

**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**Facultad de Ingeniería Eléctrica**  
**Departamento de Automática y Sistemas Computacionales**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Modificación de Programas del Autómata e Interfaz  
HMI empleados en la Modernización de Sistema  
Automatizado de Control de Centrífugas**

**Autor: Alejandro Valdés Romero**

**Tutores: Ing. Guillermo Artiles Jaramillo**

**Dr. C. Boris Luis Martínez Jiménez**

**Consultante: Ing. Rigoberto Camacho Sánchez**

**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**

**Modificación de Programas del Autómata e Interfaz HMI  
empleados en la Modernización de Sistema Automatizado  
de Control de Centrífugas**

**Autor: Alejandro Valdés Romero**

E-mail: [avaldes@uclv.edu.cu](mailto:avaldes@uclv.edu.cu)

**Tutores: Ing. Guillermo Artiles Jaramillo**

Dpto. de Proyecto y Puesta en Marcha. ZETI Villa Clara.

E-mail: [guillermo.artiles@zetivc.azcuba.cu](mailto:guillermo.artiles@zetivc.azcuba.cu)

**Dr. C. Boris Luis Martínez Jiménez**

Dpto. de Automática. Facultad de Ing. Eléctrica. UCLV.

E-mail: [boris@uclv.edu.cu](mailto:boris@uclv.edu.cu)

**Consultante: Ing. Rigoberto Camacho Sánchez**

Dpto. de Proyecto y Puesta en Marcha. ZETI Villa Clara.

E-mail: [camacho@vc.azcuba.cu](mailto:camacho@vc.azcuba.cu)

**Santa Clara**

**2014**

**"Año 56 de la Revolución"**



Hago constar que el 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 publicado sin autorización de la Universidad. En esos casos, la publicación total, parcial o la elaboración de cualquier artículo que se derive de esta investigación, cuentan con la co-autoría del tutor y resulta de referencia obligada esta obra. El incumplimiento de esta cláusula, puede llevar consigo el inicio de procesos de plagio.

---

Alejandro Valdés Romero

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.

---

Alejandro Valdés Romero

Autor

---

Guillermo Artiles Jaramillo

Tutor

---

Boris Luis Martínez Jiménez

Tutor

Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_\_\_\_

## PENSAMIENTO

*La ciencia no es más que un refinamiento  
del pensamiento cotidiano.*

*Albert Einstein*

## DEDICATORIA

- A mis padres Nancy y René, por ser guías en mi educación*
- A toda mi familia, por ser siempre incondicional conmigo*
- A mi novia Ahyní, por apoyarme en todo momento de la vida*

*A todos ustedes les dedico esta tesis y mis logros estudiantiles, que no hubieran sido posibles si no los tuviera como parte de mí*

## AGRADECIMIENTOS

- A los profesores de la carrera, que desde primer año nos han inculcado todos los conocimientos y valores que nos llevamos de la Universidad Central*
- A mis tutores Guillermo y Boris, por ser puntales decisivos con sus experiencias en la realización de esta tesis*
- A todo el colectivo del ZETI, que me acogió como uno más y compartió conmigo la sabiduría adquirida a lo largo de los años*
- A la profesora Mimi, por poner su granito de arena en la culminación de este trabajo*
- A todos los amigos que confiaron en mí*

## RESUMEN

Existe en el central Jesús Rabí, un sistema de control en la quinta máquina de la batería de centrífugas que data de los años 80, sistema que presenta numerosas fallas y en la actualidad no se tienen las piezas de repuesto, por ser una tecnología obsoleta. Se propone entonces, modernizar el sistema de control de dicha máquina para que se reduzcan las numerosas paradas por roturas y las demoras en el proceso. Como objetivos de esta investigación se encuentran la modificación del programa del autómatas Mitsubishi y el rediseño de algunas de las pantallas del *HMI* (son las siglas en inglés de Interfaz Hombre Máquina), ambos utilizados en la modernización de la centrífuga. Con la nueva propuesta también se logra un mayor número de ciclos/hora de cargue y descargue, obteniéndose más azúcar por turno de trabajo. Los resultados alcanzados pueden ser perfectamente aplicados a centrífugas de todo el país que requieran modernización, por lo que este trabajo tiene actualidad e impacto económico. El programa se realizó en lenguaje estructurado que brinda amplias posibilidades al programador a la hora de la revisión del código y una reducción del tiempo de detección de fallas estando en el central. Los cambios en las pantallas del *HMI* tuvieron aceptación por parte de los operarios de las centrífugas.

## ÍNDICE

<b>PENSAMIENTO .....</b>	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>V</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1. CENTRÍFUGAS EN LA INDUSTRIA AZUCARERA Y LOS ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS.....</b>	<b>6</b>
1.1 Historia y generalidades de las centrífugas.....	6
1.2 Particularidades de la centrífuga discontinua o batch.....	9
1.3 Descripción del Ciclo de Centrifugado.....	11
1.4 Sistemas de Control de los Accionamientos Eléctricos.....	14
1.4.1 Accionamientos en motores de Corriente Continua.....	16
1.4.2 Accionamientos en motores de Corriente Alterna.....	18
1.5 Tendencia moderna del Accionamiento Eléctrico.....	19
1.6 Centrífugas en Cuba.....	21
1.7 Problemas frecuentes que se encontraban en las máquinas.....	23
1.8 Consideraciones finales del capítulo.....	25
<b>CAPÍTULO 2. HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADO EN LA MODERNIZACIÓN DE LA CENTRÍFUGA .....</b>	<b>27</b>
2.1 Propuesta de Automatización.....	27
2.2 Equipamiento que se usa en la modernización de la centrífuga.....	28
2.2.1 Electroválvulas.....	29
2.2.2 Sensores Inductivos.....	31
2.2.3 Autómata.....	33
2.2.4 Convertidor de Potencia.....	35
2.3 Interacción entre los elementos del sistema de control.....	39
2.4 Software a utilizar para la programación del autómata.....	40
2.5 Software a utilizar para la programación del HMI.....	42
2.6 Software a utilizar para el convertidor ABB.....	44
2.7 Software a utilizar para la realización de planos.....	45
2.8 Consideraciones finales del capítulo.....	47

<b>CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA MODERNIZACIÓN .....</b>	<b>49</b>
3.1 Planos elaborados para la realización del proyecto .....	49
3.2 Diagrama de flujo del proceso .....	52
3.3 Procesamiento de alarmas en PLC y su presentación en el HMI.....	53
3.4 Resultados de las pruebas del panel y del equipamiento.....	56
3.5 Resultados de la programación y el diseño.....	57
3.6 Análisis técnico-económico .....	62
3.7 Impacto medioambiental del proyecto .....	65
3.8 Consideraciones finales del capítulo.....	66
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>72</b>

## **INTRODUCCIÓN**

La caña de azúcar es una planta originaria del sureste asiático y fue introducida en América por los españoles en el siglo XVII. Generalmente crece en suelos planos, profundos y bien drenados, requiere de altas temperaturas durante su crecimiento, aproximadamente 27 °C, mucha luz solar y abundantes precipitaciones.

La industria azucarera desempeña un papel muy importante para el crecimiento de la economía del país. La misma permite llevar a cabo el aprovechamiento de los recursos naturales de zonas cañeras, la reutilización del terreno y la obtención de azúcar crudo y refino, tanto para cubrir las necesidades de consumo de la población, garantizar la demanda de ramas de la economía como la producción de medicamentos, el turismo y como rubro para la exportación (Girón Lezana, 2006).

Resultados de investigaciones de los últimos años, tanto en Cuba como en otros países, demuestran que a partir de la caña de azúcar y de los productos de la industria azucarera, se pueden obtener un elevado número de productos y subproductos de alta demanda y valor agregado como son el bagazo y las mieles finales. El bagazo se usa para la producción de tableros aglomerados, papeles, cartones, derivados de celulosa y productos químicos como el furfural o el xilitol. Las mieles pueden ser transformadas por vía biotecnológica en alcoholes de distintos usos, proteína unicelular para uso forrajero, aminoácidos y ácidos orgánicos.

El proceso productivo que se desarrolla en torno a la caña y la extracción del azúcar y subproductos, comienza con la llegada al central de la caña, que se deposita en la estera alimentadora y pasa por: rompebultos, niveladores y cuchillas, que preparan la caña para el recorrido por las diferentes áreas del central. Áreas como los molinos, el colador rotatorio, calentadores, clarificador y filtro donde ya se trabaja con el jugo extraído y se procesa rigurosamente. Seguidamente se encuentran los pre-evaporadores y evaporadores donde se evapora la mayor cantidad de agua del jugo, para bombearlo hacia los tachos donde se forma el grano de azúcar y se le da crecimiento, de los tachos, la masa cocida se traslada hacia las centrífugas.

Las centrífugas, datan del siglo XIX y básicamente se componen de un canasto y un motor que mueve el mismo. Las mismas son de gran importancia ya que en ellas se

separan las mieles finales del azúcar crudo o refino, esta última se traslada hacia los secadores y de los secadores se ensaca o se almacena a granel (Hugot, 1986).

Desde sus inicios, la eficiencia de los centrales azucareros se basa en la constante modernización y automatización de su maquinaria. En Cuba, esta modernización se desarrolla bajo la premisa de que las inversiones sean recuperables en al menos cinco períodos de zafra. Un área de relevancia a considerar para estas inversiones es el área de centrifugado ya que la centrifugación es parte indispensable en la obtención del azúcar pues al lograr más ciclos/hora de cargue y descargue se obtiene proporcionalmente más azúcar, más mieles y un índice de eficiencia y productividad mayor, de todo el equipamiento.

El central Jesús Rabí, ubicado en la provincia de Matanzas, posee un área de centrífugas discontinuas compuesta por una batería de seis centrífugas. Dicha batería se comenzó a modernizar desde principios del 2010, específicamente el sistema automatizado de control de cada máquina de forma individual. En el año 2013 la modernización llegó a la quinta máquina y es sobre esta, que se basa este trabajo.

Se empezó el proyecto con un levantamiento del equipamiento reutilizable, se tomaron los datos y características precisas del proceso en cuestión y se realizó el dibujo de todos los planos. Luego, se seleccionó la nueva instrumentación que correspondiera con los requerimientos del proceso y se programó el autómatas o *PLC* (son las siglas en inglés de Controlador Lógico Programable) concebido para el control del proceso dada las características de la máquina. Posterior a estos eventos lo que corresponde es hacer las pruebas del panel de conjunto con el equipamiento y consecutivamente realizar la puesta en marcha de todo el sistema.

El programa original del *PLC* que se ha venido utilizado en la modernización de las máquinas anteriores, ha presentado varios problemas y fallas. Estos fundamentalmente están relacionados con la extensión y complejidad del código, por lo que detectar una falla en el sistema automático durante la operación del central se torna tedioso y estresante, ya que al parar la centrífuga, todo el proceso productivo del ingenio se detiene. La interfaz *HMI* diseñada para que el operador supervise la centrífuga presenta problemas como malos contrastes entre el fondo y las ventanas,

un exceso de información en las mismas, así como un direccionamiento que no está totalmente organizado. Se puede decir también, que no existe una documentación descriptiva en la empresa encargada de la modernización (ZETI V.C.), que brinde a cualquier personal calificado e interesado, información detallada de como se hace todo el proceso de modernización de una centrífuga discontinua ASEA. Todo ello constituye la **situación problemática** de este trabajo.

Como consecuencia, se plantea la necesidad de realizar una investigación que permita mejorar el programa del *PLC* y de la interfaz *HMI*, ambos utilizados en la modernización antes mencionada. Se hace necesario también, dejar documentado el proceso de modernización de la quinta máquina de la batería de centrífugas ASEA. Por tanto, para dar solución a la situación problemática se ha planteado como **objetivo general** de esta tesis:

Modificar los programas del autómatas y de la interfaz *HMI* empleados en la modernización del sistema automatizado de la quinta máquina de la batería de centrífugas, existente en la UEB “Central Azucarero Jesús Rabí”, para aumentar el rendimiento del proceso.

Como objetivos específicos se tiene:

- Analizar la documentación existente relacionada con el funcionamiento de las centrífugas azucareras y los accionamientos eléctricos.
- Describir el proceso de modernización del sistema de control de una centrífuga discontinua.
- Modificar el programa del *PLC* Mitsubishi que se usó en la modernización.
- Mejorar algunas de las pantallas del panel táctil buscando que sean amigables e intuitivas, para que el operador realice con seguridad el manejo del proceso.
- Evaluar el funcionamiento del conjunto *hardware* y *software*, para la puesta en marcha del sistema.

Como **posible impacto**, se encuentra la obtención de mayor eficiencia en el proceso y la disminución del costo por peso de la producción de azúcar obtenida. No serán necesarias las asistencias técnicas para revisar el motor o sus tarjetas de control, ya que al realizar los períodos transitorios de forma más suave o sea la aceleración y el

frenaje, la vida útil del motor se alargará, (logrado con el empleo del convertidor ABB). Particularmente en el programa del *PLC* se busca la mayor simplificación y la reducción del código, así como la disminución de su complejidad, con estos cambios se puede resolver más rápido cualquier falla existente en el ciclo de trabajo de la centrífuga cuando el central se encuentre en pleno proceso productivo.

Con la aplicación del presente trabajo, se pretenden como **resultados**: el aumento del rendimiento a 21-22 ciclos/hora en el centrifugado para la obtención de azúcar y mieles. Con la propuesta que se presenta para el sistema de control del motor, basados en experiencias de trabajos similares, se reducen las paradas del proceso por las cuantiosas fallas existentes y al existir un frenaje regenerativo proporcionado por el convertidor ABB, el motor se convierte en generador y entrega energía al sistema en cada ciclo de trabajo. Unido a todo ello se van a producir menores pérdidas de sacarosa en la miel que se obtiene como derivado, destinada a la producción de alcohol, ya que la aceleración del motor se hace más rápida y bajo mejores condiciones.

En tanto, los resultados de este trabajo poseen una **aplicabilidad** práctica y una influencia positiva en la economía cubana, al ser posible su implementación en centrales de todo el país que posean baterías de centrífugas discontinuas ASEA. La **viabilidad** de la investigación es apreciable porque se dispone del equipamiento adecuado y conocimientos técnicos por parte del personal calificado para la total ejecución del proyecto.

### **Organización del informe**

El informe final está estructurado de la siguiente manera: la presente introducción, a la que siguen, en el mismo orden, capitulario, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

Los temas abordados en cada uno de los capítulos son:

**Capítulo 1:** Centrífugas en la industria azucarera y los accionamientos eléctricos. Se aborda un primer tema relacionado con los diferentes tipos de centrífugas desde su surgimiento hasta la actualidad, los diferentes tipos de accionamientos eléctricos

existentes, así como su control. En los últimos epígrafes se hace una pequeña relatoría de las centrífugas en Cuba y sus principales problemas, que han llevado a la modernización de las mismas.

**Capítulo 2:** Hardware y Software utilizado en la modernización de la centrífuga. A partir de los problemas descritos en el capítulo anterior se describe la propuesta de automatización que se comenzó a aplicar. Se menciona el equipamiento instalado con anterioridad a esta investigación, se brindan algunas de sus características principales y se hace una valoración del mismo. De la parte del *software*, se explican los cuatro programas que se usan en la modernización de la centrífuga, se exponen algunos criterios de la programación del *PLC* realizada en el transcurso de la tesis y del rediseño de algunas de las pantallas del terminal táctil.

**Capítulo 3:** Análisis de los resultados de la modernización. Se explican los diferentes planos que se conformaron para emprender este proyecto, se comentan datos de interés sobre el diagrama de flujo del proceso. Se describen también, las pruebas realizadas al panel y al equipamiento. Se observan algunas partes de las mejoras en el programa del *PLC*, así como cuatro pantallas de las rediseñadas para el panel *touch* y por último se realiza un análisis técnico-económico y un pequeño estudio medioambiental del impacto del proyecto.

## **CAPÍTULO 1. CENTRÍFUGAS EN LA INDUSTRIA AZUCARERA Y LOS ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS**

En este capítulo se realiza un análisis bibliográfico sobre centrífugas, desde su surgimiento hasta la actualidad y se aborda con más profundidad sobre la centrífuga discontinua o *batch*. También se mencionan los principales métodos de control utilizados en el mundo para gobernar motores de corriente directa y motores de corriente alterna. Después de abordar de forma global la tendencia existente hacia el empleo de los motores de corriente alterna, se trata la evolución, que han tenido las centrífugas azucareras en Cuba desde 1970 y finalmente se describen los problemas frecuentes que han presentado estas máquinas con el paso de los años, los cuales hacen necesaria su modernización.

### **1.1 Historia y generalidades de las centrífugas**

La invención de la máquina centrífuga que purga masa cocida en la industria azucarera, ha sido atribuida a Schotter en 1848 y a Dubrunfaut, pero las autoridades en esta materia están de acuerdo en que fue el ingeniero británico David Weston quien obtuvo la patente de centrífugas, que quedó suspendida a partir del 1852, la modificó hasta lograr algo muy parecido a lo que se tiene en la actualidad y la introdujo al trabajo práctico azucarero en Hawái, en 1867. Al tipo de máquina centrífuga que está en uso general en la actualidad, se le llama centrífuga Weston en su nombre (Girón Lezana, 2006).

Una centrífuga es un máquina que aplica una fuerza centrífuga sostenida para impeler la materia fuera del centro de rotación (Rosabal Vega, 2006). Consiste en una canasta cilíndrica o cónica, diseñada para recibir la masa cocida por tratar y colocada en un eje vertical en cuyo extremo superior se encuentra el motor o la toma de fuerza que mueve a la máquina. La canasta está perforada con numerosos orificios que permiten el paso de las mieles y se encuentra provista de anillos circulares que resisten la fuerza centrífuga (Girón Lezana, 2006).

Dentro del proceso de producción del azúcar, la centrífuga se encuentra entre el tacho y el secador (Figura 1.1), recibe del tacho la masa cocida por tratar y separa en

ella el azúcar de las mieles; se manda el azúcar al secador donde se garantiza la adecuada humedad para la preservación del producto y posterior almacenamiento (Girón Lezana, 2006); las mieles se usan en la destilería para producir alcohol.

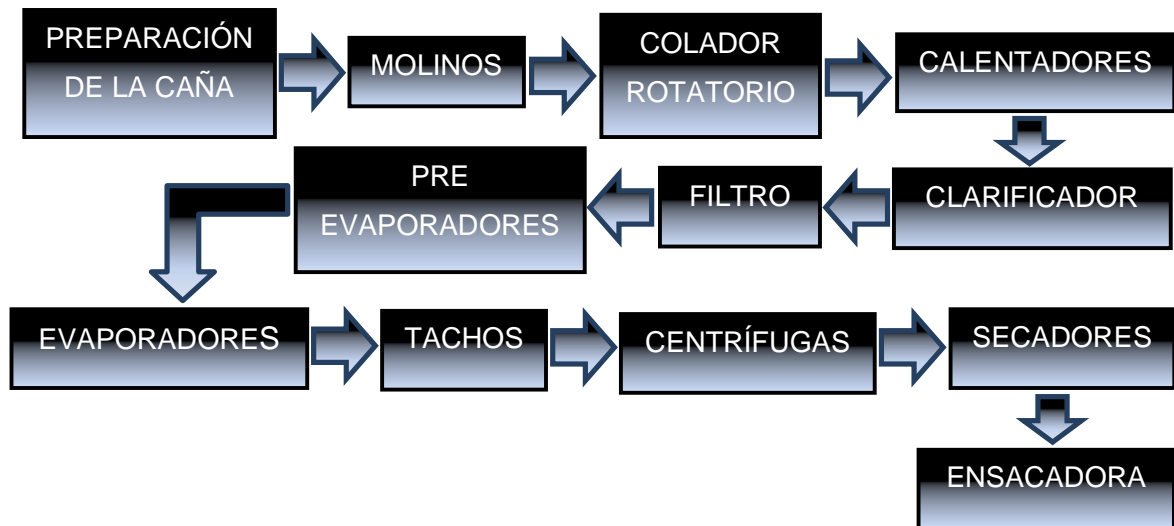


Figura 1.1. Etapas tecnológicas de un central azucarero

En el Anexo I se puede observar una figura más detallada del proceso tecnológico azucarero cubano, mostrándose todo el equipamiento, productos y subproductos, así como algunos valores puntuales que pueden ser de interés.

### **Centrífugas hidráulicas**

Una de las primeras centrífugas utilizadas fueron las llamadas centrífugas hidráulicas. Su nombre lo deben a que era una fuerza hidráulica la que hacía girar el canasto. Se utilizaba de 35 a 40 kg de vapor en una moto-bomba de acción directa para mover una centrífuga solamente, por lo que era grande el consumo de vapor y se obtenía poco rendimiento de la máquina. Por el contrario, se reduce al mínimo este gasto cuando la batería de centrífugas en su conjunto se maneja con una bomba centrífuga general que alimenta a todas por igual. Se bombea agua a presión hacia unos canjilones en la parte superior del canasto, con esto se mueve el mismo y se realiza el proceso de centrifugado. Se puede decir que las centrífugas hidráulicas lograban romper la inercia de forma relativamente lenta pero ya cuando alcanzaban velocidad de trabajo, operaban perfectamente. En Hawái se logró hacerlas girar muy rápidamente, al aumentar la presión del agua y la potencia de las bombas. Su mantenimiento y conservación eran relativamente simples ya que las piezas que se

desgastaban eran las boquillas, las cuales eran de fácil remplazo. Este tipo de centrífugas tiende a desaparecer con el paso de los años para dar lugar a las centrífugas de correa (Hugot, 1986).

### **Centrífugas de banda**

Las centrífugas de banda o correa se colocan en baterías, movidas por un eje longitudinal común, que a su vez, es gobernado por un motor. Los ejes de las centrífugas son verticales y por lo tanto, la transmisión necesita de poleas locas para el regreso de la banda. El eje longitudinal gira generalmente a una velocidad de un tercio de la velocidad de las máquinas. Al comienzo de la aceleración hay un resbalamiento máximo entre las zapatas y la centrífuga, este resbalamiento disminuye a cero cuando se llega a la velocidad de operación.

Las centrífugas de correa fueron las más baratas, ya que eran muy simples y su conservación se lograba fácilmente. Tienen la ventaja de causar al motor pocas cargas fuertes y dar una marcha suave y regular. Por otra parte el desgaste de las bandas es considerable, lo que proporciona que el motor sea menos eficiente y su velocidad de operación y aceleración pueden decaer paulatinamente. Estas centrífugas desaparecen para dar lugar a las centrífugas de motor eléctrico (Hugot, 1986).

### **Centrífugas de mando eléctrico**

Las centrífugas de mando eléctrico deben su nombre a que en la parte superior del canasto existe un motor eléctrico acoplado al mismo. El motor de corriente alterna instalado en sus inicios era trifásico, algunas veces con rotor bobinado y otras veces de jaula de ardilla. Estos motores de alterna en esa época eran muy difíciles de controlar y no se obtenía el rendimiento necesario de la máquina.

Después de varios años de pruebas y experimentos se empezaron a utilizar los motores de corriente directa con sistema Ward-Leonard, estos eran muy fáciles y precisos de controlar (Morera Hernández, 2004). En este sistema se toma la corriente alterna trifásica y se transforma en corriente directa para alimentar el motor, este arreglo tiene un mínimo consumo de potencia y la elección libre de la velocidad de operación de la máquina (Hugot, 1986).

El mando eléctrico individual ofrece diversas ventajas desde el punto de vista de la operación, la economía y la producción. Es indispensable en las fábricas electrificadas y hasta el momento es la solución más moderna a tener en cuenta para el diseño y puesta en marcha de cualquier central azucarero.

### **Centrífugas actuales**

Hoy en día se manejan diversidad de diseños de centrífugas en diferentes formas y estilos, las dos principales formas son: la centrífuga continua y la discontinua.

La **centrífuga continua** debe su nombre a que no es necesario frenar el motor para la separación del azúcar de las mieles. Consiste en una canasta cónica con agujeros laterales, la cual se encuentra abierta en la parte superior para la alimentación de la masa cocida y la descarga del azúcar. Al caer la masa en el fondo del canasto, por efecto de la fuerza centrífuga, la misma va subiendo por las paredes del canasto y a la vez se separan, por medio de las telas, las mieles del azúcar (Figura 1, Anexo II).

Dentro de las principales ventajas que presentan estas centrífugas se puede mencionar el bajo requerimiento de personal para su manejo, poca necesidad de mantenimiento y la descarga continua de azúcar y miel. En las principales desventajas se encuentra el alto consumo de energía eléctrica, el pobre lavado de la masa cocida y la rotura de cristales.

La **centrífuga discontinua**, también conocida como *batch*, consiste en una canasta cilíndrica y dos mallas, en este tipo de centrífuga hay que frenar el motor para separar los cristales de azúcar de las mieles (Rosabal Vega, 2006) (Figura 2, Anexo II).

### **1.2 Particularidades de la centrífuga discontinua o batch**

Para que las centrífugas *batch* puedan operar deben ser perfectamente cilíndricas, esto requiere que los diámetros interiores de la parte superior y el fondo de la canasta sean exactamente iguales y que ambos estén totalmente perpendiculares al eje. La finalidad de esta forma perfectamente cilíndrica es permitir el uso de revestimientos intercambiables y que la rotación del canasto no se afecte con el desbalance.

La canasta está perforada con numerosos orificios de aproximadamente 7.0 mm de diámetro con una separación entre centros de 22 mm. La canasta además, está provista de anillos circulares que resisten la fuerza centrífuga; también al igual que la continua está abierta en su parte superior para permitir la alimentación de la masa cocida, pero se encuentra abierta en el fondo para realizar la descarga del azúcar (Hugot, 1986); (Girón Lezana, 2006).

Las canastas se construyen de mayor o menor grueso, de acuerdo con la fuerza centrífuga a la que estarán sujetas. Las que recibirán tensiones mayores (trabajan a 1500 rpm o superior) se fabrican de acero al cromo-cobre y los aros o anillos, algunas veces, de acero niquelado (Girón Lezana, 2006). Estas también poseen un número de aros que varía entre 12 y 15, mientras que las centrífugas que reciben menor tensión (trabajan a 1000 rpm) solamente con 6 aros pueden operar de forma segura (Hugot, 1986).

Sobre las mallas de estas centrífugas se puede decir que la primera es una malla de sostén consistente en una tela metálica ordinaria de alambre de bronce o de cobre de 1.0 a 1.5 mm de diámetro, con aberturas de 5 a 10 mm que sirve para separar la malla propiamente dicha de la pared de la canasta; la segunda malla está diseñada para retener los cristales de azúcar (Hugot, 1986); (Girón Lezana, 2006).

Estas centrífugas poseen ventajas y desventajas, las cuales se analizan antes de decidir el empleo de una u otra, por tecnólogos de planta e ingenieros proyectistas. Dentro de las principales ventajas se pueden mencionar el buen lavado de la masa cocida, la no rotura de cristales, la producción de azúcar de baja humedad y el bajo consumo de energía. Las desventajas de estas máquinas radican en considerables requerimientos de mantenimiento y los altos costos de operación. En la figura 1.2 se muestran las partes mecánicas de la centrífuga discontinua.

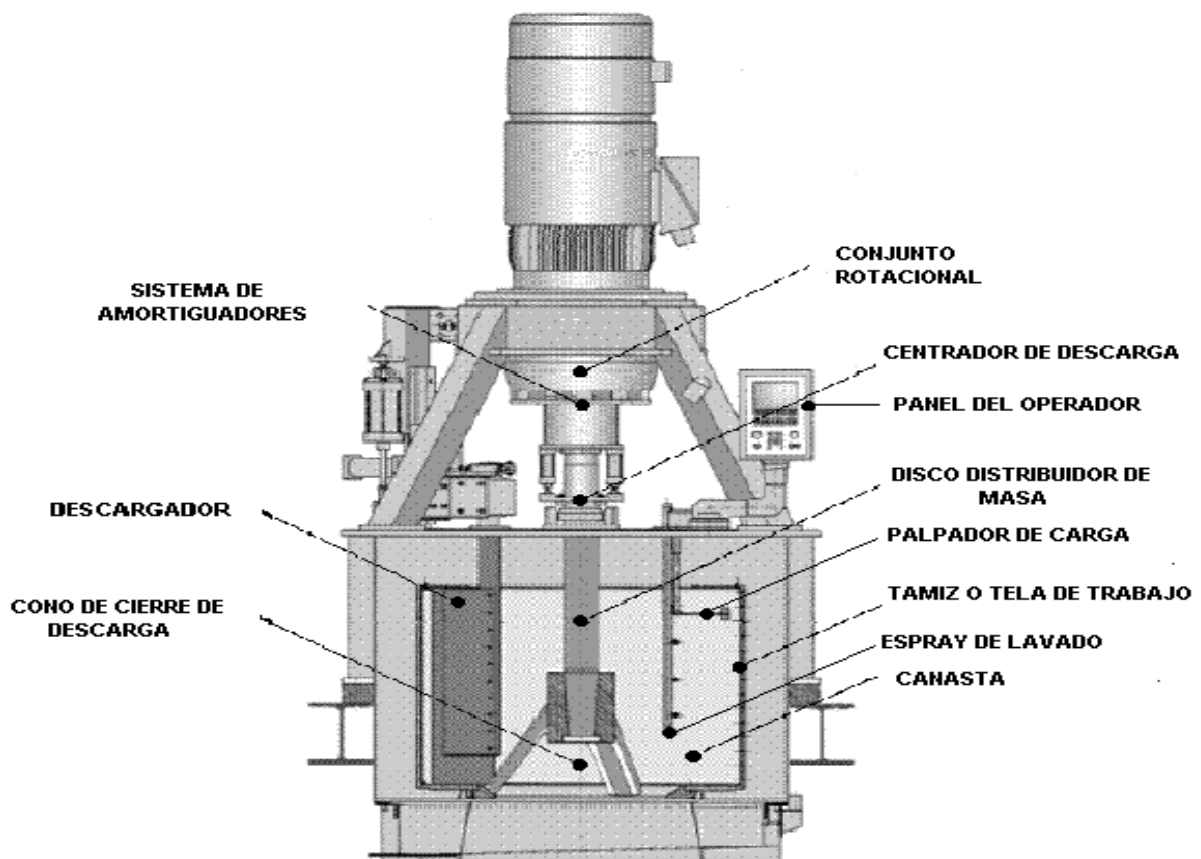
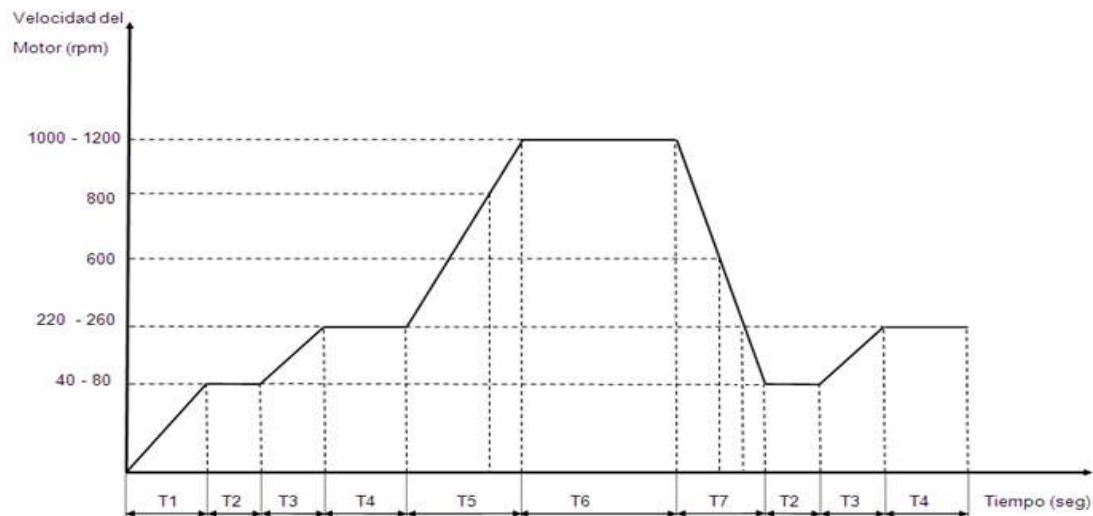


Figura 1.2. Centrífuga discontinua o *batch*

### 1.3 Descripción del Ciclo de Centrifugado

Al comenzar el trabajo de la centrífuga (siempre se tiene que iniciar en modo manual), tal y como se muestra en la gráfica 1.1, en el intervalo de tiempo T1 la máquina libera el freno mecánico y acelera la canasta. Este primer intervalo de tiempo no forma parte del ciclo de trabajo, solo ocurre cuando se arranca el motor desde 0 rpm, ya cuando la máquina funciona en automático, la velocidad no baja de las 40 rpm. El ciclo de trabajo comienza desde el intervalo de tiempo T2 y hasta el intervalo de tiempo T7. En el intervalo T2 se realiza lo que se conoce como “ventana de descarga”, que no ocurre cuando la máquina acelera ya que el autómatas bloquea la acción de descargar para que solo se produzca cuando se frena el motor al finalizar el ciclo.



Gráfica 1.1. Ciclo de trabajo típico del motor de la centrífuga

En el intervalo de tiempo T3 que oscila entre 60 rpm y 220 rpm se realiza un lavado de la tela con agua para humedecerla y quitar posibles restos de azúcar del ciclo anterior; al pasar por las 200 rpm se acerca la paleta del palpador a la canasta, este palpador es el sensor de espesor de la masa en el interior del canasto.

Cuando se alcanza la velocidad de 220 rpm o sea en el intervalo T4, se abre la compuerta de masa cocida y la compuerta de goteo o babeo para la alimentación de la masa. Esta masa por efecto de la fuerza centrífuga se pega a la pared de la canasta y aumenta paulatinamente su espesor hasta que presiona la paleta del palpador, entonces las compuertas se cierran y la centrífuga comienza a acelerar al empezar el intervalo T5 (Dunmaq, 2012).

Si la masa tiene poca viscosidad, se demora en aumentar su espesor y por tanto transcurre más tiempo hasta que hace contacto con el palpador (Rosabal Vega, 2006). Por este motivo y al tener en cuenta la posibilidad de un fallo en el funcionamiento del palpador, se implementa mediante *software* en el *PLC* un temporizador, para que, independientemente de la señal del palpador, determinado tiempo después de abrirse la compuerta de masa, se mande a cerrarla.

La apertura de la compuerta de masa a una velocidad superior al rango comprendido entre 220 rpm y 260 rpm, puede ocasionar un penduleo excesivo y la destrucción del canasto (Camacho Sánchez, 2010).

En el rango comprendido entre 800 rpm y 900 rpm correspondiente al intervalo T5.1 se realiza el primer lavado de la masa, para facilitar la separación de la miel de los cristales de azúcar. El tiempo de duración de este lavado se controla mediante un temporizador (el fabricante de azúcar puede variar tanto el tiempo del lavado como el rango de velocidad para realizar el mismo, de acuerdo a sus intereses).

Concluido el primer lavado, se establece un tiempo de espera (mediante temporizador también) hasta comenzar un segundo lavado con duración controlada, si cuando la máquina alcanza las 1200 rpm no se ha concluido el segundo lavado o no se ha comenzado este, se suspende el mismo (Figura 3, Anexo II).

Cuando empieza el intervalo T6 a las 1200 rpm se realiza el centrifugado de los cristales de azúcar para la separación de las mieles y la eliminación de cualquier tipo de humedad. Esta velocidad se mantiene en dependencia de la calidad de la masa (de 7 a 10 seg si es de calidad normal, o de 15 a 20 seg si es de mala calidad).

En el intervalo T7 se inicia el frenado eléctrico del motor, sobre las 600 rpm y hasta las 220 rpm intervalo que va desde el T7.1 hasta el T7.2 se acciona el freno mecánico. En la actualidad este se mantiene accionado hasta las 220 rpm en lugar de hasta 60 rpm que es para lo que está concebido originalmente por el fabricante de la máquina, con esto se busca alargar la vida útil del motor (Dunmaq, 2012); (Camacho Sánchez, 2010).

Entre 40 rpm y 80 rpm se repite el intervalo T2 y comienza la “ventana de descarga”, se realizan sincronizadamente los siguientes pasos:

- a) Se libera el seguro del pistón del arado.
- b) El arado pasa de posición de reposo a posición de trabajo (queda a 3 mm de la tela, esa es la separación más usada en la actualidad).
- c) Se abre la compuerta de descarga.
- d) El arado permanece en el modo “tiempo de espera en posición superior”, de 4 a 5 seg.
- e) Se baja el arado y raspa el interior de la tela.

- f) El arado permanece en el modo “tiempo de espera en posición inferior”, entre 4 y 5 seg.
- g) Se sube el arado y raspa nuevamente la tela.
- h) Cierre de la compuerta de descarga.
- i) El arado pasa de posición de trabajo a posición de reposo.
- j) Se cierra el seguro del pistón del arado.

Esta vez sí se descarga azúcar y al regresar el arado (Figura 4, Anexo II) hacia su posición de reposo y estar el canasto vacío de azúcar, la máquina centrifugadora se encuentra lista para comenzar un nuevo ciclo (Camacho Sánchez, 2010).

#### 1.4 Sistemas de Control de los Accionamientos Eléctricos

Los accionamientos eléctricos se utilizan para controlar la potencia mecánica de las distintas máquinas implicadas en cualquier proceso (Morera Hernández, 2004); (Fitzgerald, 2003). La mayoría de estas máquinas funcionan mediante un motor eléctrico, éstos se clasifican según el tipo de alimentación en: motores de corriente directa (CD) o corriente continua (CC) y motores de corriente alterna (CA).

Los motores de CD se pueden dividir para su estudio en grupos, dependiendo de la forma de conexión entre el estator y el rotor o de las características del devanado del inductor. Según la forma de conexión entre los devanados del estator (inductor) y el rotor (inducido):

- **Motor de excitación independiente:** el inductor y el inducido se alimentan de dos fuentes de energía independientes (Figura 1, Anexo III).
- **Motor autoexcitado:** el inductor y el inducido se alimentan de una misma fuente de energía (Figura 2, Anexo III).

Según las características del devanado de excitación o inductor:

- **Motor serie:** el devanado del inductor presenta pocas vueltas y mayor área en el conductor, lo más frecuente es la conexión en serie con el inducido, este motor es normalmente autoexcitado. Tiene aplicaciones en aquellos casos en

los que se requiera un elevado par de arranque a pequeñas velocidades o un par reducido a grandes velocidades, ejemplo: tranvías y locomotoras. Este motor no debe trabajar en vacío porque aumenta excesivamente su velocidad (Figura 3, Anexo III).

- **Motor paralelo o derivación:** el devanado del inductor presenta muchas vueltas y menor área en el conductor, en particular este motor se trabaja autoexcitado (los devanados inductor e inducido en paralelo) o excitado independientemente, en este último caso, se prefiere en sistemas controlados (arranque, velocidad y frenaje). Se usan en aquellos casos en los que no se requiera un par elevado a pequeñas velocidades. Además su regulación de velocidad es muy buena por lo que son usados en máquinas herramientas. Este motor puede trabajar en vacío ya que su velocidad no difiere casi de su velocidad nominal.
- **Motor compuesto:** consta de dos devanados inductores, uno serie y otro paralelo. Normalmente es autoexcitado. Se caracteriza por tener un elevado par de arranque, pero no corre el peligro de tener excesivas velocidades cuando trabaja en vacío (Figura 4, Anexo III).

Los motores de CA se pueden dividir para su estudio en dos grupos que dependen de la relación existente entre la velocidad del rotor y el campo magnético establecido en el estator:

- **Asincrónicos o de inducción:** existe una diferencia entre las velocidades del rotor y el campo magnético, denominada velocidad de deslizamiento o resbalamiento. La velocidad varía ligeramente con la carga.
- **Sincrónicos:** la velocidad del rotor y la velocidad del campo magnético del estator son iguales. Su característica esencial es que su velocidad no varía con la carga. Se usan en los llamados mecanismos de reloj, fundamentalmente en equipos compresores y máquinas registradoras de señales.

Constructivamente los motores de CA poseen todas iguales características en el estator, una estructura ferromagnética laminada y ranurada, en las cuales se colocan los devanados de fases ( $3\phi$ ,  $2\phi$  y  $1\phi$ ). Las diferencias sustanciales las tiene el rotor.

Los motores asíncronos pueden presentar rotores tipo:

- **Jaula de ardilla:** el devanado del rotor está formado por barras de cobre o aluminio, cuyos extremos están puestos en cortocircuito por dos anillos (Figura 1, Anexo IV).
- **Rotor bobinado:** el rotor está constituido por una serie de conductores bobinados sobre él, en una serie de ranuras situadas sobre su superficie. Posee el mismo número de polos que el estator (Figura 2, Anexo IV).

Los motores síncronos cuentan con un enrollado de excitación que debe ser energizado por una fuente de CD, que implica el uso de anillas y escobillas u otras variantes para máquinas de pequeña potencia.

#### 1.4.1 Accionamientos en motores de Corriente Continua

En un motor de CC, la corriente por el inductor o campo de excitación establece el campo magnético. El devanado del rotor (inducido) alimentado a través de las escobillas y delgas establece un campo magnético que forma un ángulo recto con el campo del estator (inductor). Esta situación, denominada orientación del campo, es necesaria para generar el par máximo.

Las ecuaciones básicas que modelan a los motores de CD, definen la relaciones entre las variables independientes y dependientes que determinan las características de comportamiento (Figura 1.3 a).

$$V_T = k_a \phi_\delta \omega + I_a r_a \quad M_{em} r_a = k_a \phi_\delta I_a \quad \omega = \frac{V_T - I_a r_a}{k_a \phi_\delta}$$

donde:

$V_T$  : Voltaje de Inducido (V)

$k_a$  : Constante de las características constructivas del motor

$\phi_\delta$  : Flujo del campo magnético (Weber)

$\omega$  : Velocidad angular del rotor (rad/seg)

$I_a$  : Corriente de Inducido (A)

$r_a$  : Resistencia de armadura ( $\Omega$ )

$M_{em}$  : Momento electromagnético (newton- metro)

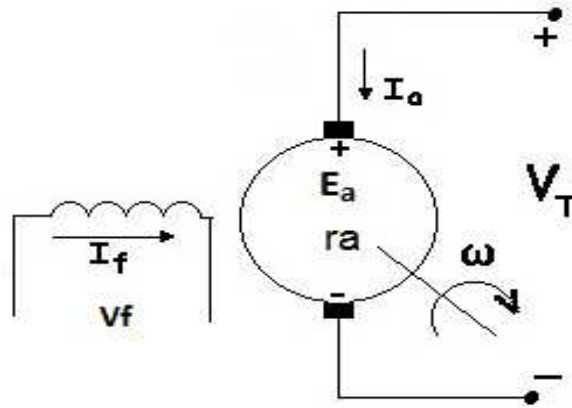


Figura 1.3 a) Representación esquemática de un motor de excitación independiente

En sentido general, en el motor de corriente directa, cuando el momento a desarrollar aumenta, aumenta la corriente consumida por el rotor y disminuye su velocidad. En el caso particular del motor paralelo, donde el flujo de campo se considera constante, esta variación de velocidad es prácticamente pequeña y lineal con la corriente de armadura y el momento a desarrollar. Sus características lo hacen muy deseable para el proceso de control de velocidad.

Si el mismo se excita independientemente se tienen dos canales de control de velocidad, por disminución del voltaje en el estator, para disminuir la velocidad como se muestra en la Figura 1.3 b) y por disminución del flujo de campo, para aumentarla, como se muestra en la Figura 1.3 c) respecto a sus valores con carga o nominales. (Amador Martínez, 1986); (Morera Hernández, 2004); (Fitzgerald, 2003).

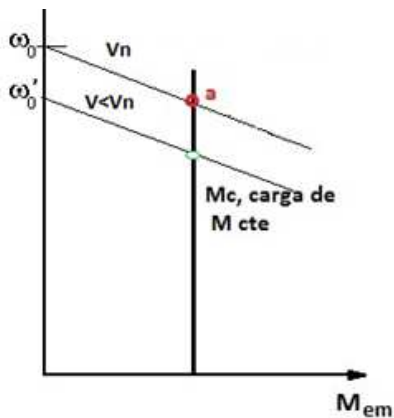


Figura 1.3 b) Disminución de voltaje en el estator

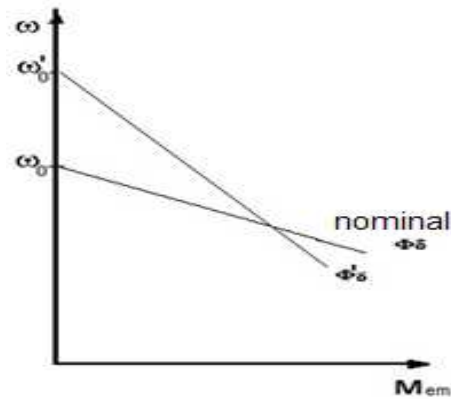


Figura 1.3 c) Disminución del flujo de campo

Entre las ventajas de este tipo de motor en accionamientos controlados, se tienen la linealidad de sus características, las posibilidades del cambio de sus pendientes por los diferentes métodos de control, la suavidad del mismo y el amplio margen de cambio de las velocidades.

Los principales inconvenientes son la menor fiabilidad del motor de CC por el desgaste de las escobillas y de los conmutadores que requieren un mantenimiento regular, el alto precio de compra del motor de CC y la necesidad de utilizar un *encoder* o un tacogenerador para la realimentación tanto de la velocidad como de la posición (Amador Martínez, 1986); (Morera Hernández, 2004); (Fitzgerald, 2003); (Williams, 1987).

#### 1.4.2 Accionamientos en motores de Corriente Alterna

La capacidad del motor de CA de convertir la energía eléctrica en mecánica se basa en la inducción electromagnética. Al aplicar tensión en los devanados del estator se genera un flujo magnético rotatorio de velocidad sincrónica ( $N_s$ ) (directamente proporcional a la frecuencia e inversamente proporcional al número de polos). Se induce una fem en el rotor, que impulsa una corriente y se desarrolla un momento electromagnético por la interacción de ambos, siempre que entre el campo y el rotor exista un movimiento relativo ( $N_s - N_r$ ), de ahí su nombre de asincrónico. Este es, sintéticamente, el principio básico del motor asincrónico de CA.

Ecuaciones básicas de velocidades de los motores de CA:

$$N_s = \frac{120f}{P} \qquad S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \qquad N_r = N_s(1 - S)$$

donde:

$N_s$ : Velocidad sincrónica (rpm)

$f$ : Frecuencia de la red (Hz)

$P$ : Número de polos de la máquina

$S$ : Deslizamiento o resbalamiento

$N_r$ : Velocidad del rotor (rpm)

En este caso los métodos de control de velocidad se implementan cuando se logra variar la frecuencia, el número de polos o el deslizamiento. Variando la frecuencia se logra un control suave y en un amplio rango, el cual debe ser acompañado por la variación del voltaje de entrada.

La evolución de la tecnología del accionamiento de CA de velocidad variable se ha visto impulsada por el desarrollo de la electrónica de potencia que posibilita utilizar las ventajas que ofrece el motor de CA de jaula de ardilla.

## 1.5 Tendencia moderna del Accionamiento Eléctrico

Los motores de CA, en especial los de jaula de ardilla, son los más utilizados en los procesos industriales. Estos son controlados por un variador de frecuencia lo que permite un control eficaz, preciso y económico. Además, al producir un frenaje regenerativo y reincorporar parte de la energía consumida durante el arranque y aceleración del motor hacia la línea principal, se convierte el variador de frecuencia en la solución ecológica del siglo actual si se tienen en cuenta los altos costos en generación de corriente eléctrica.

Un sistema de accionamiento de CA, se compone de un **convertidor de frecuencia**, un **motor** de CA y una **carga**.

El convertidor de frecuencia se compone de tres partes: el **Rectificador**, quien recibe la corriente trifásica normal de 60 Hz y la convierte en CC; el **Transmisor de CC** que se encarga de transmitir el voltaje de CC hacia el circuito de barras que filtra la tensión pulsante y el **Inversor** u **Ondulador** que conecta cada fase del motor a las barras de CC negativas o positivas con un orden específico.

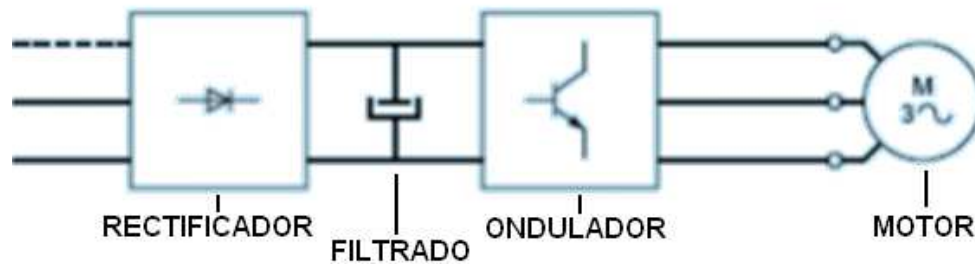


Figura 1.4. Esquema básico de un convertidor de frecuencia

La conmutación eléctrica con transistores IGBT (son las siglas en inglés de Transistor Bipolar de Compuerta Aislada) es muy eficaz, así que la eficacia del convertidor de frecuencia es muy elevada, del 0.97 al 0.99. La eficacia del motor se halla normalmente entre el 0.82 y el 0.97, dependiendo del tamaño del motor y de la velocidad nominal. Por tanto, puede afirmarse que la eficiencia total del sistema de accionamiento, es siempre superior al 0.8 si está controlado por un convertidor de frecuencia.

Los sistemas de accionamientos de CA lideran el mercado global en la actualidad debido a: bajos costos de mantenimiento, aumento de la productividad y una mayor calidad. Todo ello se ve reflejado cuando, por ejemplo, se realiza el arranque directo en línea de un motor, el cual conjuntamente con los componentes eléctricos se somete a una serie de esfuerzos eléctricos y mecánicos, con los accionamientos de velocidad variable (AVV), se obtiene un arranque suave con pocas perturbaciones para el sistema propiamente dicho y para la línea en sí. El reemplazar un motor de CD para alcanzar volúmenes de producción más elevados implica un consumo de tiempo y dinero, con los accionamientos de CA, un aumento del 5 al 20 % de la velocidad no representa problema alguno, ni requiere una inversión adicional.

El control preciso de la velocidad que ofrecen los AVV eléctricos tiene como resultado una optimización de los procesos. Ello permite obtener un producto de la mejor calidad, y por tanto, el mejor beneficio para el cliente. Con los accionamientos de CA invertir la rotación del motor resulta fácil y, con los convertidores de frecuencia ABB, ello se consigue simplemente al pulsar un botón. Asimismo, es posible establecer diferentes tiempos de aceleración y deceleración de la rampa de disparo de los tiristores o transistores (según sea el caso), así como modificar su forma según criterios del usuario. También es posible ajustar los límites de supervisión del proceso y seleccionar el modo de reacción del accionamiento ante una situación de bloqueo o una parada por emergencia.

Los principales métodos de control de velocidad según (ABB, 2000) de estos AVV modernos son:

- **Control de frecuencia por Modulación de Ancho de Pulso** (conocido por *PWM pulse width modulation* por sus siglas en inglés o **Control Escalar**).
- **Control de Vector de Flujo mediante Modulación de Ancho de Pulso.**
- **Control Directo del Par** (conocido por *DTC direct torque control* por sus siglas en inglés).

## 1.6 Centrífugas en Cuba

El análisis sobre la historia reciente de las centrífugas azucareras de tipo discontinuo en la industria cubana se puede remontar hacia la zafra del 1970, aquella de “Los 10 millones”, donde entraron las máquinas inglesas **Broadbent**. Estas máquinas se distinguían, además, por una combinación de robustez mecánica y alta precisión en sus partes y piezas, por lo que ostentaban una calidad superior en el tema hidráulico-neumático. Sin dudas era la mejor opción para la industria cubana por la sencillez y confiabilidad del mando eléctrico, al ser este último el menos complejo y más sencillo de reparar, incluyendo su motor de corriente alterna. Era la máquina ideal para el nivel técnico que se conseguía en los ingenios.

Fueron tantas las posibilidades financieras otorgadas por el primer ministro sueco Olof Palmer que, en Cuba, en dos períodos de años relativamente cortos, se

adquirieron más de 800 máquinas centrífugas accionadas por motores de CD de la firma **ASEA**, con un control a tiristores que en su tiempo era el más complejo, sofisticado y confiable que existía, lograban desplazar a todos los demás fabricantes europeos, japoneses, e incluso americanos como General Electric y Westinghouse, era sin lugar a dudas, lo mejor del control analógico para accionamientos de CD.

Las centrífugas suecas **Silver-Weibull** o **ASEA**, que es como se conocen en Cuba, se introducen al país en la década de los 70 en cuatro lotes importantes:

Máquinas **Tyrak-73 de 1000 kg** controladas por un simple convertidor a tiristores, lógica alambrada a relés electromecánicos de alta calidad y de seguridad en su alambraje. Este convertidor realizaba el frenaje regenerativo por inversión del sentido de la corriente de excitación o campo del motor, mediante unos contactores electromecánicos. El circuito de campo o excitación de la máquina era no regulable, alimentado por un puente rectificador de onda completa monofásico a diodos semiconductores.

Máquinas **Tyrak-73 de 650 kg** solicitadas para esta capacidad por Cuba para adaptarlas a los ingenios existentes en las provincias de Villa Clara, Sancti Spíritus, Cienfuegos y Matanzas fundamentalmente. Utilizaban el mismo convertidor que la máquina de 1000 kg, así como la misma lógica alambrada y relés. Traían incorporadas el mismo sistema de frenaje regenerativo y el mismo circuito de excitación. El principal cambio potencial era la capacidad del canasto.

El sistema de control de velocidad en las máquinas Tyrak-73 lo constituía una tarjeta QAGP. Esta proporcionaba señales de referencia como: velocidad de carga, velocidad de centrifugado y velocidad de descarga; señales que iban hacia el convertidor AC-DC, el cual las comparaba con la señal de realimentación del tacogenerador situado en el borde superior del motor. El convertidor además, poseía relés de corriente mínima y corriente máxima.

Máquinas **Tyrak-80 de 1000 kg** la principal novedad introducida con estas máquinas se encuentra en el circuito de campo o excitación, que poseía regulación automática de la corriente de excitación contra variaciones en el voltaje de alimentación y temperatura en el motor. Además poseían un circuito muy complejo con una lógica a

circuitos integrados digitales con tecnología discreta y un rectificador trifásico híbrido, de tres tiristores y dos diodos totalmente atípicos en la literatura técnica convencional.

Máquinas **Tyrak-80 de 650 kg**, el control del convertidor era como en las Tyrak-73 un control analógico en tarjetas de circuito impreso con máscara verde y tarjetas barnizadas de muy alta calidad, pero muy complejo. En estas máquinas se aumentó el número de tarjetas para el control del convertidor, se incorporaron un gran número de circuitos y con ello, tarjetas electrónicas para ejecutar funciones de protección del convertidor, que las Tyrak-73 no contemplaban. Los disparos de los tiristores del convertidor, se producían por técnicas de ametrallamiento con un tren de pulsos cuadrados a una frecuencia de 100 kHz. El sistema que generaba los pulsos de disparo de 100 kHz, en sincronización con la fuente trifásica de la red, convertía a esta, en una fuente hexafásica y todo se procesaba por primera vez en un circuito híbrido análogo–digital de alto nivel de integración con tecnología *LSI* (son las siglas en inglés de Pequeña Escala de Integración) propia de la industria de componentes del consorcio ASEA. La lógica a relé alambrada, para el control de las operaciones tecnológicas de la máquina, se mantuvo casi sin ningún cambio de la configuración original.

Las máquinas ASEA, por primera vez, presentaron un sistema de lubricación por neblina de aceite para todos sus mecanismos y rodamientos de alta calidad, los cuatro tipos de motores de corriente directa son en extremo de alta durabilidad. Los mismos se han mantenido a lo largo de más de 35 años de servicio sin los repuestos adecuados y con un nivel de mantenimiento extremadamente pobre, ejecutado en el 100 % de las instalaciones sin la requerida exigencia de calidad que demandan (Camacho Sánchez, 2014).

### **1.7 Problemas frecuentes que se encontraban en las máquinas**

Se detallan a continuación toda una serie de problemas eléctricos y mecánicos que presentaban las máquinas originales ASEA. En el panel de secuencia de carga existían gran cantidad de relés mecánicos y relés de tiempo. Los relés mecánicos presentaban problemas como: suciedad en los platinos, falso contacto en el cableado y desalineación de las láminas de contactos las cuales se tuercen por las altas

temperaturas que tenían que soportar durante largos períodos de tiempo. Por su parte, a los relés de tiempo se les desgastaban los piñones y se les ensuciaban los contactos.

Por el gran cableado existente se producían falsos contactos en los bornes de regleta del panel BS1 y del panel de secuencia de carga. También dentro de los paneles, pero esta vez ocasionados por un agente externo, se encontraba el efecto indeseable de animales como roedores ya que en un central, existe un ambiente propicio para la proliferación de los mismos.

De la tarjeta del convertidor se puede decir, que eran afectadas por el clima, al oxidarse los extremos de los numerosos componentes que estas tenían, en el país se cambiaban por componentes equivalentes pero no los originales y al cambiarlos muchas veces se hacían con herramientas no adecuadas como pistolas de soldar, en vez de utilizar cautín y esto provocaba el daño de las venas del circuito impreso.

Para cerrar el tema eléctrico basta con decir que la ASEA dejó de fabricar las piezas de repuesto de los paneles y hasta hace diez años se fabricó a pedido, esta solución no es viable para ningún cliente puesto que un relé de tiempo llegó a costar más que la *CPU* (son las siglas en inglés de Unidad Central de Procesamiento) del autómata utilizado hoy en día, en la modernización.

Agotado el tema eléctrico se abordan seguidamente los problemas mecánicos que presentaban las máquinas. En el arado, se puede mencionar la existencia de problemas en el sinfín tanto en los bujes como en el eje y en las levas mecánicas que accionaban los chuchos límites o detectores de posición. También al arado, según referencias de los instrumentistas del central, se le dañaba el motor por malas condiciones de montaje y pobre mantenimiento. Del sistema de control se puede decir que las válvulas solenoides se abrían o se quemaban tardándose mucho el recambio de las mismas, a los pistones se les dañaban las zapatillas y el ferrule de neopreno, efecto que incide desfavorablemente en la hermeticidad requerida para el trabajo de los mismos.

En la parte giratoria de la máquina tenían problemas los rodamientos del conjunto rotacional y el acoplamiento de goma del motor que unía a este con el conjunto antes mencionado. El último problema lo constituye el desbalance del canasto por la

expansión milimétrica de los orificios del mismo, provocada por el paso de las mieles calientes a altas velocidades con todas las pequeñas incrustaciones que pueden traer consigo, más la sacarosa proveniente de los dos lavados de la tela.

Con la aparición de todos estos problemas se desprende que poco a poco el país tenía que empezar a modernizar estas máquinas en la medida que fuera posible, porque luego de 30 años de explotación ya no se podían obtener resultados óptimos sin tener largas demoras por roturas.

Actualmente existe en el central Jesús Rabí, un sistema de control del motor de la quinta máquina, basado en tecnología de relé y temporizadores incluidos en las tarjetas originales de la ASEA, se alcanza como promedio un máximo de 16 a 19 ciclos/hora de cargue y descargue. Este número de ciclos/hora representa poco para las necesidades actuales de la economía cubana, si se tienen en cuenta los altos precios del azúcar a nivel mundial. El 80 % de las fallas del sistema de manera general son provocadas por dichas tarjetas, por lo que se propone en la modernización, sustituirlas por un *PLC* Mitsubishi que controle al motor de la máquina mediante un convertidor de potencia ABB (Camacho Sánchez, 2014).

## **1.8 Consideraciones finales del capítulo**

Las centrífugas azucareras surgen a mediados del siglo XIX por la necesidad de mejores rendimientos en el proceso de obtención del azúcar crudo. Básicamente se componen de un motor o toma de fuerza y un canasto o tambor donde se realiza el proceso de la separación del azúcar y las mieles. Con el paso de los años se crearon diversos modelos como: la centrífuga hidráulica, la centrífuga de banda y finalmente la de motor eléctrico. Todas estas se pueden encontrar fundamentalmente en dos tipos: las continuas y las discontinuas. En el primer caso no es necesario el frenaje del motor para la separación de los productos, mientras que en el segundo caso si hay que realizar un proceso de aceleración y frenaje.

Los grandes motores que mueven a las centrífugas se clasifican según el tipo de corriente de alimentación en: motores de CD y motores de CA. Los motores de CD son fáciles de controlar por técnicas explicadas anteriormente pero su mantenimiento

es más periódico, en cambio, los motores de CA son más complejos en cuanto a su control, pero más robustos y duraderos, por consiguiente ocasionan menos roturas y menos fallas.

En el mundo actual se ha logrado emular las características del motor de CD en el motor de CA por lo que los accionamientos eléctricos más eficientes y punteros de la industria se componen de motores de CA controlados por variadores de frecuencia y *PLC*. Esto lleva aparejado un exhaustivo conocimiento preliminar del proceso en cuestión que se vaya a controlar, un buen proyecto de automatización realizado por personal calificado, así como también una buena capacitación del personal de las industrias y el debido mantenimiento preventivo de todas las partes y piezas que componen al sistema automatizado.

A partir de los problemas eléctricos y mecánicos que han presentado las máquinas ASEA a lo largo de los años, es que se decide modernizarlas y poco a poco cambiar partes y piezas para hacerlas funcionalmente útiles, no desechándolas por completo para comprar máquinas nuevas con motores de CA.

## **CAPÍTULO 2. HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADO EN LA MODERNIZACIÓN DE LA CENTRÍFUGA**

Para esta modernización se plantea el equipamiento a utilizar que consta de: electroválvulas, sensores, *PLC* y convertidor de potencia. También se hace mención en el capítulo, al *software GX Works2* proporcionado por el fabricante del *PLC*, el cual se usó en el desarrollo de esta tesis para programar parte del ciclo de trabajo de la centrífuga, de conjunto con el *software GT Designer3* usado para el rediseño de algunas de las pantallas del *HMI*. Conjuntamente con el *software* del *PLC* y del *HMI*, se tratan aspectos generales para el entendimiento del proyecto, del *software* del convertidor ABB llamado *DriveWindow Light 2* y se abordan además, algunos tópicos sobre el *AutoCAD Electrical 2008* utilizado en la confección de los planos de todo el proyecto, realizados con anterioridad a esta tesis.

### **2.1 Propuesta de Automatización**

Se trata de conservar en su mayor parte todas las piezas y equipamientos que sean compatibles con la nueva tecnología. Cuando se mencionan piezas y equipamientos quiere decir en primer lugar: el motor de CD de la máquina que como ya se dijo en epígrafes anteriores los motores que se usan en estos días son de CA, pero debido a problemas económicos, Cuba no puede hacer una inversión millonaria sustituyendo todos los motores de CD a lo largo y ancho del país por modernos motores de CA, por lo que hay que buscar eficiencia con los motores existentes.

De los motores de CD fabricados por ASEA para las centrífugas de 650 kg, existen en los centrales cubanos dos tipos de motores de CC en derivación y excitado independientemente, conocidos por la forma geométrica de su carcasa exterior: el LAC-315 (redondo) y el LAB-250 (cuadrado), este último es el usado en la centrífuga objeto de este trabajo.

### **Datos de chapa del motor**

- Voltaje de armadura: 510 V DC
- Corriente de armadura: 263 A
- Velocidad máxima: 1300 rpm
- Voltaje de excitación: 220 V DC
- Corriente de excitación: 7 A
- Potencia: 122 kW

Al igual que el motor se reutiliza todo el sistema mecánico de la máquina que lo constituye entre otras partes el conjunto rotacional, el sistema de amortiguadores y el canasto.

Lo primero que se sustituye en estas máquinas es el sistema electro-neumático y los sensores de proximidad, se cambia la lógica cableada de relé y temporizadores por un *PLC* y para el manejo del motor se cambia el convertidor original de la máquina por un convertidor de potencia de CC.

### **2.2 Equipamiento que se usa en la modernización de la centrífuga**

Antes de seleccionar el equipamiento de campo, se estudian las características detalladas del proceso para ver cuales instrumentos son los que cumplen con los parámetros específicos y soportan las condiciones nocivas del central.

Los compresores existentes en el central son de la firma ATLAS COPCO, compresores de alta calidad con una presión de escape de 7 kgf/cm<sup>2</sup>. Estos no son los más caros del mercado, pero con ellos se consigue elevada calidad de aire para trabajar en una industria cubana. En otras instalaciones es válido mencionar, que se usan los compresores originales ASEA ya que todavía funcionan bien, y con un mantenimiento consecuente se puede alargar su vida útil. Al ver el tipo de compresores existente, se procede a cambiar las electroválvulas ASEA por la tecnología que oferta DUNMAQ procedente de México. Esta tecnología incorpora una terminal inteligente de válvulas, con válvulas neumáticas para el control de los actuadores y salidas por relevador. De conjunto con las electroválvulas, DUNMAQ, vende determinados tipos de pistones, que varían su aplicación en función de la fuerza de empuje que se quiera, o por el recorrido que tiene que hacer el vástago.

Aquí para realizar una selección solo hay que ver en qué parte de la máquina se va a utilizar para encargarse de uno u otro tipo.

Al tener ya las electroválvulas y los pistones, lo siguiente que se moderniza son los sensores de proximidad, que se sustituyen por 15 sensores inductivos de tipo *on/off*. Algunos de estos sensores se usan para detectar el recorrido de los pistones y ya vienen montados en una ranura a lo largo del cuerpo de los mismos, lo que hace imposible el daño o rotura por concepto de mal montaje.

El grupo azucarero AZCUBA ha tratado de estandarizar en todos los centrales cubanos los autómatas Schneider y los Mitsubishi para buscar una homogeneidad en el proceso a nivel nacional, es por ello que el sistema de control está formado por una arquitectura basada en el uso del autómata *FX3U* del fabricante Mitsubishi. Dicha arquitectura está instalada en el panel de control de la ASEA y consta de módulos analógicos de entrada y salida, un módulo *display*, dos fuentes de alimentación y un terminal táctil de 5.7 pulgadas.

La parte de fuerza del sistema está constituida por un convertidor de potencia de CC del fabricante ABB, un contactor principal trifásico, reactancias de línea y otros componentes.

### **2.2.1 Electroválvulas**

Las electroválvulas (Figura 2.1 a) están diseñadas para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería. Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar sobre la válvula. En otro tipo de electroválvula, el solenoide no controla la válvula directamente, sino que el solenoide controla una válvula piloto secundaria y la energía para la actuación de la válvula principal la suministra la presión del propio fluido (Creus Solé, 1997). El proveedor DUNMAQ cuenta con electroválvulas FESTO para las más diversas aplicaciones.

Las electroválvulas están ubicadas de la siguiente manera:

- Dos para la compuerta de masa (abrir y cerrar).
- Una para llevar el palpador hacia la posición de trabajo.

- Dos para el lavado (del canasto y de la compuerta de goteo).
- Una para el separador de mieles.
- Una para activar las zapatas del freno mecánico.
- Una para el soplado de la tela.
- Una para el goteo.
- Cuatro para el arado (reposo, trabajo, vertical, seguro).
- Una para subir y bajar el cono de descarga del fondo del canasto.



Figura 2.1. a) Electrovalvulas FESTO montadas en raíl DIN



Figura 2.1. b) Pistón neumático de doble acción

### Características técnicas de las Electrovalvulas

- Principio de estanqueidad: juntas de material sintético
- Tipo de accionamiento: eléctrico
- Forma de reposición: muelle mecánico
- Alimentación del aire de pilotaje: externa
- Sentido del flujo: irreversible
- Función de escape: con estrangulación y sin estrangulación
- Accionamiento manual auxiliar: con accesorio enclavado
- Posición de montaje: indistinta

- Diámetro nominal: 6 mm y 10 mm
- Conexión neumática en la placa base:  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$
- Fluido aire comprimido: filtrado y lubricado
- Presión de funcionamiento: 6 kgf/cm<sup>2</sup>
- Alimentación interna del aire de pilotaje: 2...6 bar
- Temperatura ambiente: -10...50 °C
- Temperatura del fluido: -10...50 °C

### 2.2.2 Sensores Inductivos

Los sensores inductivos (Figura 2.2) son una clase especial de sensores que sirven para detectar la presencia de materiales metálicos ferrosos. Poseen un devanado interno tipo bobina por el cual se hace circular corriente y con la regla de la mano derecha se puede saber fácilmente cual es el sentido del campo magnético originado (Amador Martínez, 1986). Al aproximar un objeto metálico ferroso al sensor se varía la inductancia de la bobina interna y con ella varía la impedancia de la misma, se activa entonces el amplificador de salida y da una respuesta positiva (uno lógico) ante la presencia del material (Creus Solé, 1997); (Amador Martínez, 1986). Los sensores que se usan son marca NAMUR modelo SME-8-K-LED-24.

Los sensores inductivos están ubicados de la siguiente manera:

- Uno para detectar la posición del palpador dentro del canasto.
- Uno para el freno mecánico de la máquina.
- Uno para que el penduleo no exceda los límites establecidos.
- Seis para el arado (reposo, trabajo, arriba, abajo, seguro y posición intermedia). El arado lleva todo el tiempo un alto seguimiento de su posición ya que la introducción del mismo a velocidad no deseada, o en un límite de posición incorrecto, ocasiona daños excesivos al canasto, al motor y a los operadores de la máquina.

- Dos sensores se ubican para conocer la posición superior e inferior del cono de descarga.
- Dos para la compuerta de masa (abierta y cerrada).
- Uno para el presostato de agua.
- Uno para detectar el cierre de la compuerta de goteo.



Figura 2.2. Sensores Inductivos NAMUR modelo SME-8-K-LED-24

### **Características técnicas de los Sensores Inductivos**

- Voltaje de alimentación: 12...30 V AC / DC
- Rizado residual máximo: +/- 10 %
- Corriente de conmutación máxima: 500 mA
- Carga máxima (Óhmica): 10 W
- Tiempo de respuesta: < 0.5 ms
- Frecuencia de conmutación máxima: 800 Hz
- Temperatura de trabajo (cable inmóvil): -20...60 °C
- Temperatura de trabajo (cable en movimiento): -5...60 °C
- Materiales del cuerpo: PC (policarbonato), PET (polietileno tereftalato), Epoxi (polímero termoestable)
- Material del cable: PUR (espuma de poliuretano)

### 2.2.3 Autómata

El sistema de control está comandado por un autómata *FX-3U* del fabricante Mitsubishi (Figura 2.3). Dicho sistema está instalado en el panel de control de ASEA y consta de tres módulos de extensión los cuales se particularizan en: módulo de entradas analógicas modelo *FX3U-4AD-4ADP* (4 entradas), módulo de salidas analógicas modelo *FX3U-4DA-ADP* (4 salidas) y módulo de entradas digitales modelo *FX2N-16EX-ES/UL* (16 entradas). Además de los tres módulos de extensión existe un módulo *display* modelo *FX3U-7DM*. La energía de este conjunto se encuentra respaldada por dos fuentes de alimentación (Figura 1, Anexo V) con entradas 100-240 V AC, salidas 24 V DC / 5A y 24 V DC / 2.5A respectivamente (Camacho Sánchez, 2013).

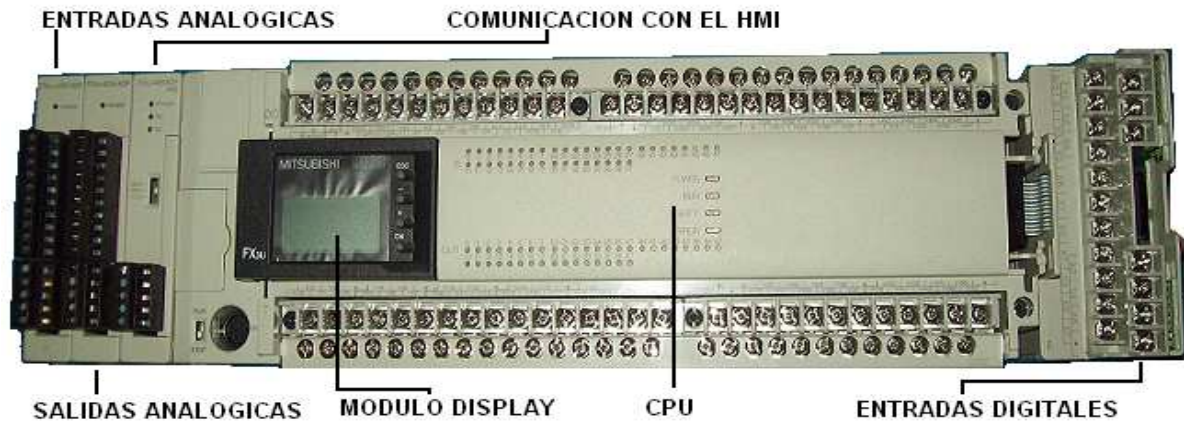


Figura 2.3. Autómata *FX-3U* y módulos de expansión usados en el proceso

#### Características técnicas del Autómata

- Voltaje de alimentación: 100...240 V AC
- Voltaje de entradas y salidas: 24 V DC +/- 10 %
- Cantidad de entradas y salidas: 40
- Tiempo de respuesta de las entradas: aproximadamente 10 ms
- Frecuencia de trabajo: 50/60 Hz
- Temperatura de trabajo: 0...55 °C
- Humedad relativa: 5...95 %

- Capacidad de memoria: 64000 pasos
- Comentarios: hasta 6350 líneas
- Batería: aproximadamente 5 años
- Velocidad de procesamiento: 0.065  $\mu$ s/instrucción
- Contadores: de 16 bits y de 32 bits (además posee 3 contadores rápidos de 32 bits)
- Trabaja con constantes tipo: decimales, hexadecimales, números reales y cadena de caracteres

Siete bornes porta fusible modelo WK4 THSI5 son necesarios, ya que en ellos van insertados un fusible de cristal de 160 mA y seis fusibles de 400 mA (Ver Figura 2, Anexo V). Se utiliza también, el convertidor FX3U-CNV-BD para la conexión de módulos a la izquierda de la CPU del autómat, la interfaz FX3U RS485 para la comunicación modelo ADP-MB, un conjunto conector Mini-DIN 8P (MACHO) más conector Sub-D 9 (MACHO) más carcasa 9P 2.43 mm. Para visualizar el trabajo con el autómat y la operación del proceso en sí, se acopla al módulo de control un Terminal Táctil o *HMI* de 5.7 pulgadas, *TFT* (son las siglas en inglés de Transistor de Películas Finas), de 65.536 colores modelo GT1455-QTBD (Camacho Sánchez, 2013).



Figura 2.4. Terminal Táctil *TFT* modelo GT1455-QTBD

#### **Características técnicas del Terminal Táctil**

- *Display* Analógico con resolución de 320 x 240
- Memoria Interna 9 MB
- Interfaces de Comunicación

RS-232C	USB host
RS-422 / RS-485	USB device
ETHERNET	Memoria SD

- Principales funciones

Dualdriver	Modo transparente
Data logging	Transferencia de datos
Servidor VNC	Control de usuario

### 2.2.4 Convertidor de Potencia

La parte de fuerza del sistema está constituida por un convertidor de potencia de CC modelo DCS800-S02, un contactor principal trifásico, reactancias de línea y fusibles rápidos para la protección de semiconductores (Ver Figuras 1-4, Anexo VI).

Este convertidor funciona mediante dos puentes de seis tiristores cada uno (un puente para la aceleración y otro para el frenaje), realiza 42 mediciones *on-line* entre las que se encuentran voltaje de armadura (V), corriente de armadura (A), corriente de campo (A), voltaje de la red trifásica de alimentación (V), velocidad analógica del motor proveniente del tacogenerador (V), velocidad del motor en función de la FEM entregada y frecuencia de la red (Hz) (ABB, 2005). Algunas de las aplicaciones de este convertidor son: la industria metalúrgica, embarcaciones, obtención de pastas y papel, remotes en pistas de esquiar, tratamiento de materiales, imanes en centros de chatarra y materias primas, bancos de ensayos, minería, impresión y cargadores de baterías.



Figura 2.5. Convertidor de potencia modelo DCS800-S02

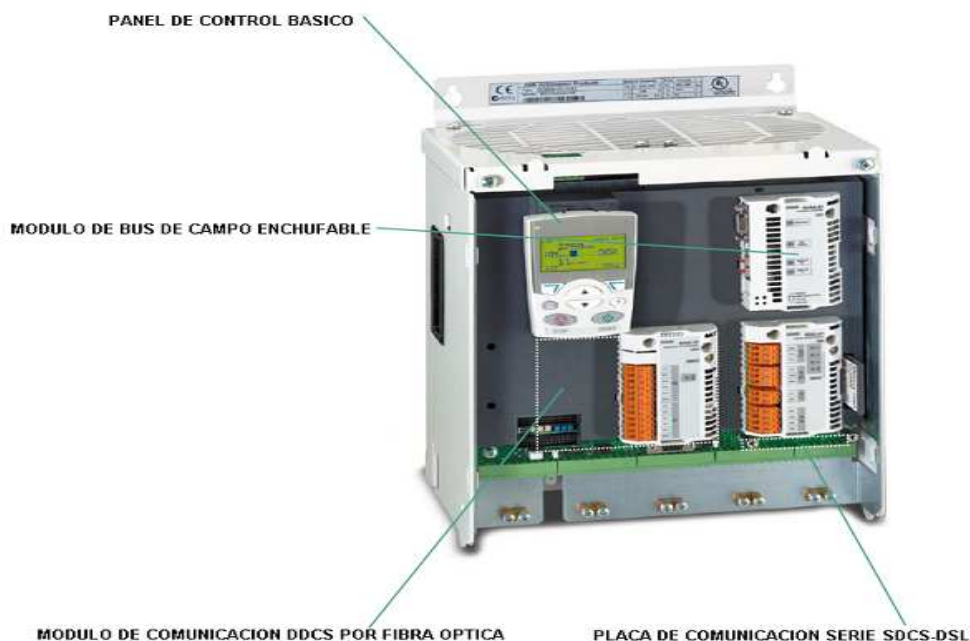


Figura 2.6. Opciones enchufables del convertidor modelo DCS800-S02

### Particularidades del convertidor

El panel de control básico incluye una pantalla numérica de una sola línea. Se puede utilizar para controlar el convertidor, definir los valores de los parámetros o copiarlos de un convertidor a otro (Figura 1, Anexo VII).

Las opciones de bus de campo enchufables ofrecen conectividad a los principales sistemas de automatización. Un solo par trenzado evita el uso de grandes cantidades de cable convencional, con lo que se reduce el costo y se incrementa la fiabilidad del sistema.

El módulo de comunicación DDCS por fibra óptica ofrece una comunicación serie rápida con interface SDCS-COM-8:

- Canal maestro módulo bus a AC800M
- Canal de E/S a la placa AIMA-01
- Canal DDCS maestro-esclavo

La placa de comunicación serie SDCS-DSL proporciona la comunicación serie en los siguientes casos:

- De convertidor a convertidor

- De convertidor a control de excitación externo
- Aplicaciones de 12 pulsos

El fabricante recomienda una serie de protecciones para el convertidor que no deben ser pasadas por alto. Entre estas protecciones se encuentran: 3 fusibles a la entrada trifásica, 3 fusibles rápidos para la protección de semiconductores a la entrada del convertidor, 2 fusibles rápidos de CD del fabricante Ferraz Shawmut a la entrada del motor y 3 reactancias de línea para evitar la interferencia del convertidor en la red o el efecto indeseable de otros convertidores que trabajen en las cercanías.

### **Características técnicas del convertidor**

- Tensión de alimentación de red: 230...1200 V +/-10 %
- Frecuencia: 50...60 Hz +/-5 %
- Alimentación de componentes electrónicos: 115...230 V , -15 % / +10 %
- Intensidad de salida CC: 20...5200 A
- Entradas digitales: 8 estándares hasta 14 opcionales
- Salidas digitales: 8 estándares hasta 12 opcionales
- Entradas analógicas: 4 estándares  
+/-10 V; 0/2...10 V hasta 6 opcionales
- Salidas analógicas: 3 estándares  
+/-10 V; 0/2...10 V hasta 5 opcionales
- Tiempo respuesta: 3.3 ms / 2.77 ms
- Bloques de funciones específicas del convertidor y predefinidas  
Regulador de procesos (regulador PI)  
Operaciones digitales y de E/S
- Tacómetro analógico
- Generador de pulsos
- Comunicación serie hasta 800 kBaud <2.5 ms

Ethernet	CANopen	ControlNet
Profibus- DP	DeviceNet	Modbus

### Funcionamiento del convertidor de potencia

Cuando el convertidor está listo para cerrar el contactor principal, se ajusta el estado **RdyOn** = 1, el sobrecontrol (autómata) emite el comando **On** = 1.

El convertidor cierra el contactor principal, los contactores del convertidor y los ventiladores del motor. Después de comprobar la tensión de red y todas las confirmaciones, así como de establecer la intensidad de campo, el convertidor se ajusta a estado **RdyRun** = 1, el sobrecontrol emite el comando **Run** = 1. El convertidor libera la rampa, todas las referencias y todos los controladores, entonces se ajusta a estado **RdyRef** = 1, ahora el convertidor sigue las referencias de par y velocidad.

Al convertidor llegan tres señales de referencia de velocidades por la misma entrada analógica provenientes del *PLC*, según sea el estado del programa: velocidad de aceleración y carga, velocidad de aceleración y centrifugado y, velocidad de frenaje y descarga. Estas velocidades se comparan en un bloque con la señal de velocidad actual proveniente del tacogenerador instalado en el borde superior del motor. El taco genera en su salida 60 V cuando el motor gira a 1000 rpm entonces por una sencilla regla de tres se puede saber, en todo momento al medir el voltaje de salida del taco, las rpm del motor. Estas dos señales se comparan y se convierten en una señal de referencia de corriente, la cual es comparada en otro bloque con la señal de realimentación de la corriente actual proveniente de las tres líneas trifásicas.

La salida de este segundo bloque entra a un generador de ondas que controla el ángulo de disparo de los tiristores y estos a su vez gobiernan la armadura del motor.

Para controlar la corriente de excitación del campo motor se hace entrar igual, una señal de referencia y una señal de realimentación, a un bloque funcional que las compara y manda por la salida una señal al generador de pulso y este a su vez a los tiristores, que al controlar el ángulo de disparo pueden variar la corriente que se le

entrega al circuito de campo. Si el motor gira al revés hay que invertir los cables de excitación del campo motor.

### 2.3 Interacción entre los elementos del sistema de control

La Figura 2.7 muestra la relación de los diferentes componentes físicos que intervienen en el control del motor de la centrífuga. La pantalla táctil *HMI* establece una comunicación Modbus en modo RTU con el *PLC* (primer módulo a la izquierda del mismo), la pantalla es el maestro en la comunicación y el *PLC* el esclavo. Al autómatas le entran señales digitales de los diferentes sensores de campo y el reconocimiento de los diversos botones del panel del operador. A las salidas se observan señales para las diferentes electroválvulas, contactores y lámparas en general. Por el segundo módulo a su izquierda, se envía la señal de referencia de velocidad analógica hacia el convertidor y por el tercer módulo se recibe la señal de velocidad analógica real desde el mismo y la señal de la velocidad actual desde los bornes 22 y 23 del relé de velocidad (Ver Figura 6, Anexo V), dicha señal se obtiene digitalmente mediante la lectura con un sensor inductivo de una rueda dentada de 8 dientes incorporada en el eje del motor, se procesa en el relé de velocidad y se envía de manera analógica (señal normalizada 4-20 mA) hacia el módulo del *PLC*. El convertidor además, controla el motor mediante el circuito de armadura y el circuito de campo de forma independiente.

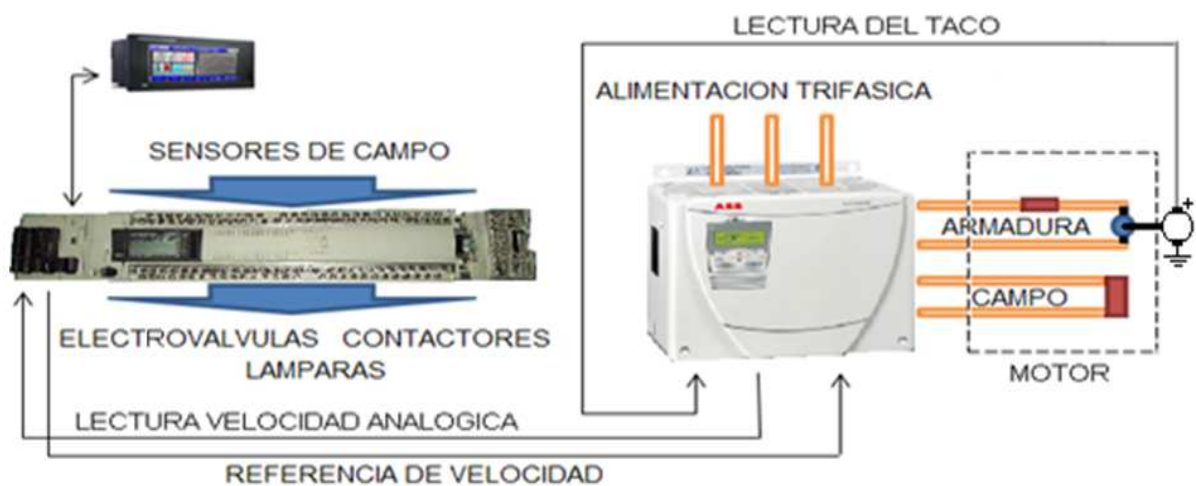


Figura 2.7. Interacción entre los elementos del sistema de control

## 2.4 Software a utilizar para la programación del autómat

El fabricante Mitsubishi proporciona un *software* denominado *GX Works2* para la programación y el mantenimiento del *PLC*. Este *software* incorpora módulos inteligentes de funciones, referencias cruzadas, el cálculo del tamaño de memoria consumida, diagnóstico de fallas, monitorización del sistema y bibliotecas predefinidas para el manejo de los diferentes módulos físicos que se le adosan al *PLC* (MITSUBISHI 2006, 2007a, 2007b, 2010). Dentro de las bibliotecas se puede mencionar la usada para los módulos analógicos denominada Analog FX\_V310 y la usada para el módulo de comunicación llamada Modbus FX3U Slave ADP\_MB\_V100.

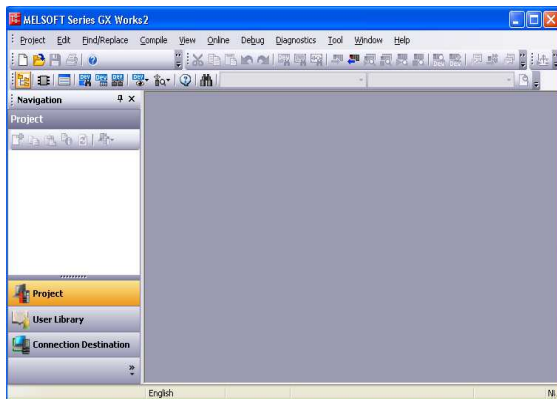


Figura 2.8. a) Pantalla de inicio del GX Works2

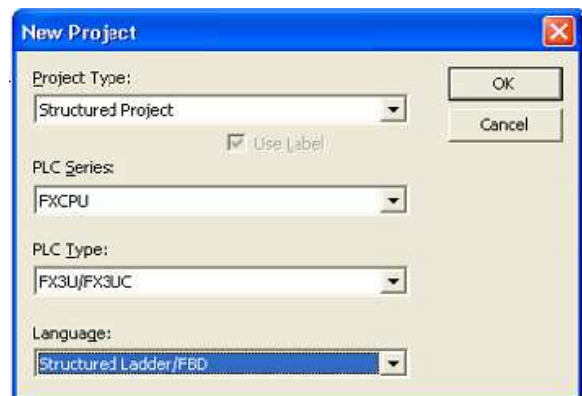


Figura 2.8. b) Configuración de los parámetros generales

Lo primero que se hace, en el programa de la centrífuga, es configurar los parámetros generales mostrados en Figura 2.8. b) como son: el tipo de proyecto, la serie del *PLC* y el modelo, así como el lenguaje de programación que se va a utilizar.

Una de las grandes ventajas que tiene el *GX Works2* sobre el antiguo programa del *PLC* denominado *GX Developer*, radica en permitir la realización de proyectos en lenguaje estructurado. Con esto se secciona el programa en diferentes subprogramas para que corran independientes y poder detectar una falla rápidamente.

Después se introducen las variables de entradas y salidas del programa, con su dirección física en el autómat, su dirección en el mapa de memoria y el tipo de dato que representan (Ver Figuras 1 y 2, Anexo VIII).

Posteriormente se ponen las líneas de códigos relacionadas a cada uno de los subprogramas que componen el programa global del funcionamiento de la centrífuga. Los rangos de operación de las entradas y de las salidas de los módulos analógicos se muestran a continuación:

- Voltaje por las entradas: 0 V...10 V DC con resolución de 2.5 mV (10 V equivale a 4000 señales digitales de salida).
- Corriente por las entradas: 4 mA.... 20 mA DC con resolución de 10  $\mu$ A (16 mA equivale a 1600 señales digitales de salida).
- Voltaje por las salidas: 0 V...10 V DC con resolución de 2.5 mV (10 V equivale a 4000 señales digitales de entrada).
- Corriente por las salidas: 4 mA...20 mA DC con resolución de 4  $\mu$ A (16 mA equivale a 4000 señales digitales de entrada).

Una de las potencialidades del *GX Works2* es la simulación de un *PLC* conectado a la *PC*, esto es una opción que el antiguo *software* no tenía, lo que hace más confiable el trabajo a la hora de poner a prueba cualquier programa que se haga. Esta potencialidad reduce al mínimo la posibilidad de rotura o bloqueo del *hardware* por concepto de mala programación o mal direccionamiento.

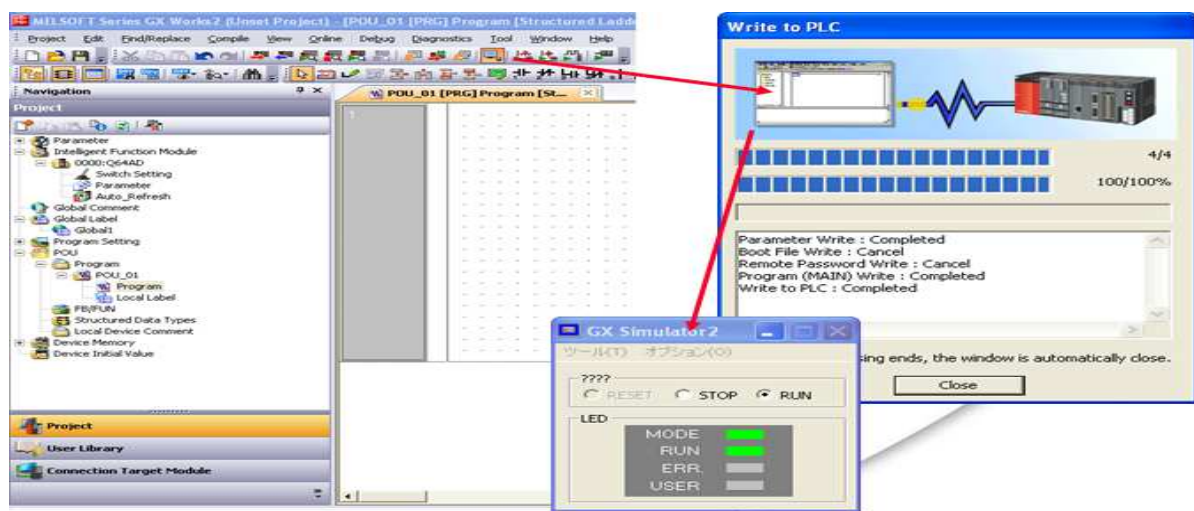


Figura 2.9. Potencialidad de simulación integrada del *GX Works2*

## 2.5 Software a utilizar para la programación del HMI

El fabricante Mitsubishi proporciona un *software* denominado *GT Designer3* para la realización del diseño de las diferentes pantallas del *HMI* y la programación del mismo (Figura 2.10 a). Se realizó a lo largo de esta tesis un rediseño de cuatro de las pantallas de conjunto con los ingenieros de la empresa.

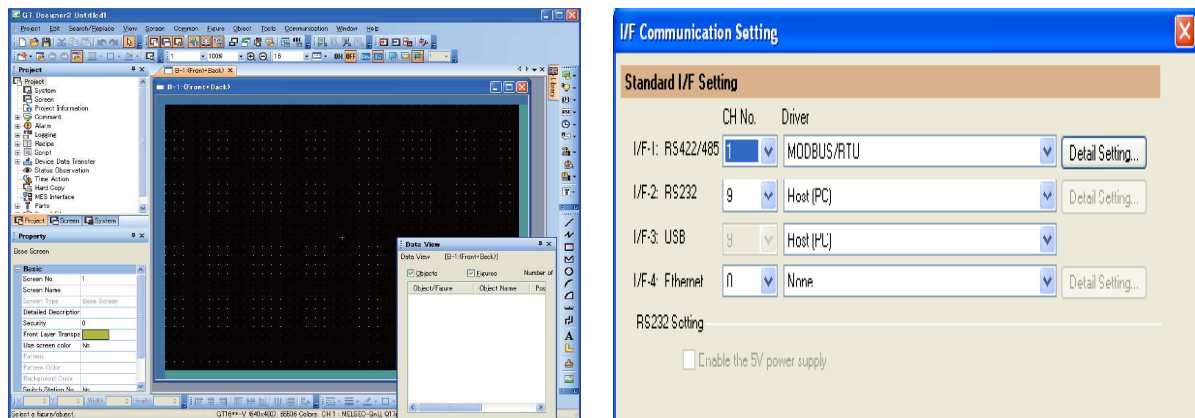


Figura 2.10. a) Pantalla de inicio del *GT Designer3*

Figura 2.10 b) Comunicación MODBUS (RTU) entre el *HMI* y el *PLC*

Este potente *software* cuenta con tres bibliotecas gráficas: biblioteca estándar, biblioteca para el proyecto actual y biblioteca de usuario común a todos los proyectos. Además posee cuatro accesos para la comunicación con el *HMI*, los accesos son de izquierda a derecha: exportar datos al *HMI*, importar datos desde el *HMI*, verificar el proyecto entre el *HMI* y una *PC*, y por último configurar las herramientas de comunicación (Figura 2.11).



Figura 2.11. Accesos para la comunicación

Se pueden poner un máximo 32 objetos en la pantalla de la interfaz, a partir de esta cantidad no se mostrarán en el *HMI*. A la hora de introducir un dato numérico se especifica si es decimal o hexadecimal, así el programa cambia las opciones de los

caracteres. También posee una opción para la introducción de los datos en formato ASCII.

Se pueden introducir en el programa diferentes usuarios con 15 niveles de seguridad distintos, esto brinda la posibilidad de una alta fiabilidad y de que ningún operador pueda modificar o cambiar algún parámetro que no le sea permitido.

Posee una gran paleta de herramientas con la que se puede: dibujar figuras predeterminadas como rectángulos, círculos, arcos; importar una imagen con extensión bmp, jpg y jpeg la cual es colocada en cualquiera de las pantallas. Tiene la posibilidad de mostrar tres tipos de alarmas según jerarquía: *Alarm Display*, *Alarm History Display* y *Advanced Alarm Display* donde se puede configurar el intervalo de aparición y la frecuencia con que se borren los registros. Se puede programar gran cantidad de objetos durante el diseño, entre ellos botones de acceso directo, cuadros de diálogos y monitorización de valores



Figura 2.12. Parte de la paleta de herramientas del *GT Designer3*

Una potencialidad que trae el *GT Designer3* es que, al igual que el *GX Works2*, se puede simular la existencia de un *HMI* conectado a la PC y mandar a correr las diferentes pantallas para ver como se ejecutan, como hacen la transición de una a otra y luego poder pasar el programa hacia el *HMI* físico que se encuentra en el panel de operador.

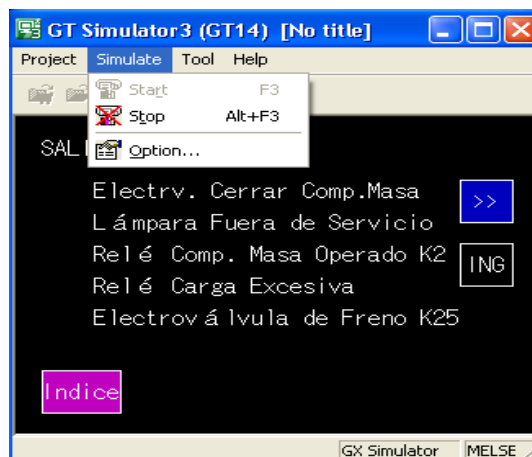


Figura 2.13. Potencialidad de simulación integrada del *GT Designer3*

## 2.6 Software a utilizar para el convertidor ABB

El fabricante Mitsubishi proporciona un *software* denominado *DriveWindow Light 2* para la visualización en tiempo real de los principales parámetros del convertidor y del motor. La pantalla de inicio del *software* se observa a continuación:

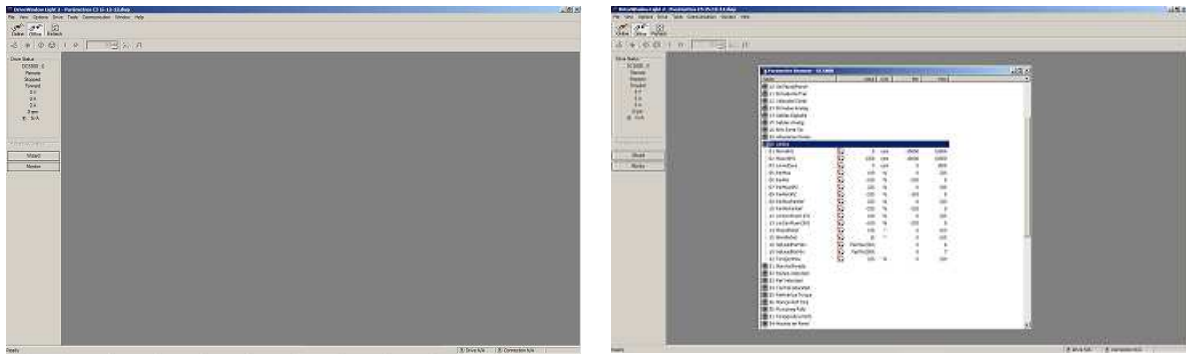


Figura 2.14. a) Pantalla de inicio del *DriveWindow Light 2*

Figura 2.14. b) Parámetros del motor de la centrífuga cargados en el programa

Cuando se ejecuta el programa lo primero que él hace, es analizar si existe algún convertidor conectado para cargar sus parámetros de forma transparente al usuario (se trabaja *on-line*). En caso de trabajar *off-line* se carga cualquier registro histórico y/o gráficas existentes en la PC para ver los parámetros que sean de interés.

Este *software* tiene como objetivo graficar las diferentes operaciones del proceso y los diferentes grupos de parámetros del convertidor y del motor. Permite parametrizar el convertidor con los datos de chapa del motor. La opción de la parametrización del convertidor se puede realizar también por medio del *display* del propio convertidor. Brinda en total 52 grupos de parámetros enumerados entre el 1 y el 99.

Dentro de los principales grupos de parámetros se encuentra el 99 llamado Datos Iniciales; se guardan datos de chapa del motor como voltaje nominal, corriente nominal, voltaje máximo, corriente de campo nominal, etc. El grupo de parámetros 1 también es importante ya que registra 42 valores *on-line* entre los que se encuentran: voltaje de armadura, corriente de armadura, corriente de campo, voltaje de la red trifásica de alimentación, velocidad analógica del motor proveniente del tacogenerador, velocidad del motor en función de la FEM entregada y frecuencia de la red.

Los grupos de parámetros 13, 10, 14, 15 definen entradas analógicas, entradas digitales, salidas digitales y salidas analógicas respectivamente. El 16 se denomina Entrada de Control del Sistema y se usa para que los usuarios no puedan modificar ningún juego de parámetros del convertidor; el 16.04 si se ajusta en 1 lógico o *true* ningún operador puede pasar el mando del convertidor de remoto a local y empezar a variar *on-line* la velocidad del motor y otras características, esto puede provocar que el convertidor se quede con la última lectura obtenida desde el *PLC* y no responder adecuadamente según la secuencia lo amerite, también en este caso el *PLC* puede caer en una secuencia cíclica y tampoco responder a las señales externas que se le pasan.

En el grupo de parámetro 20 se introducen los límites como 20.01 velocidad mínima del motor, 20.02 velocidad máxima del motor y 20.03 límite de velocidad igual cero en las 5 rpm. Otro grupo de parámetros importante a considerar es el 50 conocido como Medición de Velocidad; en el 50.03 se puede seleccionar en qué modo se va a realimentar la velocidad al convertidor: se le introduce modo FEM para hacer autoajustes del convertidor y pruebas en vacío, se le introduce modo TACO para dejar que la máquina trabaje por sí sola en modo automático.

## **2.7 Software a utilizar para la realización de planos**

La compañía Autodesk puntera en soluciones de manufactura, arquitectura, ingeniería de construcción, soluciones de plataforma y negocios emergentes, desarrolla y comercializa un *software* especializado llamado *AutoCAD Electrical* que se utilizó en la confección de los planos de los paneles de la centrífuga. *Auto* hace referencia a la empresa creadora del *software* y *CAD* a diseño asistido por computadora (por sus siglas en inglés). Es un *software* reconocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos en las diferentes especialidades como arquitectura, civil, mecánica y electricidad por solo mencionar algunas, así como la recreación de imágenes en 3D. La primera versión del *software* se lanzó al mercado en el año 1982 y la versión usada en la realización de este trabajo es la 2008.

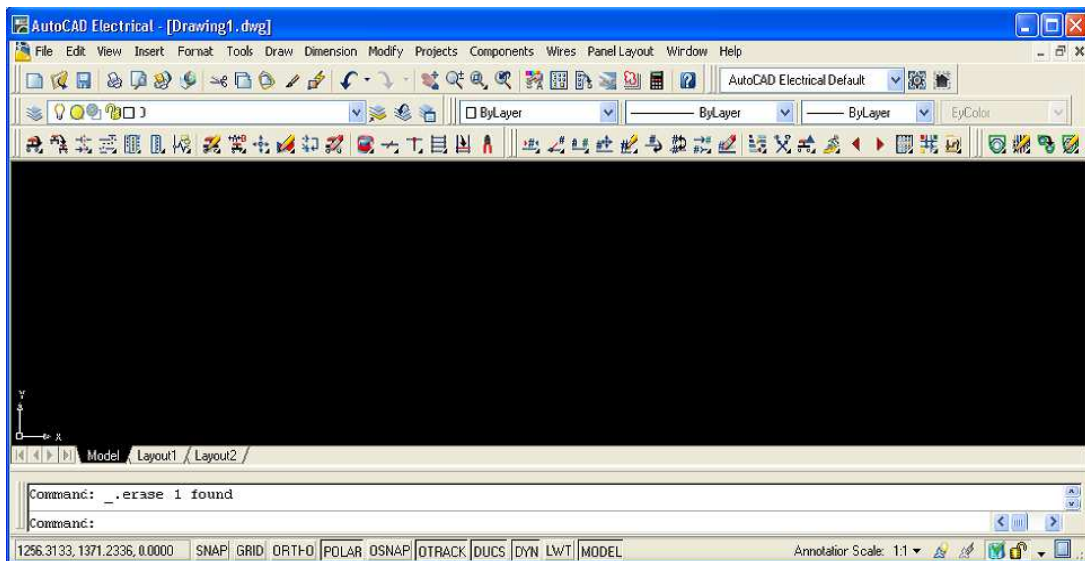


Figura 2.15. Pantalla de inicio del *AutoCAD Electrical 2008*

Todos los planos realizados con anterioridad a esta tesis, se realizan dentro de una plantilla generada por la empresa que incluye: el cajetín con el nombre del plano, el número identificador del proyecto, el número consecutivo del plano, el autor y la fecha de realización.

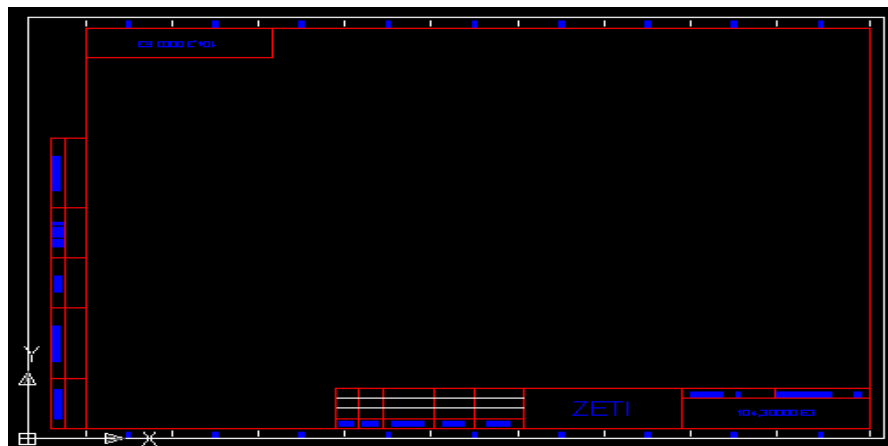


Figura 2.16. Plantilla de los planos con el cajetín a la derecha y abajo

Este *AutoCAD Electrical* tiene bibliotecas especializadas para la ingeniería eléctrica que hacen posible la realización de los trabajos con gran rapidez por traer incorporados: botones, selectores, fusibles, chuchos límites, válvulas solenoides, temporizadores y diferentes motores.

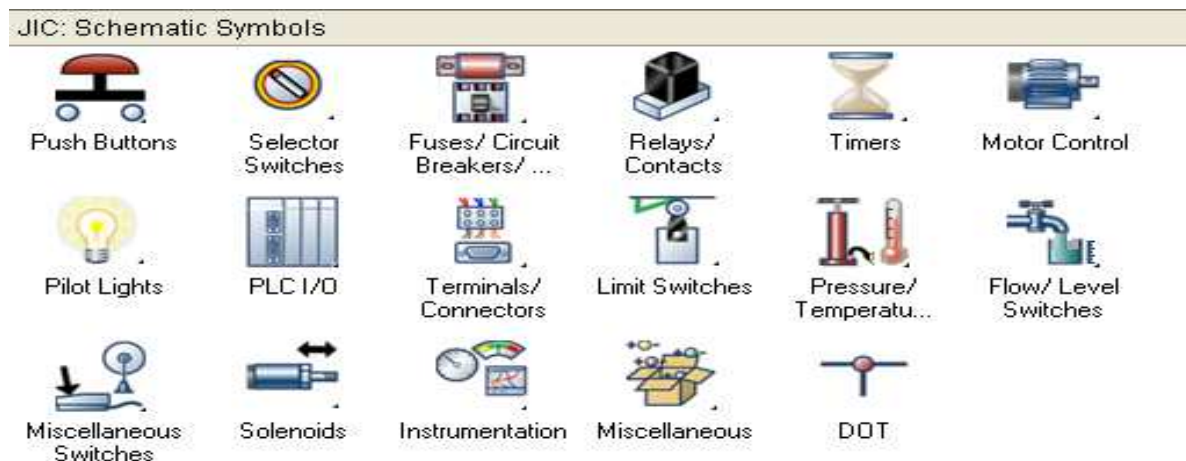


Figura 2.17. Biblioteca especializada del *AutoCAD Electrical 2008*

En el Anexo IX se muestran planos del panel KS1Y1 donde se observa el esquema de fuerza del convertidor (Figura 1), así como su manejo (Figura 2), y en el Anexo X, planos del panel KS2 donde se pueden ver el circuito de parada por emergencia del sistema (Figura 1) y las conexiones de entradas digitales del *PLC* (Figura 2).

## 2.8 Consideraciones finales del capítulo

Para la remodelación de la quinta máquina de la batería de centrífugas de la UEB “Central Azucarero Jesús Rabí” se realizó una revisión del equipamiento existente. Lo primero que se reutiliza es el motor de corriente directa de la máquina, el panel original de ASEA, las partes mecánicas de la máquina como el canasto y el conjunto rotacional. Se sustituye el sistema electro-neumático por la tecnología del proveedor DUNMAQ, los sensores de presencia por sensores inductivos, la lógica cableada de relé y temporizadores por un *PLC*, y el convertidor original de la máquina por un convertidor de potencia de CC moderno.

Queda demostrado por trabajos realizados en otros centrales que las electroválvulas FESTO y los sensores inductivos NAMUR, son resistentes a las condiciones corrosivas y adversas del medio. Estos instrumentos de acción final y los nuevos sensores respectivamente, después de algún tiempo de montaje operan según parámetros del fabricante y facilitan lecturas certeras y rápidas como el primer día. Según criterios de los ingenieros proyectistas del ZETI, tanto las electroválvulas como

los sensores son muy competitivos a nivel mundial, muestra de ello es la opinión de toda una gama de especialistas en los Foros y en los sitios de debate.

El autómeta *FX-3U* empleado como elemento de control en el proceso, cuenta con módulos de expansiones analógicas (entradas y salidas), un módulo de entradas digitales y un *display HMI* para la interacción del operador con el proceso. El control del motor se realiza mediante dos puentes de seis tiristores cada uno, ubicados en el convertidor ABB. Al convertidor llegan tres señales de referencia de velocidades: velocidad de aceleración y carga, velocidad de aceleración y centrifugado y, velocidad de frenaje y descarga. Este las introduce a bloques especializados, las procesa y controla el motor de la máquina, tanto por el campo como por la armadura con la variación del ángulo de disparo de los tiristores.

En el transcurso de esta tesis se trabajó fundamentalmente con el *GX Works2* y con el *GT Designer3*, para modificar el programa del *PLC* y rediseñar algunas de las pantallas del *HMI* respectivamente, pero se abordan algunos tópicos sobre los programas *DriveWindow Light 2* y *AutoCAD Electrical 2008* que son necesarios para el entendimiento lógico de todo el proceso. Se mostraron algunas de las potencialidades que tiene el *GX Works2 con respecto al GX Developer* sobre el cual se encontraba el antiguo programa del *PLC*, se ofrecen también, algunos parámetros de los módulos analógicos de manera introductoria.

En el siguiente capítulo se observarán algunos de los resultados globales alcanzados durante el proceso de modernización de la centrífuga y los resultados puntuales alcanzados durante el desarrollo de esta tesis.

## **CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA MODERNIZACIÓN**

En este capítulo se realiza una descripción detallada de todos los planos confeccionados para la modernización de la centrífuga, estos se realizaron con anterioridad a esta tesis, pero se cuentan como un resultado del proyecto en general. Se brindan algunos detalles de interés para el entendimiento del diagrama de flujo del proceso que se encuentra íntegramente en el Anexo XI. Este diagrama se realizó para tener una perspectiva organizada de cómo funciona la máquina y para lograr la programación del autómata Mitsubishi y la interacción de todo el equipamiento en el proceso de forma coherente. En el siguiente epígrafe se explica brevemente como se realiza el procesamiento de alarmas en el *PLC* y su presentación en el *HMI*. Se mencionan también, las principales pruebas realizadas al panel y a todo el equipamiento desde su preparación hasta su cableado, justo antes de llevárselo para el central, todo ello quedó asentado en el Acta de Conformidad. Se exponen criterios generales, que valoran los resultados de la modificación en el programa del autómata, del rediseño de cuatro de las pantallas del *HMI* y para concluir se hace un pequeño análisis técnico-económico de la factibilidad de este proyecto, así como el impacto medioambiental que puede tener.

### **3.1 Planos elaborados para la realización del proyecto**

Para la realización del proyecto de modernización del sistema automatizado de control de centrífugas en la UEB “Central Azucarero Jesús Rabí” se realizan tres juegos de planos, el primero para el Panel KS1Y1, el segundo para el Panel KS2 y el tercero para el Panel del Operador. En el panel de fuerza KS1Y1 los planos se pueden dividir para su análisis en planos de electromontaje y planos del principio de funcionamiento. Los planos de electromontaje tienen el objetivo de guiar al personal en la ubicación del equipamiento dentro del panel y los planos del principio de funcionamiento detallan las conexiones eléctricas del equipamiento dentro del panel. Dentro de este último grupo se encuentran:

- Alimentación general (se muestra la acometida trifásica compuesta por disyuntor principal, fusible general, contactor principal, reactancias de línea,

fusibles para la protección de semiconductores y también se observa el transformador de control del módulo del convertidor).

- Voltaje de alimentación (incluye las conexiones del transformador de alimentación general, interruptores de alimentación de la fuente de entradas y salidas digitales, fuentes de alimentación del *PLC* y la alimentación del relé de velocidad).
- Relés asociados al convertidor (se encuentran en ese plano el relé arrancador del contactor principal y el relé arrancador del ventilador del convertidor).
- Tarjeta de control CON 4 (entradas digitales del convertidor (X6) y conexión a las bobinas de los relés asociados a las salidas digitales (X7)).
- Conexiones del ventilador del convertidor (X2).
- Entradas y salidas analógicas (conexión entre las entradas y salidas analógicas tanto del *PLC* como del convertidor).
- Conexiones exteriores del convertidor (se observan las conexiones con la armadura del motor, con el campo del motor y con el tacogenerador).
- Relé arrancador del contactor principal (conexiones entre la salida digital número 8 del convertidor y el relé arrancador, incluye relé interno (K400) del convertidor y el relé de parada de emergencia con el empleo de un juego de contactos 57 y 58).

En el panel KS2 los planos se pueden dividir también para su análisis en planos de electromontaje y planos del principio de funcionamiento. Los planos de electromontaje incluyen:

- Perforaciones de la ubicación de los botones en la puerta del panel.
- Electromontaje de los botones en la puerta del panel (distribución y función).
- Distribución de canaletas plásticas y raíles DIN (dimensiones).
- 4 planos para la distribución de los componentes en cada uno de los raíles DIN del panel.

Los planos de principio de funcionamiento incluyen:

- Conexiones de las 2 fuentes de alimentación de 24 V (la de 2.5 A para el *PLC* conjuntamente con el *HMI* y la de 5 A para las entradas y salidas digitales).
- Conexiones del relé de parada de emergencia.

- Conexiones del relé de velocidad.
- Relé del límite superior del cono y el bloque de electroválvula del arado abajo y arriba.
- 7 planos de las entradas digitales del *PLC*.
- 5 planos de las salidas digitales del *PLC*.
- Plano de la secuencia de enclavamiento de descarga (se especifican las conexiones de los juegos de contactos del relé de descarga (K20) y la bobina del mismo; este relé es el encargado de que varias máquinas no descarguen a la misma vez provocando el desbordamiento en la banda transportadora o el atoro del tornillo sin fin).
- Esquema de conexión entre las diferentes máquinas de la batería de centrífugas para el enclavamiento de descarga.
- Conexiones en la regleta X1 (que son las señales que van hacia el campo).

En el tercer juego de planos destinados al Panel del Operador se tienen los mismos dos grupos vistos en el primero y el segundo: los planos de electromontaje y los planos del principio de funcionamiento. Los planos de electromontaje incluyen:

- Vista Frontal (distribución física de los botones, conmutadores y lámparas en el panel del operador).
- Perforaciones.
- Vista interior (ubicación de las borneras de conexión).

Los planos de principio de funcionamiento incluyen:

- Conexiones eléctricas (conexiones entre cada uno de los botones, conmutadores, lámparas del panel y la alimentación de la Pantalla Táctil *HMI*).

De esta manera se encuentran organizados todos los planos utilizados en la realización de este proyecto. Una copia impresa de todos estos planos se le entrega al cliente junto con la documentación legal del proyecto y la documentación técnica. Con los planos de principio de funcionamiento del KS2 se trabajó en esta tesis para realizar el cableado de toda la parte de control de la máquina, lo que sirvió para analizar la función que cumplen cada uno de los componentes por separado en la etapa donde intervienen y la interacción de todos en el proceso global.

### 3.2 Diagrama de flujo del proceso

Para la realización de la programación del autómatas Mitsubishi se hace necesario confeccionar el diagrama de flujo del funcionamiento de la máquina y de la interacción del operador con la misma, para proveer al programador de una secuencia lógica y clara del proceso en cuestión.

Para empezar el diagrama, se definirán a continuación una serie de condiciones iniciales que se deben cumplir para que la máquina pueda trabajar:

- Arado en posición de reposo.
- Cono de descarga en posición inferior (cerrada la compuerta).
- Compuerta de masa cerrada.
- Compuerta de goteo cerrada.
- Presión de aire comprimido y aire de lubricación óptima.
- Funcionamiento del sinfín.
- Existencia de aire de enfriamiento del motor.
- Selector de trabajo en panel del operador, en manual.

En el Anexo XI se encuentra el diagrama de flujo seccionado en tres páginas debido a su extensión y solo se detalla el funcionamiento automático de la máquina que es el objetivo de la tesis. Es válido aclarar que el arranque de la máquina se tiene que realizar de manera manual y cuando se alcanzan determinados requisitos, entonces se pasa al modo automático y se deja trabajar por sí sola.

La marca de frenaje se activa en cualquier parte del ciclo del programa y está condicionada por:

- Fallas en los sensores del arado.
- Fallas en el freno mecánico.
- Fallas en el relé de sobre velocidad.
- Fallas en el sensor del cono.

- Fallas en la tensión de mando.
- Fallas en el disparo del interruptor Q15 encargado de las salidas digitales.
- Fallas en la presión de agua y/o en el presostato de aire.
- Activación del temporizador tiempo de espera de 3 min.

Esta marca no se desactiva hasta que no se solucione el problema que ocasionó su activación.

Datos declarados en el diagrama de flujo:

- K: Referencia Velocidad de Descarga; depende de marca de servicio.
- N: Marca de Aceleración; depende de marca de referencia.
- Ñ: Marca de servicio.
- L: Referencia Velocidad de Carga.
- Q: Marca de Referencia Velocidad de Centrifugado.

Fallas que dejan terminar el ciclo que se encuentra en ese momento y desconectan la máquina pasados 3 minutos de que el arado esté arriba:

- Falla de presión de lubricación.
- Falla en el aire de enfriamiento.

Si en cualquier parte del ciclo de trabajo de la centrífuga se produce una parada por desconexión o parada por emergencia: el freno mecánico lleva al motor a 0 rpm y no lo suelta hasta que se rearme el relé K4, ya sea en el panel KS2 o en el panel del operador.

### **3.3 Procesamiento de alarmas en PLC y su presentación en el HMI**

El procesamiento de las alarmas de todo el equipamiento se realiza en el autómata Mitsubishi *FX-3U* a una velocidad de 0.065  $\mu$ s por instrucción. Se chequean las entradas digitales y analógicas y en dependencia de su estado individual se desencadena la secuencia de una alarma o se continúa con el proceso normalmente.

La atención a algunas de las alarmas consta de los siguientes pasos:

- Señal de entrada fuera de posición, se produce un set de una marca en el autómata (set significa activación de la marca).
- Esta marca se usa como entrada para activar una bobina virtual y quedará activada hasta que la falla desaparezca (en este caso se usan a partir de las bobinas M500 para la atención a fallas).
- Conjuntamente con la activación de la bobina virtual, empieza a salir en el *HMI* mediante un generador de caracteres, el nombre de la falla en letras rojas y desplazándose de derecha a izquierda, se busca con esto llamar la atención del operador.

Cuando el mensaje es normal, el color de las letras es verde, cuando es de advertencia es amarillo y cuando es de fallas o alarmas es de color rojo. El operador además, puede mover el mensaje a cualquier parte de la pantalla arrastrándolo con su dedo según sea su preferencia. La aparición de la falla es independiente a la ventana que esté activa en el *HMI* en ese momento.

- Solo se desactivará la alarma, cuando la condición que la produjo vuelva a la normalidad y se cumplan algunos requisitos de seguridad previstos en la programación.

Al solucionarse el problema, el operador debe mediante el panel del operador, presionar el botón denominado RESET FALLA y la máquina queda preparada para seguir trabajando, pero solo un personal con nivel de acceso adecuado (instrumentista, diseñador o programador) puede quitar el mensaje del registro de fallas del *HMI*.

A continuación se muestran las líneas del programa que corresponden a la PARADA POR EMERGENCIA:

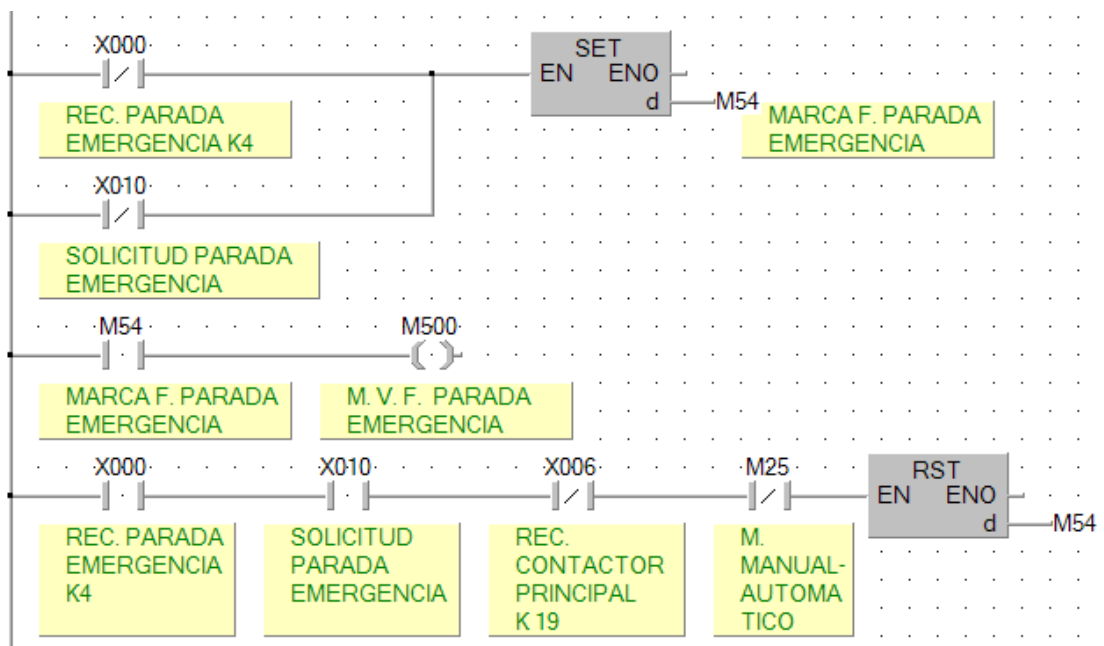


Figura 3.1. Atención a falla de Parada por Emergencia

Seguidamente se muestra como saldría esa falla en la pantalla del *HMI* encontrándose en la ventana "Índice" y mandando a correr la falla mediante el simulador del *GT Designer3*.



Figura 3.2. Aparición de la falla PARADA POR EMERGENCIA

### 3.4 Resultados de las pruebas del panel y del equipamiento

Antes del montaje de los paneles de la centrífuga, se cumple un riguroso procedimiento que tiene como **objetivo**: Establecer los requisitos necesarios para el ensamblaje de paneles en la Empresa de Servicios Técnicos Industriales (ZETI).

Al comenzar la remodelación de los paneles, estos se reciben por el jefe de la brigada de electromontaje, acto seguido comienza el desmonte, limpieza y comprobación del estado físico-técnico de los componentes que se van a reutilizar. Se procede a la chapistería y pintura del armario. Posteriormente se trabaja con el panel:

- Sobre la placa base y el frente del panel, el operario procede a trazar y marcar donde se harán las perforaciones para el montaje de los componentes, con ayuda del Plano de Electromontaje. Aquí se hace la inspección de calidad al trazado, comprobándolo con cinta métrica y pie de rey.
- Se hacen las perforaciones donde irán instaladas: canaletas plásticas, raíles DIN, lámparas y botones, se montan las canaletas plásticas (cubre cable) y los raíles DIN y se fijan todos los componentes en la posición que establece el Plano de Electromontaje.
- Se procede al cableado de la parte de control con identificadores para conductores con dígitos de 0 hasta el 9. Aquí se hace una inspección de calidad donde se comprueba que todos los componentes queden en la posición prevista, la misma es visual y manual, donde se verifica la rigidez de los mismos.
- Se hace el cableado de la parte de fuerza y se monta la placa base dentro del panel, la misma es fijada con tornillos y tuercas, posteriormente se realiza el cableado de la placa base a los componentes que se encuentran en la puerta o frente del panel; estos apartados son inspeccionados por el técnico designado para el control de la calidad.

Durante la realización de esta tesis se participó, de conjunto con el técnico designado de control de la calidad, en una inspección donde se comprobó la continuidad de los conductores (la correcta colocación de los cables), se utilizó para ello un multímetro digital # 10121902 de 600 V, 10 A, 2 M $\Omega$  de resistencia de entrada modelo V-CRAFT

procedente de Alemania, con Certificado de Calibración # 07-1183-02. Se comprobó también, el aislamiento del panel con ayuda de un megaohmímetro marca Yokogawa, 500 V modelo 2404 procedente de Japón. Todas estas pruebas quedaron asentadas en el REG 03.05-12/3.

- Se aterriza el panel y se alimenta con voltaje de fuerza para la prueba final; conjuntamente se harán todas las pruebas de control. Esta inspección la hace el técnico designado para el control de la calidad en presencia del técnico del equipo de diseño y el operario en el banco de prueba, aquí se comprueban todos los parámetros y requisitos técnicos. Esta prueba de funcionamiento final se repite en presencia del cliente si este lo solicita.

Los resultados asentados en el **Acta de Conformidad** muestran que tanto el panel como el equipamiento instalado en el mismo cumplen con las características técnicas, mecánicas y de seguridad previstas en el proyecto, ya se puede entonces, envolver el panel en nylon y proceder al enhuacado con las debidas marcaciones exteriores. El Acta de Conformidad se encuentra en el Anexo XII.

### 3.5 Resultados de la programación y el diseño

Lo primero que se logra es seccionar el programa en seis partes para un mejor análisis de cualquier falla, tanto a la hora de programar como cuando el sistema trabaja ya montado en la industria (Figura 3.3).

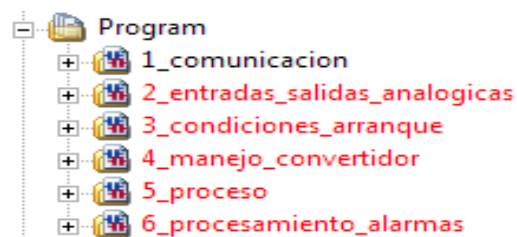


Figura 3.3. Imagen de las secciones del programa

Se empieza a programar, al poner el bloque funcional de comunicación llamado ModbusFX3USlaveADP\_MB\_CH1 que trae incorporada la biblioteca especializada de comunicación y todos los bloques que representan a los módulos analógicos de entradas y salidas que tenga el autómatas asociado físicamente de izquierda a

derecha, en este caso para las entradas sería FX3U\_4AD\_ADP y para las salidas sería FX3U\_4DA\_ADP, también incorporados por la biblioteca analógica. Los bloques se muestran a continuación:

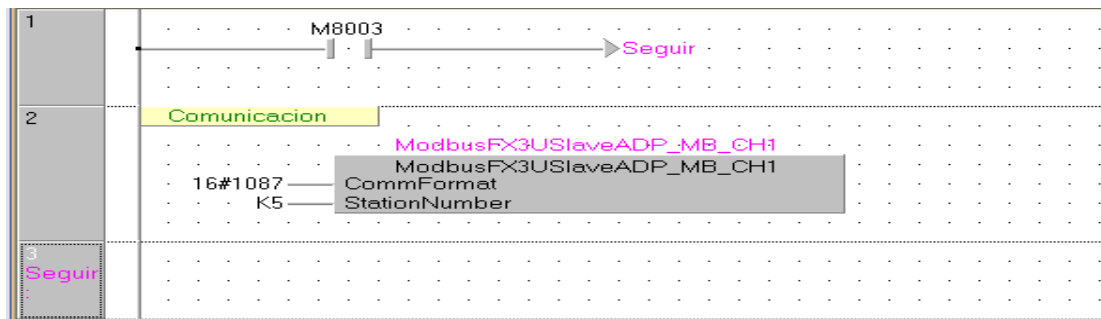


Figura 3.4. Módulo de Comunicación

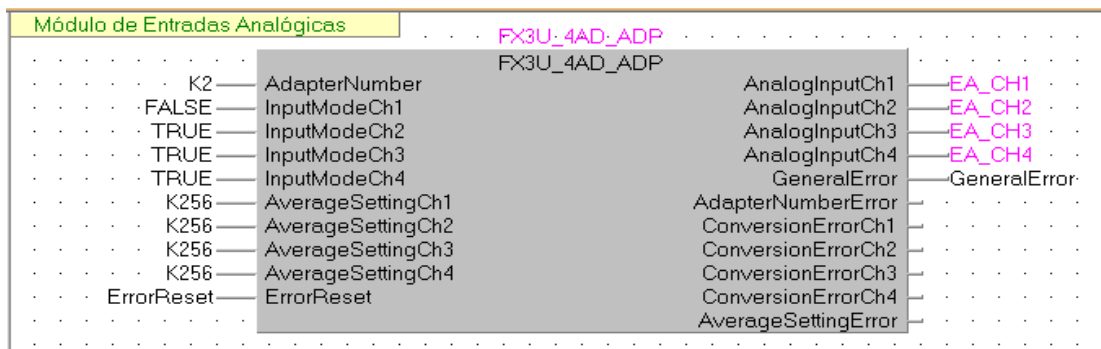


Figura 3.5. Módulo de Entradas Analógicas

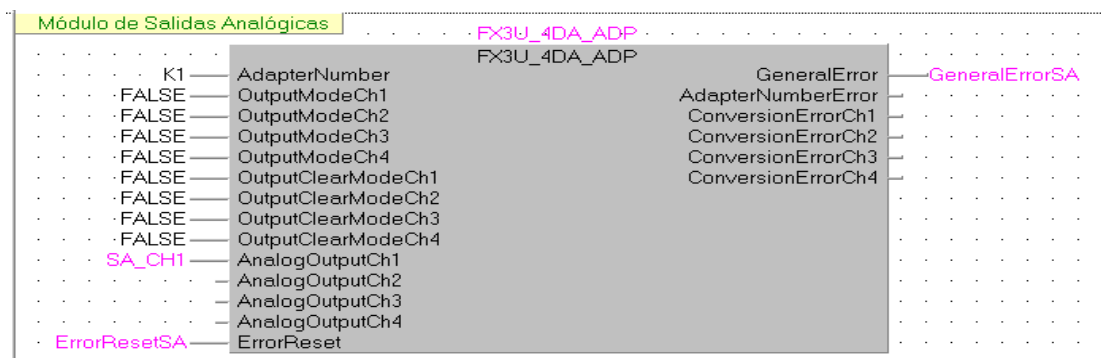


Figura 3.6. Módulo de Salidas Analógicas

El módulo de comunicación solamente tiene dos entradas configurables por *software* y no tiene salidas. En la entrada denominada **CommFormat** se encuentran parámetros como:

- Largo del dato: 8 bit ; se pone en binario 1

- Paridad: par ; se pone en binario 11
- Cantidad de bit de parada: 1 bit ; se pone en binario 0
- Velocidad de comunicación: 9600; se pone en binario 1000

(Están organizados desde el bit menos significativo hasta el más significativo)

Los bit desde el 8 hasta el 15 quedan reservados por el sistema, luego se traduce en el # binario 10000111 a 1087 hexadecimal y se pone en la entrada **CommFormat** el dato 16#1087 (el 16# es plantilla del fabricante). En la segunda entrada denominada **StationNumber** se pone K5 que representa el número del autómatas en la red. En este caso le corresponde K5 por ser la quinta máquina de la batería de centrifugas.

Con el bloque funcional de comunicación se ahorran 32 pasos de programa y con los bloques analógicos se ahorran 132 pasos entre los dos. Con el ahorro de los pasos de programa se reduce el programa del *PLC* haciéndolo más amigable para el programador.

Particularmente en el módulo de las entradas analógicas se observan cuatro entradas independientes que se usan para introducir el número de muestras usadas para promediar la lectura de los canales; esta lectura la toma el conversor A/D (Analógico/Digital) del módulo y la trasfiere al *PLC* para continuar con el procesamiento. El número de muestras a escoger varía entre 1 y 4096, como se muestra en la Figura 3.7, pero después de varias pruebas se escogió 256, se lograba con esto que no se perdieran datos y que el *PLC* no sub-utilizara ciclos de máquina leyendo las entradas analógicas que no habían cambiado tan rápido.

Number of averaging time (BFM #2 to #5)	0 or less	1 (initial value)	2 to 400	401 to 4095	4096 or more
---	-----------	-------------------	----------	-------------	--------------

Figura 3.7. Cantidad de veces que se pueden promediar las entradas

Si se continúa con el módulo de salidas, se observa que tiene cuatro entradas denominadas **OutputClearMode** que se utilizan para el estado de la respuesta de las salidas físicas ante una falla en la comunicación con el *PLC*, o sea:

- Se configura en TRUE y la salida física pondrá el valor máximo si el *PLC* se pone en STOP.

- Se pone en FALSE y la salida física mantendrá el mismo valor que tiene en el instante que el *PLC* se pone en STOP.

Es preciso aclarar que la premisa para el diseño del *HMI* es la fiabilidad de la operación y que las pantallas sean amigables al operador. Se cuenta con un *HMI* con una pantalla táctil de 5.7 pulgadas y en dichas pantallas hay que disponer de toda la información necesaria para el ajuste, operación y visualización de todos los parámetros en tiempo real de la centrífuga.

Como concepto general para el diseño, se tomó la idea de una pantalla principal con enlaces a todas las pantallas de ajuste e información.



Figura 3.8. a) Pantalla Principal del *HMI*

Figura 3.8. b) Una de las pantallas de las "ENTRADAS DIGITALES"

Los cuadros Temporizadores, Contador, Velocidades, etc., que se encuentran en la Figura 3.8 a) sirven de enlace para moverse hacia un grupo de ventanas específicas. El enlace "Indice" en cualquier ventana que se encuentre el usuario, si es tocado lo remitirá a la principal.

En la pantalla de "ENTRADAS DIGITALES" mostrada en la Figura 3.8. b) se observan cinco entradas con sus respectivas lámparas indicadoras de estado y un enlace a la pantalla siguiente de entradas digitales. El botón "OP" lo que hace es cambiar el nombre de la entrada por la dirección física a la que esta se encuentra cableada para poder revisar cualquier fallo por parte del personal técnico.

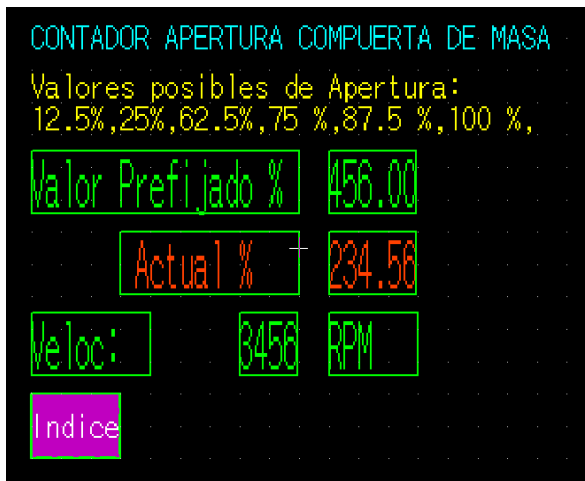


Figura 3.8. c) Una de las pantallas de los "CONTADORES".

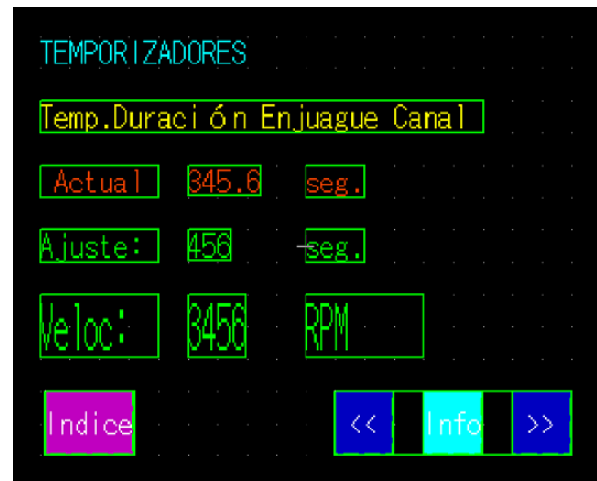


Figura 3.8. d) Una de las pantallas de los "TEMPORIZADORES".

El contador de apertura de la compuerta de masa que se encuentra en la Figura 3.8 c) es importante ya que de acuerdo al volumen de carga y la densidad de la meladura que se purga, el operador puede establecer la apertura apropiada para que la centrífuga realice una carga homogénea.

La Figura 3.8 d) es el resultado de una de las pantallas de los Temporizadores. El operador puede modificar este parámetro en cierto rango definido en la programación del *HMI*. Los parámetros se configuran con cierta flexibilidad ya que habrán de cambiarse según la calidad de la masa cocida al salir del tachó

Con las modificaciones realizadas a la programación original que existía del *PLC* utilizado en la remodelación de centrífugas se ha obtenido una secuencia optimizada y mejor organizada, que permite una rápida puesta a punto y puesta en marcha total del sistema.

Luego de unos días de explotación de la centrífuga discontinua ASEA en la UEB "Central Azucarero Jesús Rabí" se ha constatado por opiniones del personal de operación y técnico, lo amigable del diseño del *HMI* y la factible movilidad entre sus pantallas para los ajustes y visualizaciones de los diferentes parámetros necesarios para la operación segura y eficiente del proceso.

### 3.6 Análisis técnico-económico

Para realizar una valoración técnico-económica se debe comenzar por el análisis de los precios de adquisición del equipamiento mínimo necesario usado en la modernización del sistema de control de las centrifugas de las configuraciones Mitsubishi y SIEMENS, las cuales se detallan a continuación (Athel, 2014). Se escoge el fabricante SIEMENS para esta comparación, porque al igual que Schneider, fueron los fabricantes con más estandarización a nivel nacional.

Tabla 3.1. Oferta de venta del módulo Mitsubishi

Autómata Mitsubishi. 24 V CD. Configuración de 40ED+40SD. Ref. <b>FX3U-80MT/DSS.</b>	699,19
Mód. Extensión FX Ref. <b>FX2N-16EX-ES/UL</b> , 16ED	109,86
Mód. Analógico FX Ref. <b>FX3U-4AD-ADP</b> , 4EA	156,96
Mód. Analógico FX Ref. <b>FX3U-4DA-ADP</b> , 4SA	175,52
Mód. Display para FX3U Ref. <b>FX3U-7DM</b>	92,75
Fuente de alimentación; entrada 100-240 V CA. / Salida 24 V DC / 2.5 A	92,75
Fuente de alimentación; entrada 100-240 V CA. / Salida 24 V DC / 5 A	92,75
Importe total en Euros	1419.78

Tabla 3.2. Oferta de venta del módulo SIEMENS

Autómata Simatic S7-300. 24 V CD. Configuración de 24 ED+16 SD Ref: <b>6ES7313-5BF03-0AB0</b>	1737.61
Simatic Panel de Operador OP. Ref. <b>6AV6641-0BA11-0AX1</b>	743.44
Tarjeta entradas digitales 16ED. Ref. <b>6E7321-1BH02-0AA0</b>	290.71
2 Tarjetas salidas digitales 16SD. Ref. <b>6E7322-1BH01-0AA0</b>	774.28
2 Fuente alimentación; entrada 120-230 V CA. / Salida 24 V DC / 4 A	466.58
Kit de inicio OP 77A, compuesto de: OP 77A, WinCC Flexiblem 2005 Update Service (1año) SIMATIC HMI Manual Coll. 5-Spr.	897.26

Importe total en Euros	4909.88
------------------------	---------

Como se puede ver la oferta SIEMENS es más costosa que la oferta Mitsubishi, superándola en 3490.10 Euros. Ambas configuraciones son eficientes, pero el país apuesta por comprar equipamiento Mitsubishi, que al ser más económico, cumple con los estándares de calidad y los requerimientos técnicos de los diversos procesos, pesa en esta decisión también, el hecho de que la compañía SIEMENS vende sus programas y licencias a precios bastante elevados, sin dejar de analizar que Cuba ha tenido dificultades en los suministros de este fabricante debido al bloqueo económico.

Tabla 3.3. Costos de la inversión a realizar por parte del central

PRESUPUESTO DE LA INVERSIÓN (Para el Plan)	
Conceptos	MT (pesos)
<b>Equipamiento</b>	<b>215,000.00</b>
Elementos del panel	80,000.00
Elementos del campo	135,000.00
<b>Construcción y Montaje</b>	<b>24,274.35</b>
Fabricación del panel	15,000.00
Montaje del equipamiento del campo	9,274.35
<b>Otros</b>	<b>17,878.95</b>
Proyecto	3,079.40
Configuración y programación	5,191.95
Puesta en marcha	7,498.65
Capacitación del personal	2,108.95
<b>Costo de Inversión Total</b>	<b>257,153.30</b>

### Pronósticos de producción, comercialización e ingresos

Al modernizar la centrífuga se incrementa en tres ciclos/hora el funcionamiento de la máquina, lográndose hasta 22 ciclos de cargue y descargue, obteniéndose 8580 kg de azúcar por hora. Por tanto, como la Tonelada Métrica (TM) de azúcar a la salida de las empresas productoras de los azúcares, las mieles y los alcoholes se encuentra en \$ 1241.35 (de ellos 352.87 son en CUC) para el azúcar de caña crudo estándar, en sacos de polipropileno de 50 kg, según la Resolución No.538/2013 del Ministerio de Finanzas y Precios, existe un ingreso para el central de \$ 10650.78 en cada hora de trabajo, superior en \$ 1452.38 a los ingresos obtenidos antes de la modernización.

Tabla 3.4. Incremento de ingresos/hora de la centrífuga

Ciclos por hora	Azúcar por ciclo (TM)	Azúcar por hora (TM)	Ingresos por hora (\$)
19	0.39	7.41	9198.4
22	0.39	8.58	10,650.78

Sin lugar a dudas, el aumento de los ciclos de cargue y descargue incrementa la capacidad de molida del central. Según la resolución referida anteriormente el costo de producir una tonelada métrica de azúcar ronda por los \$ 1137.82, lo que significa que:

$$\text{Costo de 1 TM} * 8.58 = \text{Costo de 8.58 TM}$$

$$\$ 1137.82 * 8.58 = \$ 9762.49$$

$$\text{Ingresos por hora} - \text{Costo por hora} = \text{Utilidad por hora}$$

$$\$ 10,650.78 - \$ 9762.49 = \$ 888.29$$

Por lo que al dividir el costo total de la inversión entre las utilidades por hora que se obtienen se conoce en qué tiempo se recupera la inversión:

$$\text{Costo total} / \text{Utilidad por hora} = \text{Tiempo de recuperación}$$

$$\$ 257,153.30 / 888.29 \text{ h} = 289.49 \text{ horas de molida para recuperar la inversión}$$

Es prudente resaltar que todos los análisis se han realizado con costos evaluados en CUP, que son los que se tienen a disposición en los almacenes donde llega el equipamiento, sin considerar en este análisis las divisas utilizadas en las compras fuera de las fronteras cubanas.

No obstante, el mayor impacto económico se logra con el acortamiento del período de zafra del central, lo que significa que, en menor tiempo se alcanzarán los volúmenes de azúcar e ingresos previstos y la disminución significativa de los diferentes gastos inherentes a este proceso como son:

- Portadores energéticos: incluyen combustible, agua y electricidad.
- Lubricantes: aceites, grasas y resinas.
- Salarios e impuestos por concepto de seguridad social y utilización de la fuerza de trabajo.
- Disminución del desgaste de las maquinarias.

### **3.7 Impacto medioambiental del proyecto**

Antes de hablar del impacto medioambiental del proyecto es necesario dejar definido el concepto de medioambiente.

Medioambiente: Comprende el conjunto de valores naturales, sociales y culturales existentes en un lugar y en un momento determinado, que influyen en la vida del ser humano y en las generaciones venideras. Es decir, no se trata sólo del espacio en el que se desarrolla la vida, sino que también comprende seres vivos, objetos, agua, suelo, aire y las relaciones entre ellos.

Es válido aclarar que la centrífuga ni antes de la modernización, ni después de la misma ha dañado el medioambiente porque:

- La máquina centrifugadora de azúcar no emite gases contaminantes a la atmósfera.

- En ninguno de sus ciclos de trabajo la centrífuga deja ningún desecho sólido ni líquido ya que toda la masa que entra al canasto se separa en azúcar y mieles.
- El motor de la máquina no emite un ruido excesivo que provoque contaminación acústica dentro del central.

Al aumentar los ciclos por hora en el funcionamiento de la máquina y acortar el período de zafra se reduce el consumo de electricidad del central, lo que se traduce directamente en ahorro de petróleo. Este es un recurso no renovable, el cual se comercializa por encima de 100 dólares (USD) el barril.

### **3.8 Consideraciones finales del capítulo**

Después de simular la falla de “PARADA POR EMERGENCIA” se pudo constatar que la comunicación entre el autómata y el *HMI* era la correcta y no se perdían datos. Con ello se busca que al realizar la puesta a punto del equipamiento en el central, se presenten las menores fallas posibles y se avance con el trabajo de forma rápida y precisa.

Durante el desarrollo de esta tesis se participó de conjunto con el técnico designado de control de la calidad en la realización de las pruebas al panel y a todo el equipamiento. Dichas pruebas se realizan para garantizar la correcta colocación del cableado, la sujeción del mismo y el aislamiento requerido. Todo ello de gran importancia antes de entregar el panel al cliente. Todas las pruebas fueron satisfactorias y quedaron asentadas en el Acta de Conformidad.

Lo primero que se logró en la modificación del *software* del autómata fue seccionar el programa en seis partes para buscar una mejor organización y mayor claridad a la hora de revisar el código. Esto se consiguió al estar realizado el proyecto en lenguaje *Structured Ladder* (se le conoce como Lenguaje Estructurado) que permitió además, la incorporación de bloques funcionales que fueron capaces de ahorrar varias líneas de código y simplificar mucho el trabajo a la hora de programar. Este proyecto también permite poner líneas de programa en *Ladder Net* (se le conoce como Lenguaje de Contactos) y combinar ambos lenguajes de manera simultánea. El

rediseño de las cuatro pantallas de la interfaz *HMI* se realizó de manera paralela a la programación, para buscar buenos contrastes entre los objetos y los fondos, sin recargar las pantallas de objetos innecesarios y confeccionándolas lo más intuitivas posibles para el operador de la centrífuga.

Al aumentar el rendimiento de la máquina de 19 hasta 21-22 ciclos/hora se obtiene una utilidad por hora de \$ 888.29. Como se analizaron todos los datos de la inversión a realizar por parte del central en moneda nacional, se plantea una sencilla ecuación que ofrece como resultado una recuperación de la inversión en 289.49 horas de molido. En realidad es mucho más, si se observa que el precio de compra de todos los equipos del sistema de control es en Euros y se le compra siempre a terceros países. Se puede decir entonces que el impacto económico de la modernización de la centrífuga fundamentalmente está dado en el acortamiento de los días de zafra del central, al moler en menos tiempo toda la caña que el central sea capaz de procesar.

La máquina centrifugadora de azúcar es en extremo amigable con el medio ambiente, ya que la misma no deja ningún desecho líquido ni sólido en sus ciclos de trabajo, no emite gases contaminantes y por demás, con el acortamiento del período de zafra reduce el consumo de electricidad del central y el gasto de petróleo intrínseco en la generación de la misma.

## CONCLUSIONES

Después de culminada la investigación para la ejecución de este proyecto se pueden arribar a las siguientes conclusiones:

- Existen dos tipos de centrífugas en los centrales azucareros, las continuas y las discontinuas, estas últimas son las más usadas internacionalmente, encontrándose accionadas por motores de corriente alterna. En Cuba, es una premisa modernizar las centrífugas discontinuas suecas que trabajan con motores de corriente directa.
- El proceso de modernización de una centrífuga discontinua comienza con la evaluación de las partes y piezas que sean recuperables (fundamentalmente las partes mecánicas) y concluye con la capacitación del personal en los ingenios.
- Con esta modernización se reduce el 80 % de las fallas del sistema que se producían en las tarjetas de control del motor, incrementándose el rendimiento de la máquina hasta los 22 ciclos/hora de cargue y descargue.
- Al migrar el programa del *PLC* utilizado en la modernización de la centrífuga hacia otro lenguaje, se logran mejoras apreciables en concepto de organización, puesta a punto y reducción del tiempo de detección de una falla.
- Las pantallas del *HMI* resultaron ser amigables tanto para el personal técnico como para el personal de operación del ingenio, al tener buena movilidad entre las distintas pantallas y no estar sobrecargadas con información innecesaria.
- El conjunto *hardware* y *software* después de varias pruebas se encontró listo para la puesta en marcha del sistema, con la debida revisión y aprobación del personal técnico calificado, que trabajo de conjunto en la realización de este proyecto.
- Con el aumento de los ciclos por hora en el funcionamiento de la centrífuga, se reduce el período de zafra, ahorrando gastos inherentes a este proceso productivo como son: salarios, electricidad y petróleo.

## RECOMENDACIONES

- Verificar en los mantenimientos planificados del central la sujeción de todos los sensores y el cableado de la máquina, para evitar averías y paradas al proceso tecnológico.
- Generalizar la migración de los programas de los *PLC* de las restantes áreas del central hacia el *GX Works2* como último *software* de programación brindado por el fabricante Mitsubishi.
- Analizar anualmente, después de cada zafra, el índice de rotura del equipamiento utilizado, para decidir si debe mantenerse o debe ser cambiado.
- Analizar económicamente la posibilidad de comprar un *HMI* de mayores dimensiones para hacer un poco más ilustrativo para el operador el proceso tecnológico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABB (2000) Guía Técnica N° 4 Guía de Accionamientos de Velocidad Variable. Barcelona, Automation Group.
- ABB (2005) DCS800 Quick guide. Ladenburg. GERMANY, Automation Products GmbH.
- AMADOR MARTÍNEZ, E. (1986) *Electrotecnia Básica*, Cuba, Pueblo y Educación.
- ATHEL APLICACIONES Y TECNOLOGÍA, S. A. (2014) PRESUPUESTO: CU-050-14 Rev. B. España
- CAMACHO SÁNCHEZ, R. (2010) Ciclo de Trabajo de la Centrífuga. Santa Clara, ZETI V.C.
- CAMACHO SÁNCHEZ, R. (2011) Sensores y electroválvulas. Santa Clara, ZETI V.C.
- CAMACHO SÁNCHEZ, R. (2013) Instrucciones de Explotación Paneles ASEA Remodelados. Santa Clara, ZETI V.C.
- CAMACHO SÁNCHEZ, R. (2014) Apuntes sobre Centrífugas azucareras de ciclo discontinuo. Santa Clara, ZETI V.C.
- CREUS SOLÉ, A. (1997) Instrumentación Industrial. 6<sup>ta</sup> ed. México, ALFAOMEGA.
- DUNMAQ (2012) Manual de la Centrífuga Azucarera Intermitente DUNMAQ. IN INGENIERÍA, D. (Ed.) *JTC-2012*, México.
- FITZGERALD, A. E. (2003) *Electric Machinery*. 6<sup>ta</sup> ed. Singapur, Mc Graw-Hill.
- GIRÓN LEZANA, S. G. (2006) Análisis y Guía de Montaje de Centrífugas Batch y Continuas en Ingenio LA UNIÓN, S.A., Guatemala.
- HUGOT, E. (1986) *Handbook of Cane Sugar Engineering*. Amsterdam.
- MINISTRA (2013) RESOLUCION No.538. IN MINISTERIO, F. P. (Ed.). La Habana, Cuba.
- MITSUBISHI, E. C. (1999). Programming Manual. FX Series Programmable Controllers. TOKYO. JAPAN.
- MITSUBISHI, E. C. (2006). User's Manual - Hardware Edition. FX3U Series Programmable Controllers. TOKYO. JAPAN.
- MITSUBISHI, E. C. (2007a). MODBUS Serial Communication. FX3U Series Programmable Controllers. TOKYO. JAPAN.

- MITSUBISHI, E. C. (2007b). Programming Manual - Basic & Applied Instruction. FX Series Programmable Controllers. TOKYO. JAPAN.
- MITSUBISHI, E. C. (2010). Basic & Applied Instruction. FXCPU Structured Programming Manual. TOKYO. JAPAN.
- MORERA HERNÁNDEZ, M. (2004) *Accionamiento Eléctrico Automatizado I*, La Habana. Cuba, Félix Varela.
- RAMOS OLOARTE, F. (2011) Descripción General de las Máquinas de Corriente Directa Veracruz. México, Universidad Veracruzana.
- ROSABAL VEGA, J. (2006) *Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas*, La Habana, Cuba, Félix Varela.
- WILLIAMS, W. (1987) Power Electronics, Devices, Drivers, Applications and Passive Components. Macmillan Press LTD.

## ANEXOS

### ANEXO I: Diagrama de flujo tecnológico del proceso azucarero cubano

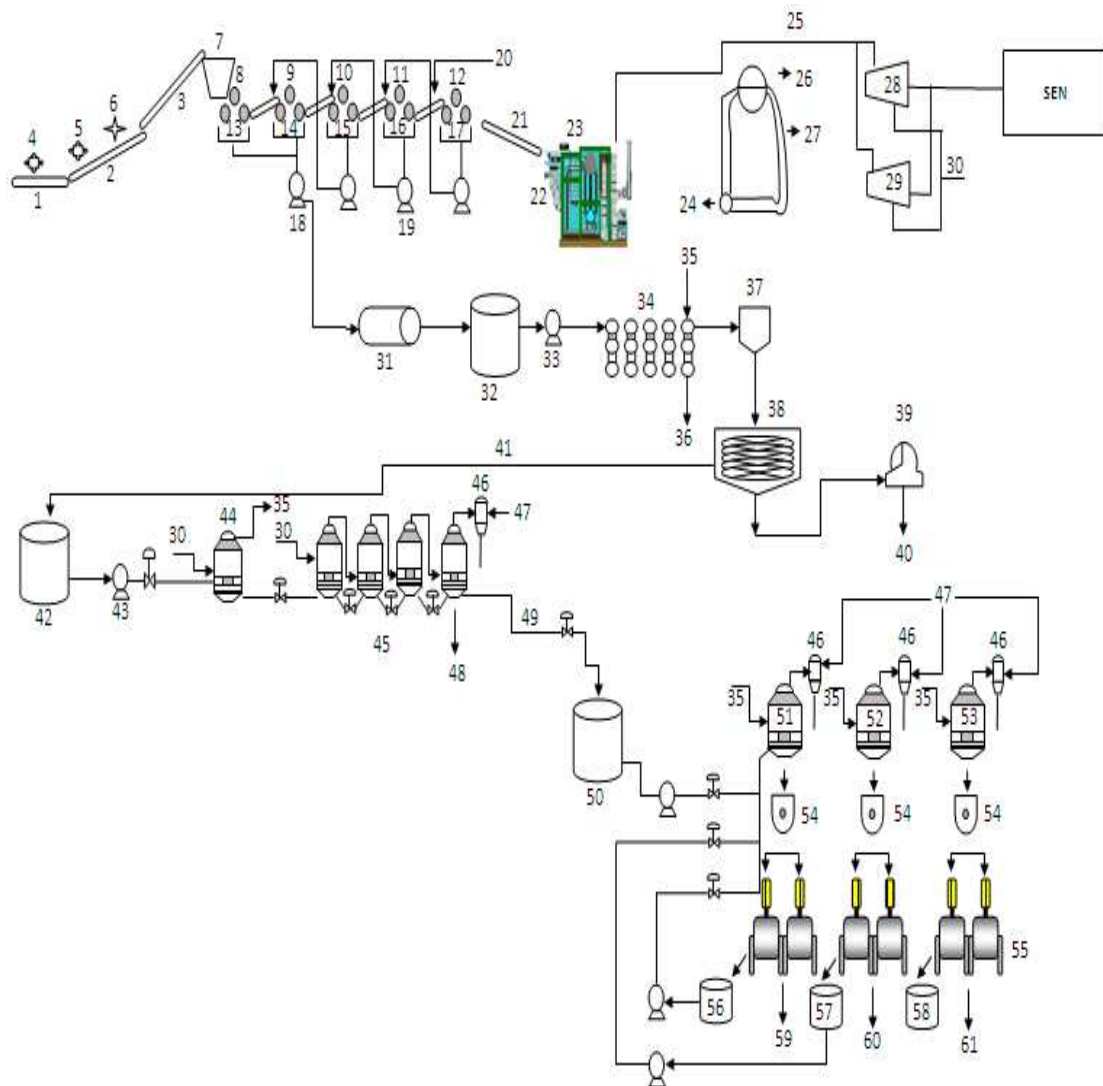


Figura 1. Imagen detallada del proceso productivo

Nombre de los equipos, productos obtenidos y parámetros en el esquema funcional de un central azucarero

1 Estera Alimentadora	37 Tanque Flash (elimina la ebullición)
2 Estera Intermedia	38 Clarificador
3 Estera Elevadora	39 Filtro
4 Rompe Bulto	40 Cachaza
5 Niveladores	41 Jugo Claro
6 Cuchillas	42 Tanque de Jugo Claro
7 Tolva	43 Bomba de Jugo Claro
8, 9, 10, 11, 12 Molinos	44 Pre Evaporador
13, 14, 15, 16, 17 Bandeja Recolectora de Jugo	45 Cuádruple Efecto
18 Bomba de Jugo al Colador Rotatorio	46 Condensador
19 Bombas de Maceración	47 Agua Fría de Inyección
20 Agua Imbibición $\approx 80-90$ °C (65°C)	48 Vacío (-1kg/cm <sup>2</sup> )
21 Bagazo	49 Meladura
22 Petróleo	50 Tanque Meladura Aprox. = 32* Brix
23 Caldera	51 Tacho Primera
24 Domo de Fango	52 Tacho Segunda
25 Vapor Directo	53 Tacho Tercera
26 Domo	54 Cristalizadores Graneros
27 Fluses	55 Centrífugas
28 Turbo 1	56 Miel A
29 Turbo 2	57 Miel B
30 Vapor Escape al Proceso	58 Miel C Pulga
31 Colador Rotatorio (limpia el jugo extrayendo el bagacillo)	59 Azúcar Primera
32 Tanque de Jugo Mezclado (JM)	60 Azúcar Segunda
33 Bomba de JM $\approx 12$ *Brix	61 Azúcar Tercera que se Diluye en Agua y se Reincorpora al Proceso
34 Calentadores $\approx 105$ *C	
35 Vapor	SEN (Sistema Electro-Energético Nacional)
36 Condensado	

## ANEXO II: Partes y piezas de las centrifugas



Figura 1. Canasto cónico (centrífuga continua)



Figura 2. Canasto cilíndrico (centrífuga discontinua)



Figura 3. Se observa de izquierda a derecha: la paleta del palpador, el *spray* de lavado y el cono de descarga



Figura 4. Se observa de izquierda a derecha: el cono de descarga y el arado

### Anexo III: Representación simbólica de los diferentes motores de CD

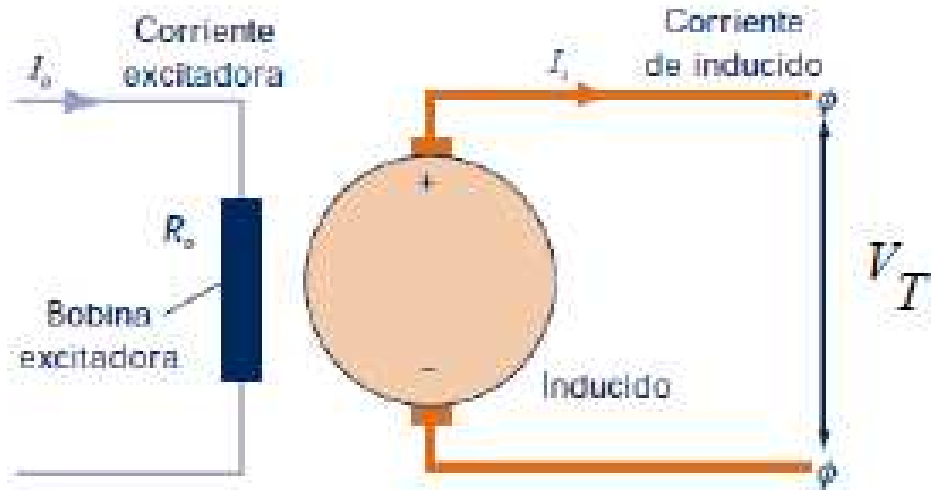


Figura 1. Motor de excitación independiente

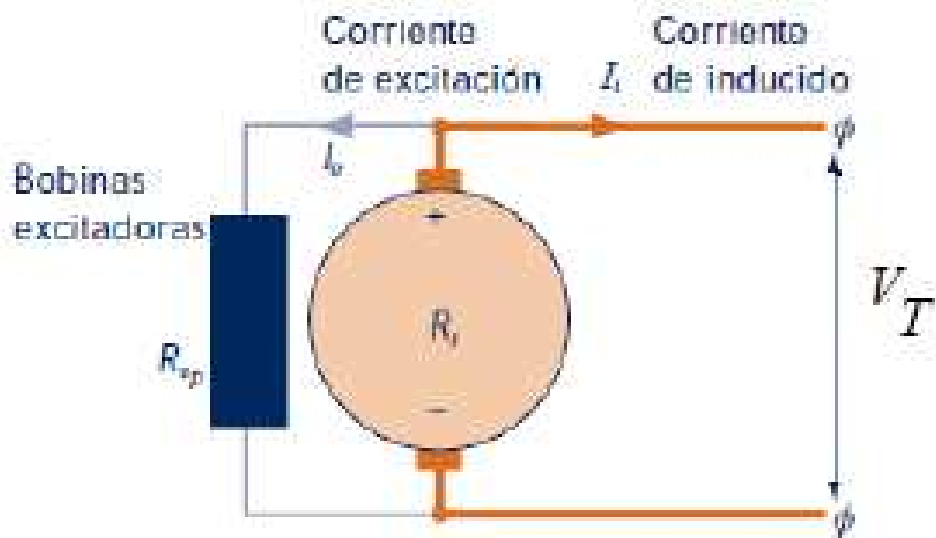


Figura 2. Motor autoexcitado

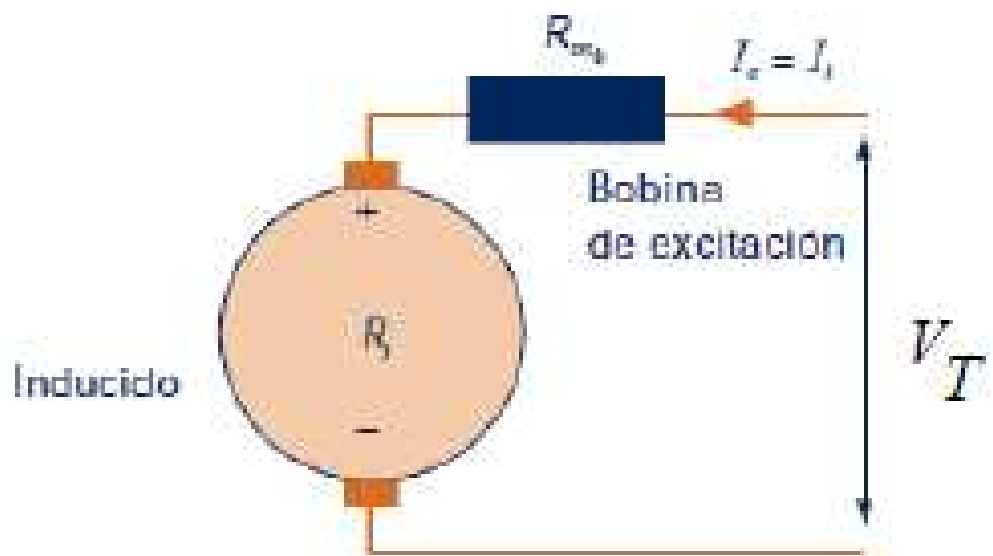


Figura 3. Motor serie

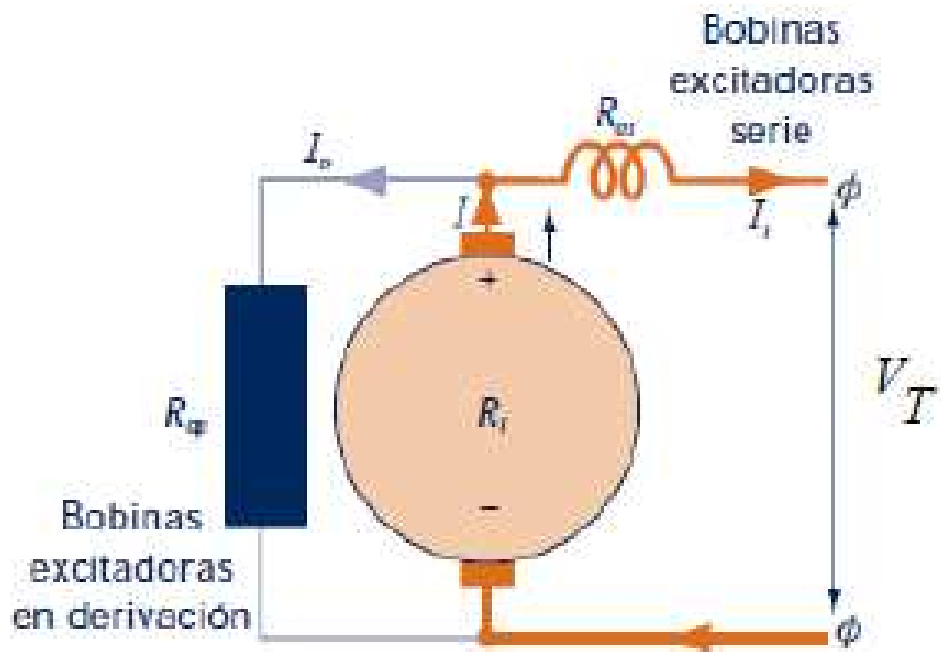


Figura 4. Motor compuesto

## ANEXO IV: Diferentes rotores de los motores de CA



Figura 1. Rotor Jaula de Ardilla

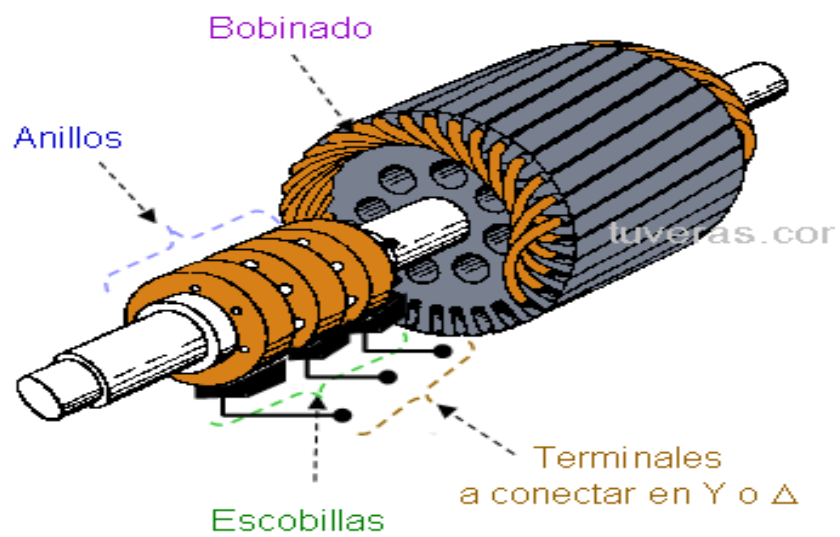


Figura 2. Rotor Bobinado

## ANEXO V: Diferentes elementos del Sistema de Control



Figura 1. Fuentes de alimentación



Figura 2. Bornes porta fusibles

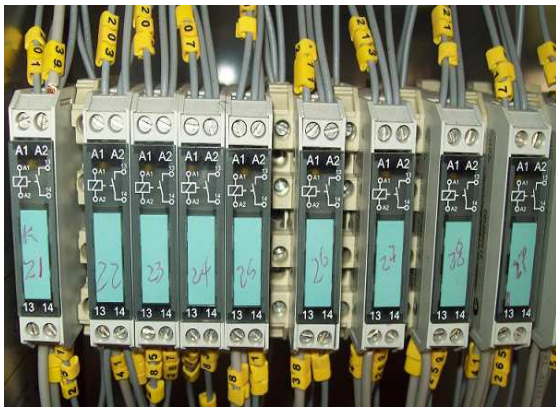


Figura 3. Relés

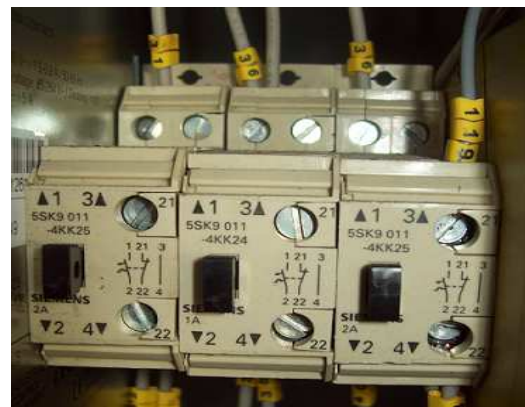


Figura 4. Interruptores de alimentación



Figura 5. Relé Parada de Emergencia



Figura 6. Relé Sobre Velocidad



Figura 7. Relé Secuencia Descarga

## ANEXO VI: Diferentes elementos de la parte de fuerza

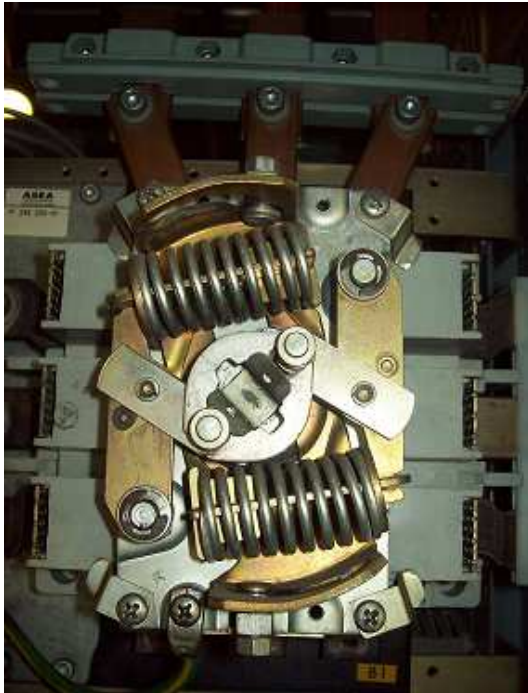


Figura 1. Contactor Principal Trifásico



Figura 2. Fusibles de Entrada



Figura 3. Fusibles para la protección de semiconductores



Figura 4. Fusibles para la protección de semiconductores

## ANEXO VII: Panel de control básico del convertidor

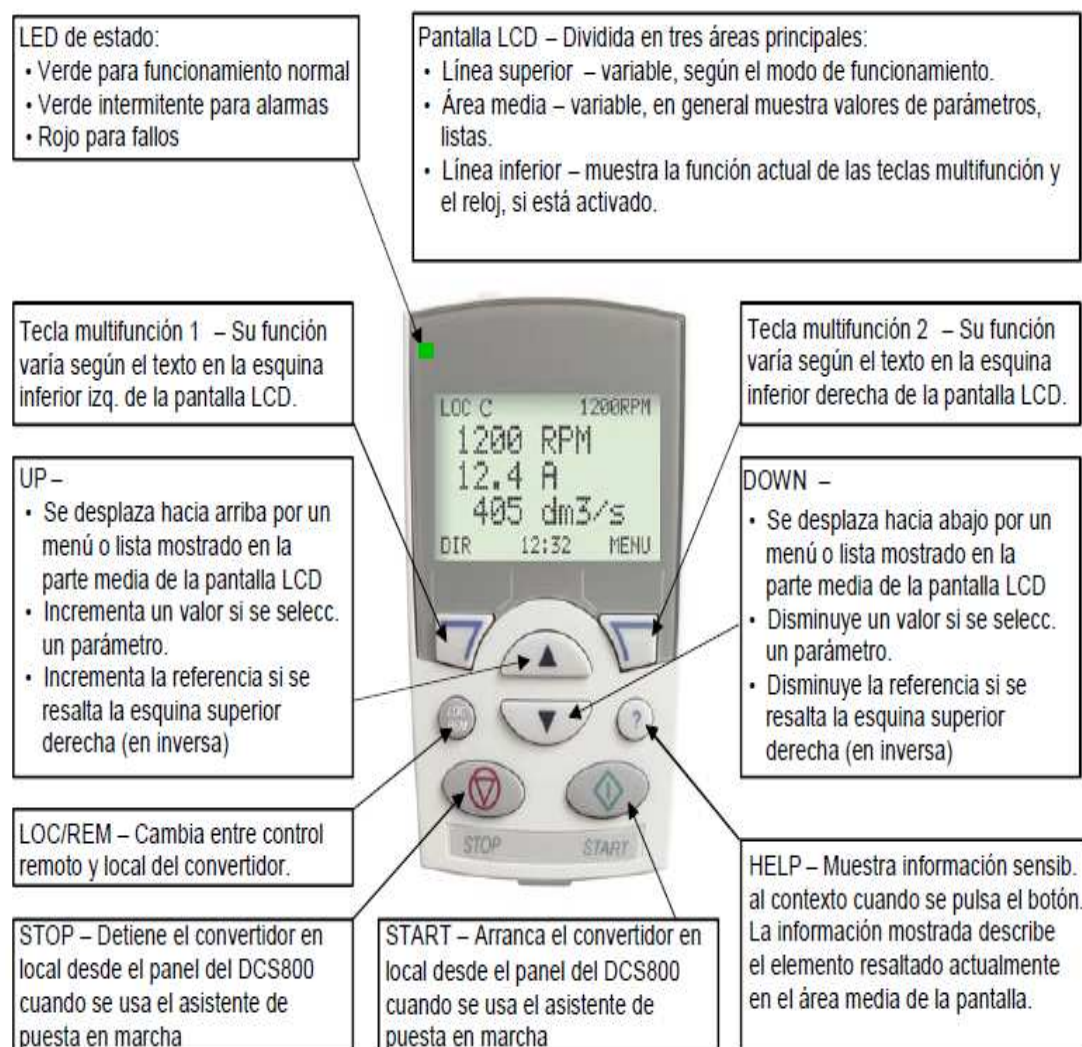


Figura 1. Breve explicación del uso de los botones del Panel de Control Básico del convertidor

## ANEXO VIII: Señales del sistema

	Class	Label Name	Data	Constant	Device	Address	▲
1	VAR_GLOBAL ▼	Parada_Emergencia_K4	Bit	...	X000	%IX0	
2	VAR_GLOBAL ▼	Vigilancia_Baja_Tensión	Bit	...	X001	%IX1	
3	VAR_GLOBAL ▼	Tensión_de_Control	Bit	...	X002	%IX2	
4	VAR_GLOBAL ▼	Sensor_Separación_de_Mieles_	Bit	...	X003	%IX3	
5	VAR_GLOBAL ▼	Cont_Ventilador_Convertidor_K3	Bit	...	X004	%IX4	
6	VAR_GLOBAL ▼	Auxiliar_Contactor_Princip_K19	Bit	...	X006	%IX6	
7	VAR_GLOBAL ▼	Mínima_Velocidad_Descargar	Bit	...	X007	%IX7	
8	VAR_GLOBAL ▼	Solicitud_Parada_Emergencia_	Bit	...	X010	%IX8	
9	VAR_GLOBAL ▼	Falla_Convertidor_	Bit	...	X011	%IX9	
10	VAR_GLOBAL ▼	Q15_Salidas_Digitales	Bit	...	X012	%IX10	
11	VAR_GLOBAL ▼	Sobrevelocidad_K9	Bit	...	X013	%IX11	
12	VAR_GLOBAL ▼	Sensor_Pulsos_Compuerta_de_Masa	Bit	...	X014	%IX12	
13	VAR_GLOBAL ▼	Rdy_Run_K12_	Bit	...	X015	%IX13	
14	VAR_GLOBAL ▼	Permiso_Descarga_Enclavamiento	Bit	...	X017	%IX15	
15	VAR_GLOBAL ▼	Aire_Enfriamiento_de_Motor	Bit	...	X020	%IX16	
16	VAR_GLOBAL ▼	Sensor_Intermedio_del_Arado	Bit	...	X021	%IX17	▼

Figura 1. Una muestra de las Entradas Digitales del Sistema (En total son 47)

	Class	Label Name	Data	Constant	Device	Address	▲
48	VAR_GLOBAL ▼	Electr_Cerrar_CompMasa	Bit	...	Y000	%QX0	
49	VAR_GLOBAL ▼	Lámpara_Fuera_de_Servicio	Bit	...	Y001	%QX1	
50	VAR_GLOBAL ▼	Relé_Comp_de_Masa_Operado_K23	Bit	...	Y002	%QX2	
51	VAR_GLOBAL ▼	Relé_Carga_Excesiva	Bit	...	Y003	%QX3	
52	VAR_GLOBAL ▼	Electro_Freno	Bit	...	Y004	%QX4	
53	VAR_GLOBAL ▼	Electro_Arado_Reposo	Bit	...	Y010	%QX8	
54	VAR_GLOBAL ▼	Parada_de_Emergencia_PLC	Bit	...	Y011	%QX9	
55	VAR_GLOBAL ▼	Electro_Separación_de_Mieles	Bit	...	Y014	%QX12	
56	VAR_GLOBAL ▼	Electro_Soplado	Bit	...	Y015	%QX13	
57	VAR_GLOBAL ▼	Electro_Palpador_de_Carga	Bit	...	Y016	%QX14	
58	VAR_GLOBAL ▼	Electro_Cerrar_Compuerta_Goteo	Bit	...	Y017	%QX15	
59	VAR_GLOBAL ▼	Electro_Seguro_del_Arado	Bit	...	Y021	%QX17	
60	VAR_GLOBAL ▼	Electro_Arado_Ariba_Abajo	Bit	...	Y022	%QX18	
61	VAR_GLOBAL ▼	Electro_Arado_Trabajo	Bit	...	Y023	%QX19	
62	VAR_GLOBAL ▼	Electro_Compuerta_de_Descarga	Bit	...	Y024	%QX20	
63	VAR_GLOBAL ▼	Cone_Desc_Marcha_Parada_K5	Bit	...	Y030	%QX24	▼

Figura 2. Una muestra de las Salidas Digitales del Sistema (En total son 23)

# ANEXO IX: Planos del KSIY1

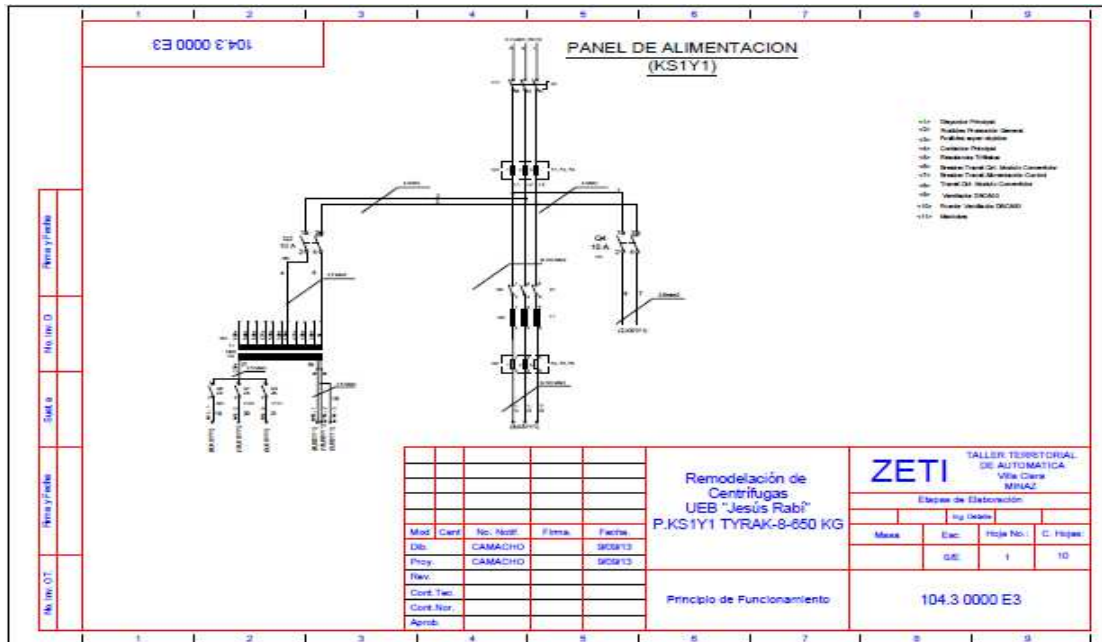


Figura 1. Esquema de fuerza del convertidor

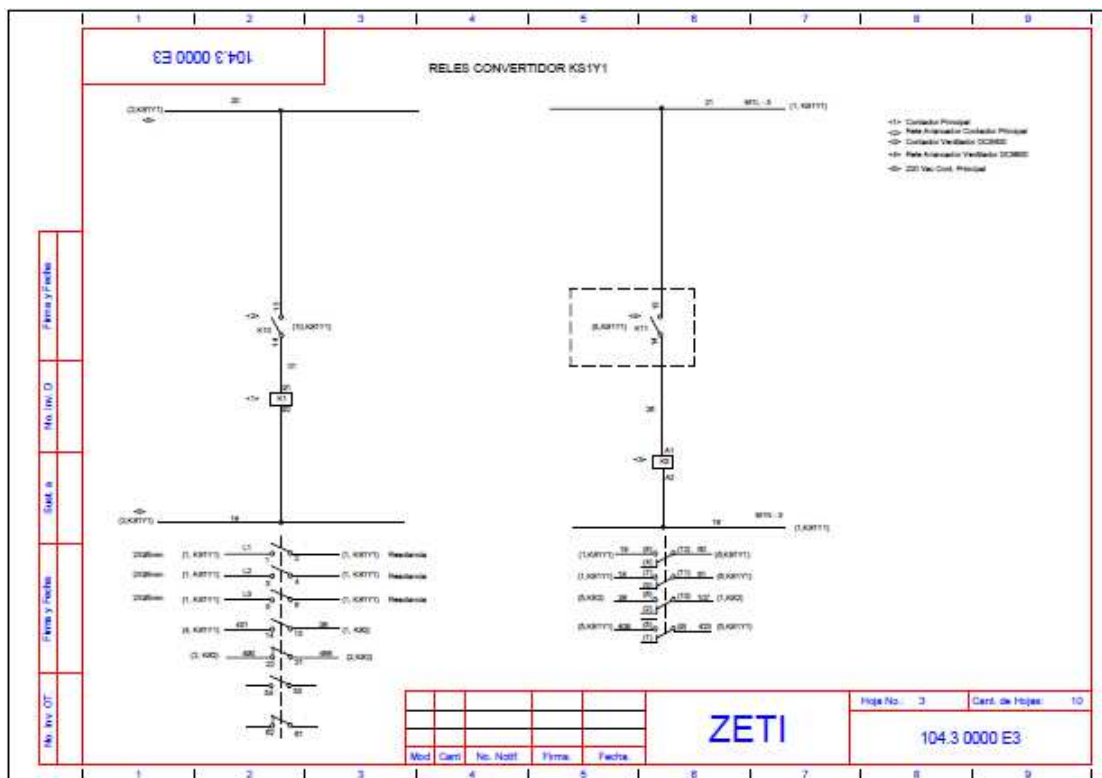


Figura 2. Manejo del convertidor

# ANEXO X: Planos del Panel KS2

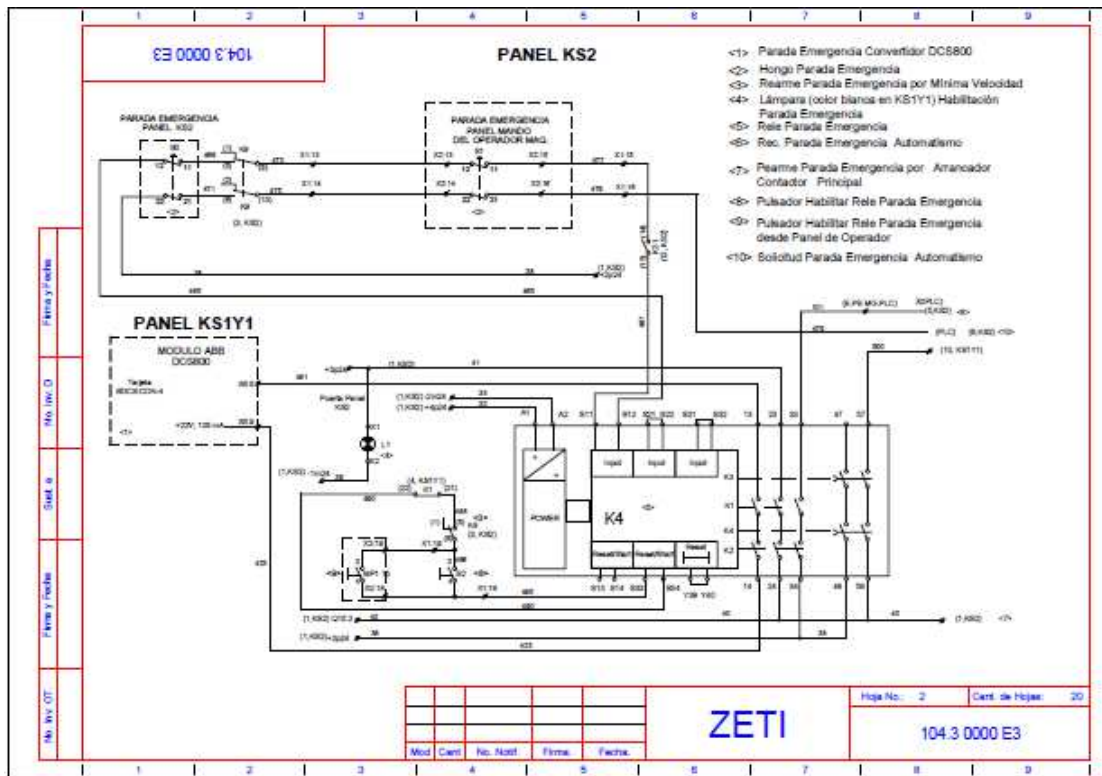


Figura 1. Circuito de parada por emergencia

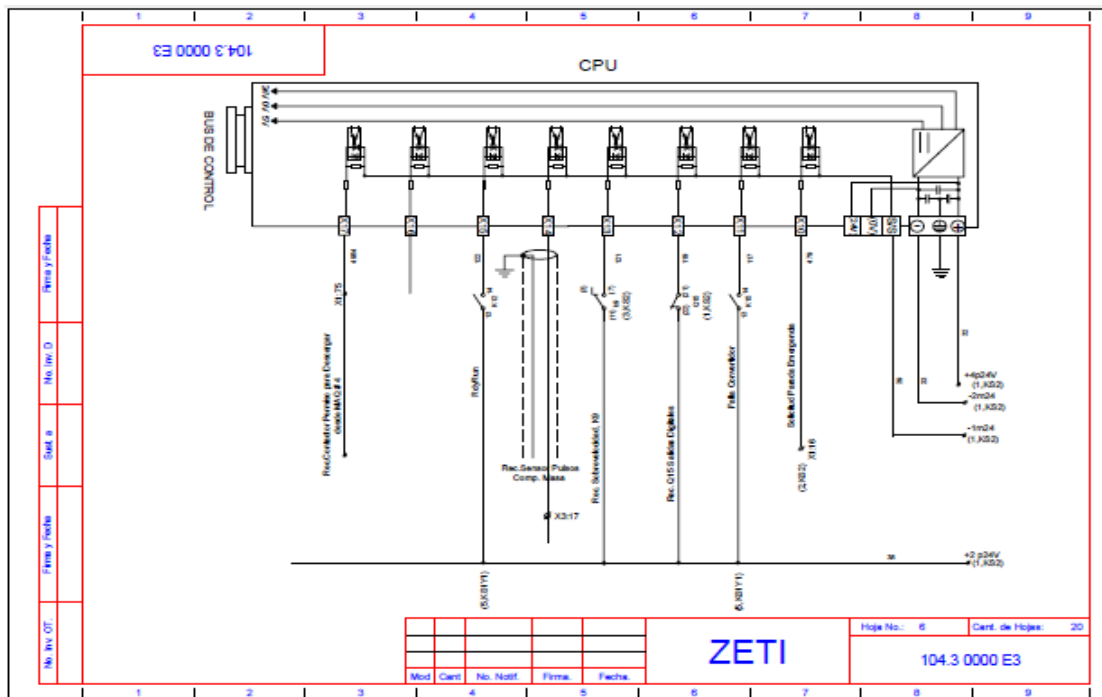
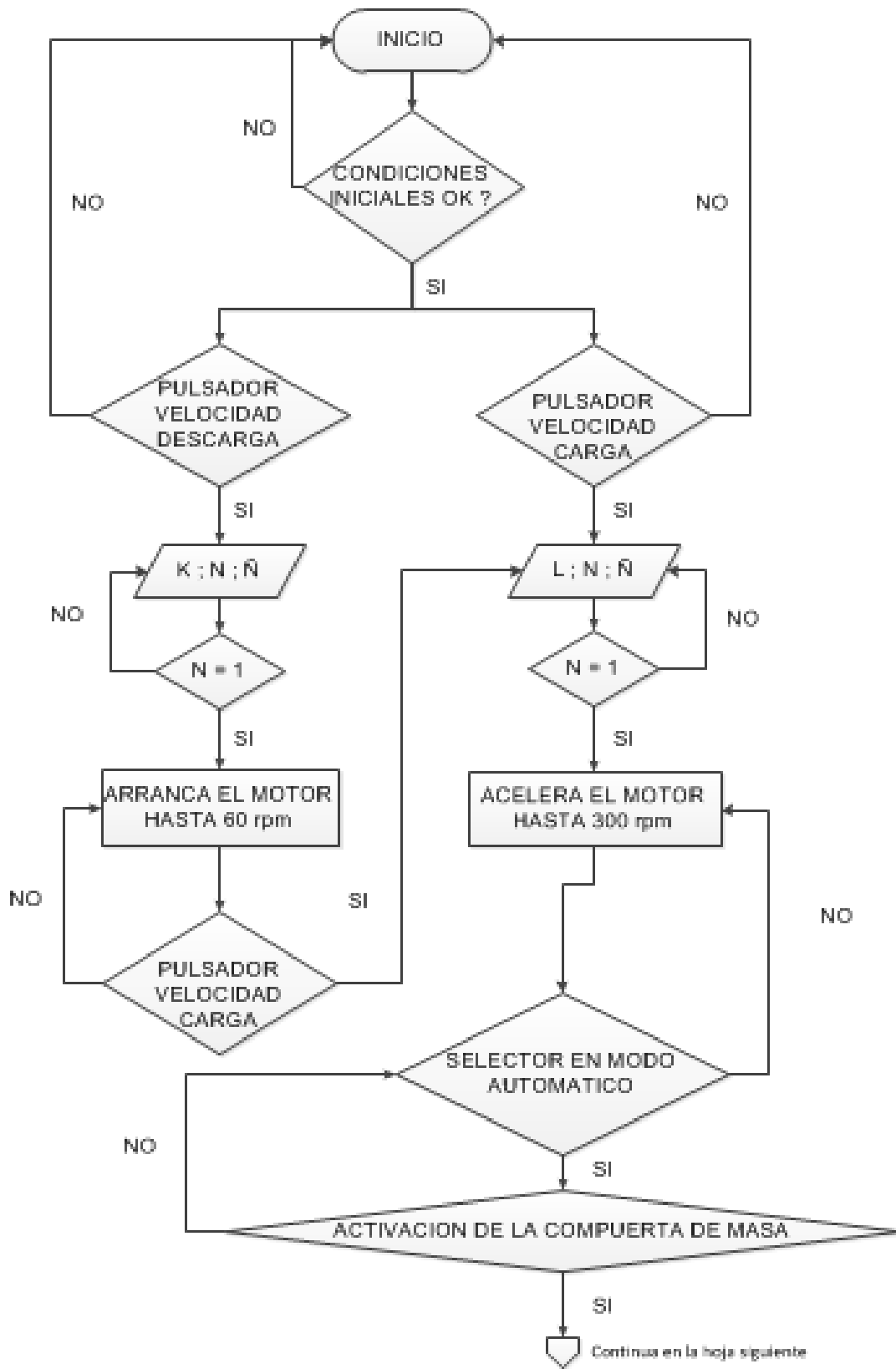
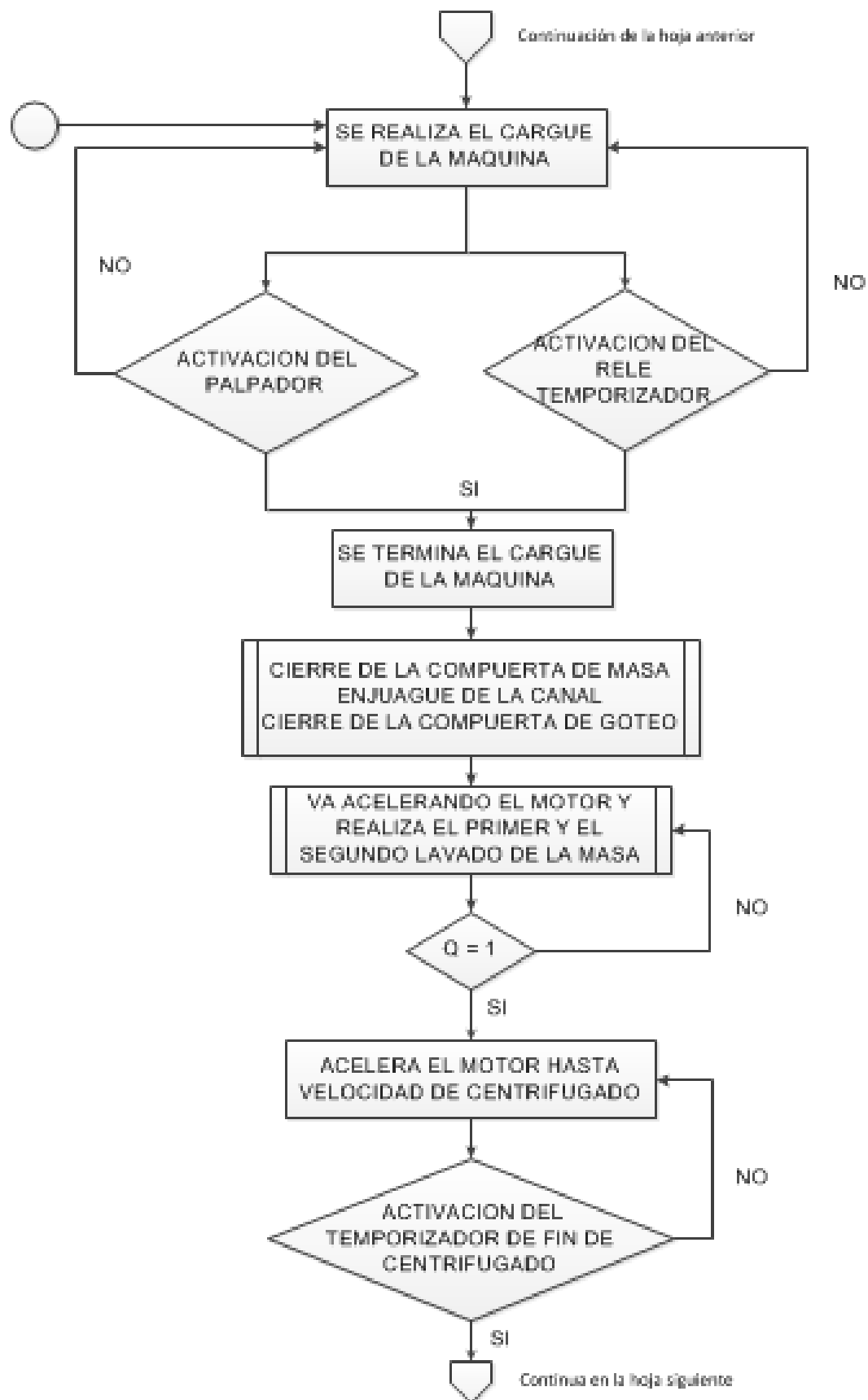
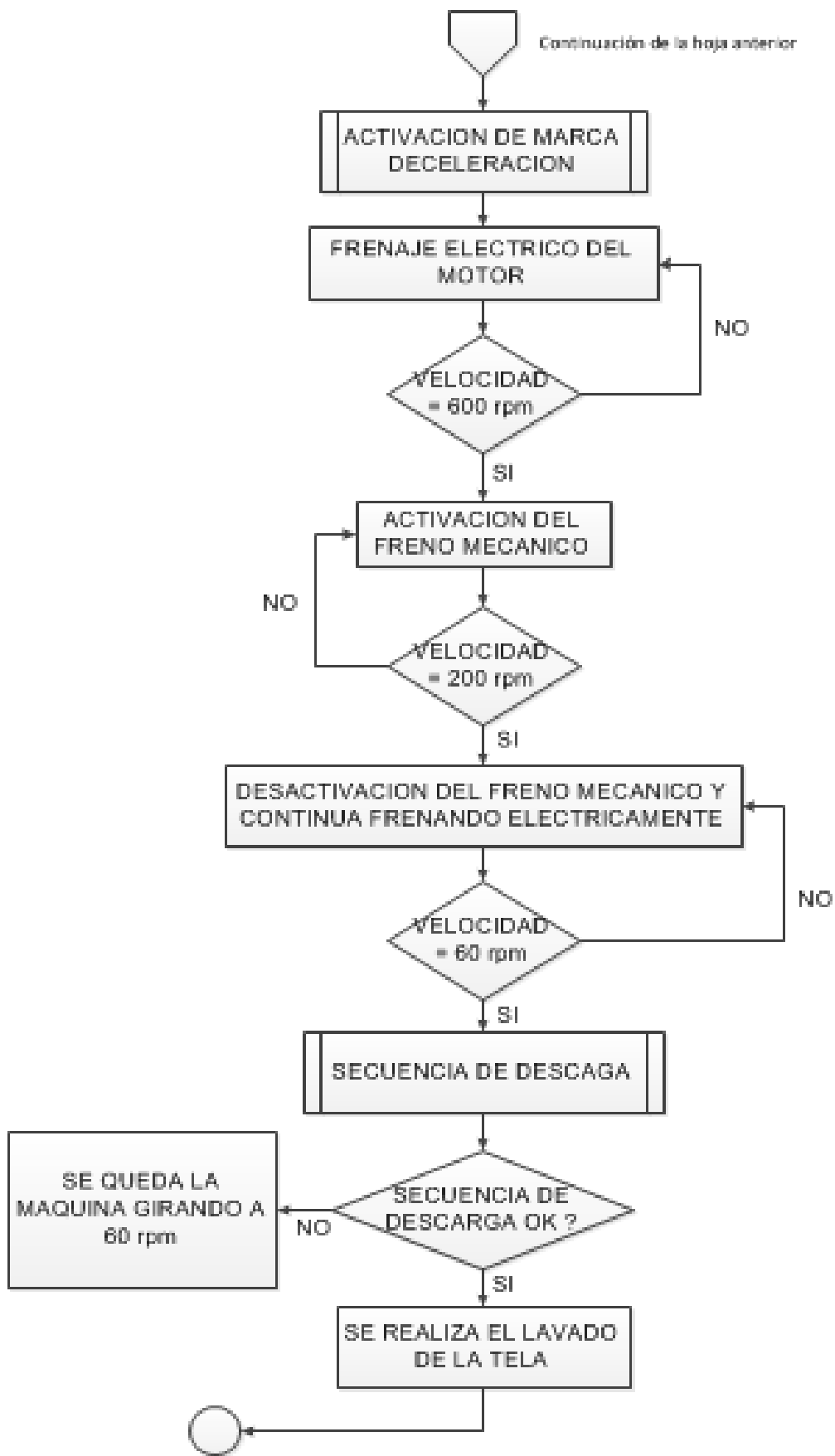


Figura 2. Primer plano de las entradas digitales del PLC

# ANEXO XI: Diagrama de Flujo del Proceso







## ANEXO XII: Acta de Conformidad



### ACTA DE CONFORMIDAD

#### CUADRO DE BAJA TENSION (Automática)

Se declara que el cuadro de la marca: ASEA

Prisma Plus....

Realizado en el marco del proyecto:

- Nombre: Panel de Centrífuga de 2 cubículos con panel de mando serie 050.
- No. del proyecto: 104.3 0000 E3

Con la reserva de instalación, mantenimiento y utilización conforme a su destino, su reglamentación, las normas vigentes, las instrucciones del fabricante y las prácticas habituales:

Cumplen las disposiciones de las siguientes directivas:

- ..... Baja tensión
- ..... Compatibilidad electromagnética

Y cumple las normas armonizadas siguientes:

- .....CEI 60439-1
- .....UNE EN 60439-1
- .....Documentación Técnica de Proyectos
- .....Procedimiento de Ensamblaje de paneles

Celebrado en: ZETI Sucursal Villa Clara el 15 de marzo de 2014

Signatario autorizado:

Nombre: Ing. Pedro Estany Rodríguez González

Cargo: Jefe Taller Territorial de Automática e Informática

Firma: \_\_\_\_\_