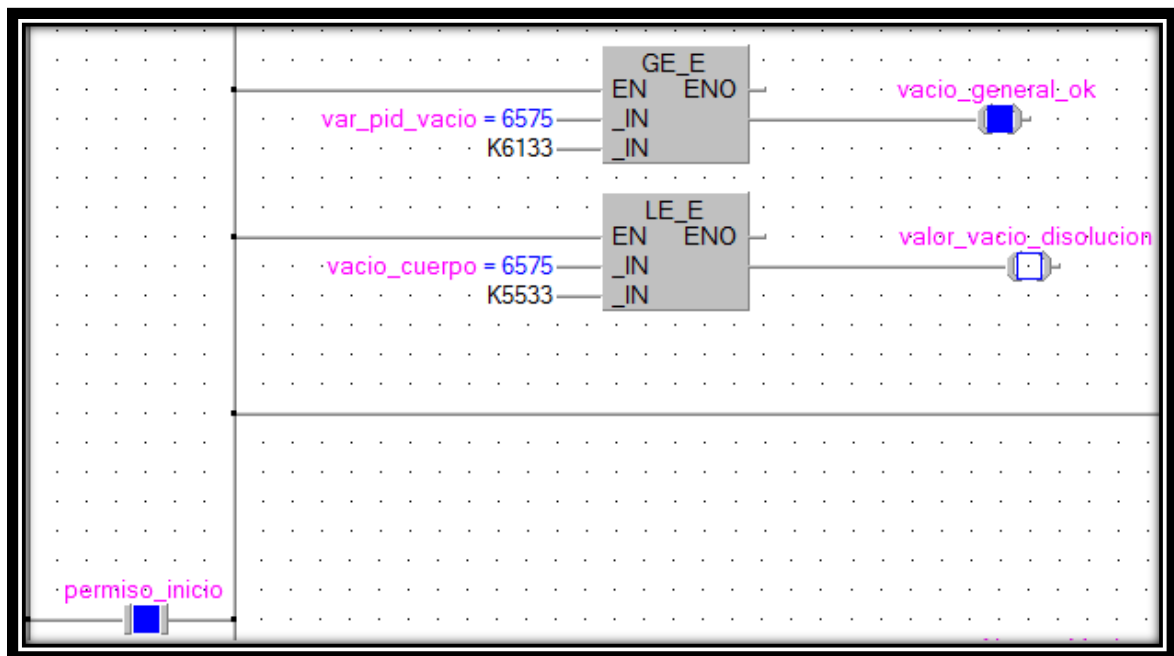
Anexo IV: Bloque de asignación de las variables de entradas analógicas



Anexo V: Bloque de asignación de las variables de salidas analógicas



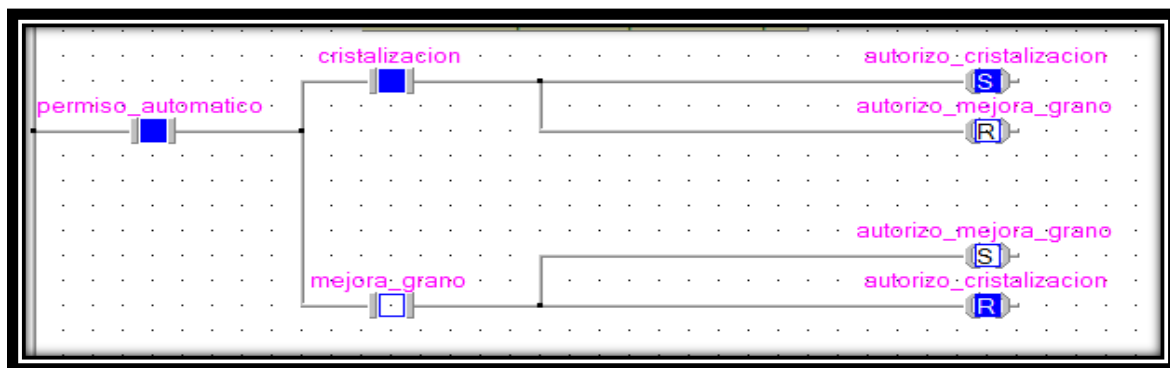
Anexo VI: Simulación de la existencia del vacío necesario para el comienzo de la cristalización



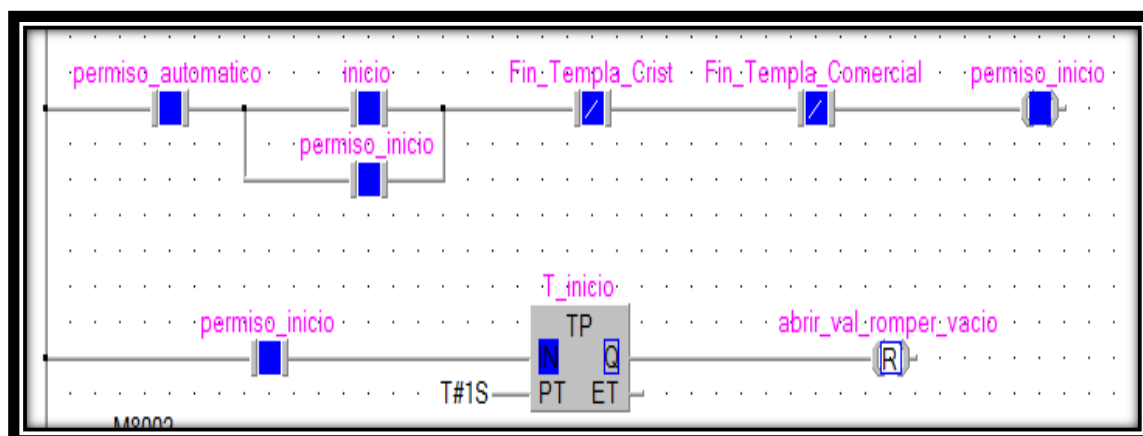
Anexo VII: Panel de potenciómetros utilizados para la realización de la pruebas.



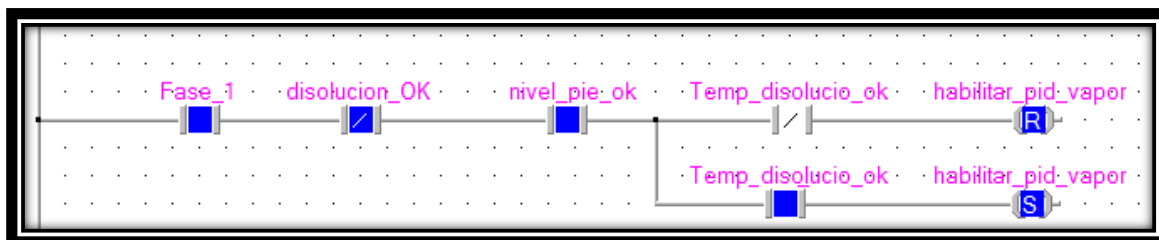
Anexo VIII: Selección de cristalización



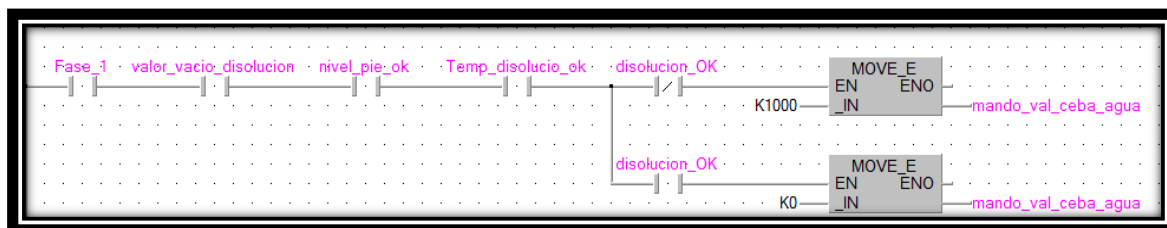
Anexo IX: Condiciones de comienzo del diseño así como la apertura de la válvula de romper vacío



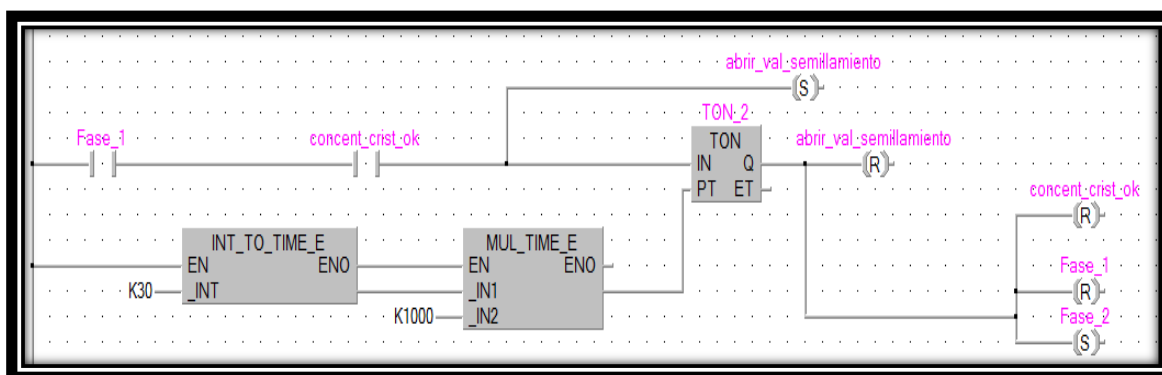
Anexo X: Habilitación del PID de vapor



Anexo XI: Chequeo de disolución del pie de semilla



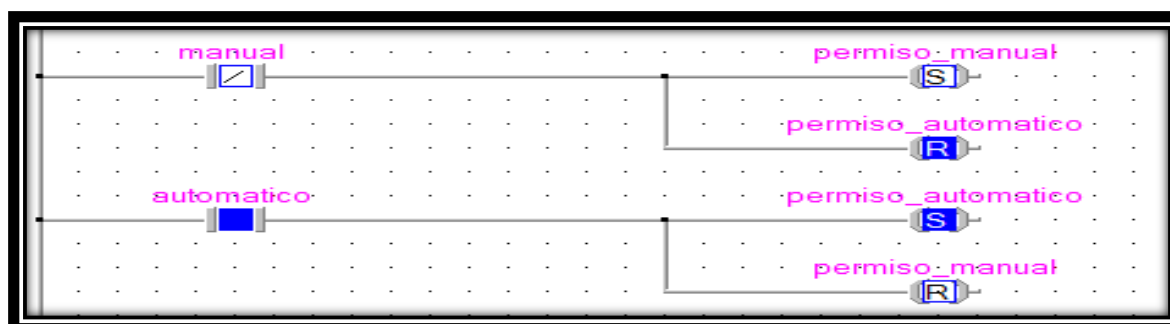
Anexo XII: Condición de semillar y fin de fase 1

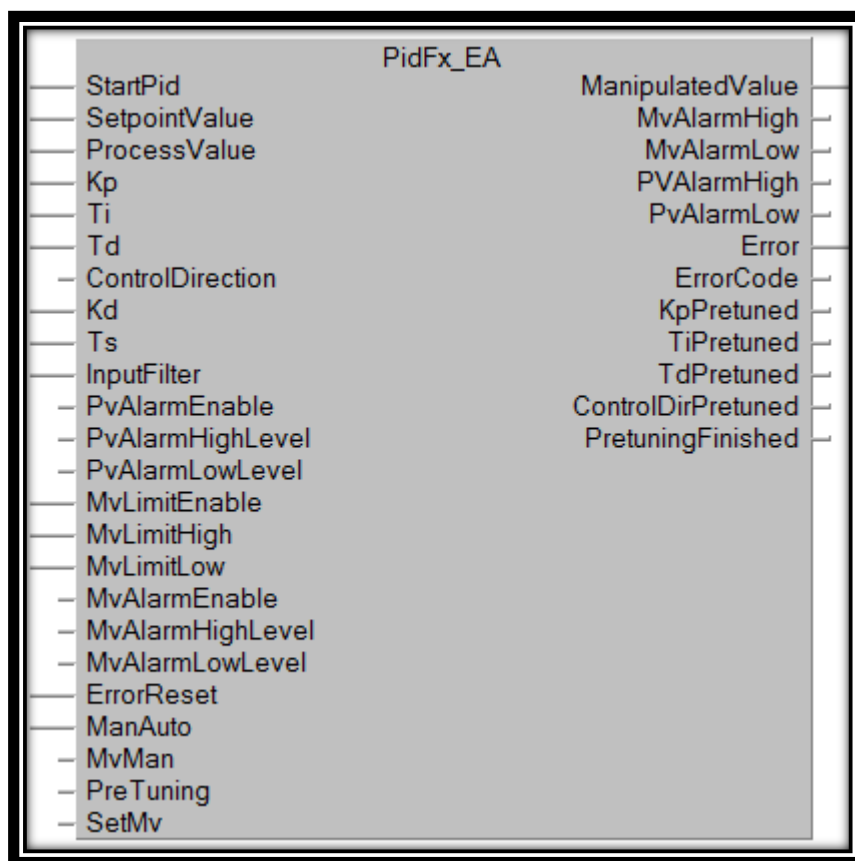


Anexo XIII: Alarma de vacío



Anexo XIV: Selección manual/automático



Anexo XV: Bloque PID utilizado para el control de los lazos de regulación del proceso

Anexo XVI: Carta de certificación del correcto diseño de las secuencias del programa.UEB CENTRAL AZUCARERO
Carlos Baliño

VILLA CLARA

Fecha: 08/05/2014

Durante el período final de la zafra se realizaron pruebas de la secuencia del funcionamiento del programa realizado para tacho para cristalizar en automático en la UEB Central Azucarero "Carlos Baliño".

Concluyendo que cumple con los requerimientos de la tarea técnica entregada.

Para que conste:

Ing. Idelvys Cruz Bacallao

Esp. Principal en tecnologías.

de las comunicaciones, la electrónica,
la automática y los servicios técnicos