



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CENTRIFUGADORA DE AZÚCAR  
TIPO BATCH PARA EL INCREMENTO DE CICLOS Y SEGURIDADES EN INGENIO  
MAGDALENA S. A.**

**José Fernando Asencio Campos**

Asesorado por el Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez

Guatemala, octubre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CENTRIFUGADORA DE AZÚCAR  
TIPO BATCH PARA EL INCREMENTO DE CICLOS Y SEGURIDADES EN INGENIO  
MAGDALENA S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOSÉ FERNANDO ASENCIO CAMPOS**  
ASESORADO POR EL ING. BYRON ODILIO ARRIVILLAGA MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Lic. Amahán Sánchez Alvarez a.i.
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Durán Córdova
EXAMINADOR	Ing. Fernando Waldemar de León Contreras
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CENTRIFUGADORA DE AZÚCAR TIPO BATCH PARA EL INCREMENTO DE CICLOS Y SEGURIDADES EN INGENIO MAGDALENA S. A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 12 de abril de 2012.

**José Fernando Asencio Campos**

Guatemala 17 de Julio 2018

Ingeniero  
Julio Cesar Solares Peñate  
Coordinador del Área de Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Presente

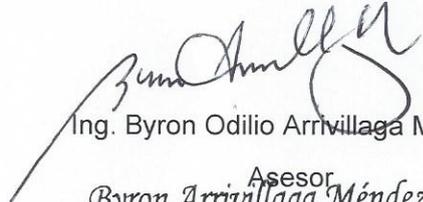
Estimado Ingeniero Solares:

Me dirijo a usted, saludándolo e informándole que siendo asesor de tesis del estudiante **JOSE FERNANDO ASENCIO CAMPOS** con carne **1998-10809** el cual desarrollo el trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CENTRIFUGADORA DE AZUCAR TIPO BATCH PARA EL INCREMENTO DE CICLOS Y SEGURIDADES EN INGENIO MAGDALENA S.A.** Y considerando la experiencia que tengo en el campo que comprende el tema titulado y bajo la nominación otorgada por Coordinadores de la Escuela apruebo el trabajo mencionado para revisión y seguimiento del mismo por la Escuela.

Agradeciendo su amable atención a la presente, me suscribo de usted

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Byron Odilio Arrivillaga Mendez  
Asesor  
*Byron Arrivillaga Méndez*  
Ingeniero Electrónico  
Colegiado 5217



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 25 de julio de 2018

**Señor Director**  
**Ing. Otto Fernando Andrino González**  
**Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**  
**Facultad de Ingeniería, USAC.**

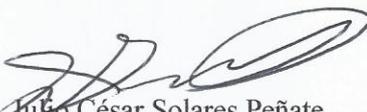
Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CENTRIFUGADORA DE AZÚCAR TIPO BATCH PARA EL INCREMENTO DE CICLOS Y SEGURIDADES EN INGENIO MAGDALENA, S.A.**, desarrollado por el estudiante **José Fernando Asencio Campos**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
**Ing. Julio César Solares Peñate**  
**Coordinador de Electrónica**





REF. EIME 50. 2018.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen el Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: JOSÉ FERNANDO ASENCIO CAMPOS titulado: DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CENTRIFUGADORA DE AZÚCAR TIPO BATCH PARA EL INCREMENTO DE CICLOS Y SEGURIDADES EN INGENIO MAGDALENA, S.A. procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Otto Fernando Andriño González



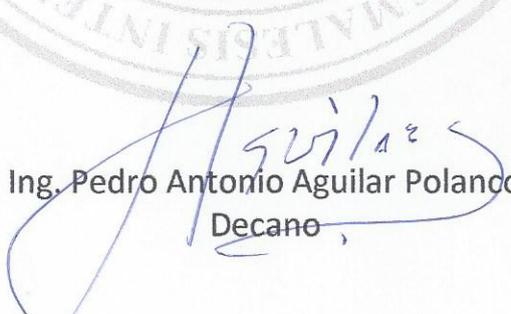
GUATEMALA, 2 DE AGOSTO 2018.



DTG. 395.2018

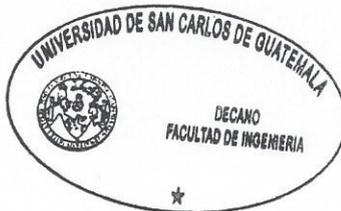
El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CENTRIFUGADORA DE AZÚCAR TIPO BATCH PARA EL INCREMENTO DE CICLOS Y SEGURIDADES EN INGENIO MAGDALENA S. A.**, presentado por el estudiante universitario: **José Fernando Asencio Campos**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, octubre de 2018

/gdech



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por haberme otorgado la dicha de ser una persona con oportunidades por su gran enseñanza académica, científica y moral.

**Facultad de Ingeniería**

Por brindarme conocimientos y haberme desarrollado académicamente dentro de una carrera a nivel universitario.

**Mi esposa**

Por su apoyo incondicional en todo momento.

**Dios**

Porque gracias a su poder y misericordia hacia mi persona, me da la bendición de culminar una meta académica y de vida; permitiéndome llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos; además de su infinita bondad y amor.

**Mi madre**

Por su amor, dedicación y comprensión durante este camino de mi vida en el cual nunca me han dejado solo.

**Mis hermanos**

Por su amor fraternal y apoyo en el caminar del transcurso de mi vida.

**Mi asesor**

Por ser el profesional académico que me guía en la dirección correcta en el desarrollo del trabajo profesional realizado.

**Ingenio Magdalena**

Por brindarme el apoyo, las herramientas y el conocimiento, para culminar esta última etapa de mi carrera profesional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN .....	XXV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Generalidades del Ingenio Magdalena S. A. ....	1
1.1.1. Historia .....	1
1.1.2. Antecedentes generales .....	7
1.1.3. Localización .....	8
1.2. Enfoque de trabajo de Ingenio Magdalena, S. A. ....	9
1.2.1. Estrategia del ingenio .....	9
1.2.2. Servicios, productos y subproductos derivados del ingenio .....	10
1.2.2.1. Azúcar .....	10
1.3. Proceso para la elaboración de azúcar refinada del ingenio ..	13
1.3.1. Pesaje de la caña .....	13
1.3.2. Lavado de la caña .....	14
1.3.3. Preparación y molienda de la caña.....	15
1.3.4. Clarificación de jugo .....	17
1.3.5. Filtros de cachaza.....	19
1.3.6. Evaporación.....	20
1.3.7. Cristalización .....	22
1.3.8. Centrifugado .....	23

1.3.9.	Refinación de azúcar.....	24
2.	CENTRÍFUGAS .....	31
2.1.	Definición .....	31
2.2.	Función .....	31
2.3.	Tipos.....	32
2.3.1.	Centrífugas continuas .....	32
2.3.2.	Partes de una centrífuga continua.....	34
2.3.3.	Centrífugas discontinuas o tipo Batch .....	36
2.3.4.	Partes de una centrífuga discontinua o tipo Batch .....	36
3.	SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE CENTRIFUGADO PARA EL ANÁLISIS DE MEJORA.....	41
3.1.	Generalidades.....	41
3.2.	Clases de centrífugas batch que utilizan en sector azucarero .....	42
3.2.1.	Centrífugas Batch.....	42
3.2.2.	Distribución de centrífugas Batch y continuas en el proceso de elaboración de azúcar.....	43
3.3.	Mantenimiento de las centrifugadoras tipo Batch con sistema de automatización actual .....	45
3.4.	Ventajas y desventajas del sistema de automatización actual.....	46
3.4.1.	La problemática del proceso actual de centrifugación en el ingenio.....	49
3.4.2.	Beneficios de la implementación del proyecto al ingenio.....	52

4.	PROPUESTA DE DISEÑO AUTOMATIZADO PARA EL SISTEMA DE LA CENTRIFUGADORA ACTUAL .....	55
4.1.	Modificaciones y adaptaciones mecánicas realizadas en la centrífuga.....	55
4.2.	Sistema de automatización de la centrífuga .....	56
4.3.	Análisis y estudio del procedimiento de automatización para el proceso de centrifugación.....	56
	4.3.1.1. Encendido de la centrífuga y lavado de la tela .....	57
	4.3.1.2. Descarga de la masa y lavado de la bandeja de alimentación.....	58
	4.3.1.3. Lavado de la masa y separación de mieles .....	58
	4.3.1.4. Frenado de la centrífuga y descarga del azúcar .....	59
4.4.	Variables físicas de control del equipo .....	60
	4.4.1. La velocidad.....	60
	4.4.2. El tiempo.....	60
	4.4.3. El nivel .....	61
	4.4.4. La potencia .....	61
4.5.	Automatización del sistema actual .....	62
4.6.	Instrumentos del sistema de control .....	67
	4.6.1. Sensores.....	67
	4.6.1.1. Sensor inductivo .....	68
	4.6.1.1.1. Partes componentes.....	68
	4.6.1.1.2. Principio de funcionamiento .....	69
	4.6.1.2. Palpador o limitador de carga .....	70
	4.6.2. PLC SIMATIC S7-1500.....	71

4.6.2.1.	Características generales de la CPU S7-1500.....	72
4.6.2.2.	Módulo de ampliación de entradas y salidas digitales .....	73
4.6.2.3.	Especificaciones técnicas de los módulos de entradas y salidas digitales .....	74
4.6.2.4.	Módulo de ampliación de entradas y salidas analógicas .....	75
4.6.2.5.	Especificaciones técnicas de los módulos de entradas y salidas analógicas .....	76
4.6.3.	Pantalla TP 1200.....	77
4.7.	Selección e instalación de los actuadores.....	78
4.7.1.	Cilindros neumáticos .....	78
4.7.2.	Electroválvulas .....	79
4.7.3.	Actuador neumático .....	81
4.8.	Tipos de transductores para el monitoreo de seguridades.....	82
4.8.1.	Transductores para el monitoreo de vibración .....	82
4.8.2.	Transductores para el monitoreo de desbalance ....	84
4.9.	Redes industriales para el diseño propuesto de mejora en la centrifugadora de azúcar .....	85
4.9.1.	Profibus (Process Field BUS).....	87
4.9.2.	Variador de frecuencia para el diseño propuesto ....	88
4.10.	Etapas de integración de los elementos de automatización para el diseño propuesto.....	90
4.11.	Diseño y elaboración del tablero de control .....	92
4.11.1.	Diseño del diagrama de conexiones para el tablero principal de control .....	92

4.11.2.	Diseño del diagrama de conexiones electroneumático .....	93
4.12.	Aspectos importantes dentro de la implementación del diseño propuesto .....	95
4.12.1.	Tiempo para implementar el proyecto al Ingenio Magdalena del diseño propuesto .....	95
4.12.2.	Complicaciones con el equipo si llegara a fallar el sistema automatizado .....	95
4.12.3.	Personal capacitado que se necesita al implementar del proyecto al diseño propuesto .....	96
4.12.4.	Porcentaje de disminución del personal operativo en la implementación del sistema automatizado propuesto .....	96
4.12.5.	Porcentaje de disminución de fallos operativos y mecánicos debido a la implementación del sistema automatizado propuesto .....	97
4.13.	Diagrama de bloques del diseño para la implementación de la mejora a la centrifugadora de azúcar tipo Batch para el incremento de ciclos y seguridades.....	98
5.	PRESENTACIÓN DEL PLANTEAMIENTO ECONÓMICO AL IMPLEMENTAR EL DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO .....	103
5.1.	Idea .....	103
5.2.	Preinversión.....	103
5.2.1.	Perfil .....	104
5.2.2.	Prefactibilidad .....	105
5.2.3.	Factibilidad.....	106
5.3.	Ejecución del diseño.....	107
5.3.1.	Estudios y experiencia técnica.....	108

5.4.	Inversión.....	110
5.4.1.	Evaluación.....	110
5.4.2.	Operación.....	111
5.4.3.	Mantenimiento.....	112
5.5.	Análisis económico de la indisponibilidad del equipo .....	114
5.6.	Costo de la inversión del sistema propuesto.....	115
CONCLUSIONES.....		117
RECOMENDACIONES .....		119
BIBLIOGRAFÍA.....		121
APÉNDICE .....		123
ANEXO.....		205

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ingenio Magdalena, S. A, año 1983 .....	2
2.	Ingenio Magdalena, S. A, año 1990 .....	3
3.	Ingenio Magdalena S.A., año 2000 .....	5
4.	Ingenio Magdalena S. A, año 2010 .....	6
5.	Ingenio Magdalena, año 2018.....	7
6.	Ubicación del Ingenio Magdalena .....	8
7.	Azúcar morena .....	11
8.	Azúcar blanca .....	12
9.	Azúcar refinada .....	13
10.	Báscula para pesar la caña de azúcar .....	14
11.	Mesa de Lavado en seco de la caña de azúcar .....	15
12.	Tándem de molinos para la extracción de jugo de caña .....	17
13.	Proceso de alcalización.....	18
14.	Clarificadores de jugo.....	19
15.	Proceso de filtración de jugo .....	20
16.	Proceso de evaporación de jugo .....	21
17.	Proceso de cristalización.....	23
18.	Proceso de centrifugado .....	24
19.	Proceso de elaboración de azúcar refinada .....	27
20.	Proceso de envasado.....	28
21.	Proceso de almacenamiento .....	29
22.	Centrífuga continúa .....	33
23.	Partes de una centrífuga continúa .....	35

24.	Partes de una centrífuga continúa .....	36
25.	Partes de la centrífuga tipo Batch .....	39
26.	Esquema de la centrífugas para azúcar blanca y cruda actualmente en el Ingenio Magdalena, S.A.....	44
27.	Distribución de centrífugas del área de producción de azúcar refinada.....	45
28.	Centrífuga discontinua TITAN.....	47
29.	Diagrama de bloques del modelo de funcionamiento del sistema .....	57
30.	Diagrama de bloques.....	63
31.	Diagrama interface.....	64
32.	PLC S7-1500 utilizado en la automatización nueva de la centrífuga Wester State .....	65
33.	Pantalla PT-1200 utilizado en el control Scada para el monitoreo y control de señales.....	66
34.	Gráficos de la pantalla Scada para el monitoreo y control de la centrífuga automática propuesta.....	67
35.	Sensor inductivo y objetivo metálico .....	68
36.	Partes componentes del sensor inductivo .....	69
37.	Principio de funcionamiento del sensor inductivo .....	70
38.	Apalpador o sensor de nivel de carga.....	71
39.	PLC SIMATIC S7-1500.....	72
40.	Módulo de ampliación EM22.....	74
41.	Módulo de ampliación de entradas y salidas analógicas .....	76
42.	Principales componentes del TD200 .....	77
43.	Cilindro neumático DNC 50-125-PPV-A .....	79
44.	Electroválvula CPE18-M1H-5L-1/4 .....	80
45.	Actuador neumático tipo mariposa.....	81
46.	Sensor de vibración utilizado para el control de vibraciones en el sistema propuesto.....	83

47.	Sensor de desbalance utilizado para el control de vibraciones en el sistema propuesto .....	85
48.	Diseño de la red Profibus del diseño propuesto .....	88
49.	Módulo de comunicación Profibus RPBA-01 para variador de frecuencia ABB ACS 800 .....	89
50.	Control obsoleto de centrifugadora del Ingenio Magdalena, S. A. ....	91
51.	Ubicación del nuevo PLC en su gabinete.....	91
52.	Diagrama de entradas y salidas principales de control .....	93
53.	Diagrama de conexiones electroneumático .....	94
54.	Diagrama de bloques del diseño para la implementación de la mejora a centrifugadora de azúcar tipo Batch para el incremento de ciclos y seguridades .....	102

## TABLAS

I.	Ventajas y desventajas del proceso para mejorar una centrífuga .....	51
II.	Características generales de la CPU S7-1500.....	73
III.	Características del TD200.....	78
IV.	Función de los cilindros.....	94
V.	Comparativo de disminución de fallos respecto al sistema convencional contra el sistema automatizado propuesto .....	97
VI.	Procedimiento de manteamiento preventivo (sistema neumático) .....	114
VII.	Peso y costo del azúcar por ciclo de operación no trabajado respecto a 24 ciclos por hora .....	115
VIII.	Costos de la inversión al proyecto propuesto.....	116



## GLOSARIO

<b>Automatización</b>	Es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.
<b>Automatización en el trabajo</b>	Es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operarios humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.
<b>Automatización industrial</b>	Se refiere al uso de sistemas computarizados y/o electromecánicos y/o neumáticos para controlar maquinaria o procesos industriales sustituyendo la operación humana.
<b>Azúcar</b>	Se llama así a la sacarosa la cual es un disacárido formado por una molécula de glucosa y fructuosa.
<b>Azúcar blanca</b>	Es el azúcar sometido a un proceso de purificación química por azufre.
<b>Azúcar cruda</b>	Es el azúcar obtenido desde la segunda extracción de los molinos la cual lleva un menor proceso de purificación.
<b>Azúcar morena</b>	Azúcar obtenido del jugo de caña de azúcar y que no se ha refinado, solo está cristalizado y centrifugado.

Su color se debe al recubrimiento de melaza que hay en cada cristal de azúcar. Aunque su contenido en vitaminas y minerales es algo superior al azúcar blanco, su calidad dietética es muy inferior a la melaza.

<b>Bagazo</b>	Subproducto obtenido de la caña de azúcar el cual se obtiene después del extraído del jugo.
<b>Batch</b>	Se refiere al proceso por lotes un <i>batch</i> es un lote.
<b>Test stand</b>	Se refiere al banco de pruebas de serie.
<b>Brix</b>	Los grados brix sirven para determinar el cociente total de sacarosa en un líquido; concentración de sólidos solubles, por ejemplo, 25° brix contiene 25 gramos de azúcar por 100 gramos de líquido.
<b>Byte</b>	Unidad de información múltiplo del bit, es equivalente a 8 bits, es la cantidad menor de información que una computadora podía leer.
<b>Cabezal</b>	Esta estructura es muy compacta, utiliza dos cojinetes de bolas lubricados por grasa de contacto angular y un cojinete esférico lubricado por grasa.
<b>Canasta</b>	Es el receptor de la masa cocida, donde se separa el azúcar de la miel dentro de la centrífuga.

<b>Caña</b>	Es la materia prima que se utiliza en un ingenio, más las materias extrañas y el agua que la acompañan.
<b>Caña bruta</b>	La que se entrega al ingenio para su industrialización.
<b>Caña neta</b>	Es la parte de tallo comprendida entre el entrenudo más cercano al surco y la sección 8-10 contada esta de arriba hacia abajo a partir de la hoja que muestra la primer fila visible y libre de materia extraña.
<b>Calandria</b>	Consiste en un haz de tubos verticales cortos aproximadamente de unas 6 pulgadas, colocados entre dos espejos que se remachan en las bridas del cuerpo de un evaporador.
<b>Cámara de trabajo</b>	Se refiere al interior de la centrífuga cuando se está trabajando.
<b>Capacitancia</b>	Capacidad de un capacitor de almacenar energía.
<b>Capacitor</b>	Dispositivo pasivo capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico.
<b>Centrífuga</b>	Máquina utilizada para separar los cristales de azúcar de la miel, en una masa cocida, por medio de la fuerza centrífuga producida al girar a altas velocidades.

<b>Contenedor</b>	Es una estructura de acero soldado. La función del contenedor es doble: rodear completamente la estructura de la canasta a fin de recoger el jarabe extraído de la masa cocida y proporcionar una salida para dejar que el jarabe se drene a la siguiente operación en la que sea requerido, y apoyar a toda la máquina centrífuga.
<b>Colorímetro</b>	Instrumento electrónico utilizado para medir el color del azúcar en línea, es decir, sin necesidad de realizar muestreo o detener la línea de producción.
<b>Chapaleta</b>	Dispositivo que deja caer la masa cocida dentro de la centrífuga.
<b>Clarificar</b>	Proceso de purificación del jugo donde se extraen impurezas las cuales decantan al fondo de un tanque clarificador.
<b>Carcasa</b>	Es el envolvente que recubre la canasta.
<b>Desarrollo tecnológico</b>	Es el proceso de organización sistemática del conocimiento científico y tecnológico para la producción de bienes y servicios.
<b>Dieléctrico</b>	Material no conductor o mal conductor de electricidad que al ser sometido por un campo eléctrico externo, puede establecerse un campo eléctrico interno.

<b>Fibra de caña</b>	Es la materia insoluble contenida en la caña.
<b>Fuerza</b>	Magnitud física que mide la intensidad del intercambio de momento lineal entre dos partículas la cual se mide en Newton, lo que equivale a proporcionar una aceleración de 1 metro sobre segundos al cuadrado a un objeto de 1 kilogramo.
<b>Fuerza centrífuga</b>	Es la acción de la gravedad que se ejerce dentro de la centrífuga con carga y en marcha.
<b>Inocuo</b>	Referente a que no hace daño, por ejemplo azúcar inocua es aquella que no es dañina al consumidor final.
<b>Jarabe</b>	Es el coproducto obtenido de la separación de los cristales de azúcar de la masa cocida, en la estación de centrífugas.
<b>Lechada</b>	Masa clara de cal empleada en trabajos de construcción o para blanquear.
<b>Licor madre</b>	Se refiere a la miel que se extrae de la masa cocida, también llamado jarabe.
<b>Licor</b>	Es azúcar disuelta en agua, que se utiliza en todo el proceso de refinería para luego cristalizar el azúcar recuperable.

<b>Licor clarificado</b>	Es el licor claro que se obtiene después del proceso de clarificación y que se alimenta a la estación de filtros.
<b>Masa cocida</b>	Es la mezcla por tratar en la centrifuga, que se comprende por miel y cristales de azúcar.
<b>Mesh</b>	Consiste en una barrera semipermeable hecha de hilos de metal, fibra u otro material flexible.
<b>Miel rica</b>	Llamada también miel virgen, es la que se extrae de las centrífugas.
<b>Miel pobre</b>	Miel que se extrae de las continuas de tercera y es llevada a tanques como melaza.
<b>Neumática</b>	Tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de energía para mover y hacer funcionar mecanismos.
<b>Parte operativa</b>	Es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada.
<b>Potencia eléctrica</b>	Para un generador, la potencia es la medida de la capacidad de la planta de producir energía eléctrica, es la cantidad de energía eléctrica que dispone una planta para entregar a sus clientes. Para un consumidor, es la medida de la cantidad de energía

eléctrica que necesita para operar o la cantidad de energía eléctrica que demanda de su proveedor.

<b>Pureza</b>	Es la proporción del azúcar pura en la materia sólida, que permanece después de que toda el agua se ha evaporado.
<b>Pureza real</b>	Es la proporción de porcentaje de sacarosa en la materia seca.
<b>Sacarosa</b>	Disacárido compuesto por una molécula de glucosa y otra de fructosa. Conocido en química como como azúcar de caña.
<b>Sensor</b>	Dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas y transformarlas en señales eléctricas, por ejemplo, temperatura, presencia, presión, entre otros.
<b>Sistema</b>	Conjunto de partes organizadas que interactúan entre sí para lograr un objetivo. Los sistemas reciben datos, energía o materia del ambiente y proveen información energía o materia.
<b>Sistema de automatización</b>	Es un plan práctico y completo para generar, controlar y coordinar las acciones de una organización, basado en sus políticas y procedimientos, funciones y organigramas que son ejecutadas por el elemento físico y humano, con un plan tácito de corrección.

<b>Sulfitación</b>	Práctica de adicionar dióxido de azufre a la corriente del jugo del proceso de fabricación de azúcar.
<b>Tecnología</b>	Es esencialmente conocimiento, pero conocimiento organizado específicamente para la producción. El desarrollo tecnológico causa transformaciones en los procesos productivos.
<b>Telas</b>	Dispositivo que sirve como colador para la separación del azúcar y la miel.
<b>Voltaje</b>	Magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos; definido también como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones.
<b>Vórtice</b>	Es la acción que se ejerce dentro de la centrífuga cuando está en marcha.
<b>Zafra</b>	Recolección de la caña de azúcar y la temporada en la que se realiza.

## RESUMEN

El presente trabajo de graduación da a conocer el diseño del sistema automatizado de una centrifugadora de azúcar tipo Batch, para el incremento de ciclos y seguridades para el Ingenio Magdalena, con su implementación se tendrán bajos costos a largo plazo, mejora de la producción de ciclos y seguridades propias para el resguardo del personal operativo del cuidado de la máquina; también, aumentar el tiempo de disponibilidad de la máquina en tiempo de zafra.

En el capítulo I se describen los antecedentes y el desarrollo del Ingenio Magdalena S. A. con relación a la sostenibilidad económica, social-laboral y ambiental; además, localización, estrategias, visión, misión, valores y el desarrollo en el proceso de fabricación de azúcar y los subproductos derivados: alcohol y de energía eléctrica. Se detalla en el mismo capítulo la estructura organizacional del Ingenio Magdalena, los productos de azúcar y el proceso para la elaboración de azúcar refinada en el ingenio.

En el capítulo II se describen las generalidades de la centrífugas tipo Batch: definición, descripción de la centrífuga Batch, esquemas de cómo funcionan las centrífuga tipo Batch en el Ingenio Magdalena S.A.; tipos de centrífugas, ventajas y desventajas; centrífugas continuas, ventajas y desventajas; funcionamiento de las centrífugas tipo Batch; diferencia de los tipos de centrífugas y la importancia de la centrifugadora de azúcar tipo Batch para el Ingenio Magdalena S. A.; mantenimiento, seguridad; se complementan con la diferencia del mantenimiento con un sistema automatizado de

centrifugadora de azúcar tipo Batch para el incremento de ciclos y seguridades para el Ingenio Magdalena S. A.

En el capítulo III se explica la fase de servicio técnico profesional; se presenta y analiza la situación actual del área de centrífugas; área de refinería; se da a conocer la problemática en el proceso de centrifugación de mieles para la separación de azúcar es un de sistema bastante complejo y delicado, debido a su alta complejidad para el control y la seguridad de la máquina y de los operarios; en el proceso actual de centrifugación, se cuenta con cierta cantidad de centrífugas de modelos desfasados y de bajas seguridades, las cuales presentan baja eficiencia en la producción de azúcar y altos tiempos de indisponibilidad debido a la falta de repuestos y a la complejidad del sistema actual. Además, presenta un alto índice de indisponibilidad de la máquina por la falta de seguridad en el sistema de control actual que ocasiona tiempos prolongados de indisponibilidad de la máquina. Se complementa con el análisis de la mejora y los beneficios a largo plazo con respecto al sistema actual.

En el capítulo IV se presenta la propuesta del diseño del sistema de automatización centrifugadora de azúcar tipo Batch para el incremento de ciclos y seguridad para el Ingenio Magdalena S. A.; también, la lógica de funcionamiento del sistema de automatización propuesto mediante un diagrama; modificaciones que se le realizarán a la centrífuga para la instalación de nuevo equipo; diseño del sistema de automatización en relación a la interface hombre y máquina y seguridades.

Para implementar el sistema se necesitan realizar cambios y modificaciones a la centrífuga; por lo que se realiza el diseño de un sistema automatizado para la mejora de producción de ciclos de una centrifugadora tipo Batch con automatización, para la mejora en la producción de ciclos y

seguridades propias para el resguardo del personal operativo y cuidado de la máquina. También, aumentar el tiempo de disponibilidad de la máquina en tiempo de zafra.

Debido a la propuesta del diseño del sistema de automatización de la centrifugadora de azúcar tipo Batch para el incremento de ciclos y seguridad para el Ingenio Magdalena S. A., en el capítulo V presenta la pregunta económica al implementar el sistema de automatización, el análisis económico de la indisponibilidad del equipo, el costo de la inversión del sistema propuesto y la tabla de gastos y el análisis del retorno de inversión para el nuevo sistema de automatización.

De lo anterior, se pretende que el sistema integre un programa y sistemas periféricos que interactuarán con el operador por medio de una pantalla gráfica instalada en el equipo que se comunicará vía profibus al PLC y al variador de velocidad; también, el sistema buscará reducir los tiempos de ciclo de cada etapa de funcionamiento e incrementar las seguridades desde el comienzo hasta el final del ciclo de operación.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar un sistema automatizado y en análisis de costo de una centrifugadora de azúcar tipo Batch para el incremento de ciclos y la seguridad en el Ingenio Magdalena S. A.

### **Específicos**

1. Conocer el proceso de elaboración de azúcar y la migración del sistema de centrífuga Wester State.
2. Presentar el análisis de la problemática del sistema actual de automatización de la centrifugadora de azúcar tipo Batch, para incrementar el nivel de seguridad en la máquina.
3. Mejorar el proceso de centrifugación por medio de un sistema automatizado eficiente y funcional, incrementando el porcentaje de disponibilidad de la máquina debido a menos fallos mecánicos en un menor porcentaje.
4. Presentar un diseño que permita el incremento de ciclos de descarga de azúcar y aumente la seguridad para el personal que opere la máquina.
5. Realizar el análisis económico para el diseño propuesto, donde el retorno de la inversión sea menor a un periodo de zafra, por un costo de

inversión de proyecto que se compensará en un tiempo  $t = 16,2$  horas de operación de la centrífuga de azúcar refinada.

## INTRODUCCIÓN

Al Ingenio Magdalena S. A., lo caracteriza su eslogan Magdalena Tierra Dulce; desarrolla y comercializa productos alimenticios, agrícolas y energéticos, comprometido con la sostenibilidad del negocio, el desarrollo social y ambiental. Por tal razón, todas las acciones que realiza se caracterizan por actuar bajo los principios de honestidad, humildad y pasión por los logros; innova constantemente su negocio; analiza, investiga y adapta sus productos y servicios a las necesidades latentes.

En Guatemala, el país líder en el mercado azucarero centroamericano, con treinta y tres años de historia, el Ingenio Magdalena S. A., está a la cabeza; aporta más del 24 % de la caña molida y de la producción del país; es el mayor productor centroamericano de azúcar y el segundo en América Latina; cuenta con la refinería más grande del mundo anexa a un ingenio. Otro dato relevante es que es el tercer generador de energía eléctrica del país y un importante productor de alcohol a nivel internacional; trae consigo un gran desarrollo en el mercado nacional e internacional por sus productos y servicio de energía.

El Ingenio Magdalena S. A., en el año 2015, alcanzó un récord de molienda de 46 000 toneladas en un día. Si en su origen se producían 17 000 toneladas de azúcar por zafra, en ese año la producción alcanzó más de 700 000 toneladas. Pasó de ser un ingenio que producía solo azúcar para el mercado local, a exportar azúcar cruda al mercado internacional. Actualmente, el 80 % de su producción se destina a la exportación y es azúcar refinada. El restante 20 % es azúcar estándar para el mercado local.

Magdalena se presenta como la fábrica de mayor producción de azúcar en Centroamérica y la segunda en América Latina; pero su alcance ya traspasa las fronteras regionales: se colocó en la zafra 2014/2015 como el segundo ingenio de más producción de azúcar en el mundo, con 709 000 toneladas. El azúcar que se produce en el Ingenio Magdalena actualmente llega a más de 30 mercados de Asia, África, Estados Unidos, Latinoamérica y El Caribe. Los principales mercados son Chile, Togo y Costa de Marfil; es importante mencionar que es uno de los proveedores importantes de Chile, uno de los mercados de azúcar refinada más importantes de la región, e igualmente de las islas de El Caribe.

Por todo lo anterior, Ingenio Magdalena es una institución que se dedica a la fabricación de productos inocuos derivados de la caña de azúcar, para uso industrial y uso directo (comestible); cumple con el ordenamiento jurídico vigente, exigencia de calidad y los requisitos de los clientes, de manera eficaz.

Se realizó el diseño de un sistema automatizado para la mejora de la producción de los ciclos de una centrifugadora tipo Batch con automatización desfasada, para la mejora en su producción de ciclos y seguridad para el resguardo del personal operativo y el cuidado de la máquina. También, para aumentar el tiempo de disponibilidad de la máquina en tiempo de zafra.

El sistema integra un programa y sistemas periféricos que interactuarán con el operador por medio de una pantalla gráfica instalada en el equipo que se comunicará vía Profibus al PLC y al variador de velocidad; por lo tanto, en dicha pantalla se desplegarán los datos promedios de ciclos por hora, el monitoreo de la posición de los cilindros neumáticos, los sistemas de vibración, el sistema de desbalance y los datos eléctricos del variador de frente activo que realiza el movimiento de la máquina.

Se desea que la propuesta del sistema reduzca los tiempos de ciclo de cada etapa de funcionamiento e incremente la seguridad desde el comienzo hasta el final del ciclo de operación. Con estas mejoras se espera que los ciclos por hora se incrementen de 20 ciclos por hora a 23 o 24 ciclos por hora; con lo expuesto se logrará un incremento en la producción de azúcar producida por máquina y la reducción en el personal operativo de las máquinas.

Por lo tanto, se desea proponer un diseño de un sistema automatizado para el control de todos los ciclos de la máquina (carga, centrifugado, lavados, descarga) los cuales serán monitoreados por una pantalla táctil y controlados por un PLC Siemens S7 1500 y un módulo de Profibus ET 300 que a su vez gobernará a un variador de frente activo ABB ACS 800 con un módulo de Profibus de las distintas velocidades de ciclo existente.



# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Generalidades del Ingenio Magdalena S. A.**

**Ingenio Magdalena es una empresa agroindustrial que se ha dedicado hace más de treinta y tres años a la industria de fabricación de azúcar, a continuación, se describe una síntesis de la empresa.**

### **1.1.1. Historia**

La historia de éxito empresarial de Magdalena inicia hace 33 años. El fundador de los negocios de la familia fue el señor Julio Héctor Leal, un abogado que incursionó, en la década de los años cincuenta, en la producción agrícola; con la compra de tierras y el desarrollo de negocios a partir de ganado, café y caña. Tras el deceso del fundador, a mediados de los años sesenta, sus hijos Luis Fernando, Héctor y Mario Leal Pivaral decidieron en el año 1968, invertir en un ingenio nuevo. En el año 1983 vendieron esa participación a cambio de un ingenio más pequeño, que era el Ingenio Magdalena.

Este ingenio había sido fundado en el año 1976 en la finca Magdalena, ubicada en El Rodeo, departamento de Escuintla, por empresarios vinculados al grupo de Industrias Licoreras de Guatemala. En los años 80, fue reubicado a la Finca Bugarvilia, en donde sigue operando. Los tres hijos de don Julio Héctor Leal se concentraron cada uno en distintas áreas de la empresa familiar: Luis Fernando Leal Pivaral (padre del actual gerente de Magdalena) fue el responsable de la operación de azúcar, a la postre la más importante y de

mayor desarrollo. Su hermano, Héctor dirigía los negocios de café y Mario las fincas de ganado. En 1991 falleció Luis Fernando Leal Pivaral y dos años después Luis Fernando hijo entró a la empresa. Por lo que es importante describir la siguiente cronología:

- Año 1980: en 1983 se compró Ingenio Magdalena, un ingenio que había sido inicialmente productor de mieles para ron y en el año 1976 fue transformado en ingenio azucarero con una capacidad instalada para poder moler hasta 2 000 toneladas cortas diariamente. Un año después, con la instalación de cuatro de los molinos de un tándem comprado a Central Guánica de Puerto Rico, amplió su capacidad instalada a 3 500 TM diarias que le permitió alcanzar en el período de zafra 1983-1984 una producción de 18 200 TM de azúcar. Al final de la década de los 80, su capacidad de molienda diaria llegó a 5 500 TM. Surtiéndose de caña de la plantación ampliada y comprando caña de los proveedores particulares de la zona.

Figura 1. **Ingenio Magdalena, S. A, año 1983**



Fuente: Ingenio Magdalena S.A. *Historia*. <https://www.imsa.com.gt/historia.html>. Consulta: 4 de abril de 2012.

- Año 1990: durante la década de los 90, Magdalena completó la instalación de los molinos 5 y 6 del tándem de Guánica, adicionándole terceras y cuartas masas; instaló un segundo tándem con lo cual alcanzó al final de la década una capacidad de molienda diaria de 20 000TM. Innovó el sistema de corte y alce, amplió sus plantaciones, y con ello, lidera un crecimiento en la producción de azúcar en el país. En este periodo, también, se construyeron tres de los módulos habitacionales para los cortadores de caña. Se creó el laboratorio de meristemas para la producción de semilla de caña de azúcar e inició su participación en el mercado eléctrico, con una cogeneración con bagazo y 53. MW de capacidad instalada; invirtió en un programa más amplio de cogeneración.

Figura 2. **Ingenio Magdalena, S. A, año 1990**



Fuente: Ingenio Magdalena S.A. *Historia*. <https://www.imsa.com.gt/historia.html>. Consulta: 4 de abril de 2012.

- Año 2000: en la década del 2000, el área industrial amplió su capacidad de molienda con la instalación de un tercer tándem de molinos con capacidad de 9 200 TM diarias. Con esta instalación, Magdalena se convirtió en el primer ingenio de la región en contar con 3 tándems de molinos en el mismo centro de producción, con un fuerte componente de tecnología de vanguardia que le permitió hacer más eficiente su molienda. Se incrementó su capacidad de corte, alce y transporte con 100 camiones para el acarreo de caña y 4 cosechadoras mecánicas. Inició con un programa de producción de entomopatógenos utilizados para el control biológico de plagas específicas, que afectan la caña de azúcar, con una capacidad de producción de 45 000 dosis por temporada de marzo a octubre que constituyó un hito para la empresa. En 2001, se crean los servicios manufactureros, con una capacidad de producción de 120 000 litros de alcohol diarios. El éxito de este producto permitió que en el 2002 se iniciara con la exportación de alcohol, atendiendo, cuidadosamente los requerimientos de los clientes y las tendencias del mercado. En 2007, se inició el montaje de una nueva destilería con una capacidad de producción diaria de 300 000 litros de alcohol etílico hidratado. Actualmente, nuestras destilerías tienen una capacidad de producción diaria combinada de 420 mil litros y 26,95 millones de litros de almacenamiento en plantas y 34 millones de litros en terminales de embarque.

Figura 3. **Ingenio Magdalena S.A., año 2000**



Fuente: Ingenio Magdalena S.A. *Historia*. <https://www.imsa.com.gt/historia.html>. Consulta: 4 de abril de 2012.

- Año 2010 en adelante: se amplió una refinería de azúcar y se finalizó la construcción de un domo con capacidad de 75 mil TM para almacenar azúcar refinado, el más grande de la región. Se inauguraron 3 plantas de generación de energía eléctrica, una con capacidad de 62,4 MW y las otras dos de 61,5 MW. La capacidad de arrastre de caña, se consolidó con la adquisición de 30 cabezales hechos a la medida, capaces de remolcar hasta 5 jaulas simultáneamente en caminos internos; se consolidó la logística de entrega de caña de la plantación a la fábrica. Se construyeron tres nuevos complejos habitacionales, uno para técnicos en la colonia y dos para cortadores de caña. Asimismo, una tercera bodega de almacenamiento para producto terminado y las nuevas oficinas generales de la empresa. La producción de Magdalena ha sido calificada con el 100 % en el cumplimiento de conformidad con los sistemas FSSC (Food Safety System Certification) en fábrica; ISO (International

Organization for Standardization) 9001 y OHSAS (Occupational Health and Safety Assessment Series) 18001 en MagAlcoholes. En el año 2015, Magdalena fue el segundo ingenio de más producción de azúcar en el mundo, con 709 000 toneladas, emplea a más de 20 000 personas en época de zafra en Guatemala; es uno de los más grandes exportadores de azúcar refinada en Latinoamérica, con más de 500 000 toneladas, el equivalente al 60 % de las exportaciones totales de azúcar refinada que se generan desde Guatemala. A partir del año 2016, consolida su operación para el mercado eléctrico; cuenta con seis plantas, por lo que tiene 240 mega watts de capacidad de generación eléctrica y es el mayor exportador de Guatemala en el mercado eléctrico regional, representa el 26 % de las exportaciones de energía desde Guatemala; también, participa además en el negocio de etanol. Magdalena opera dos líneas de producción en la misma zona de su ingenio. Tiene una capacidad de producción de 420 000 litros diarios de alcohol puro y produce en promedio 100 millones de litros por año.

Figura 4. **Ingenio Magdalena S. A, año 2010**



Fuente: Ingenio Magdalena S.A. *Historia*. <https://www.imsa.com.gt/historia.html>. Consulta: 4 de abril de 2012.

Figura 5. **Ingenio Magdalena, año 2018**



Fuente: Ingenio Magdalena S.A. *Galería*. <https://www.imsa.com.gt/galeria.html>. Consulta: 6 de abril de 2012.

### **1.1.2. Antecedentes generales**

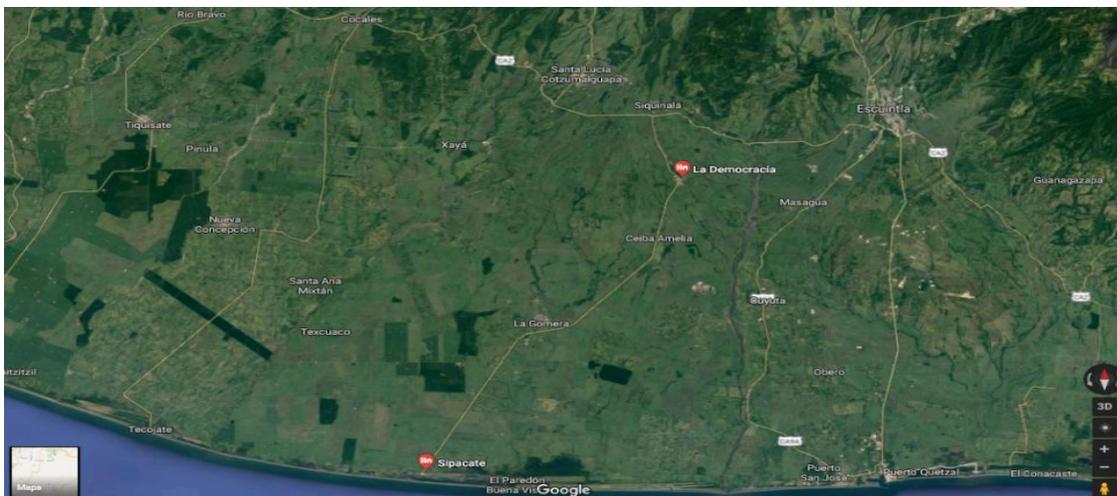
En las tres últimas décadas, por treinta y tres años, el Ingenio Magdalena S. A. se ha posicionado como una de las instituciones azucareras más grande de la región, por lo que forma parte de la Agroindustria Azucarera de Guatemala; está conformada por 12 ingenios azucareros, los cuales se ubican en la planicie costera del océano Pacífico de Guatemala, y diversas organizaciones gremiales como: Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA); Fundación del Azúcar (FUNDAZUCAR); Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala (ATAGUA); Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA); EXPOGRANEL S. A. e Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC); según datos de CENGICAÑA en el año 2017. La agroindustria azucarera desde el año 1990

hasta la fecha se ha convertido en una de las principales fuentes de divisas para el país y gran generadora de empleos.

### 1.1.3. Localización

El Ingenio Magdalena S. A. Tierra Dulce, se encuentra localizada en el municipio Democracia del departamento de Escuintla, por el kilómetro 99,5 carretera a Sipacate, en donde están las instalaciones de la gran planta de producción de azúcar y sus derivados; cuenta con ocho edificaciones para realizar sus operaciones; es la unidad industrial con mayor producción de azúcar de la región centroamericana y llega a otros mercados. Dentro de los destinos de exportación se encuentran Latinoamérica, Estados Unidos, Europa y Asia. A continuación, se muestra la ubicación, vista aérea del ingenio, con Google Maps 2018.

Figura 6. Ubicación del Ingenio Magdalena



Fuente: Google Maps. [www.google.maps.com/](http://www.google.maps.com/). Consulta: 14 de abril de 2012.

## **1.2. Enfoque de trabajo de Ingenio Magdalena, S. A.**

Ingenio Magdalena, es una empresa comprometida con sus empleados y sus clientes, por lo consiguiente ha definido las siguientes estrategias y enfoques de trabajo.

### **1.2.1. Estrategia del ingenio**

La estrategia principal es crecer sosteniblemente en los negocios actuales y potenciales, a través de la innovación, la eficiencia y la productividad, garantizando la calidad de los productos y el mejor servicio al cliente. Por lo que tiene un desarrollo a largo plazo enfocados en la visión, la misión y los valores.

- Visión: enfocada hacia el año 2022, Magdalena será una empresa de clase mundial, líder en costos y productividad. Impulsada por la innovación y la creación de nuevo valor. Desarrollará y comercializará de forma sostenible productos agrícolas, alimenticios y energéticos para el beneficio de sus grupos de interés. “Ser un grupo agroindustrial que se distinga por su mejora continua que por medio de la innovación y diversificación de productos garantice crecimiento y rentabilidad sostenibles para sus accionistas y colaboradores, a través del desarrollo de nuestro personal y tecnología, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.”
- Misión: desarrollar y comercializar productos agrícolas, alimenticios y energéticos para mejorar la calidad de vida de las personas. “Somos una empresa agroindustrial líder, que a través de la eficiencia, rentabilidad, crecimiento, diversificación de nuestras actividades y creación de fuentes de trabajo, satisfacemos las necesidades de nuestros clientes con productos de calidad.”

## **1.2.2. Servicios, productos y subproductos derivados del ingenio**

El Ingenio Magdalena S. A., es el número uno en la fabricación de azúcar, mieles, alcohol y etanol; también, la cogeneración de energía eléctrica, en donde sobresale lo siguiente:

### **1.2.2.1. Azúcar**

El azúcar es el producto líder y ha tenido una demanda creciente y, como consecuencia, la producción aumentó significativamente. Esto abre una puerta al desarrollo de Guatemala al ser la unidad industrial con mayor producción de azúcar de la región centroamericana y llegar a otros mercados. Dentro de los destinos de exportación se encuentran Latinoamérica, Estados Unidos, Europa y Asia.

El desarrollo y la aplicación de tecnologías potencializan la calidad y eficiencia de la caña de azúcar, como materia prima, esto ha permitido liderar el mercado nacional con un aporte del 24 % de azúcar y con una molienda diaria de 38 640 toneladas métricas de caña.

Los tipos de azúcar que producen son: estándar, moreno, dorado, crudo y refino; de esta última existen tres calidades: Premium, Mag y Tierra Dulce. Asimismo, producen azúcar moreno y estándar para el mercado local y azúcar crudo, dorado y refino para exportación. Las diferencias en cada una son determinadas por la presencia de criterios fisicoquímicos: apariencia, pureza, color y humedad; también, por criterios microbiológicos asegurando la inocuidad del azúcar.

En la actualidad en el Ingenio se manejan tres tipos de calidad de Azúcar:

- Azúcar morena: producto sólido cristalizado de color marrón, obtenido directamente del jugo de la caña de azúcar, constituido de cristales de sacarosa cubiertos por su miel madre original. En el mercado también se lo conoce como azúcar morena.

Figura 7. **Azúcar morena**



Fuente: Ingredientes del mundo. *Azúcar morena*. <https://www.cocinista.es/web/es/enciclopedia-cocinista/ingredientes-del-mundo/azucar-moreno.html>. Consulta: 10 de junio de 2012.

- Azúcar blanca: azúcar blanca cristal es la proveniente de los primeros jugos de extracción de los molinos de caña; dicho jugo es sometido a un proceso para la extracción de cristales de color blanco o ligeramente amarillento, soluble totalmente en agua. Contendrá un mínimo de 99,7 % de sacarosa calculada sobre materia seca.

Figura 8. **Azúcar blanca**



Fuente: Productos. *Azúcar blanca*. <http://www.guabira.com/productos/azucar-blanco.html>.

Consulta: 10 de junio de 2012.

- **Azúcar refinada:** es la obtenida a partir de un azúcar crudo y cristal por un proceso de refinación técnica, de color blanco brillante, completamente soluble en agua dando una solución límpida y de reacción neutra. Contendrá un mínimo de 99,9 % de sacarosa, 0,5 % de cenizas sulfatadas calculadas sobre materia seca y el residuo insoluble en agua caliente no será superior al 0,05 %.

Figura 9. **Azúcar refinada**



Fuente: Efectos en la salud. *Azúcar refinada*. <https://www.vix.com/es/imj/salud/4365/azucar-refinada-efectos-en-la-salud>. Consulta: 10 de junio de 2012.

### **1.3. Proceso para la elaboración de azúcar refinada del ingenio**

Los diferentes pasos que se dan para la obtención de azúcar granular refinada en el Ingenio Magdalena, a partir de la caña de azúcar, se describe a continuación.

#### **1.3.1. Pesaje de la caña**

En el Ingenio Magdalena la caña se pesa, en grandes básculas de plataforma junto con la unidad de transporte que en su mayoría son camiones que remolcan hasta 5 plataformas cañeras. La caña es transportada a granel.

Figura 10. **Báscula para pesar la caña de azúcar**



Fuente: elaboración propia.

### **1.3.2. Lavado de la caña**

Debido a la mecanización del corte y alce de la caña en los campos, la cantidad de materia extraña e impurezas indeseables ha aumentado, por lo que se ha hecho necesario el lavado de la misma para eliminarlas; si las que en mayor cantidad se encuentran son: tierra y arena. El lavado en seco que se utiliza para esta limpieza, utiliza rodillos vibratorios que separan la materia extraña por medio de vibración y nos ayuda al uso eficiente del agua, y a disminuir la pérdida de sacarosa que se da en el lavado con agua convencional.

Figura 11. **Mesa de Lavado en seco de la caña de azúcar**



Fuente: elaboración propia.

### **1.3.3. Preparación y molienda de la caña**

El sistema de preparación está constituido por uno o dos juegos de cuchillas que preparan la caña a ser enviada a la desfibradora. El juego de cuchillas es un mecanismo rotatorio de cuchillas fijas u oscilantes, que operan a una velocidad entre 600-700 rpm; tiene por finalidad aumentar la densidad de la caña cortándola en trozos más pequeños, preparándola para el trabajo de la desfibradora.

La desfibradora a su vez está formada por un tambor alimentador que compacta la caña a la entrada y a un rotor constituido por un conjunto de martillos oscilantes forzando el paso de la caña por una pequeña abertura a lo largo de una placa desfibradora. Las desfibradoras llegan a proporcionar

índices de preparación de 75 % - 80 %. El proceso de molienda de caña desfibrada se realiza a través de tres tandems de molinos con capacidad de molienda diaria de 40 000 mil toneladas métricas efectivas, distribuidas en tandem A, 11 mil toneladas; tandem B, 14 mil quinientas toneladas y tandem C, 14 mil quinientas toneladas.

Hacia estos tandems se alimenta caña preparada la cual es sometida a una serie de extracciones, utilizando molinos de rodillos o mazas. Se utilizan cinco molinos en los tandems B y C y seis en el tandem A. Todos los molinos son de cuatro mazas rayados en forma de V.

Para hacer más eficiente el proceso de molienda, los jugos pobres de los molinos posteriores se aplican a los molinos que los preceden (proceso de maceración) y en el último molino se aplica agua caliente con temperatura entre 155 – 170 grados Fahrenheit para aumentar la extracción (imbibición).

El bagazo sale del último molino; en peso representa del 26 % al 27 % de la caña. Este subproducto industrial se transporta hacia el sistema de calderas para usarlo, en calidad de biomasa, como combustible. El bagazo sobrante tiene como destino el almacenamiento para reserva para cubrir paros programados y no programados donde sea necesario el bagazo como combustible para la generación de vapor y energía; elementos esenciales para la elaboración del azúcar y sus subproductos.

La fabricación de azúcar es un proceso lento, a través de los años se han desarrollado prácticas para agilizarlo y hacerlo más eficiente. A continuación, se describe el proceso dentro de la fábrica desde la recepción de la caña hasta el transporte de la azúcar.

Figura 12. **Tándem de molinos para la extracción de jugo de caña**

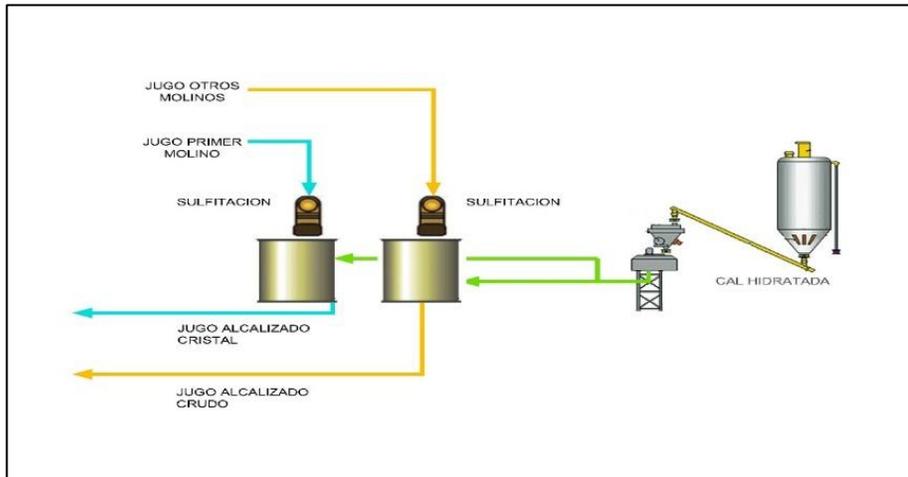


Fuente: elaboración propia.

#### **1.3.4. Clarificación de jugo**

El jugo proveniente de los molinos pasa por calentadores líquido – líquido obteniendo temperaturas entre 140 y 155 grados Fahrenheit. Luego pasa a la torre de sulfitación, para alcanzar un PH de 5.0, para producir azúcar blanco y crudo que luego es procesada para ser refinada. En esta etapa se utiliza azufre como agente decolorante; luego, mediante la adición de agua con cal entre 6 – 10 grados baumé, se neutraliza el jugo.

Figura 13. **Proceso de alcalización**



Fuente: Ingenio Magdalena S.A. <https://www.imsa.com.gt>. Consulta: 12 de junio de 2012.

Como siguiente etapa del proceso se procede al calentamiento del jugo de caña que se realiza en 3 etapas: la primera se realiza con vapor vegetal de 0 libras sobre pulgadas cuadradas manométricas que alcanza temperaturas de 175 – 185 grados Fahrenheit, la segunda se realiza con vapor vegetal de 5,0 libras sobre pulgadas cuadradas manométricas que alcanza temperaturas de 205 – 215 grados Fahrenheit; y la última con vapor de 10 libras sobre pulgadas cuadradas manométricas, para la rectificación del jugo en forma automática que alcanza los 220-225 grados Fahrenheit. Con el proceso anterior se logra que el jugo al ser liberado a presión atmosférica sufra una pequeña evaporación en el tanque flash que evita que los flóculos floten o decanten con lentitud por la presencia de burbujas atrapadas en el interior.

El siguiente paso es alimentar el jugo a los clarificadores a baja velocidad para permitir la decantación de lodos y que puedan ser extraídos por gravedad en el clarificador SRI y con bombas trasladar los lodos a un tanque para su filtración posterior. En la etapa final de este proceso se utilizan coladores

vibratorios con una malla 110 mesh para la eliminación del bagacillo y evitar que llegue al producto final.

Figura 14. **Clarificadores de jugo**

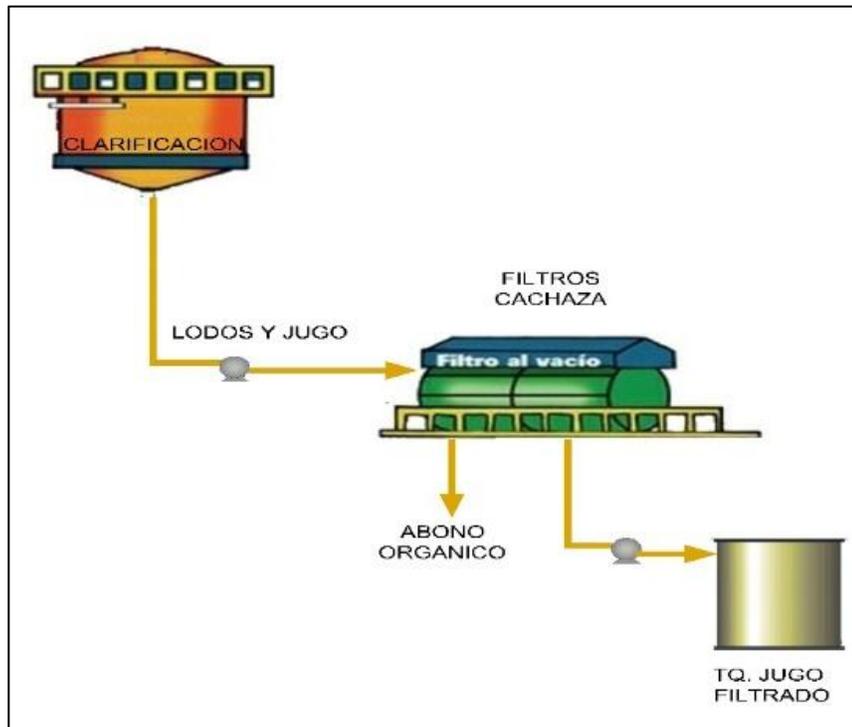


Fuente: elaboración propia.

### **1.3.5. Filtros de cachaza**

Los lodos formados en el clarificador reciben el nombre de cachaza y son retirados continuamente por medio de un sistema de bombas de diafragma; como este lodo arrastra sacarosa en aproximadamente 10 %, se hacen pasar por filtros rotativos al vacío, en los cuales se recupera el jugo de caña que luego es bombeado hacia tanques de almacenamiento de jugo para luego ser insertado al proceso de tanques de jugo alcalizado.

Figura 15. **Proceso de filtración de jugo**



Fuente: Ingenio Magdalena S.A. <https://www.imsa.com.gt>. Consulta: 12 de junio de 2012.

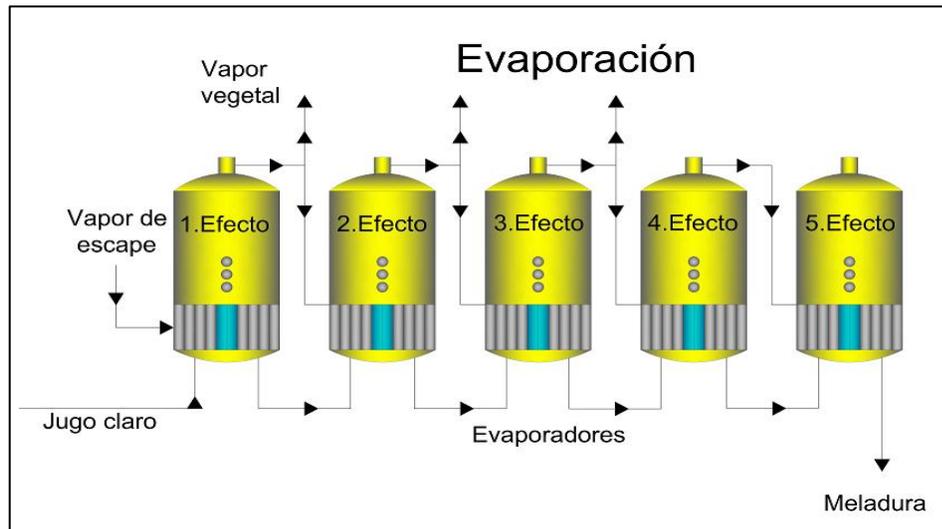
### 1.3.6. **Evaporación**

La operación del sistema de evaporación en la planta es de quintuple efecto, tanto para la línea de azúcar blanca como para la línea de azúcar cruda. Para la operación se fijan las condiciones de entrada, salida, nivel de cada evaporador y extracciones de vapores vegetales hacia el exterior (esto quiere decir alimentaciones de vapor a tachos, calentadores y secado de azúcar). La condición mencionada crea el equilibrio en lo que respecta a presiones, temperaturas y consumos de vapor calculados los cuales darán el mejor balance para lograr la mejor concentración de azúcares y disminuir la cantidad de agua en la meladura final obtenida en este proceso

El jugo clarificado contiene aproximadamente 75 % de agua. Esta se elimina por medio de evaporadores de múltiple efecto; un múltiple efecto consiste en una serie de vasos o cuerpos ordenados de tal manera que cada cuerpo subsiguiente tiene un vacío más alto, lo que hace que el líquido hierva a una temperatura más baja; los vapores de un cuerpo hacen hervir el jugo del siguiente y el vapor del último pasan a un condensador.

La evaporación se realiza en evaporadores tipo Roberts en los cuales el vapor y el jugo se encuentran en cámaras separadas, fluyen en el mismo sentido y el jugo pasa de un evaporador a otro con bombas denominadas de transferencia. La parte del condensado sale por gravedad a un tanque donde se bombea hacia las calderas o la fábrica, según el efecto.

Figura 16. **Proceso de evaporación de jugo**



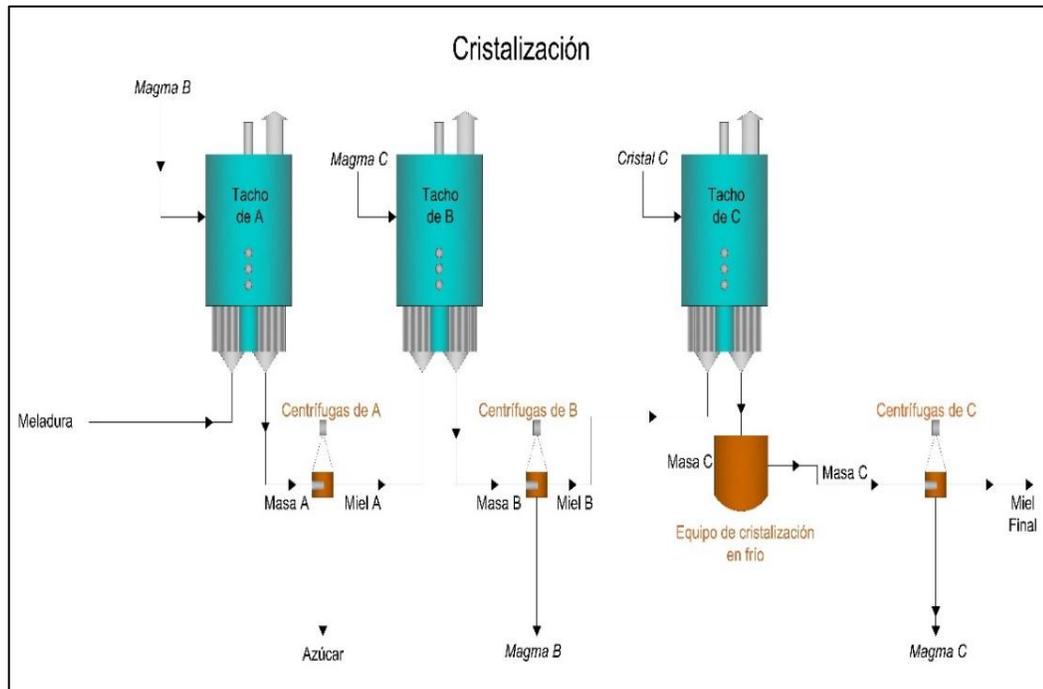
Fuente: Ingenio Magdalena S.A. <https://www.imsa.com.gt>. Consulta: 12 de junio de 2012.

### **1.3.7. Cristalización**

La cristalización o cocimiento de la sacarosa que contiene la meladura o miel virgen se lleva a cabo en tachos continuos y tachos Batch al vacío. Estos cocimientos, según su pureza, producirán azúcar cruda como materia prima para azúcar refinada y azúcar blanca (para consumo local) y refinado de azúcar.

La cristalización del azúcar es un proceso demorado que industrialmente se acelera introduciendo al tacho unos granos microscópicos de azúcar, denominados semilla. La habilidad y la experiencia de los operarios que deben juzgar el punto exacto del cocimiento son indispensables para la obtención de un buen producto. Para azúcar cruda se utiliza un proceso de tres masas y doble magma y para azúcar blanca se utiliza proceso de dos masas y un magma.

Figura 17. **Proceso de cristalización**



Fuente: Ingenio Magdalena S.A. <https://www.imsa.com.gt>. Consulta: 12 de junio de 2012.

### 1.3.8. **Centrifugado**

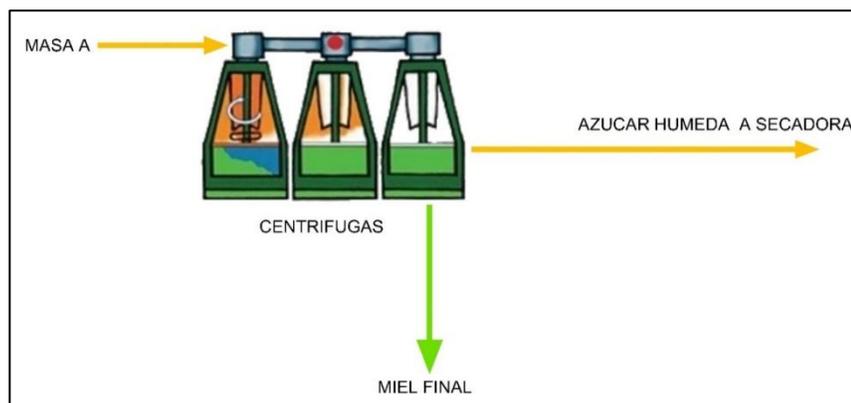
Los cristales de azúcar se separan de la miel restante en el proceso de centrifugado; estos equipos cilíndricos giran a gran velocidad para lograr así la separación del grano de azúcar de la masa A. Para masa A giran a 1 400 revoluciones por minuto y son del tipo Batch; para masas B y C giran a 2 000 rpm y son continuos. La separación del grano se hace por medio de telas de acero inoxidable con agujeros entre 0,06 a 0,09 milímetros.

La miel pasa a través de las telas y los cristales quedan atrapados dentro de las centrifugas y luego se lavan con agua. Las mieles vuelven a los tachos o

bien se utilizan como materia prima para la producción de alcohol en la destilería.

El azúcar en general pasa al proceso de secado cuando se utiliza como producto final o es disuelta cuando es utilizada como materia prima para la producción de azúcar refino.

Figura 18. **Proceso de centrifugado**



Fuente: Ingenio Magdalena S.A. <https://www.imsa.com.gt>. Consulta: 12 de junio de 2012.

### 1.3.9. Refinación de azúcar

Los diferentes pasos que se dan para la obtención de azúcar granular refina en el Ingenio Magdalena, a partir de la caña de azúcar, se describe a continuación:

- **Disolución:** etapa de la refinación que consiste en recibir el azúcar cruda y cristal a la entrada de la refinería. Se pesa el azúcar y a continuación se disuelve agregándole agua caliente, agitación y vapor; esta solución

formada se le llama licor. El licor tiene un rango de Brix de 58 a 65 grados y una temperatura de 85 grados Celsius.

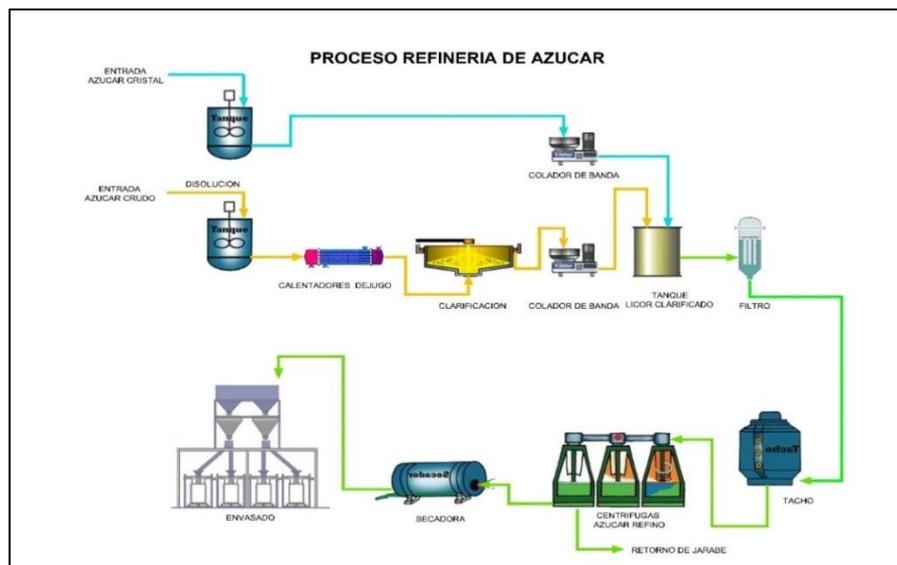
- Clarificación de licor: la clarificación de licor consiste en eliminar color y sólidos insolubles presentes en el azúcar cruda, para ello se agrega al licor, decolorante 150 ppm máximo, floculante 7 ppm máximo, cal de acuerdo al pH, ácido fosfórico 300 ppm máximo y peróxido de hidrogeno 600 ppm máximo; estos productos forman compuestos con los elementos que dan color y con los insolubles lo que facilita su eliminación; se agregan burbujas de aire para eliminarlos por medio de la flotación de las impurezas y el licor ya clarificado se obtiene por rebalse en los clarificadores. La espuma resultante se somete a un proceso de desendulzado; el azúcar recuperado se reingresa a refinería y los desechos se retornan a la fábrica en la etapa de alcalizado, ya que aún contienen sacarosa.
- Tratamiento de licor: el licor formado en la disolución y después de clarificarlo es tratado con tierra de diatomáceas para poder filtrarlo, se agrega tierra en un rango de 0,01 a 0,02 lb/qq azúcar refinada producida.
- Filtración de licor: el licor clarificado y tratado contiene aun sólidos insolubles en suspensión que es necesario eliminar para cumplir con los requerimientos de los clientes en este parámetro. La filtración de licor consta de 2 etapas: primera filtración que es realizada en 10 filtros tipo *cricket* que utiliza una tela de polietileno y tierra de diatomeas para realizar la filtración; la segunda filtración se realiza en filtros tipo Pronto, estos son de placas con telas metálica de acero inoxidable y también utiliza una capa de tierra de diatomeas para realizar la filtración. Esta

doble filtración elimina los sólidos en suspensión y se pueden fabricar las diferentes calidades de azúcar refino que produce el Ingenio.

- **Concentrador de licor:** el licor viene de la disolución con un brix de 58 a 65 grados a la entrada del concentrador; este consiste en 3 etapas de evaporación en las cuales utilizando vapor y vacío se logra eliminar agua del licor, aumentando su concentración a entre 78 y 72 grados brix. Los condensados del vapor utilizado, se reutilizan en el proceso de disolución o en lavado de filtros.
- **Cristalización:** el licor concentrado es enviado a los tanques de la etapa de cristalización, a este se le agrega la semilla de azúcar y se complementa con el jarabe que viene de las centrífugas; todo esto va en los tachos de refinería para formar cristales de azúcar, de tal manera que tengan el tamaño del azúcar comercial. Los tachos utilizan vapor para realizar el proceso anteriormente descrito. El producto de los tachos se llama masa cocida tiene un brix de 86 a 90° Bx y está compuesta por cristales de sacarosa y miel. Los condensados del vapor utilizado en el proceso de cristalización se utilizan dentro del mismo proceso por ser un agua caliente y muy pura.
- **Centrifugación:** la masa cocida que es el producto de la etapa de cristalización se recibe en el mezclador de las centrífugas; este es un tanque con agitación especial para este producto altamente denso, de aquí se alimenta las centrífugas que separan los granos de azúcar de la miel que vienen en la masa cocida; para terminar de limpiar los granos de azúcar se utiliza agua caliente para lavarlos; se obtiene azúcar húmeda y jarabe.

- Secado y enfriado: el azúcar húmeda se hace pasar a través de secadoras que utilizan aire caliente a contracorriente para secar el azúcar; el azúcar queda seca pero con una temperatura alta, 40 a 45 °C; a continuación, esta azúcar se hace pasar por la enfriadora que utiliza aire frío a 15 -18 °C y baja la temperatura del azúcar a 35 °C. El producto de esta etapa es azúcar refinada sin madurar.

Figura 19. **Proceso de elaboración de azúcar refinada**



Fuente: Ingenio Magdalena S.A. <https://www.imsa.com.gt>. Consulta: 12 de junio de 2012.

- Envasado: el azúcar blanco estándar y refinada se empaqueta en sacos de 50 y 20 kilogramos y jumbos de 1250 kilogramos para ser comercializado local e internacionalmente. Es común hacer despachos directos de producción a las comercializadoras locales o a la central almacenadora de exportación, conocida como EXPOGRANEL.

Figura 20. **Proceso de envasado**



Fuente: Ingenio Magdalena S.A. *Galería*. <https://www.imsa.com.gt/galeria.html>. Consulta: 12 de junio de 2012.

- Almacenamiento: para el almacenamiento del azúcar blanca y refinada generalmente se utiliza en bodegas almacenadoras de sacos y jumbos de 1250 kg; se utiliza un sistema de trazabilidad de ingreso y salida serán identificados todos los sacos previos a ser despachados a los barcos o a la comercializadoras ubicadas en todo el territorio nacional.

Figura 21. **Proceso de almacenamiento**



Fuente: Ingenio Magdalena S.A. *Galería*. <https://www.imsa.com.gt/galeria.html>. Consulta: 12 de junio de 2012.



## **2. CENTRÍFUGAS**

### **2.1. Definición**

La centrífuga es una máquina con una fuerza centrífuga sostenida, es decir, una fuerza producida por rotación para impeler la materia hacia fuera del centro de rotación; utiliza este principio para separar partículas en un líquido por sedimentación; los más usados son los centrífugos en la industria azucarera para la separación de sólido-líquido como la separación del grano de azúcar de la miel.

### **2.2. Función**

Una vez que la masa cocida haya sido agotada y concentrada en los tachos o en los cristalizadores, hay que proceder a separar los cristales del azúcar del licor para el azúcar refinada o mieles A para el proceso de azúcar blanca y azúcar cruda. Para hacer esta separación, se utilizan las centrífugas discontinuas tipo Batch.

Al iniciarse el movimiento de la centrífuga, se inicia la etapa de carga, proceso, el cual inicia con la apertura de la compuerta de carga del mezclador y la masa cocida se eleva dentro de la canasta debido a la fuerza centrífuga generada por su rotación. De este modo, la masa cocida se distribuye sobre el revestimiento perforado o tela, por dicho efecto las mieles son despedidas y los cristales son retenidos. En el proceso de centrifugación continua los cristales de azúcar quedan lo más sueltos de las mieles; proceso por el cual los cristales pueden continuar siendo purgados mediante el rociado de agua.

Además del proceso de carga, centrifugado y lavado del grano, el ciclo incluye la descarga del azúcar, que se hace levantando la campana de descarga ubicada en el fondo de la centrifuga. Enseguida, el descargador o arado neumático baja mientras la canasta gira lentamente y el azúcar cae en una banda transportadora. El lavado puede ser de menor tiempo en la fabricación de azúcar cruda, pero en la producción de azúcar blanca es esencial para el proceso del lavado del grano para lograr los parámetros establecidos por el laboratorio de calidad.

### **2.3. Tipos**

En la práctica moderna se utilizan dos tipos de centrifugas: las continuas y las discontinuas o tipo Batch.

#### **2.3.1. Centrifugas continuas**

Este tipo de centrifuga gira a velocidad constante; por tal razón, usa menos controles. Esto hace que el costo de mantenimiento sea menor. El canasto es cónico con ángulos entre 30 y 34 grados. Este ángulo permite al cristal de azúcar subir y ser descargado en la parte superior del canasto debido a la fuerza centrífuga.

El empleo de estas centrifugas, es desde todo punto de vista ventajoso, debido a sus bajos costos de mantenimiento, de consumo energético y de precio; su uso se ha generalizado en la purga de las masas B y masas tipo C.

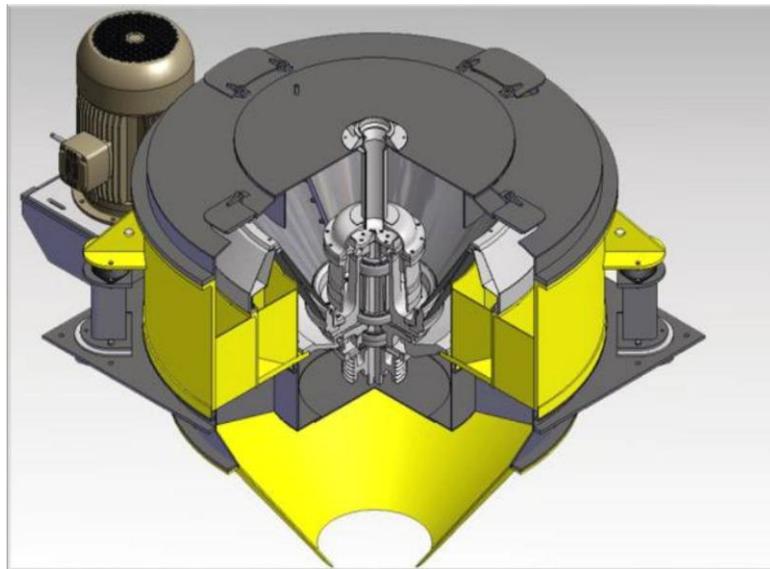
La alimentación debe colocar el flujo de masa en el centro del canasto y producir una capa uniforme en la parte inferior del canasto.

Los cedazos son similares a los de la centrífuga de Batch pero tienen las siguientes diferencias:

- El cedazo debe estar fijo al canasto.
- El tamaño de los hoyos es diferente.
- El cedazo continuo sufre desgaste producido por el azúcar y debe ser cambiado periódicamente.

Debido a que el azúcar sube a través de la canasta, los cristales se rompen produciendo cristales de diferentes tamaños.

Figura 22. **Centrífuga continua**



Fuente: *Centrifugación continua*. <http://arjman-ltda.com.br/wp-content/uploads/2016/12/02-CentrifugaContinua-.jpg>. Consulta: 29 de julio de 2012.

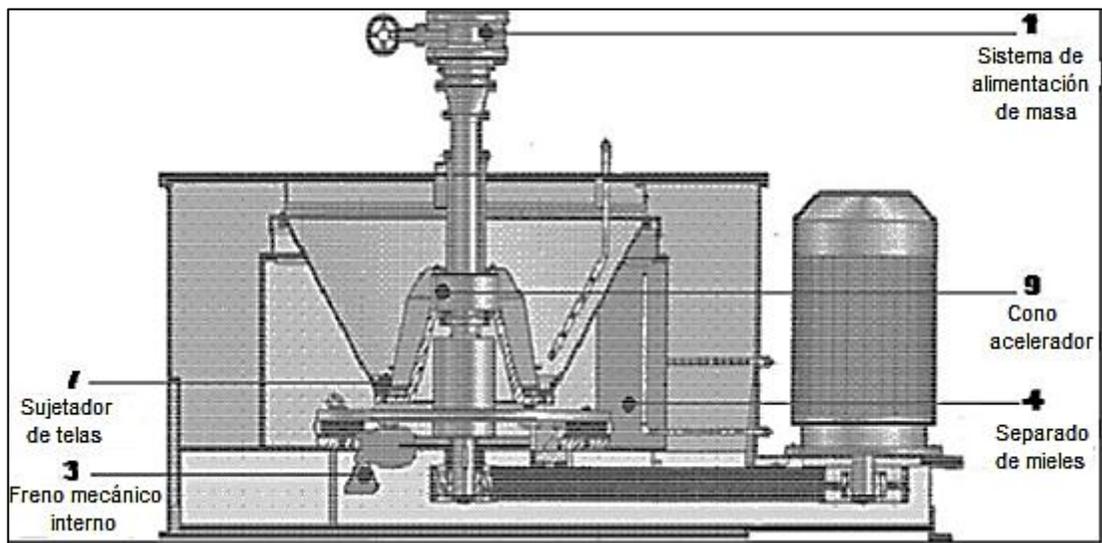
### **2.3.2. Partes de una centrífuga continua**

Las centrífugas continuas constan de las siguientes partes:

- **Envolvente:** es la parte exterior de la centrífuga, contiene el azúcar purgado y lo dirige al conductor de azúcar por medio de dos conos bipartidos.
- **Canasto:** es cónico, variando el ángulo de 25° a 34°; es 30° el estándar normal, es de acero inoxidable y perforado para darle salida a la miel.
- **Telas y contrátelas:** la contrátela es fuerte, bien abierta, de acero inoxidable y va soldada al canasto. Las telas son dos o tres, según el tamaño de la centrífuga y se fijan al canasto morciéndolas por presión a la copa o taza; van atornilladas al cabezal del movimiento y sujetadas por tres retenedores. Las telas son de acero inoxidable de 0,2 a 0,27 mm de espesor con agujeros cónicos de 0,06 mm.
- **Tubo alimentador:** este está provisto de una válvula reguladora que lleva la masa cocida al centro del soporte, que sirve a su vez de cono invertido para llevar la masa al fondo y regresarla hacia arriba por la tela; la masa baja formando un chorro ligeramente cónico, que es lubricado con agua por una varilla interior con pequeñas perforaciones y un sistema de lavado coaxial exterior que puede ser solamente con agua o agua y vapor.
- **Sistema de lavado:** se realiza con agua y vapor, por medio de dos tubos perforados paralelos al canasto.

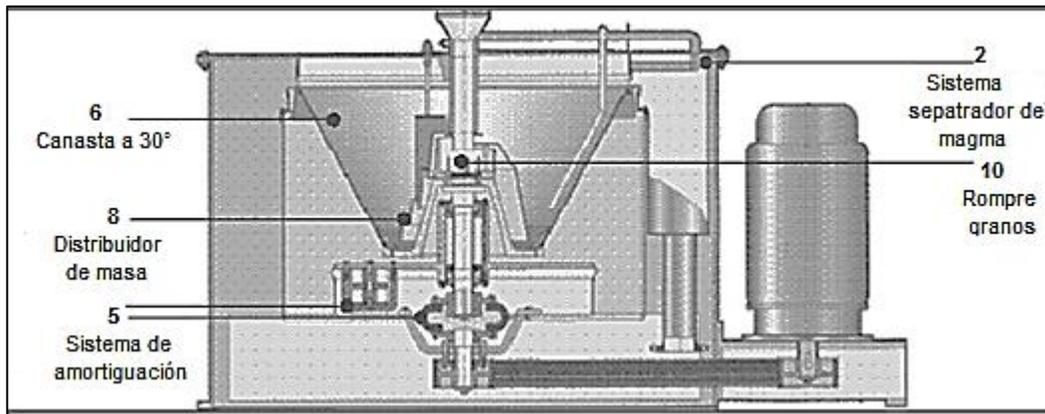
- Compartimiento de mieles: recolecta la miel purgada y la deposita en un tanque.
- Soporte: va conectado al motor por una suspensión de amortiguadores de hule, un eje y una polea; también, está conectado al tazón de carga y al canasto.
- Movimiento: está formado por dos poleas: una en el eje de la centrífuga y otra en el eje del motor eléctrico, unidas por fajas V.

Figura 23. Partes de una centrífuga continúa



Fuente: GIRÓN LEZANA, Sergio Guillermo. *Análisis y guía de montaje de centrífugas batch y continua en Ingenio La Unión*. p. 9.

Figura 24. Partes de una centrífuga continúa



Fuente: GIRÓN LEZANA, Sergio Guillermo. *Análisis y guía de montaje de centrífugas batch y continua en Ingenio La Unión*. p. 9.

### 2.3.3. Centrífugas discontinuas o tipo Batch

Este tipo de centrífuga puede ser automática, en donde la operación está controlada en su mayoría por un PLC, y semiautomática donde predominan en su mayoría los controles electromecánicos, aunque predominan las que se operan automáticamente.

### 2.3.4. Partes de una centrífuga discontinua o tipo Batch

Las centrífugas discontinuas constan de las siguientes partes:

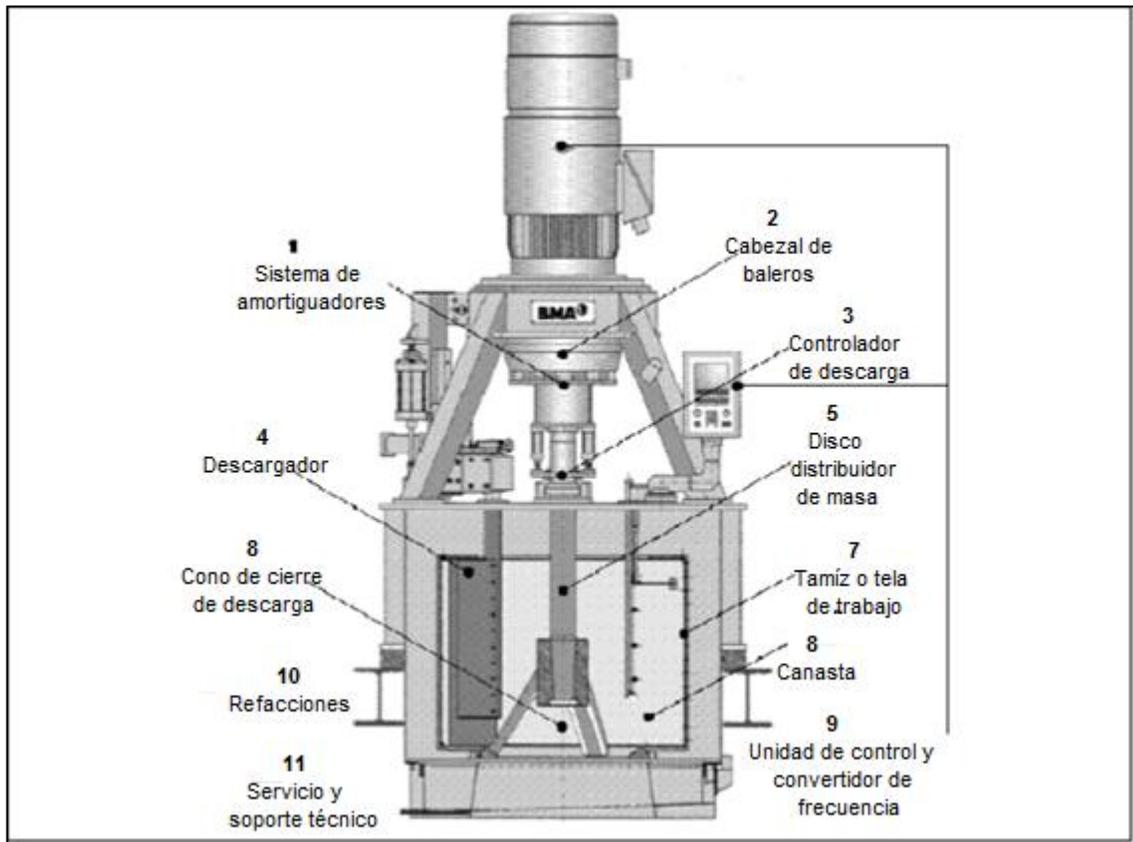
- Sistema de amortiguadores: el sistema de amortiguación es utilizado para amortiguar el movimiento que existe por el movimiento mecánico y el acople al eje de rotación.

- Descargador: el descargador es un elemento muy importante para el funcionamiento de la centrífuga, ya que algún mal alineamiento o desajuste puede ocasionar daños irreparables en la máquina. El descargador cuenta con dos movimientos principales: horizontal y vertical. Todos los elementos de accionamiento y de mando para el movimiento horizontal están ubicados fuera de la canasta; con esto se evita que el azúcar sea contaminada por la lubricación de las partes en movimiento. El movimiento del arado vertical cubre toda la altura interior de la canasta para descargar el azúcar, en conjunto con el movimiento vertical. La buena calibración y los ajustes del arado vertical y horizontal garantizan que no queden residuos de azúcar en la canasta que se puedan perder debido al lavado inicial que se da antes de iniciar un ciclo de carga.
- Disco distribuidor de masa: durante la carga, toda la masa debe caer sobre el disco distribuidor; de tal forma que la distribución sea uniforme en toda la pared de la canasta; de lo contrario, la masa no puede distribuirse adecuadamente, provocando fuertes desequilibrios (desbalances) durante la aceleración de la centrífuga.
- Cono de cierre de descarga: el cono de cierre o válvula de descarga se ubica por debajo del piso de la canasta y es accionado por un sistema neumático por la parte inferior de la canasta. Gracias a esta característica su mantenimiento es mínimo, ya que su accionamiento no requiere de resortes especiales u horquillas de izaje, que siempre se traban por falta de lubricación.
- Tamiz o tela de trabajo: las telas de trabajo de unión por lengüetas utilizadas anteriormente por las centrífugas de Batch, se han sustituido

por telas lisas sin lengüetas, sujetas por arillos delgados de apriete. Este nuevo sistema permite un cambio de telas rápido y fácil.

- **Canasta:** las canastas de las centrífugas BMA ofrecen la más alta seguridad. El cálculo y la fabricación se hacen conforme a las normas de la Asociación Profesional de la Industria Azucarera Alemana. Las canastas están fabricadas con acero inoxidable de la más alta calidad, resistente a la corrosión por tensión, fisura e iones de cloro. Debido a la alta calidad de los materiales y al riguroso control de fabricación, BMA no fabrica canastas con anillos de refuerzo en el cuerpo de la carcasa, lo que la hace más segura; ya que en las canastas con anillos se corre el riesgo de cuarteaduras por la cristalización del acero inoxidable en las diferentes partes donde se aplicó la soldadura.
- **Unidad de control:** la unidad de control, el convertidor de frecuencia con recuperador de energía integrado y el motor principal son elementos desarrollados con tecnología de punta por la prestigiosa marca alemana SIEMENS. El software de control es desarrollado por BMA. Las etapas de funcionamiento y fallas son indicadas con imágenes y textos permitiendo una eficaz supervisión de la centrífuga.
- **Variador de frecuencia:** cuando se lleva a cabo la etapa del ciclo regenerativo de la centrífuga, el convertidor devuelve la energía a la red o, en caso de existir otra centrífuga BMA, estas se retroalimentan mutuamente logrando un considerable ahorro de energía. Otra característica técnica con que cuenta el convertidor es que cuando existen dos centrífugas BMA estas se pueden secuenciar entre sí, sin necesidad de equipo adicional.

Figura 25. Partes de la centrífuga tipo Batch



Fuente: GIRÓN LEZANA, Sergio Guillermo. *Análisis y guía de montaje de centrífugas batch y continua en Ingenio La Unión*. p. 28.

De todo lo anterior, la finalidad de la centrifugación es la separación de las masas cocidas, obteniendo como producto azúcar húmeda y como subproducto jarabe. El jarabe separado se descarga a otro tanque horizontal en el cual se diluye con agua para bajar Brix. Ya diluido el jarabe se bombea al tanque en la estación de cristalización para alimentar los tachos. Mientras que el azúcar húmeda es conducida por medio de un transportador vibratorio, donde se cuenta con un medidor de color en línea que se debe utilizar como guía para el control de los parámetros de operación de las centrífugas.

La estación cuenta con cuatro máquinas centrífugas que trabajan por Batch, conectadas al recibidor de masas y al tanque horizontal de jarabe. Durante la operación, las máquinas reciben carga del recibidor y hacen girar a gran velocidad una canasta interna hecha de tela perforada sobre un eje central fijo. Aprovechando la fuerza centrífuga producida por la rotación, la masa cruda cargada en la canasta se pega a las paredes de la misma donde los cristales permanecen retenidos y el jarabe pasa a través de las perforaciones descargándose al tanque horizontal.

Luego de la descarga del jarabe, se inyecta agua a alta presión durante 10 a 13 segundos para lavar los cristales que retienen jarabe en sus paredes. Al estar completamente lavado el cristal la máquina continúa con su rotación para secar el exceso de agua y después descargar el lote de cristales en el transportador vibratorio donde el medidor de color detecta el número de descarga, el número de máquina y obviamente el color de azúcar obtenido.

Del recibidor de masas se hace pasar a máquinas giratorias llamadas centrífugas. Aquí se separan los cristales de azúcar de la miel restante. La miel pasa a través de las telas, los cristales quedan atrapados dentro de las centrífugas y luego se lavan con agua. Las mieles vuelven a los tachos o bien se utilizan como materia prima para la producción de alcohol en las destilerías.

### **3. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE CENTRIFUGADO PARA EL ANÁLISIS DE MEJORA**

#### **3.1. Generalidades**

Las centrífugas participan en la parte final de la elaboración del azúcar, pero de esta parte del proceso depende de que tan buena calidad resulte la azúcar entregada para su etapa final de secado y envasado. En la etapa de lavado en el proceso de centrifugado se puede disolver mucha azúcar, por lo que este proceso requiere de mucha atención y cuidado en los tiempos de programación de la centrifuga, ya que también tiempos excesivos de secado pueden ocasionar endurecimiento del producto final.

Además, de que si al retirar el azúcar de las centrífugas con un alto porcentaje de humedad, el producto podría echarse a perder durante el tiempo de almacenamiento. En el caso que el azúcar no resulte de la calidad esperada esto puede llevar a reclamos en el aspecto de calidad con los clientes, pudiendo ocasionar algún tipo de reclamo desde menor o hasta mayor con alguna multa en el importe de compra de azúcar futura por este cliente. Una vez el azúcar sale de la centrifuga está prácticamente casi lista para el consumo; queda únicamente pendiente la etapa de secado con una mezcla de aire frío y caliente, para llevarla a temperatura ambiente, y así finalmente poder ser empacada.

### **3.2. Clases de centrifugas batch que utilizan en sector azucarero**

Actualmente, en el ingenio, se está trabajando con centrifugas automáticas marca Wester State, de la serie Titán, y con centrifugas BMA de la serie 1750 G y de la serie 1750 G.

#### **3.2.1. Centrifugas Batch**

Estas máquinas con su diseño actual realizan de 23 a 29 ciclos continuos de carga y descarga de azúcar dependiendo del modelo a utilizar. Una centrifuga BMA 1750 B nos puede entregar hasta 29 ciclos por hora con condiciones ideales de operación, mientras que una centrifuga Wester Titan puede entregar de unos 22 ciclos promedio.

La centrifuga Batch utilizada en la industria azucarera consiste en una canasta cilíndrica con agujeros y a la vez por mallas que revisten a la canasta. El canasto cilíndrico de la centrifuga, está suspendida por una flecha que tiene sus costados perforados que están forrados de telas metálicas, que contienen de 400 a 600 perforaciones por pulgada cuadrada (62 a 93 perforaciones por  $\text{cm}^2$ ). La canasta está diseñada para recibir la miel final por tratar.

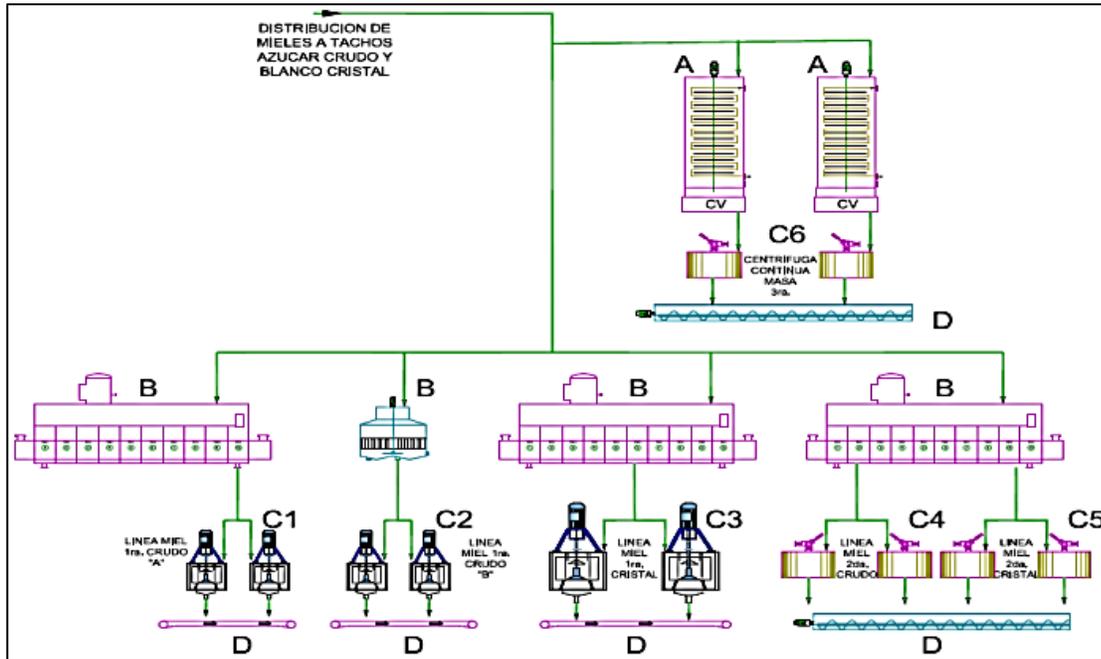
Este tipo de centrifuga posee un eje vertical en cuyo extremo superior se encuentra el motor eléctrico que es el encargado de proporcionar el movimiento centrífugo de la canasta. Además, la canasta se encuentra perforada con numerosos orificios que permiten el paso de las mieles, los cuales van de 7 mm de diámetro y están separados aproximadamente 22 mm entre centros; además está provista de anillos circulares que resisten la fuerza centrífuga; la canasta esta guarnecida con una malla de metal que retiene el azúcar y deja pasar las mieles.

Las canastas se construyen de mayor o menor grueso, de acuerdo con la fuerza centrífuga a la que estarán sujetas. Las que recibirán las tensiones mayores se fabrican de acero al cromo-cobre y los aros algunas veces de acero niquelado. La canasta está abierta en su parte superior para permitir la alimentación de la masa cocida y en el fondo para descargar el azúcar, cuando la máquina se detiene. Cuando la máquina está trabajando, es decir, durante la carga y secado; esta última salida permanece cerrada por un cono de lámina delgado. La canasta está fija al eje por un cubo que ocupa la abertura del fondo, pero que deja espacio suficiente para la descarga del azúcar.

### **3.2.2. Distribución de centrífugas Batch y continuas en el proceso de elaboración de azúcar**

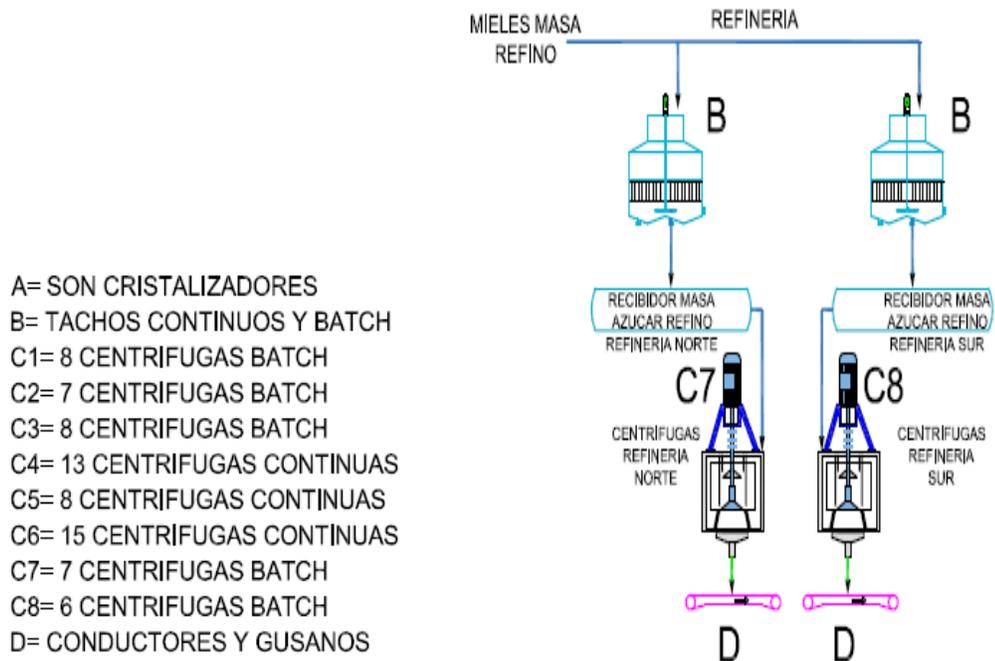
Las centrífugas continuas y Batch para la fabricación de azúcar blanca, cruda y refina para los distintos tipos de mieles en el proceso y para la producción de azúcar refina se encuentran distribuidas de la siguiente manera:

Figura 26. Esquema de la centrifugas para azúcar blanca y cruda actualmente en el Ingenio Magdalena, S.A.



Fuente: Ingenio Magdalena S.A. <https://www.imsa.com.gt>. Consulta: 12 de junio de 2012.

Figura 27. **Distribución de centrífugas del área de producción de azúcar refinada**



Fuente: Ingenio Magdalena S.A. <https://www.imsa.com.gt>. Consulta: 12 de junio de 2012.

### 3.3. **Mantenimiento de las centrifugadoras tipo Batch con sistema de automatización actual**

Los mantenimientos en la actualidad con el sistema original propio de la centrífuga Titan W.S implica altos costos en mantenimiento; debido a la compra de partes que en su mayoría se encuentran obsoletas y esto encarece los precios de los repuestos; también, los tiempos de entrega de estos repuestos son excesivamente largos, causa por la cual muchas veces se ve afectada la disponibilidad de la máquina, esto con lo referente a los mantenimientos en la parte electrónica.

Con respecto al mantenimiento de la parte mecánica, el mantenimiento no sufre ningún cambio, se sigue realizando un desarmé total de las partes mecánicas; en su totalidad, realiza cambios periódicos e cojinetes y partes como sellos mecánicos que sufren desgaste.

En la parte eléctrica el mantenimiento consiste en la revisión del motor y del variador de frecuencia, en el cual con el nuevo sistema propuesto se reduce el mantenimiento y revisión de cableado de control del PLC al variador, ya que con el nuevo diseño propuesto esto es eliminado y sustituido por un único cable de Profibus que controla el variador de frecuencia.

#### **3.4. Ventajas y desventajas del sistema de automatización actual**

Actualmente, se trabaja en su mayoría para la elaboración de azúcar refino centrifugas automáticas marca Wester State, de la serie Titán.

A continuación, se hará un análisis de las ventajas y desventajas del sistema actual con el propuesto en este trabajo de tesis:

Figura 28. **Centrífuga discontinua TITAN**



Fuente: elaboración propia.

- Ventajas del sistema actual
  - Menor costo de Inversión inicial, ya que debido a su costo bajo comparada con otras marcas en el mercado dio la oportunidad de una mayor compra en el lote adquirido.
  - Reducido el mantenimiento que debe hacer el usuario debido al número minimizando de piezas móviles y pocos elementos de automatización debido a la poca automatización con la que cuenta la máquina.
  - Asegura un funcionamiento eficiente con tecnología de accionamiento con variador de frecuencia y un PLC que por medio de un cableado estructurado asegura una simplicidad en su funcionamiento.

- El control electrónico de la válvula de alimentación, con cierre secuenciado que asegure la carga máxima de cada ciclo.
- Un arado raspador grande, con punta de resorte para la descarga eficiente y protección de las partes móviles al tener varios sensores de confirmación de movimientos de los cilindros actuadores de los movimientos.
- Desventajas
  - El PLC utilizado y su pantalla de interface ya se encuentran discontinuados, por lo que estos repuestos se vuelven costosos por lo difícil que se vuelve conseguirlos.
  - Protecciones y sistema de seguridad operativa muy deficientes, ya que se han producido varios accidentes debido a la deficiencia de sus seguridades.
  - El programa utilizado no optimiza la cantidad de ciclos cuando existe un incremento de la producción de azúcar.
  - La ubicación del PLC y de la pantalla de interface, no son los óptimos para los ambientes de producción de azúcar existentes en el ingenio. Debido que el ambiente de trabajo es bastante severo, estos equipos están diseñados para trabajar en ambientes más limpios.
  - El sistema de diagnóstico de fallos es bastante deficiente, no tiene mayor diagnóstico; por lo que los tiempos perdidos por fallos se

incrementan, que perjudica la línea de producción y el rendimiento de la fábrica.

- No tienen sistema de separación de mieles, por lo que la miel rica en azúcar es mezclada con la miel pobre.
- El sistema de control de carga es muy deficiente, y ocasiona rendimientos bajos en la producción de azúcar.

#### **3.4.1. La problemática del proceso actual de centrifugación en el ingenio**

El proceso actual de centrifugación de mieles para la separación de azúcar es un de sistema bastante complejo y delicado, debido a su alta complejidad para el control y seguridad de la máquina y de los operarios.

En el proceso actual de centrifugación, se cuenta con cierta cantidad de centrífugas de modelos obsoletos y de bajas seguridades, las cuales presentan baja eficiencia en la producción de azúcar y altos tiempos de indisponibilidad debido a la falta de repuestos y la complejidad del sistema actual. Además, presenta un alto índice de indisponibilidad de la máquina por la falta de seguridades en el sistema de control actual que ocasionó tiempos prolongados de indisponibilidad de la máquina.

Según fuentes del laboratorio del Ingenio Magdalena S, A, la zafra 2014 - 2015 con la operación de dichas centrífugas se tuvieron tiempos perdidos de hasta de 9 días los que ocasionaron bajas en la producción de azúcar refino. También, dos accidentes debido a la poca seguridad que cuenta el equipo.

El sistema integrara, un programa y sistemas periféricos los cuales estarán interactuando con el operador por medio de una pantalla gráfica instalada en el equipo que se comunicará vía Profibus al PLC y al variador de velocidad. En dicha pantalla se desplegarán los datos promedios de ciclos por hora, el monitoreo de la posición de los cilindros neumáticos, los sistemas de vibración, el sistema de desbalance y los datos eléctricos del variador de frente activo que realiza el movimiento de la máquina; por lo que el sistema reducirá los tiempos de ciclo de cada etapa de funcionamiento e incrementará las seguridades desde el comienzo hasta el final del ciclo de operación.

Con estas mejoras se espera que los ciclos por hora se incrementen de 20 ciclos por hora a 23 o 24 ciclos por hora. Logra con esto un incremento en la producción de azúcar producida por máquina y reducción en el personal operativo de las máquinas. Por lo que se desea proponer un diseño de un sistema automatizado para el control de todos los ciclos de la máquina (carga, centrifugado, lavados, descarga) los cuales serán monitoreados por una pantalla táctil y controlados por un PLC Siemens S7 1500 y un módulo de Profibus ET 300 que a su vez gobernará a un variador de frente activo ABB ACS 800 con un módulo de Profibus las distintas velocidades de ciclo existente.

Tabla I. **Ventajas y desventajas del proceso para mejorar una centrífuga**

<b>Proceso</b>	<b>Desventaja centrífuga Western Titán tradicional</b>	<b>Ventajas para mejorar una centrífuga Wester Titán</b>
Ciclos de trabajo	Los ciclos de trabajo se ven limitados de 18 a 20 ciclos por hora, cuando la máquina no presenta desperfectos mecánicos y eléctricos.	Los ciclos de trabajo por hora se ven incrementados de 24 a 27 ciclos por hora por máquina, aumentando así la eficiencia de la máquina.
Disponibilidad	La disponibilidad de este tipo de máquinas se ve afectado severamente por su diseño mecánico y componentes electrónicos, que ocasiona un porcentaje de disponibilidad de maquina por periodo de zafra de un 60 a 65 %.	La disponibilidad se ve aumentada ya que, con el nuevo sistema propuesto, son relativamente mínimos los paros por desperfectos mecánicos y del sistema de control. La disponibilidad en periodo de zafra es de un 95 %.
Contra de vibración	El control de vibración con este diseño es totalmente nulo, no se cuenta con sistema de vibración.	El sistema de vibración que se instala le proporciona a la maquina un sistema que le permite a la centrifugadora en todo momento de rotación detectar una vibración anormal que pueda causar un daño al operador o a la máquina. Y con esto anticiparse a un desperfecto mayor.
Pantalla de monitoreo	Se cuenta con una pantalla de monitoreo monocromática de 5" x 4" en la cual se encuentran los mandos de partida, mandos de parada y tiempos de control de lavado y curvas de velocidad para las rampas de trabajo.	Se instala una para pantalla multicolor Touch, con distintas pantallas de control y monitoreo capaz de proporcionar al usuario un fácil manejo y monitoreo de la máquina.
Interface	La interface usuario con la máquina es por medio de un teclado numérico, y 8 teclas de funciones más para los mandos de paro y arranque.	Se cuenta con una interface touch, en la cual todos los parámetros son ingresados por un teclado alfa numérico desplegado en la pantalla para un fácil acceso.
Desbalance	La máquina cuenta con un sistema de deválense, integrado por dos sensores de desbalance, que parquearan la máquina al activarse cualquiera de los dos sensores.	El sistema cuenta con tres sensores de deválense que permiten una mejor seguridad a la maquina en el momento que exista un desperfecto en la carga de la canasta. Con esto le damos mayor seguridad al operador y a la máquina, evitando algún desprendimiento o rompimiento de alguna pieza.
Comunicación a dispositivos de control	El sistema cuenta con un cableado convencional que conecta a todos los dispositivos de control como PLC, variador y pantalla de control.	El sistema cuenta con un bus de campo Profibus DP para la interconexión de todos sus dispositivos como PLC, variador de frecuencia y pantalla táctil.
Histórico de fallos	El sistema no cuenta con un histórico de Fallos.	El sistema cuenta con graficas de históricos que ayuda al monitoreo de la principal variable (velocidad, potencia, amperaje, vibración y tiempos de las velocidades de las distintas etapas del centrifugado).

Fuente: elaboración propia.

### **3.4.2. Beneficios de la implementación del proyecto al ingenio**

- Incremento en la cantidad de ciclos de descarga por hora, debido a que, con la migración y modernización del sistema; está pasando de 22 ciclos de descarga a 27 ciclos por descarga.
- Menos tiempos perdidos debido a obsolescencia de sus partes y repuestos electrónicos, ya que el tener una centrifugadora con repuestos discontinuados se incrementan los tiempos de su reparación a la hora de un desperfecto.
- Mejor control en el monitoreo de fallas, debido que, al tener una interfaz gráfica, se pueden obtener con mayor facilidad el diagnóstico de fallos por desajuste de partes mecánicas y eléctricas.
- Incremento en la seguridad del operario de la máquina, ya que se agregan más seguridades para la protección del equipo y del operador.
- Sincronización en la etapa de descarga con el resto de máquinas, ya que con el nuevo sistema el sistema es capaz de sincronizarse con el resto de máquinas, y con esto evitar atoramientos en la faja de descarga de azúcar; ya que dos máquinas ubicadas una a la par de la otra, no podrá descargar al mismo tiempo que su máquina antecesora o de la que le siga, y con esto evitar acumulación excesiva de azúcar en la faja que conduce azúcar húmeda hacia sus elevadores de desalojo de azúcar.
- Separación de mieles ricas y pobres, ya que incluye un sistema de control que realiza el control de separación de mieles, para su reutilización en el reproceso de azúcar.

- Integración del variador de frecuencia al PLC por medio de red Profibus, lo cual minimiza la cantidad de cable de control hacia el variador.
- Generación de reportes históricos en tiempo real, ya que se podrá monitorear parámetros como corriente, velocidad, vibración y voltaje en las distintas etapas de centrifugado.
- El PLC de control se traslada a un cuarto eléctrico de control, por lo que el equipo se protege de mejor forma contra el agua, polvo y de la temperatura del ambiente que es bastante hostil para los equipos electrónicos.
- La capacitación al personal es más sencilla, debido a que se trabaja bajo un sistema totalmente gráfico.



## **4. PROPUESTA DE DISEÑO AUTOMATIZADO PARA EL SISTEMA DE LA CENTRIFUGADORA ACTUAL**

### **4.1. Modificaciones y adaptaciones mecánicas realizadas en la centrífuga**

Debido a que el estado en el que se encontraba la centrifugadora no era el apropiado para implementar la automatización; fue necesario realizar algunos cambios en su estructura mecánica; estos cambios se traducen en modificaciones que colaboran con el propósito de acoplar los nuevos dispositivos que son esenciales para el funcionamiento de la máquina.

A continuación, se citan las diferentes adecuaciones que se desarrollaron:

- Se desmontó el tablero de control que se encontraba montado en la parte de enfrente de la máquina.
- Se instalaron canaletas para el cableado de las señales de control y tuberías para los cables de red que van hacia el variador y al gabinete principal de control.
- Se construyó un nuevo sistema limitador de carga o sensor de nivel de carga utilizando los elementos disponibles en la empresa.
- Se hicieron adecuaciones en la estructura de la centrifugadora para el montaje del arado y sus elementos de accionamiento.

- Se realizaron adaptaciones a la estructura de la centrifugadora para el montaje de

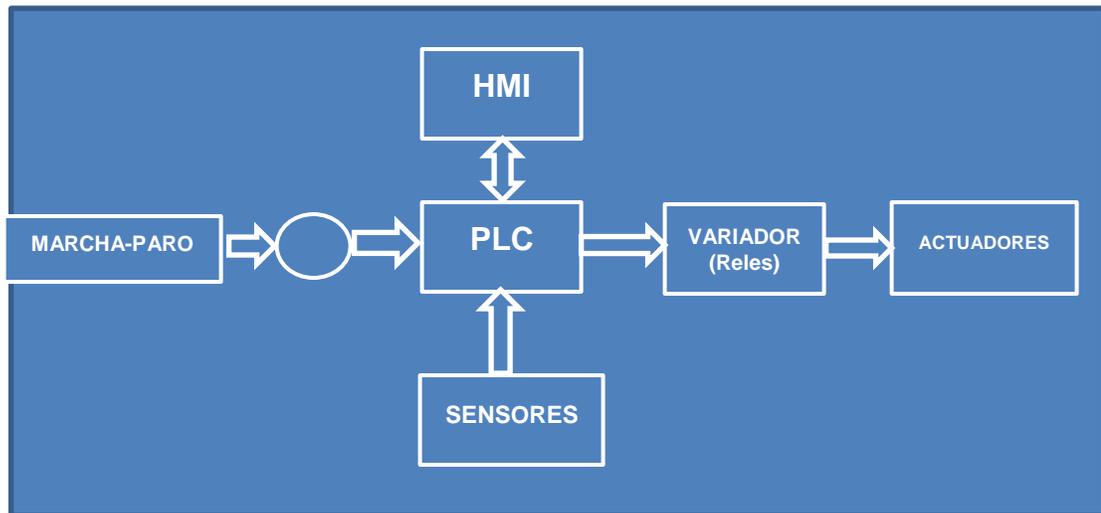
#### **4.2. Sistema de automatización de la centrífuga**

El sistema de automatización es aquel sistema que permite que un equipo opere de forma automática o un proceso se desarrolle independiente de la intervención humana, con el uso de algoritmos, indicadores, actuadores, entre otros.

#### **4.3. Análisis y estudio del procedimiento de automatización para el proceso de centrifugación**

En la parte de diseño se determinaron los mecanismos que se utilizarán para que el equipo que es operado actualmente, opere de una mejor manera automáticamente; es decir, bajo mejores condiciones de trabajo y de qué manera se realizará el control de los parámetros y las variables que intervienen en este proceso.

Figura 29. **Diagrama de bloques del modelo de funcionamiento del sistema**



Fuente: elaboración propia.

A continuación, se analizarán y estudiarán las partes componentes del proceso de centrifugación para determinar las fuentes de accionamiento de los elementos de control y a su vez los elementos de control que serán utilizados; además, los equipos complementarios necesarios para implementar los cambios en el proceso de centrifugación. El análisis se realizará en el mismo orden como se desarrolla el ciclo de trabajo de la centrífuga.

#### **4.3.1.1. Encendido de la centrífuga y lavado de la tela**

Para el encendido de la centrífuga se seleccionará en la pantalla la opción de arranque inicial a través del cual se acciona una señal hacia el PLC, en la cual mandará una señal por medio de la red Profibus hacia el variador el cual energizará el motor para iniciar su movimiento.

Para el lavado de la tela se utilizará una electroválvula solenoide la cual accionará una válvula de bola, con el fin de controlar el flujo de agua hacia el interior de la centrifuga a través de una tubería, que a su vez deberá ser instalada con las adecuaciones necesarias para lograr un lavado uniforme y eficiente.

#### **4.3.1.2. Descarga de la masa y lavado de la bandeja de alimentación**

El llenado de la masa en el interior de la centrífuga se realizará a través de un conducto llamado bandeja de descarga, utilizando un actuador neumático el cual realiza la apertura de la válvula y el cierre de la compuerta que permite el paso de la masa.

Posteriormente, se debe realizar el lavado de la bandeja, el cual se efectuará con la ayuda de una electroválvula solenoide, la cual controlará la emisión de agua a través de una tubería que se instalará convenientemente de manera que cumpla esta función.

#### **4.3.1.3. Lavado de la masa y separación de mieles**

Para el lavado de la masa, se utilizará el mismo sistema de lavado de la tela, ya que la tubería que debidamente se instaló sirve para lavar la tela y la masa; con el mismo funcionamiento y sistema de accionamiento, la diferencia entre estas acciones es que se realizan en tiempos y etapas diferentes del proceso.

También, se requerirá de dos electroválvulas para el accionamiento de la compuerta de separación de fluidos para realizar el cambio de mieles.

Es importante aclarar también que en esta etapa del proceso antes de realizar el lavado de la masa, se realiza un cambio de velocidad en el giro de la centrífuga; este cambio lo realiza el PLC con una instrucción hacia el variador de frecuencia.

#### **4.3.1.4. Frenado de la centrífuga y descarga del azúcar**

El frenado de la centrífuga lo realiza el variador regenerativamente devolviendo esta energía al sistema eléctrico. Además, cuenta con un frenado neumático mediante fricciones, las cuales son activadas a través de una electroválvula que acciona un cilindro neumático.

Para la descarga del azúcar es necesario levantar la campana o base de la centrífuga; esto se realizará utilizando otro cilindro neumático con la ayuda de una electroválvula, la misma que actuará sobre el pistón para que suba y baje la campana.

El PLC debe introducir el arado dentro de la centrífuga para que este despegue el azúcar de las paredes de la canasta; esta acción se realizará por medio de dos cilindros neumáticos uno colocado verticalmente y otro horizontalmente; los mismos que serán accionados por sus respectivas electroválvulas que se instalarán en el lugar adecuadamente, de manera que el proceso se realice eficientemente.

#### **4.4. Variables físicas de control del equipo**

Las variables físicas de control de una centrifugadora se describen de la siguiente manera.

##### **4.4.1. La velocidad**

La velocidad y el diámetro son los factores que determinan la fuerza centrífuga, es decir, la fuerza necesaria para eliminar las mieles durante la centrifugación. Una centrífuga trabaja a varias velocidades desde velocidades bajas como la velocidad de carga y descarga, hasta velocidades altas de centrifugado para lograr una separación de mieles y granos adecuadamente; por lo cual el control de velocidad es parte fundamental del control de la centrífuga, así como también la lectura de la velocidad para poder confirmar e inicio o final de una etapa de centrifugado

##### **4.4.2. El tiempo**

Los factores que influyen en el tiempo de la centrifugación o la duración del ciclo son:

- La viscosidad de las mieles, es decir, de su temperatura, densidad y pureza.
- El tamaño y la regularidad de los cristales.
- La rapidez de aceleración de la máquina, es decir, el tiempo necesario para alcanzar la velocidad de centrifugado tope.

- Los tiempos del control de lavado, los cuales son fundamentales para lograr el color requerido y lograr un tamaño de grano adecuado.
- La rapidez de freno y de descarga.

#### **4.4.3. El nivel**

La capacidad de trabajo o la producción de azúcar de una centrífuga, depende también del contenido de la canasta en volumen de masa cocida; la cual puede expresarse en volumen de masa cocida o en peso de azúcar.

El volumen de masa cocida depende principalmente del área de la tela de la centrífuga y del grueso de la capa de masa cocida; es decir, del nivel de masa que se encuentra en la canasta de la centrífuga.

#### **4.4.4. La potencia**

En las centrífugas hay dos potencias que deben considerarse:

- La potencia del arranque o potencia necesaria durante el período de aceleración
- Potencia durante la operación

Esta última es evidentemente mucho menor que la primera, porque corresponde únicamente al mantenimiento de la velocidad; mientras que la potencia para el arranque corresponde al gasto de energía necesaria para llevar a la centrífuga de la inmovilidad a la velocidad de operación, confiriéndole así una fuerza cinética considerable.

Por esto mismo, el cálculo de la potencia del variador es fundamental debido al desgaste que este lleva por los periodos de aceleración y frenado que lleva en tiempos tan cortos.

#### **4.5. Automatización del sistema actual**

La automatización de un sistema es transferir tareas de producción, realizadas manualmente por un operador u operadores a un conjunto de elementos tecnológicos que realizan dichas tareas de manera automática evaluando cada variable del proceso, aumentando así la eficiencia del proceso realizado.

Un sistema automatizado cuenta con dos partes principales:

- Operativa
- Mando

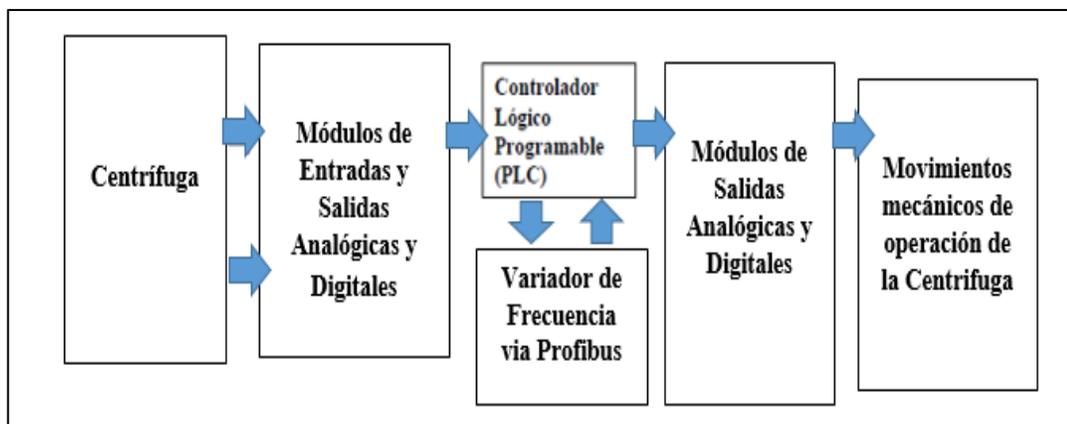
La parte operativa es aquella que actúa directamente sobre la máquina, los cuales realizan una acción mecánica para que la máquina realice tareas deseadas en el proceso. Algunos ejemplos de estas partes son: motores, válvulas, cilindros etc.

La parte de mando suele ser un autómeta programable, el cual se encuentra en el centro del proceso analizando variables; procesa y toma decisiones según se halla programado su lógica de proceso; este tiene que comunicarse con todos los constituyentes del proceso.

Objetivos de la automatización de un proceso:

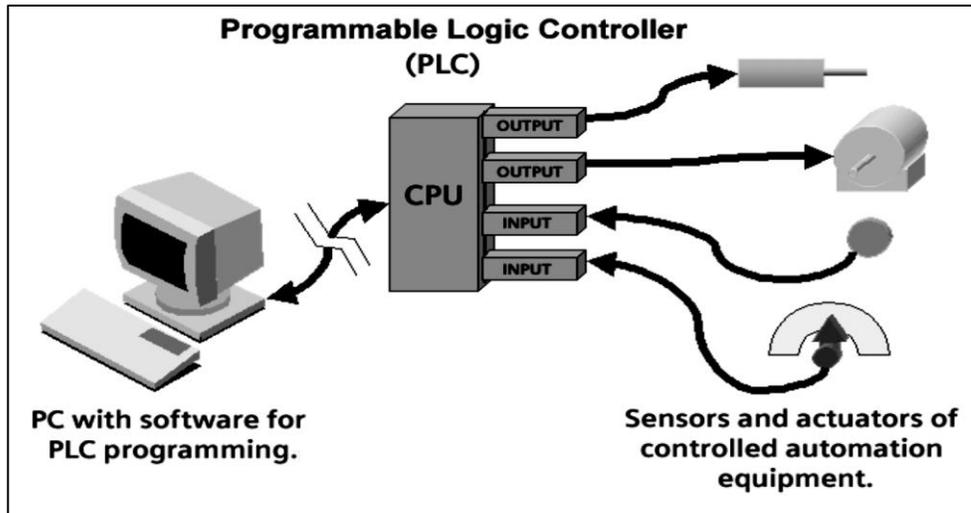
- Mejorar la productividad de la empresa, reduce los costes de la producción y mejorando su calidad.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprime los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, puede proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integrar la gestión y producción.

Figura 30. **Diagrama de bloques**



Fuente: elaboración propia.

Figura 31. Diagrama interface



Fuente: Ingenio Magdalena, S. A. <http://www.mdpi.com/1424-8220/16/10/1595/htm>. Consulta: 29 de julio de 2012.

El sistema que se utilizará para la fase de diseño de programación para la lógica de control es el software llamado Step 7 en su versión 5.5 con un PLC de la marca Siemens del modelo S7 1500, en el cual se podrán controlar todas las variables de control del sistema tanto analógicas como digitales.

Figura 32. **PLC S7-1500 utilizado en la automatización nueva de la centrífuga Wester State**



Fuente: elaboración propia.

El sistema Scada estará integrado en el panel de control donde se encuentran instalados los módulos de entradas y salidas analógicos y digitales, dicha pantalla de control será de la marca siemens del modelo TP 1200 confort.

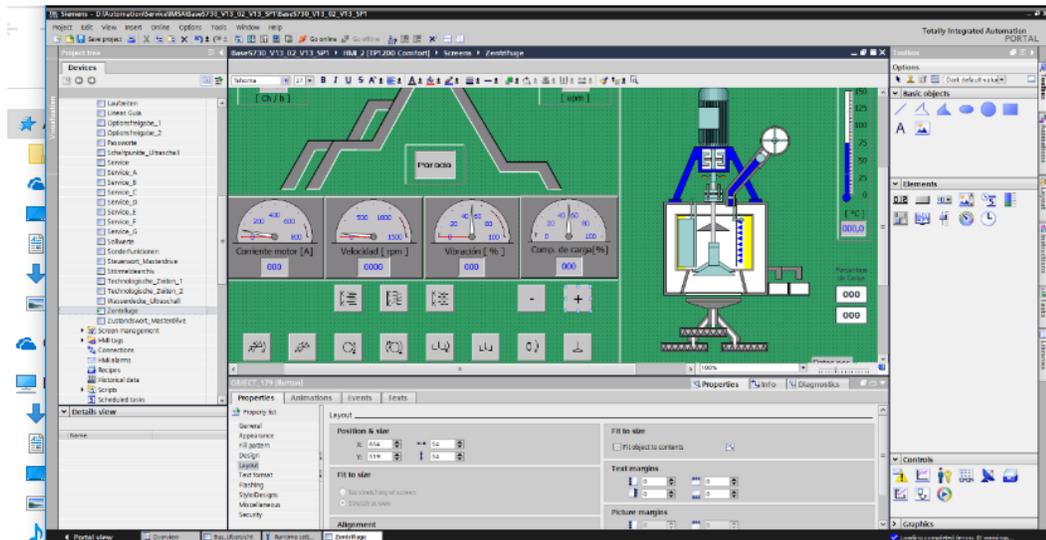
Figura 33. **Pantalla PT-1200 utilizado en el control Scada para el monitoreo y control de señales**



Fuente: elaboración propia.

El diseño de las pantallas Scada será realizado en el software de diseño de la marca Siemens llamado WinCC Flexible; dichas pantallas se realizarán en función de los requerimientos del nuevo diseño que se implementará según la lógica de control.

Figura 34. Gráficos de la pantalla Scada para el monitoreo y control de la centrifuga automática propuesta



Fuente: elaboración propia, empleando Gráficos WinCC Felxible.

## 4.6. Instrumentos del sistema de control

Los instrumentos utilizados en el sistema de control son aquellos que permiten advertir las condiciones del proceso y adoptar las acciones necesarias para garantizar su correcto funcionamiento.

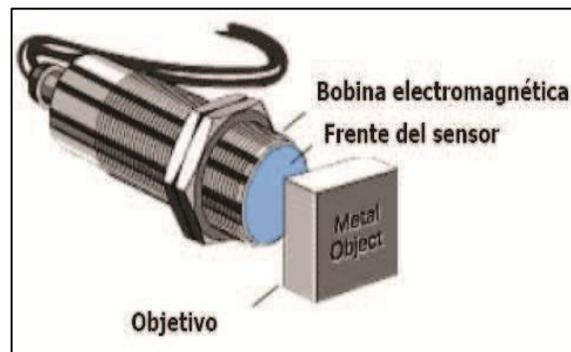
### 4.6.1. Sensores

Los sensores son receptores de distintos tipos de señal dependiendo de su principio de funcionamiento; que al colocarse estratégicamente dentro de un sistema, cumplen la función de acusadores de estado dentro de un proceso. A continuación, se analiza el tipo de sensor utilizado para la realización de este proyecto:

#### 4.6.1.1. Sensor inductivo

Los sensores inductivos son aquellos que sirven para detectar materiales metálicos ferrosos y contienen bobinas enrolladas en núcleo de ferrita; estas pueden ser blindadas y la distancia de sensado es menor que los sensores con bobinas no blindadas.

Figura 35. **Sensor inductivo y objetivo metálico**

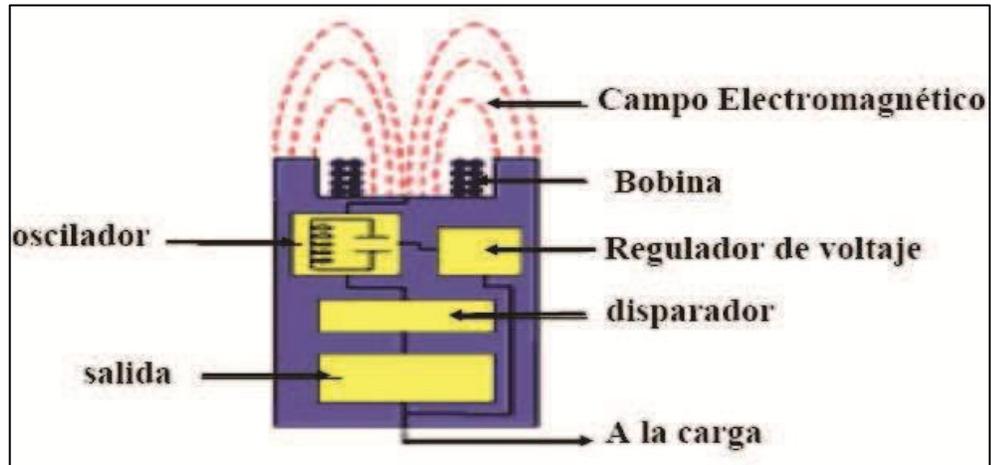


Fuente: *Sensor inductivo*. <http://acimaser.com/ofertas/hand-tools/sensor-inductivo/>. Consulta: 29 de julio de 2012.

##### 4.6.1.1.1. Partes componentes

Los sensores inductivos están constituidos por varias partes y elementos que permiten lograr el sensado. A continuación, se muestran los componentes:

Figura 36. Partes componentes del sensor inductivo

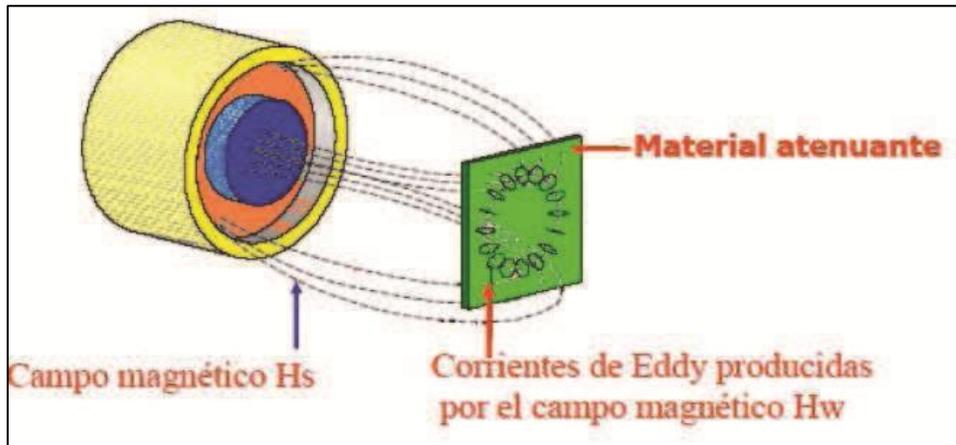


Fuente: *Sensor inductivo*. [https://www.ecured.cu/Sensor\\_inductivo](https://www.ecured.cu/Sensor_inductivo). Consulta: 29 de julio de 2012.

#### 4.6.1.1.2. Principio de funcionamiento

La bobina del sensor inductivo produce un campo magnético; cuando el objetivo metálico entra en este campo, circulan corrientes de Eddy dentro del mismo; estas, a su vez generan un campo magnético que se opone al de la bobina del sensor que causa una reducción en su inductancia.

Figura 37. **Principio de funcionamiento del sensor inductivo**



Fuente: *Temporizadores*. <http://javier-temporizadores.blogspot.com/2011/03/sensores-inductivos-principio-de.html>. Consulta: 8 de agosto de 2012.

#### 4.6.1.2. **Palpador o limitador de carga**

El palpador es una adaptación que funciona con base en el sensor inductivo, de manera que se pueda sensar el nivel de llenado de la canasta. Este consiste en un actuador neumático dotado internamente de resortes y externamente acoplado a su eje una palanca en la parte inferior que es la que se pone en contacto con la masa cuando se llena la canasta y hace girar el eje, el mismo que en su parte superior posee una platina acoplada para transmitir la señal de llenado al sensor inductivo; consigue de esta manera sensar el nivel de carga o de llenado de la canasta.

A continuación, se muestra el palpador o sensor de carga de la centrifugadora:

Figura 38. **Apalpador o sensor de nivel de carga**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.6.2. PLC SIMATIC S7-1500**

Este PLC es el SIMATIC S7-1500, el mismo que presenta las siguientes características:

- CPU 1511-1 PN con memoria de programa de 150 kbytes y 1 Mbyte de datos.
- Capacidad para montaje de módulos de expansión para entradas y salidas analógicas y digitales.
- Puertos de comunicación Profibus y Profinet.
- Capacidad de ampliación hasta 16 módulos de expansión.

Figura 39. **PLC SIMATIC S7-1500**



Fuente: *Distribución de sistemas*. <https://w3.siemens.com/mcms/distributed-io/en/ip20-systems/et-200mp/pages/simatic-et200mp.aspx>. Consulta: 29 de agosto de 2012.

#### **4.6.2.1. Características generales de la CPU S7-1500**

La CPU 1500 posee muchas funciones de las cuales se mencionan algunas de las más importantes como: edición en modo RUN, panel de autosintonización PID, asistente de registro de datos, temporizadores de intervalos (BITIM, CITIM), direccionamiento indirecto soportado en más tipos de memoria, incremento automático del bloque de datos, expansión para módulos de entradas y salidas analógicas y dos puertos de comunicación.

Tabla II. **Características generales de la CPU S7-1500**

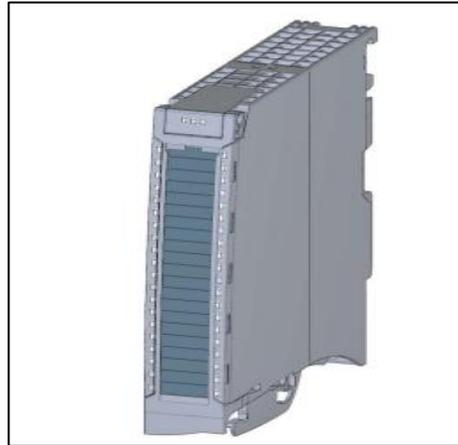
<b>Función</b>	<b>CPU S7-1500</b>
Memoria de trabajo para datos, máx. Memoria de trabajo para código, máx	20 MB y 5 MB
Memoria de carga/memoria de masa, máx.	32 GB (con Memory Card)
Área de direcciones E/S,máx	32 / 32 KB
Interfaces integradas, máx	1 PROFINET IO (switch de 2 puertos) 1 PROFINET IO 1 PROFINET 1 PROFIBUS
Controlador con entradas y salidas integradas	CPU C
Control de configuración	Sí
Servidor web	Sí
Modo isócrono	Descentralizado
Display integrado	Sí
<b>Función</b>	<b>CPU S7-1500</b>
Technology Integrated	Motion Control PID Control CPU C: contadores rápidos, PWM, PTO, salida de frecuencia
Security Integrated	Sí
Diagnóstico de sistema integrado	Sí
Funcionalidad de seguridad integrada	En CPU F
Grado de protección	IP20

**Fuente:** elaboración propia.

#### **4.6.2.2. Módulo de ampliación de entradas y salidas digitales**

Para contar con las salidas requeridas en este proyecto fue necesario utilizar el módulo DI 16x24VDC/DQ 16x24VDC/0.5A BA, porque es un módulo de ampliación de 16 entradas digitales y el módulo DO 16x24VDC/DQ 16x24VDC/0.5A BA.

Figura 40. **Módulo de ampliación EM22**



Fuente: *Módulos*. <https://www.clasf.pe/q/modulos-siemens/>. Consulta: 29 de agosto de 2012.

#### **4.6.2.3. Especificaciones técnicas de los módulos de entradas y salidas digitales**

Algunas de las principales características del módulo es que posee el bloque de terminales extraíble y tiene un peso de apenas 170 g lo que facilita el manejo del mismo; además, existen otras características importantes que a continuación se señalan en la siguiente descripción:

El módulo de entradas digitales tiene las siguientes características técnicas:

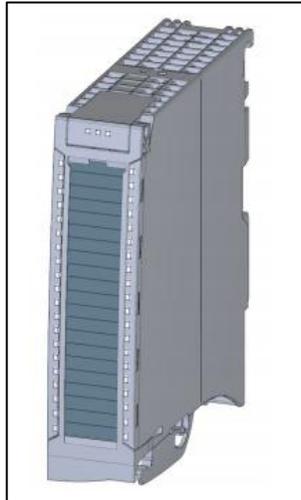
- Entradas digitales
  - 16 entradas digitales, aisladas en grupos de 16
  - Tensión nominal de entrada 24 V DC

- Adecuado para interruptores y detectores de proximidad a 2, 3 o 4 hilos
- Salidas digitales
  - 16 salidas digitales, aisladas en grupos de 8.
  - Tensión nominal de salida 24 V DC – intensidad nominal de salida 0,5 A por canal.
  - Adecuado para electroválvulas, contactores de corriente continua y lámparas de señalización.

#### **4.6.2.4. Módulo de ampliación de entradas y salidas analógicas**

Para contar con las entradas y salidas analógicas requeridas en este proyecto fue necesario utilizar el módulo AI 8xU/I/RTD/TC ST que es un módulo de ampliación de 08 entradas analógicas y el módulo AO 8xU/I/RTD/TC ST para el control de las salidas analógicas.

Figura 41. **Módulo de ampliación de entradas y salidas analógicas**



Fuente: *Módulos*. <https://www.clasf.pe/q/modulos-siemens/>. Consulta: 29 de agosto de 2012.

#### **4.6.2.5. Especificaciones técnicas de los módulos de entradas y salidas analógicas**

Algunas de las principales características del módulo es que posee el bloque de terminales extraíble y tiene un peso de apenas 170 g lo que facilita su manejo; además, existen otras características importantes que a continuación se señalan en la siguiente descripción:

El módulo tiene las siguientes características técnicas:

- 8 entradas analógicas.
- Tipo de medición: tensión ajustable canal por canal.
- Tipo de medición: intensidad ajustable canal por canal.
- Tipo de medición: resistencia ajustable para canales 0, 2, 4 y 6.

- Tipo de medición: termorresistencias (RTD) ajustable para canales 0, 2, 4 y 6.
- Tipo de medición: termopar (TC) ajustable canal por canal.
- Resolución 16 bits incl. Signo.
- Diagnóstico parametrizable (por canal).
- Alarma de proceso al rebasar valores límite ajustable canal por canal (dos límites superiores y dos límites inferiores, respectivamente)

#### 4.6.3. Pantalla TP 1200

La interfaz de usuario TP1200 tiene un panel táctil que facilita la interface hombre máquina, ya que este cuenta con pantallas de fácil acceso y parametrización de los parámetros de control.

Figura 42. Principales componentes del TD200



Fuente: *SIMATIC-HMI-TP1200*. [https://www.nexinstrument.com/Siemens-SIMATIC-HMI-TP1200-6AV2124-0MC01-0AX0\\_p\\_3840.html?redirect=1](https://www.nexinstrument.com/Siemens-SIMATIC-HMI-TP1200-6AV2124-0MC01-0AX0_p_3840.html?redirect=1). Consulta: 29 de agosto de 2012.

Tabla III. **Características del TD200**

<b>Display</b>	<b>Características</b>
Tipo de display	TFT
Diagonal de pantalla	12,1 in
Achura del display	261,1 mm
Altura del display	163,2 mm
Nº de colores	16 777 216
Resolución de imagen horizontal	1 280 pixel
Resolución de imagen vertical	800 pixel
Consumo (valor nominal)	0,85 A

Fuente: elaboración propia.

#### **4.7. Selección e instalación de los actuadores**

Los actuadores son los elementos finales de control de un sistema; en definitiva son aquellos que permiten automatizar los procesos en general.

##### **4.7.1. Cilindros neumáticos**

Los cilindros neumáticos se utilizarán dentro del proceso para abrir y cerrar la compuerta de descarga de masa y la compuerta de separación de mieles; la subida y bajada de la campana para la descarga de azúcar; la entrada y salida del arado vertical y del arado horizontal para separar el azúcar de las paredes de la canasta y finalmente para aplicar el freno mecánico.

En la centrífuga se trabaja con cilindros neumáticos cuyas características varían según la aplicación; para este proyecto se trabajará con cilindros neumáticos de las siguientes características:

- Ranuras dobles para la detección de posiciones en 3 lados del cilindro para ubicar los sensores que darán la indicación si el cilindro acciono toda su carrera o si se contrajo en su totalidad.
- Anillos elásticos en las posiciones finales para absorber la energía residual en caso de movimientos muy rápidos y ciclos muy cortos.

Figura 43. **Cilindro neumático DNC 50-125-PPV-A**



Fuente: *Cilindros*. <https://es.rs-online.com/web/p/cilindros-perfil-neumaticos/1215287/>.

Consulta: 4 de noviembre de 2012.

#### **4.7.2. Electroválvulas**

Las electroválvulas se utilizarán dentro del proceso para accionar los actuadores neumáticos que abren y cierran la compuerta de descarga de masa y la compuerta de separación de mieles; accionar los actuadores neumáticos que suben y bajan la campana para la descarga de azúcar; introducen y sacan tanto del arado vertical como del arado horizontal para separar el azúcar de las paredes de la canasta y finalmente para accionar el freno mecánico.

En la centrifugadora se trabajará con electroválvulas cuyas características varían según la aplicación; para este proyecto se trabajará con electroválvulas de las siguientes características:

- Diferentes zonas de presión gracias a canales PRS cerrados en bloques básicos y bloques de ampliación.
- El aire de alimentación y el de escape pueden conectarse en ambos lados con racores en los bloques básicos y los bloques finales.
- El aire de alimentación y de escape puede conectarse al final o desde arriba.
- Opciones de instalación: individual, en raíl normalizado o en forma mural.

Figura 44. **Electroválvula CPE18-M1H-5L-1/4**



Fuente: *Electroválvula*. <https://www.sercomac.com/4661-ELECTROVALVULA-FESTO-CPE18-M3H-5L-14.html>. Consulta: 4 de noviembre de 2012.

### 4.7.3. Actuator neumático

Los actuadores neumáticos pueden clasificarse en diferentes tipos dependiendo de su principio de funcionamiento y son empleados para múltiples aplicaciones en diversas industrias. El actuator que se empleará en este proceso específicamente para habilitar y bloquear el paso de la masa de azúcar; es decir, como compuerta de descarga es tipo mariposa con tapa giratoria a 90° o de ½ vuelta, de 12 de diámetro.

Figura 45. **Actuator neumático tipo mariposa**



Fuente: elaboración propia

#### **4.8. Tipos de transductores para el monitoreo de seguridades**

Los transductores utilizados para el monitoreo de seguridades serán los siguientes:

- Transductor todo o nada: suministran una señal binaria claramente diferenciada. Los finales de carrera son transductores de este tipo.
- Transductores analógicos: suministran una señal continua que es fiel reflejo de la variación de la magnitud física medida.

##### **4.8.1. Transductores para el monitoreo de vibración**

Los sensores para el monitoreo de vibración son instrumentos utilizados en la industria para el control y protección mecánica de equipos en todo momento de fallos mecánicos que pudieran ocasionar desperfectos mecánicos mayores o daños al personal que los operan. La salida de 4-20 MA del sensor de vibración será cableada a una entrada analógica la cual dará una referencia de la señal de vibración de la centrífuga cuando esta se encuentre rotando a sus distintas etapas de velocidad de operación.

El sensor de vibración escogido utiliza dos alarmas ajustables para garantizar que las vibraciones de la máquina no superen el nivel aceptable así con esto el operador obtendrá una protección efectiva de la máquina; lo que limita los daños a la máquina y, en consecuencia, reducirá los costos de mantenimiento.

La señal de vibración para este caso será seteada en un valor porcentual no mayor del 10 %. Las características del sensor de vibración a utilizar son las siguientes:

- Marca y modelo: PCH 1290
- Ajustes de medición configurables: 10/20/50/100 mm/s total de la escala
- Niveles de alarma configurables
- 2 salidas 4 a 20 mA
- 2 Relés de alarma

Figura 46. **Sensor de vibración utilizado para el control de vibraciones en el sistema propuesto**



Fuente: elaboración propia

#### **4.8.2. Transductores para el monitoreo de desbalance**

Una máquina rotativa está desequilibrada cuando el centro de gravedad o el centro de masa del rotor no coincide con su centro de rotación o centro geométrico; para evitar este tipo de problemas en máquinas rotativas se utilizan sensores de desbalance que ayudarán a brindar una protección a un movimiento descontrolado de una maquina rotativa.

Para el diseño de mejora en las seguridades se propone la instalación de tres sensores inductivos de eje alargado que serán instalados a los costados del eje que rota la canasta de la centrífuga.

Las características del sensor de desbalance a utilizar son las siguientes:

- Tipo de sensor : inductivo de 18 mm 24 volts DC
- Marca: Omron
- Distancia a sensor 10 mm
- Contacto a utilizar: 1 contacto normalmente cerrado

Figura 47. **Sensor de desbalance utilizado para el control de vibraciones en el sistema propuesto**



Fuente: elaboración propia

#### **4.9. Redes industriales para el diseño propuesto de mejora en la centrifugadora de azúcar**

Las redes de comunicaciones industriales deben su origen a la fundación FieldBus (redes de campo). La fundación FieldBus desarrolló un nuevo protocolo de comunicación para la medición y el control de procesos donde todos los instrumentos puedan comunicarse en una misma plataforma. Las comunicaciones entre los instrumentos de proceso y el sistema de control se basan principalmente en señales analógicas (neumáticas de 3 a 15 psi en las válvulas de control y electrónicas de 4 a 20 mA cc). Pero ya existen instrumentos digitales capaces de manejar gran cantidad de datos y guardarlos históricamente; su precisión es diez veces mayor que la de la señal típica de 4-20 mA. En vez de transmitir cada variable por un par de hilos, transmiten secuencialmente las variables por medio de un cable de comunicaciones llamado bus. La tecnología Fieldbus (bus de campo) es un protocolo de comunicaciones digital de alta velocidad creada para reemplazar la clásica señal

de 4-20 mA que aún se utiliza en muchos de los sistemas DCS (sistema de control distribuido) y PLC (controladores lógicos programables), instrumentos de medida y transmisión y válvulas de control.

La arquitectura Fieldbus conecta estos instrumentos con computadores que se usan en diferentes niveles de coordinación y dirección de la planta. Muchos de los protocolos patentados para dichas aplicaciones tiene una limitante y es que el fabricante no permite al usuario final la interoperabilidad de instrumentos, es decir, no es posible intercambiar los instrumentos de un fabricante por otro similar.

Es claro que estas tecnologías cerradas tienden a desaparecer, ya que actualmente es necesaria la interoperabilidad de sistemas y aparatos y así tener la capacidad de manejar sistemas abiertos y estandarizados. Con la mejora de los protocolos de comunicación es ahora posible reducir el tiempo necesario para la transferencia de datos, asegurando la misma, garantizando el tiempo de sincronización y el tiempo real de respuesta determinística en algunas aplicaciones.

- Ventajas del bus de campo
  - El intercambio puede llevarse a cabo por medio de un mecanismo estándar.
  - Flexibilidad de extensión.
  - Conexión de módulos diferentes en una misma línea.
  - Posibilidad de conexión de dispositivos de diferentes procedencias.
  - Distancias operativas superiores al cableado tradicional.
  - Reducción masiva de cables y costo asociado.

- Simplificación de la puesta en servicio.
- Desventajas de un bus de campo
  - Necesidad de conocimientos superiores.
  - Inversión de instrumentación y accesorios de diagnóstico.
  - Costos globales inicialmente superiores.

#### **4.9.1. Profibus (Process Field BUS)**

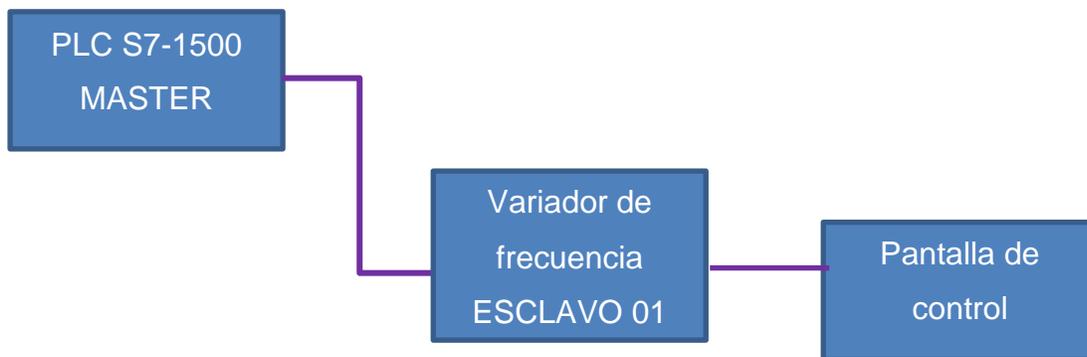
Es el estándar europeo en tecnología de buses; se encuentra jerárquicamente por encima de ASI y BITBUS, trabaja según procedimiento híbrido *token passing*, y dispone de 31 participantes hasta un máximo de 127. Su paquete puede transmitir un máximo de 246 bytes, y el ciclo para 31 participantes es de aproximadamente 90 ms. Alcanza una distancia de hasta 22 300 m.

- Beneficios de redes industriales
  - Reducción de cableado (físicamente)
  - Dispositivos inteligentes (funcionalidad y ejecución)
  - Control distribuido (flexibilidad)
  - Simplificación de cableado de las nuevas instalaciones
  - Reducción de costo en cableado y cajas de conexión
  - Aplicable a todo tipo de sistema de manufactura
  - Incremento de la confiabilidad de los sistemas de producción
  - Optimización de los procesos existentes

En el diseño propuesto se estará armando una pequeña red profibus para la comunicación entre dispositivos; el master es el PLC de control con sus dos dispositivos esclavos el variador de frecuencia y la pantalla de control; con esto se estará para optimizar el uso de cable y con un ahorro de costos para el diseño propuesto.

A continuación, se muestra la configuración de la red profibus diseñada propuesto:

Figura 48. **Diseño de la red Profibus del diseño propuesto**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.9.2. Variador de frecuencia para el diseño propuesto**

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: variable frequency drive o bien AFD, adjustable frequency drive) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna(AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad. Los variadores de frecuencia son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA, microdrivers o inversores. Dado que el voltaje es variado a la vez

que la frecuencia, a veces son llamados drivers VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia).

Para el diseño propuesto se estará utilizando un variador de frecuencia de frente activo con comunicación profibus, el cual ayudará a controlar las distintas etapas de velocidad de los distintos ciclos de centrifugación. El PLC gobernará la velocidad del motor y el variador retornará la velocidad como un dato de retroalimentación, para confirmar los datos de las velocidades del motor. El variador de frecuencia estará configurado como esclavo y utilizara un módulo de comunicación profibus llamado RPBA-01, en el cual se con figurarán en el PLC los paquetes de datos para el control del motor.

Figura 49. **Módulo de comunicación Profibus RPBA-01 para variador de frecuencia ABB ACS 800**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.10. Etapas de integración de los elementos de automatización para el diseño propuesto**

El esquema de la implementación se realizará en dos etapas: la primera será una implementación mecánica en la cual se harán modificaciones en el sistema del arado o raspador de azúcar, en el cual se modifica el sistema original de la centrífuga que consiste en dos mecanismos: uno horizontal y uno vertical en el cual se le realiza una reingeniería para evitar que los ejes de los cilindros que acciona la cuchilla rapadora no estén en contacto con los vapores que se generan alrededor de la canasta, ya que esto ocasiona paro por desperfecto en los sellos que controlan el flujo de aire para el accionamiento de los cilindros.

Este sistema es sustituido por un sistema que sustituye este mecanismo y se implementa un mecanismo en el cual las barras de los cilindros estén en contacto con los vapores de la canasta, dando así mayor confiabilidad y vida útil a la máquina, aumenta así los tiempos de disponibilidad de la máquina.

En la fase dos se realiza un cambio del PLC y la pantalla de visualización de las operaciones de la máquina; adicionalmente, se arma un gabinete en el cual será montado en un cuarto de máquinas con condiciones ambientales controladas para un mejor control y vida útil de los equipos. Este trabajo es realizado en un lapso de dos meses, tiempo en el cual se cablea dicho panel de control y se sustituye todo el cableado que se tenía hacia el variador de frecuencia, el cual es sustituido por un único cable de red Profibus DP.

Con la implementación de la comunicación de la pantalla de interface con un nuevo PLC, se logran almacenar todos los parámetros de operación en una tarjeta de memoria con la que cuenta el PLC.

En esta última fase se acondiciona el eje de la máquina para instalar un sensor de vibraciones con alarmas, para el incremento de seguridad a la máquina y al operador.

Figura 50. **Control obsoleto de centrifugadora del Ingenio Magdalena, S. A.**



Fuente: elaboración propia.

Figura 51. **Ubicación del nuevo PLC en su gabinete**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.11. Diseño y elaboración del tablero de control**

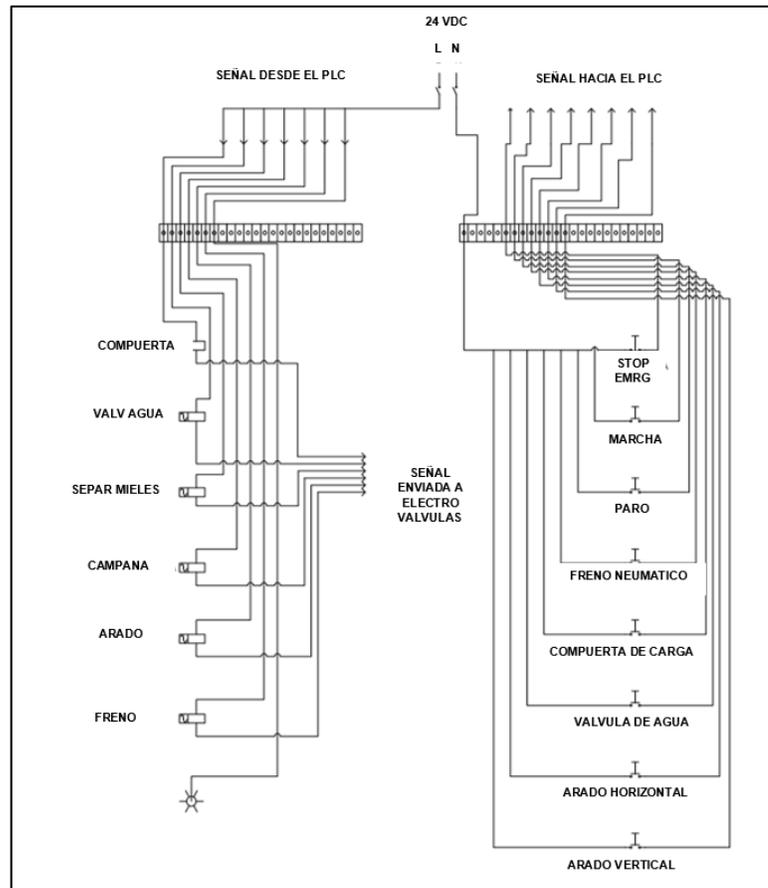
El tablero de control para operar la centrifugadora se elaboró en dos partes, debido a dos razones principales: una debido a la disponibilidad de espacio en el armario ya existente y la otra debido a la ubicación del operador con respecto a la máquina. La ubicación del tablero de control es muy importante al momento de realizar la operación de la centrifugadora.

El tablero de control secundario se encuentra ubicado a varios metros de la máquina y posee en su interior el PLC cuyas conexiones se mostraron anteriormente. El tablero de control principal o de mando se colocó junto a la centrifugadora para tener un acceso total por parte del operador, de modo que pueda visualizar datos del proceso de centrifugación que garantizan su buen funcionamiento, además de tomar acciones inmediatas si fuera del caso.

##### **4.11.1. Diseño del diagrama de conexiones para el tablero principal de control**

Para realizar el diseño del diagrama de conexiones es necesario saber que elementos y dispositivos se utilizarán en el plano físico. Para este tablero se utilizaron seis selectores: dos de estos de doble posición y los otros cuatro de una sola posición, un pulsador para el paro de emergencia: una luz piloto para indicar el estado del apalpador o sensor de nivel de carga, el TD200 que es el interfaz entre el operador y la máquina y finalmente un módulo indicador recuperado de una centrifuga descompuesta, el mismo que contiene leds indicadores de algunos de los procesos que se realizan en la centrifugación.

Figura 52. Diagrama de entradas y salidas principales de control

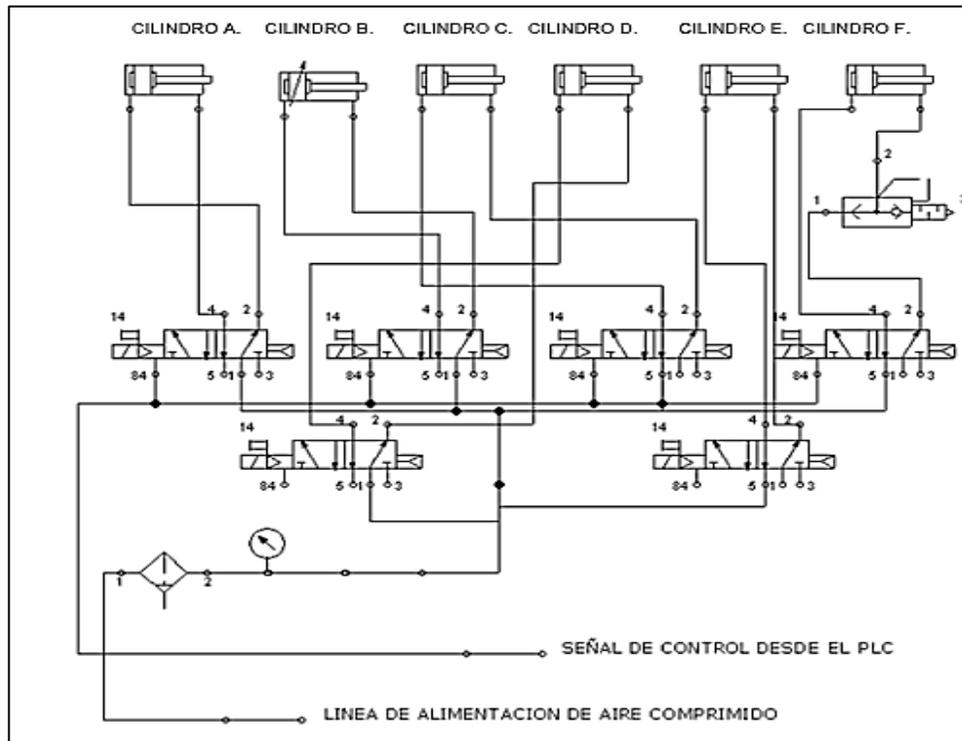


Fuente: Ingenio Magdalena S.A. <https://www.imsa.com.gt>. Consulta: 12 de junio de 2012.

#### 4.11.2. Diseño del diagrama de conexiones electroneumático

Para accionar algunos de los actuadores que intervienen en el proceso se hace uso de la energía neumática; por esta razón, será necesario construir un módulo de accionamiento neumático. En este caso, se contará con seis electroválvulas de dos posiciones-cinco vías, una unidad de mantenimiento y una línea de alimentación neumática.

Figura 53. **Diagrama de conexiones electroneumático**



Fuente: Ingenio Magdalena S.A. <https://www.imsa.com.gt>. Consulta: 12 de junio de 2012.

Tabla IV. **Función de los cilindros**

Cilindro	Función
Cilindro a.	Acciona actuador descarga de masa
Cilindro b.	Acciona palpador de carga
Cilindro c.	Acciona freno neumático
Cilindro d.	Acciona arado horizontal
Cilindro e	Acciona arado vertical
Cilindro f.	Acciona cilindros de campana

Fuente: elaboración propia.

#### **4.12. Aspectos importantes dentro de la implementación del diseño propuesto**

Para el diseño de implementación de una centrifugadora automática, se pueden mencionar varios aspectos que son de vital importancia para el funcionamiento del proyecto, los cuales son.

##### **4.12.1. Tiempo para implementar el proyecto al Ingenio Magdalena del diseño propuesto**

El tiempo de implementación con todos los equipos en planta es de 15 días hábiles; con jornadas de 8 horas diarias; lo más complicado son los tiempos de entrega de los componentes electrónicos, ya que hay equipos que tienen hasta 3 meses de tiempo de entrega.

##### **4.12.2. Complicaciones con el equipo si llegara a fallar el sistema automatizado**

Las complicaciones que se pudieran presentar son las siguientes:

- Disponibilidad del equipo, debido a que el equipo por algún permiso que no se tenga o no sea bien ajustado, la máquina no arrancaría.
- Daño de los equipos mecánicos como arados raspadores horizontales, ya que si no se encuentran en su posición de reposo en etapas donde la máquina se encuentra rotando a alta velocidad pueden existir daños significativos, como su destrucción; pasa en la actualidad en casos donde la máquina no tiene las suficientes seguridades.

- Que la centrifugadora trabaje a sobrecarga y esto ocasionar desgaste anticipado en sus componentes; principalmente, en el motor y variador de frecuencia, que les ocasionaría daños permanentes.
- Reducción del rendimiento de producción por mal funcionamiento del equipo; causa tiempos perdidos, que afectarían al proceso, ocasionando tiempos perdidos en el reporte de producción.

#### **4.12.3. Personal capacitado que se necesita al implementar del proyecto al diseño propuesto**

El proyecto se puede realizar en su totalidad con personal que trabaja actualmente en la planta. Para la ejecución del proyecto se necesita la colaboración del siguiente personal:

- Mecánicos (1)
- Instrumentistas (2)
- Técnicos de automatización (2 por turno)
- Supervisor de automatización (1)
- Ingeniero de automatización (1)

#### **4.12.4. Porcentaje de disminución del personal operativo en la implementación del sistema automatizado propuesto**

Normalmente, las centrifugadoras se instalan en el Ingenio Magdalena en grupos de 6 a 7 máquinas, con 2 operarios por grupos. Las mejoras presentadas proporcionan más autonomía a las centrifugadoras, por lo que ayudaría a disminuir a un operario por grupo de máquinas; suprime el puesto de ayudante de operador de centrífuga.

#### 4.12.5. Porcentaje de disminución de fallos operativos y mecánicos debido a la implementación del sistema automatizado propuesto

Con respecto a la disminución de los fallos reportados por el laboratorio de azúcar del Ingenio Magdalena, se observa una disminución en el porcentaje de fallos reportados por la indisponibilidad de equipos; comparando una centrífuga convencional, con una centrífuga modificada en el periodo de zafra 2016-2017, se observa una disminución de fallos promedio del 23 % con respecto a fallos mecánicos ocasionados por desperfectos mecánicos; los cuales ayudaron a tener un tiempo perdido por disponibilidad de equipos con respecto a zafras anteriores.

Tabla V. **Comparativo de disminución de fallos respecto al sistema convencional contra el sistema automatizado propuesto**

Zafra 2017 - 2018	Fallo por mes centrífuga Wester State convencional	Fallo por mes Centrífuga Wester State modificada	% reducción de fallos
nov-17	11	3	27 %
dic-17	10	2	20 %
ene-18	7	2	29 %
feb-18	9	2	22 %
mar-18	12	3	25 %
abr-18	11	2	18 %
may-18	6	1	17 %
Promedio			<b>23 %</b>

Fuente: Laboratorio de Fabrica de Azúcar según reporte de disponibilidad de equipos de zafra 2017-2018

#### **4.13. Diagrama de bloques del diseño para la implementación de la mejora a la centrifugadora de azúcar tipo Batch para el incremento de ciclos y seguridades**

Para el diseño propuesto se utilizará la siguiente lógica que después será plasmada en el lenguaje de programación del PLC S7-300 de Siemens, además de los gráficos que serán presentados en la pantalla táctil para facilitar el control de la máquina en función de las fases de operación de las etapas de centrifugado.

A continuación, se presenta la lógica de control del sistema a implementar:

- Inicio de ciclo: en esta etapa se verifica la posición de reposo y ajuste de buen funcionamiento de todos los sensores de los cilindros neumáticos y sensores de las seguridades de la máquina; confirmado esto, se liberan los frenos mecánicos y se habilita la orden de arranque del variador hacia el motor.
- Buscando velocidad de carga: en esta etapa del ciclo se lleva el motor a una velocidad de carga peseteada de 160 a 200 rpms gobernado por el variador de frecuencia, dicha velocidad de carga es monitoreada por un sensor de velocidad que retroalimenta al PLC con esta velocidad.
- Confirmación de velocidad de carga: En esta etapa se confirma que la velocidad de carga haya sido alcanzada y se compara con el valor peseteado en el PLC; dicho valor será programado entre un valor de 160 a 200 rpms; si este valor no es alcanzado por algún inconveniente mecánico o eléctrico, el sistema manda nuevamente a la centrifuga a

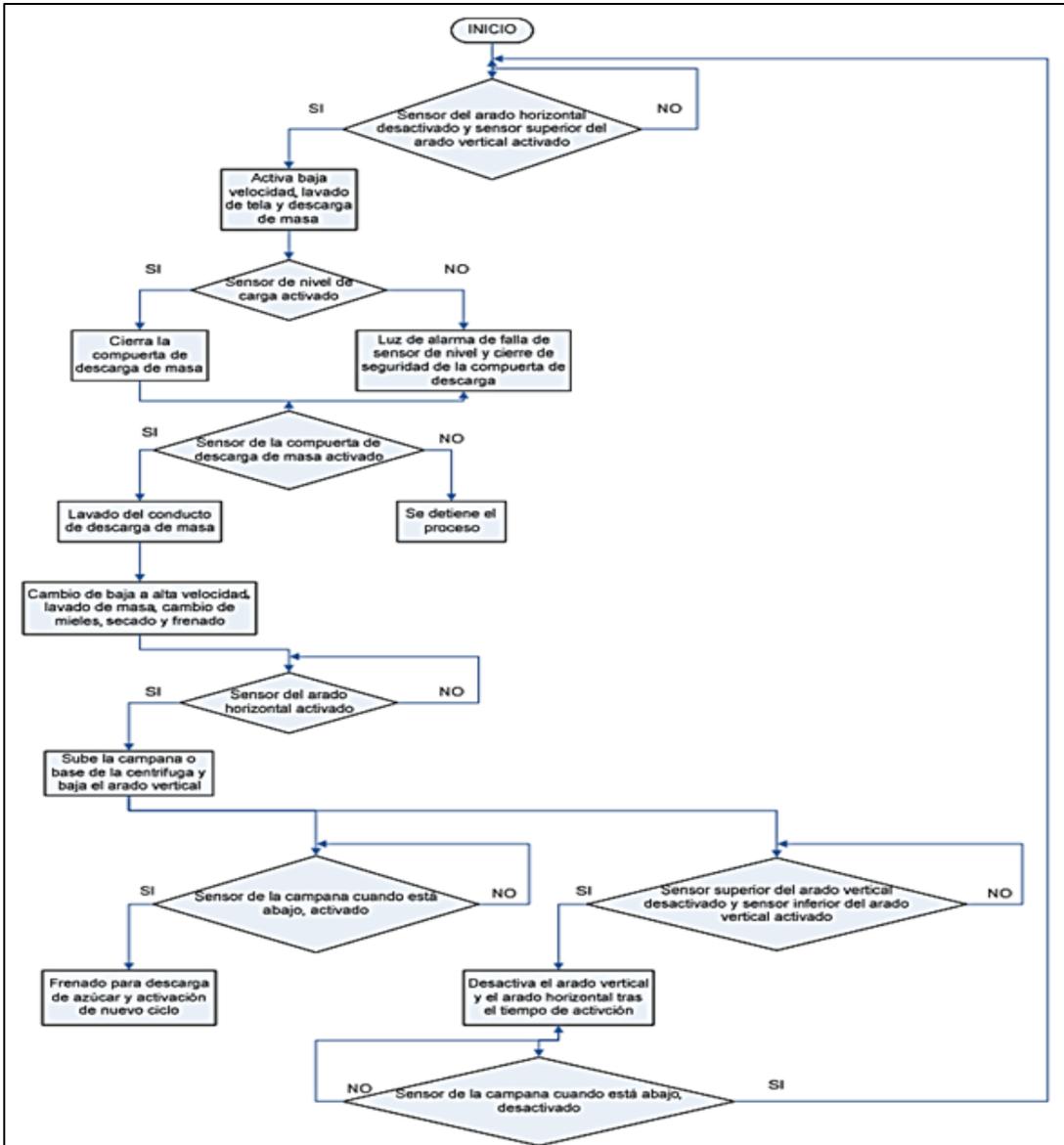
estado de inicio de ciclo, esperando confirmar nuevamente todos los sensores y seguridades de la máquina.

- Se acciona el control de carga: en esta etapa del ciclo se verifica en el PLC que el sensor de confirmación de cerrado este en su posición de válvula cerrada; además, se verifica que el palpador de control de carga esté en su posición inicial para el control de la carga. Si alguna confirmación no se cumple o alguna seguridad se acciona, la centrífuga volverá a buscar las condiciones de velocidad de carga.
- Abrir la válvula de carga: en esta etapa del ciclo se manda a abrir la válvula de carga por medio de un posicionador neumático controlado con una señal de 4-20 mA enviada desde el PLC. La apertura máxima de la válvula es controlada por un parámetro seteado en la pantalla del operador; si la válvula por algún motivo no abre, mandará a la centrífuga a su estado de carga inicial.
- Confirmación de carga completa: en esta etapa el limitador de carga se accionará cuando la masa toque dicho sensor.
- Cerrar compuerta de carga: después de confirmado el sensor limitador de carga, se mandara a cerrar la válvula de carga para confirmar en el PLC que la carga ha sido completada en la canasta de la centrífuga. Además, existe una seguridad en esta etapa que verifica que si el tiempo de carga sobrepasa un límite seteado, se mandará a cerrar la válvula de carga; si existiera algún inconveniente en esta etapa del ciclo, la máquina se detendrá esperando que se revise si existió algún fallo en la apertura o cierra de la válvula.

- Buscar velocidad de lavado: en esta etapa con la masa completa en la canasta el PLC mandará la orden para que el variador de velocidad empiece a acelerar hasta alcanzar una velocidad de lavado de 650 rpm. Confirmada dicha velocidad se accionará la válvula de agua que realizará el lavado de la masa.
- Alcanzado la velocidad de centrifugado: después de realizado el lavado, el PLC llevará a la centrífuga a una velocidad de 1 080 rpm en la cual permanecerá en esta velocidad un lapso aproximado de 30 segundos; esto en el caso de que ningún sensor de vibración o desbalance se accione; si algún sensor de estos se acciona la centrifuga accionara los frenos hasta llevar a la centrifuga a su fase de reposo.
- Buscando velocidad de descarga: en esta etapa del ciclo el PLC mandará la orden de setear el variador a 60 rpms para empezar la fase de descarga de azúcar.
- Confirmación de Velocidad de descarga: alcanzada la velocidad de descarga y confirmada por el PLC, el programa empezará a verificar que los sensores del descargador de azúcar estén en su posición de inicio para accionar los cilindros.
- Se Acciona el sistema de descarga de azúcar: en esta etapa del ciclo a velocidad de descarga se accionarán los cilindros del descargador los cuales dejarán limpia la canasta de azúcar; si algún cilindro no se acciona correctamente la centrífuga se quedará rotando a velocidad de descarga hasta esperar que la confirmación se cumpla.

- Se Busca velocidad de lavado de telas: teniendo la canasta limpia la centrífuga empezará a acelerar hasta alcanzar una velocidad de 250 rpms, en dicha velocidad se realizara un lavado de telas para dejar limpia la canasta, para tener lista la máquina para empezar un ciclo nuevo.

Figura 54. Diagrama de bloques del diseño para la implementación de la mejora a centrifugadora de azúcar tipo Batch para el incremento de ciclos y seguridades



Fuente: Ingenio Magdalena S.A. <https://www.imsa.com.gt>. Consulta: 12 de junio de 2012.

## **5. PRESENTACIÓN DEL PLANTEAMIENTO ECONÓMICO AL IMPLEMENTAR EL DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO**

### **5.1. Idea**

Es importante realizar y ejecutar el diseño del sistema automatizado que ayudará a mejorar la eficiencia y el manejo de una centrífuga tipo Batch; por medio del equipo de trabajo y la asesoría del personal del Ingenio Magdalena S. A., del departamento de automatización industrial; con el uso de libros e información de redes industriales, comentarios de oportunidades de mejora de los operarios, se realizará el diseño de la red y del programa para el sistema de control.

El tiempo que será empleado para la ejecución del nuevo diseño al ingenio no puede ser en un tiempo programado superior de tres meses, salvo si la empresa llegará a tener inconvenientes técnicos; el total del proyecto será cubierto por el Ingenio Magdalena, S.A., tomando en cuenta que no incluye costos del diseño y otros gastos de imprevisto que puedan suscitar dentro del montaje de equipos y participación de operadores, técnicos u otro profesional especializado en la materia.

### **5.2. Preinversión**

Se pretende que con la implementación del nuevo sistema de automatización, el proceso de centrifugación de mieles para la separación de azúcar sea un sistema novedoso, para tener un alto control y seguridad para la máquina y operario; el diseño del sistema automatizado de centrifugación

contiene modelos nuevos con altas seguridades las cuales presentarán eficiencia en la producción de azúcar y altos tiempos de disponibilidad con un mantenimiento y manejo del sistema rápido con disponibilidad de arreglos no prolongados; se evita tiempos perdidos y accidentes que puedan ocasionar bajas en la producción de azúcar refinada.

El diseño de un sistema automatizado tiene el control de todos los ciclos de la máquina (carga, centrifugado, lavados, descarga) los cuales serán monitoreados por una pantalla táctil y controlados por un PLC Siemens S7 1500 y un módulo de Profibus ET 300 que a su vez gobernará a un variador de frente activo ABB ACS 800 con un módulo de Profibus las distintas velocidades de ciclo existente; es un diseño novedoso que traerá más producción de azúcar refinada y más incentivos económicos de ganancias en el lugar de pérdidas para la empresa.

### **5.2.1. Perfil**

La información en general sobre la implementación del diseño del sistema automatizado de centrifugadora de azúcar tipo Batch para el incremento de ciclos y seguridades en el ingenio será un apoyo para el personal operativo de producción de las áreas de azúcar refinada, azúcar blanca y azúcar morena, dicho sistema de tendrá las siguientes soluciones dentro de la empresa en sus áreas de producción:

- Mejorar la productividad de la empresa.
- Reducir los costos de la producción y mejora de la calidad.
- Incrementar la seguridad de la máquina y los operarios.
- Facilitar las operaciones de una manera automatizada.
- Mejorar la disponibilidad de los productos.

- Producir y proveer las cantidades necesarias según las exigencias y pedidos de azúcar.
- Simplificar el mantenimiento de la máquina.
- Integrar la gestión y producción.
- Implementar tecnología para evitar pérdida de tiempo y bajas de producción.

### **5.2.2. Prefactibilidad**

Todo proyecto trae sus ventajas y desventajas; sin embargo, implementar el diseño propuesto trae varios factores positivos, por lo que tiene algunas complicaciones que puede traer la implementación al realizar y ejecutar el diseño del sistema automatizado para el Ingenio Magdalena S.A.:

- Disponibilidad del equipo, debido a que el equipo por algún permiso que no se tenga o no sea bien ajustado, la máquina no arrancaría.
- Derramamiento de líquidos en el sistema automatizado.
- Daño de los equipos mecánicos como arados raspadores horizontales.
- Que la centrifugadora trabaje a sobrecarga y esto ocasione desgaste anticipado en sus componentes, principalmente, en el motor y variador de frecuencia, que les ocasionaría daños permanentes.
- Reducción del rendimiento de producción por mal funcionamiento del equipo.

### **5.2.3. Factibilidad**

El diseño de centrifugado automatizado se adaptará a la necesidad de la producción del ingenio; es una solución rentable incrementado el rendimiento de la centrífuga; utiliza la tecnología utilizando un control sencillo y eficiente que disminuye la intervención de operarios; moderniza los elementos desde los básico. En la actualidad, el equipo es obsoleto por lo que cuando se arruina alguna pieza es difícil de encontrarla; también, existe descompensación en la producción de azúcar teniendo pérdida de tiempo y económicas, accionándose manualmente vigilancia de operadores; por lo que se le agregaría un sensor de proximidad para hacer relevos de apertura o cierre de carga y descarga aprovechando al máximo la neumática, agregando a eso el PLC para gobierne los tiempos y haga los cambios respectivos en los secados y así tener el control automatizado de la Centrífugas.

Surge el diseño de automatización como la respuesta a la necesidad de implementar un PLC SIMATIC S7-1500 (controladores lógicos programables) compuesto por: CPU 1511-1 PN con memoria de programa de 150 kbytes y 1 Mbyte de datos, capacidad para montaje de módulos de expansión para entradas y salidas analógicas y digitales, puertos de comunicación Profibus y Profinet y una capacidad de ampliación hasta 16 módulos de expansión, el circuito automático solo necesitará ser supervisado y no manipulado a cada instante.

Al finalizar la instalación de la centrífuga, su parte automatizada se opera mediante pulsadores de marcha y paro; hace uso del PLC SIMATIC S7-1500; aprovecha sus entradas y salidas los parámetros de tiempo para el lavado y secado; pueden funcionar accionados sucesivamente uno al otro sin depender de accionamientos continuos; en apoyo técnico al operador a que solo disponga

de verificar que las otras centrífugas funcionen correctamente; con tiempo para tomar nota de alguna falla para hacer cálculos o controles de cómo marcha el proceso o si hay algo que mejorar; por lo que la centrifugación automatizada es mucho más controlada y se puede observar óptimas condiciones de trabajo; para que se pueda ejecutar el diseño instalado se debe verificar lo siguiente:

- Controlar los tiempos mediante los parámetros establecidos según el funcionamiento de la centrífuga.
- Programar el PLC SIMATIC S7-1500 aprovechando las entradas y salidas, los parámetros de tiempo para el lavado y secado.
- Verificar los lazos de control abierto.
- Verificar el funcionamiento del proceso durante la separación.
- Verificar esquemas y verificar funcionamiento.
- Verificar y comprobar si la programación es útil para otros casos aplicativos.

### **5.3. Ejecución del diseño**

Para la ejecución del diseño automatizado por medio de su programa existen dos posibilidades diferentes: la que se utiliza en el control del aparato y la programación independiente, por lo que se necesita para la ejecución de una única instrucción se necesita un determinado tiempo (microsegundos). El tiempo para una única ejecución de todas las instrucciones se llama tiempo de ciclo y un recorrido por todo el programa, ciclo de programa.

### **5.3.1. Estudios y experiencia técnica**

Los estudios y la experiencia técnica para la implementación del diseño de un sistema automatizado de centrifugadora de azúcar tipo Batch para el incremento de ciclos y seguridades en el Ingenio Magdalena S. A., se llevó a cabo por las complicaciones que imperan en el sistema actual de centrifugado del ingenio, por los siguientes aspectos:

- Se analizaron las estadísticas de producción y tiempos perdidos por la indisponibilidad de las centrifugas Batch de azúcar en el área de refinería de azúcar del ingenio que tiene actualmente; por lo que el sistema hará posible la disminución de tiempos de indisponibilidad del equipo, también, un incremento considerable en la cantidad de ciclos por hora de operación.
- El proceso actual de centrifugación de mieles para la separación de azúcar es un de sistema bastante desfasado que a largo plazo trae complicaciones, debido a su alta complejidad para el control y seguridad de la máquina y de los operarios lo que atrasa muchas veces la producción.
- En el proceso actual de centrifugación, se cuenta con cierta cantidad de centrífugas de modelos obsoletos y de bajas seguridades, las cuales presentan baja eficiencia en la producción de azúcar y altos tiempos de indisponibilidad debido a la falta de repuestos y a la complejidad del sistema actual. Además, presenta un alto índice de indisponibilidad de la máquina por la falta de seguridades en el sistema de control actual que ocasiona tiempos prolongados de indisponibilidad de la máquina.

- El diseño de automatización transferirá las tareas de producción, realizadas manualmente por un operador en conjunto con elementos tecnológicos que realizan dichas tareas de manera automática evaluando cada variable del proceso; aumentan así la eficiencia del proceso realizado, trae consigo óptimos resultados de un 90 % de factibilidad.
- Con la asesoría profesional y técnica del personal de Ingenio Magdalena del departamento de automatización industrial, se realizará el diseño del sistema automatizado que ayudará a mejorar la eficiencia y el manejo de una centrífuga tipo Batch. con libros e información de redes industriales y comentarios de oportunidades de mejora de los operarios, se realizará el diseño de la red y del programa para el sistema de control.

Ventajas de la implementación del diseño del sistema automatizado:

- Disponibilidad aumentada: con el nuevo sistema propuesto, son relativamente mínimos los paros por desperfectos mecánicos y del sistema de control. La disponibilidad en periodo de zafra es de un 95 %.
- Detección de anomalías en la máquina: el sistema de vibración que se instala le proporciona a la máquina un sistema que le permite a la centrifugadora en todo momento de rotación detectar una vibración anormal que pueda causar un daño al operador o a la máquina. Y con esto anticiparse a un desperfecto mayor.
- Fácil manejo y monitoreo: Con la pantalla multicolor Touch, con distintas pantallas de control y monitoreo capaz de proporcionarle al usuario un fácil manejo y monitoreo de la máquina. Se cuenta con una interface

*touch*, en la cual todos los parámetros son ingresados por un teclado alfa numérico desplegado en la pantalla para un fácil acceso.

- Seguridad para la máquina y operario: el sistema cuenta con tres sensores de balance que permiten una mejor seguridad a la máquina en el momento que exista un desperfecto en la carga de la canasta. Con esto se le da mayor seguridad al operador y a la máquina; evitando algún desprendimiento o rompimiento de alguna pieza.
- Bus de campo Profibus DP: el sistema cuenta con un bus de campo Profibus DP para la interconexión de todos sus dispositivos como PLC, variador de frecuencia y pantalla táctil.
- Monitoreo de la principal variable: el sistema cuenta con gráficas de históricos que ayudan al monitoreo de la principal variable (velocidad, potencia, amperaje, vibración y tiempos de las velocidades de las distintas etapas del centrifugado).

#### **5.4. Inversión**

La inversión en los gastos totales por adquirir 70 piezas, es un aproximado de \$ 26 148,59 en total en moneda nacional, con el cambio de 7,50 de dólares a quetzales, sería de Q19 613,75. (ver tabla 6. Tabla de costos de la inversión al proyecto propuesto).

##### **5.4.1. Evaluación**

Al diseño de un sistema automatizado de centrifugadora de azúcar tipo Batch para el incremento de ciclos y seguridades en Ingenio Magdalena S.A.,

para que funcione a la perfección se le tendrán que hacer varias pruebas; no solo es montar la máquina y que funcione; se establecerán ciertos parámetros de prueba para que la máquina funcione con el nuevo diseño automatizado sin ningún peligro, porque se tiene que verificar lo siguiente:

- Que el PLC SIMATIC S7-1500 esté instalado correctamente.
- Verificar que todo el equipo montado, válvulas, mangueras, conectores, estén bien instalados.
- Controlar que los tornillos de la centrífuga estén bien apretados.
- Que toda instalación eléctrica esté bien conectada.
- Las tuberías de vapor y agua estén instaladas correctamente.
- Luego se hacen las pruebas de arranque.

#### **5.4.2. Operación**

Se pretende que se recuperara lo invertido El costo de la inversión del proyecto se paga en un tiempo  $t=16,42$  horas de operación de la centrífuga de azúcar refinada. El impacto económico del peso y el costo del azúcar por lote que no se envasa en promedio es de \$ 14 700 por hora de producción por centrífuga.

### **5.4.3. Mantenimiento**

El diseño de automatizado tendrá un mantenimiento preventivo que se realizará por medio de periodos que se establezcan según las necesidades del equipo, en especial los dispositivos de control:

- Mantenimiento en la integración del variador de frecuencia al PLC SIMATIC S7-1500, por medio de la red Profibus, la cual minimiza la cantidad de cable de control hacia el variador. Realizado el desmontaje del PLC, verificar en taller el estado de las terminales de entrada, salida y de alimentación. De encontrar terminales corroídas agregar elementos líquidos de mantenimiento electrónico. Una vez finalizado el chequeo en las borneras y terminales proceder a fijar nuevamente el variador de frecuencia.
- El panel del operador: está diseñado para tener poco mantenimiento, por lo que se recomienda limpiar con regularidad la pantalla táctil y la lámina del teclado; basta con un paño con un producto de limpieza espumante para pantallas.
- Mantenimiento en el sistema de sensores: se verifica que la superficie de captación de los sensores se encuentre libre de materias extrañas; es recomendable limpiarlos periódicamente para evitar variaciones en el campo de captación del sensor. Se verifica también que la distancia del sensor hacia la superficie a sensor tanto en la posición de activación y desactivación correspondan a las esperadas de acuerdo al proceso.
- Mantenimiento del sistema neumático en el banco de electroválvulas neumáticas: porque la vida de las válvulas queda determinada por los

ciclos de conmutación realizados. Los cilindros neumáticos quedan determinados por las horas de funcionamiento del vástago. Los periodos indicados en el programa son aplicables a cilindros correctamente montados y con suministro de aire limpio, seco y lubricado. El montaje inadecuado o la mala calidad de aire pueden reducir notablemente la vida útil de los cilindros y, en consecuencia, aumentar los periodos de mantenimiento requeridos.

- Verificación de otros fallos que puedan suscitarse.
  
- Mantenimiento correctivo de la centrífuga Batch.
- 
- No colocarle piezas que no sean las adecuadas.
- 
- Que el mantenimiento sea realizado por el personal encargado con conocimiento en el mismo.

Tabla VI. **Procedimiento de mantenimiento preventivo (sistema neumático)**

<b>Frecuencia</b>	<b>Tareas</b>	<b>Notas</b>
Semanalmente	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Control general de fugas en el propio cilindro.</li> <li>2. Ajuste y alineación de montaje.</li> <li>3. Regulación de amortiguadores.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminar fugas por ajustes.</li> <li>• Programar remplazo.</li> <li>• Montaje defectuoso.</li> <li>• 4. Los movimientos tienen que ser libres, sin ocasionar esfuerzos.</li> </ul>
Cada 500 h recorridos por el vástago	Desguace parcial, limpieza y control de desgaste.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Separar piezas y limpiar.</li> <li>• Limpiar las partes.</li> <li>• Controlar el desgaste en: vástago y guarniciones.</li> <li>• 4. Eliminar causas del desgaste con lubricación o montaje defectuoso.</li> </ul>
Cada 3 000 h recorridos por vástago	Desguace total, limpieza y recambio preventivo de partes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recambio de partes si es necesario.</li> <li>• Lubricar, armar y probar funcionamiento.</li> <li>• 3. Remplazo de piezas si fuere necesario.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

### **5.5. Análisis económico de la indisponibilidad del equipo**

Sobre el análisis de costos, se puede determinar que el impacto económico a causa de la indisponibilidad del equipo por azúcar no envasada por ciclo es de 612 \$/Ciclo, correspondiente a un valor promedio de azúcar refinada en la bolsa de valores de Nueva York de 350 \$/Ton; datos que pueden servir de referencia para generar un análisis de la pérdida de ciclos no producidos por indisponibilidad de la máquina.

Tabla VII. **Peso y costo del azúcar por ciclo de operación no trabajado respecto a 24 ciclos por hora**

<b>Tiempo (h)</b>	<b>Peso de azúcar no envasada (Ton)</b>	<b>Costo total (\$)</b>
1	47,25	\$ 14 700,00
2	94,5	\$ 29 400,00
3	141,75	\$ 44 100,00
4	189	\$ 58 800,00
5	236,25	\$ 73 500,00
12	570	\$ 176 400,00
24	1 140	\$ 352 800,00

Fuente: elaboración propia.

#### **5.6. Costo de la inversión del sistema propuesto**

A continuación, se detallan los costos de la inversión realizada en el proyecto propuesto de mejora.

Tabla VIII. Costos de la inversión al proyecto propuesto

SIEMENS/BMA				
Cantidad	U/M	Descripción	Precio/unidad	Precio/total
1	U	cpu simatic s7-1500	\$ 1 657,00	\$ 1 657,00
1	U	Módulo 16 entradas digitales	\$ 215,00	\$ 215,00
1	U	Módulo de 16 salidas digitales	\$ 229,00	\$ 229,00
1	U	Simatic s7 memory card 3.3v flash, 12 m	\$ 228,00	\$ 228,00
1	U	Fuente de alimentación sit	\$ 245,00	\$ 245,00
1	U	Riel de montaje s7-1500	\$ 33,00	\$ 33,00
1	U	Módulo de comunicaciones profibus dp	\$ 1 133,00	\$ 1 133,00
2	U	Conector frontal 40 pines módulos s7-1 500	\$ 40,00	\$ 80,00
1	U	Módulo de interfaz et200sp	\$ 333,00	\$ 333,00
2	U	Módulos de entradas digitales	\$ 96,00	\$ 192,00
6	U	Módulos de salidas digitales	\$ 79,00	\$ 474,00
2	U	Módulos de entradas analógicas	\$ 192,00	\$ 384,00
1	U	Módulo de salidas analógicas	\$ 244,00	\$ 244,00
6	U	Simatic et200sp baseunit	\$ 30,00	\$ 180,00
5	U	Simatic et200sp baseunit	\$ 17,00	\$ 85,00
4	U	Conectores ethernet 2x2	\$ 21,00	\$ 84,00
1	U	Panel táctil tp1200 comfort	\$ 2 471,00	\$ 2 471,00
25	mts	Cable ethernet industrial 2x2	\$ 3,00	\$ 75,00
1	U	Sirius safety relay with relay release	\$ 320,00	\$ 320,00
1	U	Trans. velocidad ifm dd2003	\$ 576,34	\$ 576,34
1	U	Kit automatización centrifuga	\$ 9 462,25	\$ 9 462,25
1	U	Sensor de vibración salida 4-20 ma	\$ 3 774,00	\$ 3 774,00
3	U	Sensores de desbalance nc 24 volts dc	\$ 300,00	\$ 900,00
1	U	Servicio técnico puesta en marcha	\$ 2 774,00	\$ 2 774,00
<b>Costo total</b>			<b>\$</b>	<b>26 148,59</b>

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. La migración del sistema de centrífuga Wester State incrementa el número de ciclos de operación de 23 ciclos a 27 ciclos promedio por hora.
2. Al incrementar el nivel de seguridades en la máquina se incrementa el porcentaje de disponibilidad de la máquina debido a menos fallos mecánico en un 23 %.
3. El costo de la inversión del proyecto se paga en un tiempo  $t=16,42$  horas de operación de la centrífuga de azúcar refinada.
4. El impacto económico del peso y el costo del azúcar por lote que no se envasa en promedio es de \$ 14 700 por hora de producción por centrífuga.



## RECOMENDACIONES

1. Al jefe de producción: aplicar al proceso de centrifugado, la propuesta de mejora y actualización continua a las máquinas el sistema de control obsoleto con el fin de que sea rentable, paralelo a un análisis de costo/beneficio en el Ingenio Magdalena
2. Al operario: a utilizar las máquinas con el nuevo sistema de mejora trabajarlas a una carga normal sin exceder la carga a la cual está diseñada la máquina, ya que esto podría ocasionar daños irreparables al funcionamiento de la máquina.
3. Al instrumentista: ajustar los sensores de vibración y de desbalance de la máquina en una frecuencia no menor a un mes, para establecer el buen funcionamiento de las protecciones de la máquina.
4. Al ingeniero de proyecto: utilizar todos los elementos descritos en la propuesta de diseño ya que fueron seleccionados por su robustez y la experiencia del personal que puso la puesta en marcha del equipo.
5. Al ingeniero de proyecto: realizar todas las pruebas necesarias con los ingenieros de turno y operarios para lograr la satisfacción en el uso de la centrífuga en sus horas de operación para sacar el mayor provecho en el aumento en los ciclos de trabajo de producción por hora.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Cengicaña. *Eventos históricos y logros*. Guatemala: Artemis Edinter, 1992. 302 p.
2. \_\_\_\_\_. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. Guatemala: Artemis Edinter, 2014. 291 p.
3. Novatec. *Fluis Systems S.A. Soluciones confiables, sistemas y equipos para el manejo, control, dosificación y agitación de fluidos*. Colombia: Novatec Co, 2007. 450 p.
4. Siemens. *Manual del sistema de automatización S7 200*. México: Siemens Ag, 2000. 184 p.
5. \_\_\_\_\_. *Manual del sistema de automatización S7 200*. 6a ed. México: Siemens Ag, 2004. 265 p.
6. \_\_\_\_\_. *Sitrain simatic pcs7*. México: Siemens Ag, 2004. 581 p.
7. Titan 1925. *Batch Centrifugal/ ws*. United States: The Western States Machine Company, 2007. 320 p.



## APÉNDICE

### Apéndice 1. **Manual de diseño. Sistema automatizado de centrifugadora de azúcar tipo Batch para el incremento de ciclos y seguridades en el ingenio**

Anotación: el siguiente contenido presenta las instrucciones del diseño del sistema automatizado de centrifugadora de azúcar tipo Batch para el incremento de ciclos y seguridades en el ingenio.

La siguiente guía está dirigida al personal operativo de producción de las áreas de: a) azúcar refinada; b) azúcar blanca; y, c) azúcar morena; áreas en relación al proceso de centrifugado de azúcar tipo Batch del ingenio para el diseño del sistema automatizado de centrifugadora de azúcar tipo Batch para el incremento de ciclos y seguridades en el Ingenio.



Continuación del apéndice 1.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Inicio.....	1
Información de la unidad.....	1
Instrucciones del manual.....	2
Características.....	3
Diagrama de bloques del diseño para la implementación de la mejora a centrifugadora de azúcar tipo Batch para el incremento de ciclos y seguridades.....	4
Generalidades.....	4
Figura 1. Ejecución del ciclo de operación de un PLC.....	5
Figura 2 Proceso automatizado con la máquina.....	6
Figura 3. Ciclo de operación de un PLC S7-300 y S7-400 fabricados por Siemens.....	7
Figura 4. Etapas de integración de los elementos de automatización del diseño propuesto.....	9
Lógica de control del sistema automatizado implementado.....	10
Inicio de ciclo.....	10
Continuación del apéndice 1.	
Buscando velocidad de carga.....	10
Confirmación de velocidad de carga.....	11
Se acciona el control de carga.....	11
Abrir válvula de carga.....	12
Confirmación de carga completa .....	12
Cerrar compuerta de carga.....	13
Buscar velocidad de lavado.....	13
Alcanzado la velocidad de centrifugado.....	14

Continuación del apéndice 1.

Buscando velocidad de descarga.....	14
Confirmación de velocidad de carga.....	15
Se acciona el sistema de descarga de azúcar.....	15
Se busca velocidad de lavado de telas.....	16
Pantallas de control.....	17
Diagramas de control eléctrico y conexión de equipos.....	19
Diagrama 01.....	19
Diagrama 02.....	20
Diagrama 03.....	21
Diagrama 04.....	22
Diagrama 05.....	23
Diagrama 06.....	24
Diagrama 07.....	25
Diagrama 08.....	26
Diagrama 09.....	27
Diagrama 10.....	28
Diagrama 11.....	29
Diagrama 12.....	30
Diagrama 13.....	31
Diagrama 14.....	32
Programa fuente PLC.....	33

Continuación del apéndice 1.

## Inicio

- Información de la unidad
  - Diseño del sistema automatizado a implementar: (PLC SIMATIC S7-1500)
    - Se realizará el sistema de automatización que permitirá que un equipo opere en forma automática; se desarrolla independientemente de la intervención humana, con el uso de algoritmos, indicadores y actuadores, entre otros.
    - El software/hardware, para el PLC SIMATIC S7-1500 está compuesto por: CPU 1511-1 PN con memoria de programa de 150 kbytes y 1 Mbyte de datos, capacidad para montaje de módulos de expansión para entradas y salidas analógicas y digitales, puertos de comunicación Profibus y Profinet y una capacidad de ampliación hasta 16 módulos de expansión.
    - La CPU S7-1500 con Modo RUN, panel de auto sintonización PID, asistente de registro de datos, temporizadores de intervalos (BITIM, CITIM), direccionamiento indirecto soportado en más tipos de memoria, incremento automático del bloque de datos, expansión para módulos de entradas y salidas analógicas y dos puertos de comunicación.

Continuación del apéndice 1.

- Módulo de ampliación de entradas y salidas digitales: 16 entradas digitales y el módulo 16x24VDC/DQ-16x24VDC/0.5A BA.
- Instalación de actuadores: cilindros neumáticos, electroválvulas y actuador neumático.
- Transductores: transductores para el monitoreo de vibración y transductores para el monitoreo de desbalance.
- Redes industriales: implementación de la tecnología Fieldbus (bus de campo).



**Precaución**

## Continuación del apéndice 1.

- Instrucciones del manual
  - No consumir alimentos líquidos dentro de la unidad para que el sistema no tenga algún derramamiento de líquidos que lo pueda dañar.
  - Tener a la vista el manual para que pueda inquirir en los procedimientos y las precauciones del diseño del sistema automatizado de centrifugado implementado.
  - Tener en cuenta el sensor de vibraciones de alarmas para tener el incremento de seguridades de la máquina y el operador de la misma.
  - Al no funcionar correctamente el sistema automatizado de centrifugadora de azúcar tipo Batch para el incremento de ciclos y seguridades en el ingenio, tiene que comunicarse inmediatamente con el técnico o encargado de la unidad.
  - No operar el sistema automatizado y ningún módulo de entrada y salidas, sin la autorización e inspección del encargado del sistema diseñado.
  - No abrir el gabinete en donde se encuentra el PLC SIMATIC S7-1500, sin previa autorización e inspección del encargado del sistema diseñado.

Continuación del apéndice 1.

- Características

El diseño es un sistema automatizado para la mejora de producción de ciclos de la centrifugadora tipo Batch para que opere en una forma automática; para la mejora en su producción de ciclos y seguridades propias para el resguardo del personal operativo de las mismas y cuidado de la máquina. También, para aumentar el tiempo de disponibilidad de la máquina en tiempo de zafra.

El sistema automatizado integrará un programa y sistemas periféricos los cuales estarán interactuando con el operador por medio de una pantalla gráfica instalada en el equipo que se comunicará vía Profibus al PLC SIMATIC S7-1500 y al variador de velocidad. En dicha pantalla se desplegaron los datos promedios de ciclos por hora, el monitoreo de la posición de los cilindros neumáticos, sistemas de vibración, sistema de desbalance y datos eléctricos del variador de frente activo que realizará el movimiento de la máquina.

Este sistema automatizado busca reducir los tiempos de ciclo de cada etapa de funcionamiento e incrementar las seguridades desde el comienzo hasta el final del ciclo de operación. Con estas mejoras se espera que los ciclos por hora se incrementen de 20 ciclos por hora a 23 o 24 ciclos por hora. Se logra con esto un incremento en la producción de azúcar producida por máquina y la reducción en el personal operativo de las máquinas. Es necesario que el usuario se familiarice con los parámetros indicados en este manual antes de utilizar el sistema automatizado para funcionar correctamente.

Continuación del apéndice 1.

- Diagrama de bloques del diseño para la implementación de la mejora a la centrifugadora de azúcar tipo Batch para el incremento de ciclos y seguridades
  - Generalidades

El diseño utiliza la lógica en el lenguaje de programación del PLC S7-300 de Siemens; además, los gráficos que serán presentados en la pantalla táctil para facilitar el control de la máquina en función de las fases de operación de las etapas de centrifugado.

El siguiente sistema automatizado es para transferir tareas de producción para optimizar el tiempo y reducir los costos en mano de obra en operarios, con un conjunto de elementos tecnológicos de automatización en un sistema diseñado para que realice tareas de manera automática evaluando cada variable del proceso; aumenta así la eficiencia del proceso realizado para reducir los tiempos de ciclo de cada etapa de funcionamiento e incrementar las seguridades desde el comienzo hasta el final del ciclo de operación.

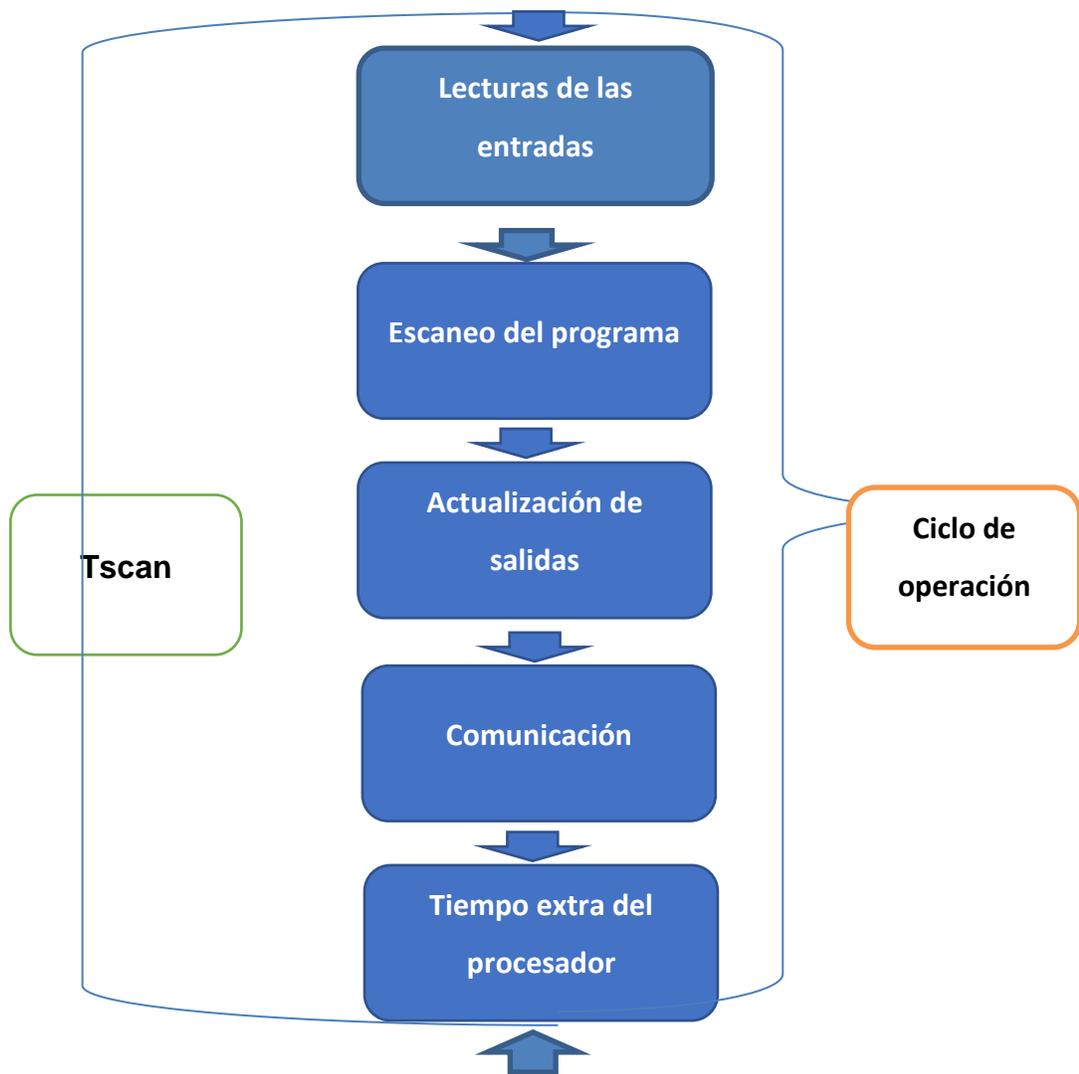
Se determinan los mecanismos técnicos y automatizados para que el sistema implementado se opere automáticamente, bajo las instrucciones del proceso para el control de las directrices y variables que intervienen en este diseño de sistema automatizado de centrifugadora de azúcar tipo Batch para el incremento de ciclos y seguridades en el ingenio que cuenta con dos partes: a) parte operativa; y, b) parte de mando.

Continuación del apéndice 1.

¿Cómo funciona el sistema automatizado con sus partes principales? a) la parte operativa actúa directamente sobre la máquina, la cual realiza una acción mecánica para que la máquina realice tareas deseadas en el proceso. Algunos ejemplos de estas partes son: motores, válvulas, cilindros, entre otros, los cuales pueden tener un tipo especializado en interfaces de usuario gráficas, similares a Windows; b) la parte de mando suele ser un autómata programable, se encuentra en el centro del proceso, analiza variables, los procesa y toma decisiones de la programación de su lógica de proceso, este tiene que comunicarse con todos los constituyentes del proceso.

Continuación del apéndice 1.

Figura A-1. **Ejecución del ciclo de operación de un PLC**



Fuente: elaboración propia.

## Continuación del apéndice 1.

La organización del ciclo puede estar fijada de manera rígida o elegirse entre las siguientes opciones:

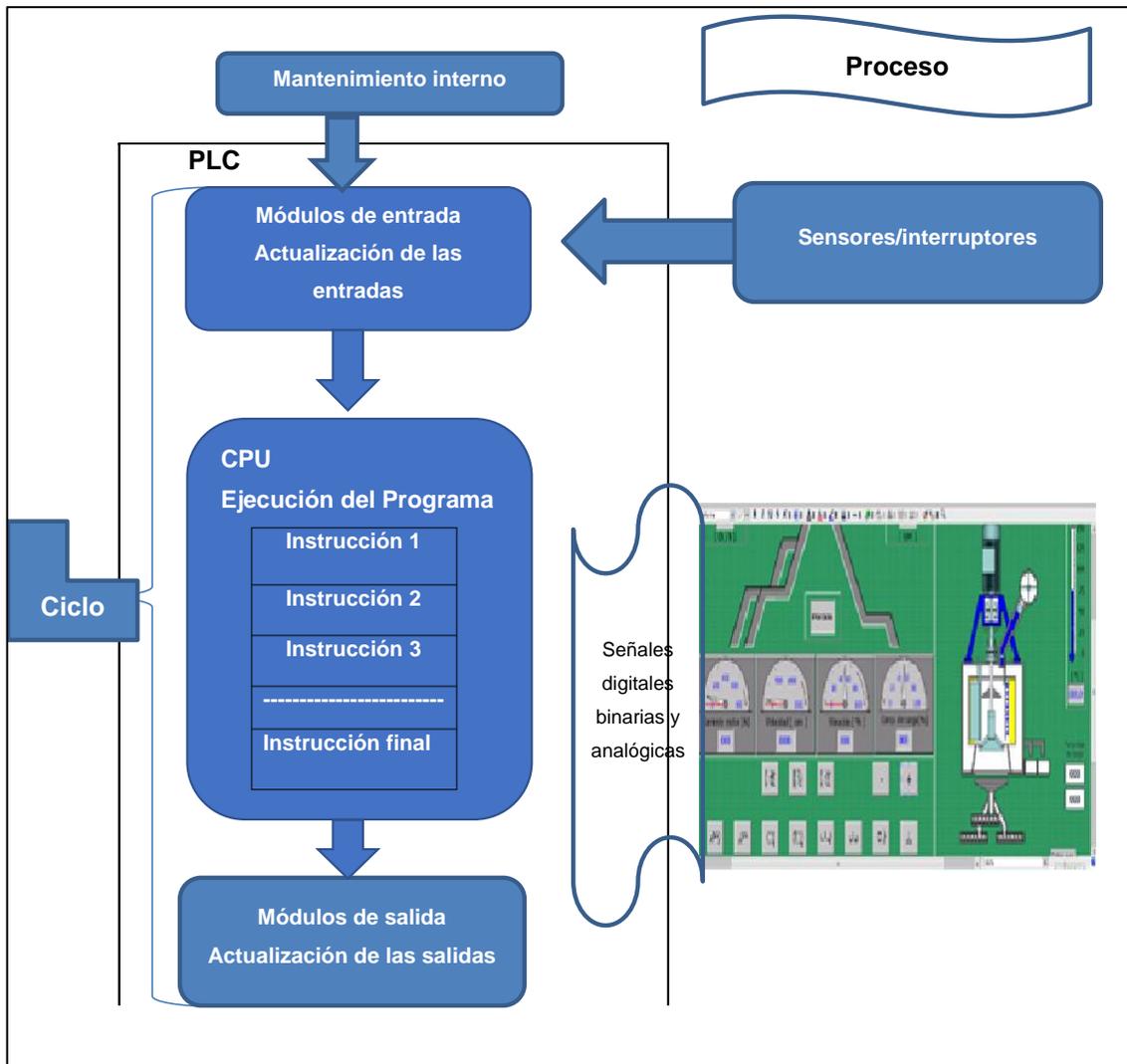
- Todas las entradas se visitan al comienzo del ciclo y las salidas se actualizan después de resolver todas las ecuaciones.
- Todas las entradas se visitan al comienzo del ciclo y las salidas se actualizan después de resolver cada ecuación.
- Todas las entradas se visitan cada mes, mientras que las salidas se actualizan cuando existen ciertas condiciones.

Los principales intervalos de tiempo son:

- Tiempo de escaneo del programa-TSCAN/tiempo total de ciclo-Tcycle.
- Tiempo de respuesta-response-un intervalo de tiempo entre el cambio de una señal de entrada y el cambio de salida, relacionado a ella. Depender de la estructura y de lógica del programa.

Continuación del apéndice 1.

Figura A-2. **Proceso automatizado con la máquina**



Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 1.

En las figuras A y B se generaliza sobre el ciclo de escaneo típico que se observa en las dos figuras diseñadas, sobre la ejecución del ciclo de operación de un PLC.

Según la figura C, para el PLC S7-300 y S-7400 y STEP7 el proceso cíclico de programación se controla por OB1 (OB-bloque de organización); después de encender la fuente de alimentación y de poner el CPU en el modo RUN, OB 1 es llamado y se reproduce el procesado de cada ciclo del PLC hasta que el CPU se para o se apaga la fuente de alimentación. Mientras OB1 este continuamente procesando, la mayoría de los bloques tienen que ser llamados por el mismo.

- Etapas de integración del diseño propuesto

En las etapas de integración de los elementos de automatización del diseño propuesto se realiza en dos etapas, por lo que el esquema de la implementación es:

- Primera etapa: se implementa un sistema con un mecanismo en el cual las barras de los cilindros no estén en contacto con los vapores de la canasta, dando así mayor confiabilidad y vida útil a la máquina; aumenta así los tiempos de disponibilidad de la máquina.

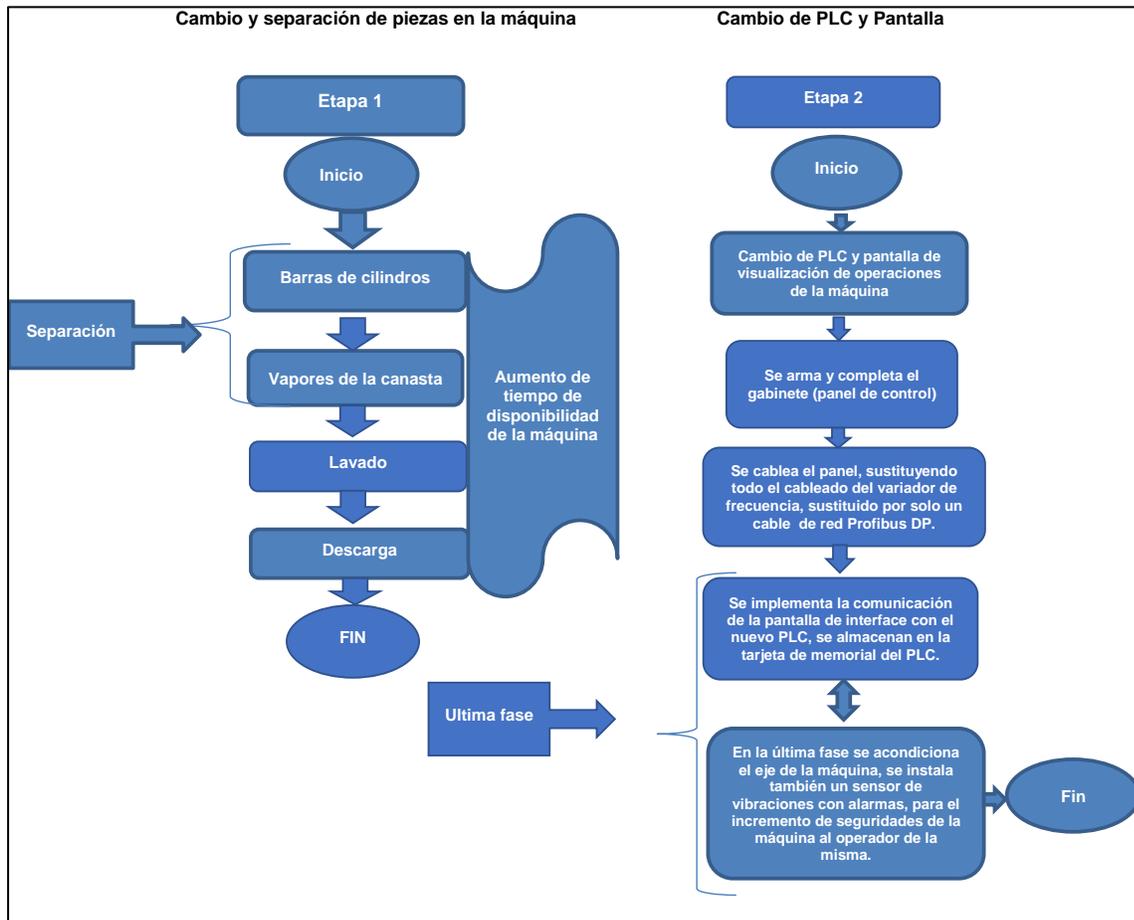
Continuación del apéndice 1.

- Segunda etapa: se realiza un cambio del PLC y la pantalla de visualización de operaciones de la máquina; adicionalmente, se arma un gabinete donde será montado en un cuarto de máquinas con condiciones ambientales controladas para un mejor control y vida útil de los equipos. Este trabajo es realizado en un lapso de dos meses, tiempo en el cual se cablea dicho panel de control y se sustituye todo el cableado que se tenía hacia el variador de frecuencia, el cual es sustituido por un único cable de Red Profibus DP.

Con la implementación de la comunicación de la pantalla de interface con un nuevo PLC, se logran almacenar todos los parámetros de operación en una tarjeta de memoria con la que cuenta el PLC. En esta última fase se acondiciona el eje de la máquina para instalar un sensor de vibraciones con alarmas, para el incremento de seguridades tanto a la máquina como al operador de la misma.

Continuación del apéndice 1.

Figura A-3. **Etapas de integración de los elementos de automatización del diseño propuesto**



Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 1.

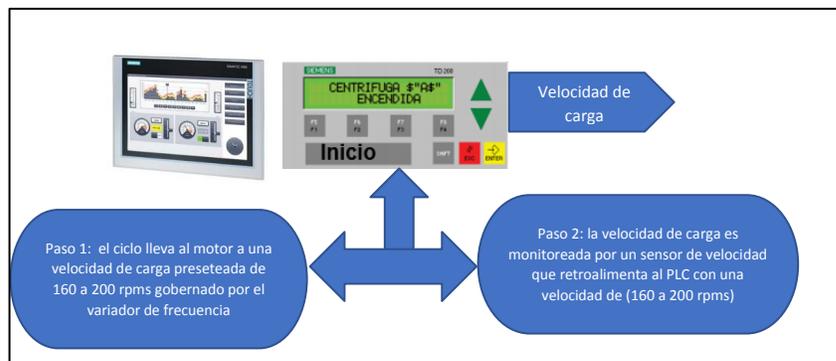
- Lógica de control del sistema automatizado a implementar
  - Inicio del ciclo

Figura A-4. Inicio del ciclo



Fuente: elaboración propia.

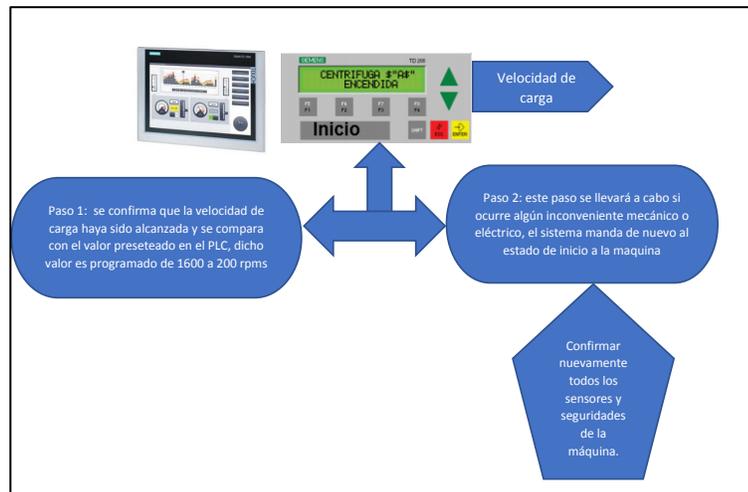
Figura A-5. Buscando velocidad de carga



Fuente: elaboración propia.

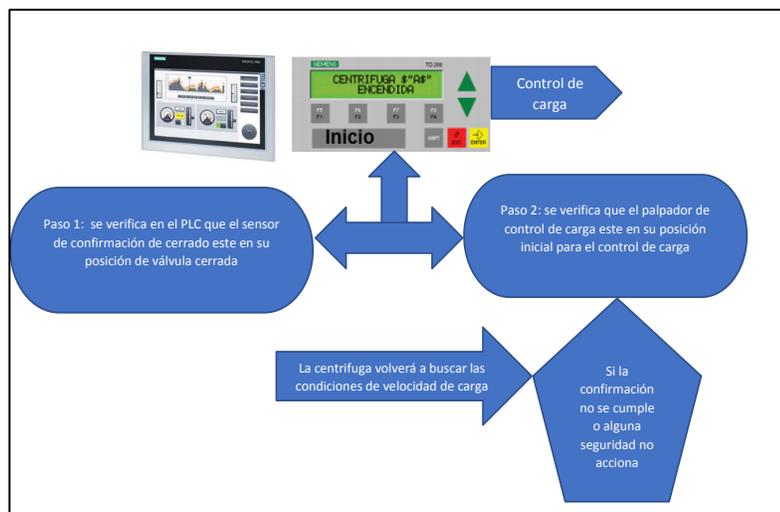
Continuación del apéndice 1.

Figura A-6. **Confirmación de velocidad de carga**



Fuente: elaboración propia.

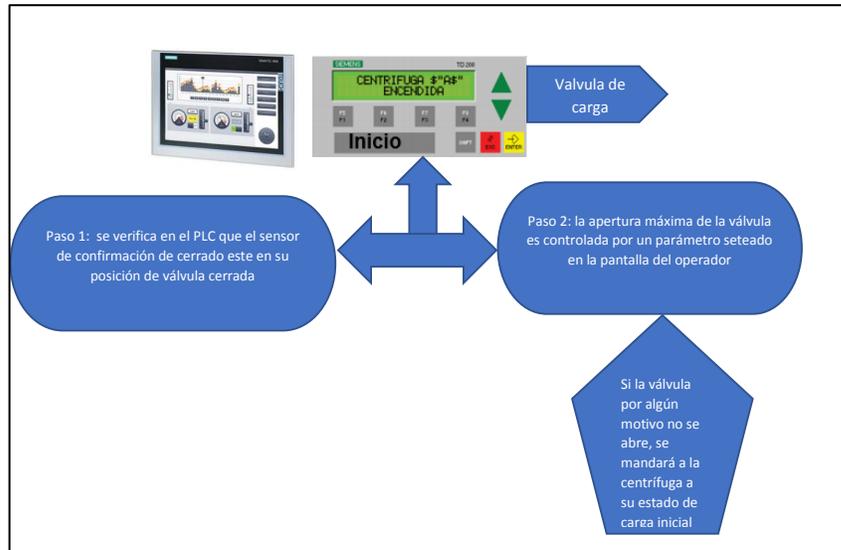
Figura A-7. **Se acciona el control de carga**



Fuente: elaboración propia.

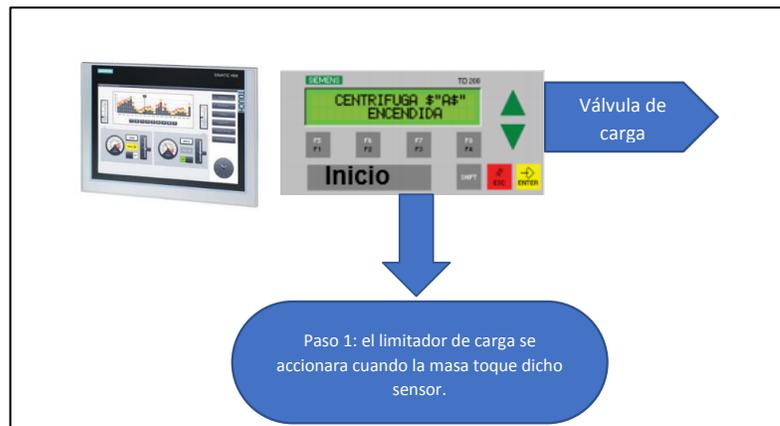
Continuación del apéndice 1.

Figura A-8. **Abrir la válvula de carga**



Fuente: elaboración propia.

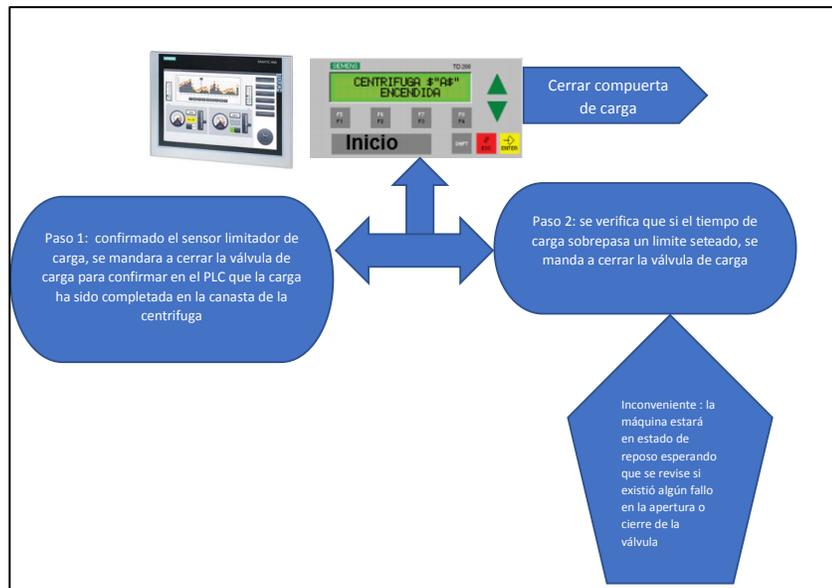
Figura A-9. **Confirmación de carga completa**



Fuente: elaboración propia.

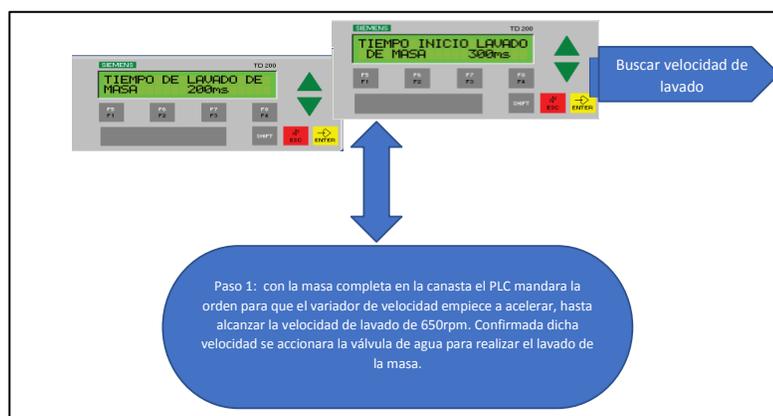
Continuación del apéndice 1.

Figura A-10. **Cerrar compuerta de carga**



Fuente: elaboración propia.

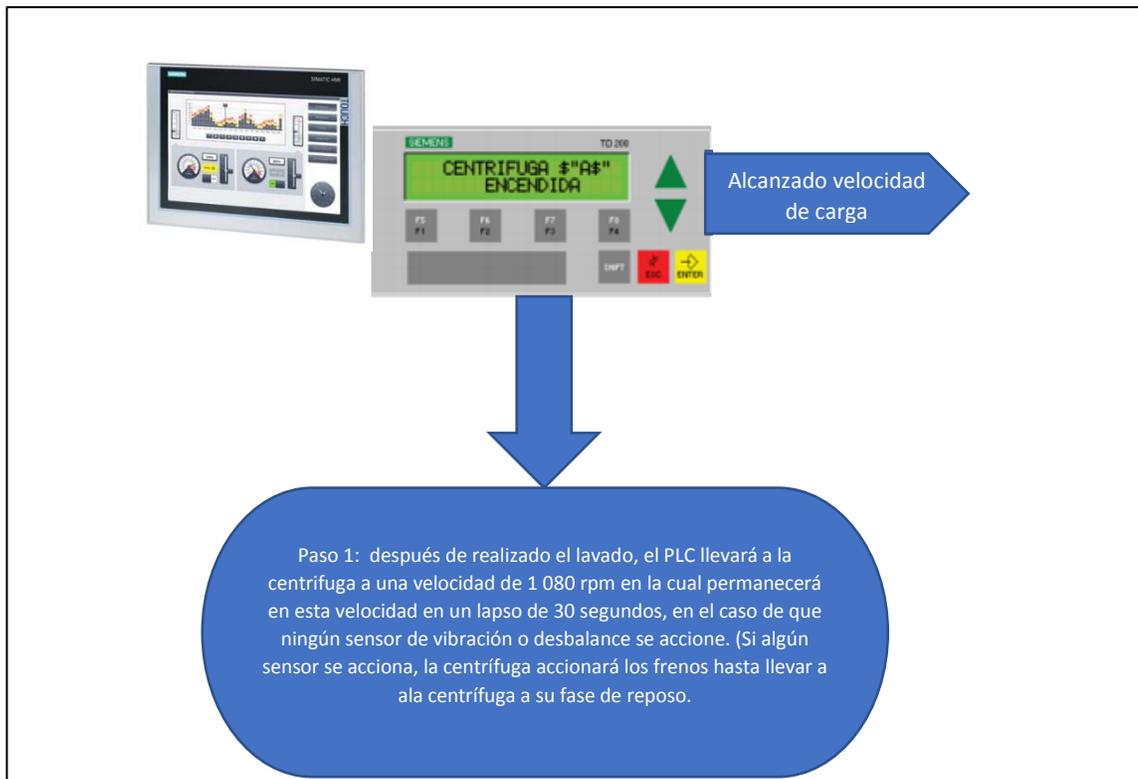
Figura A-11. **Buscar velocidad de lavado**



Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 1.

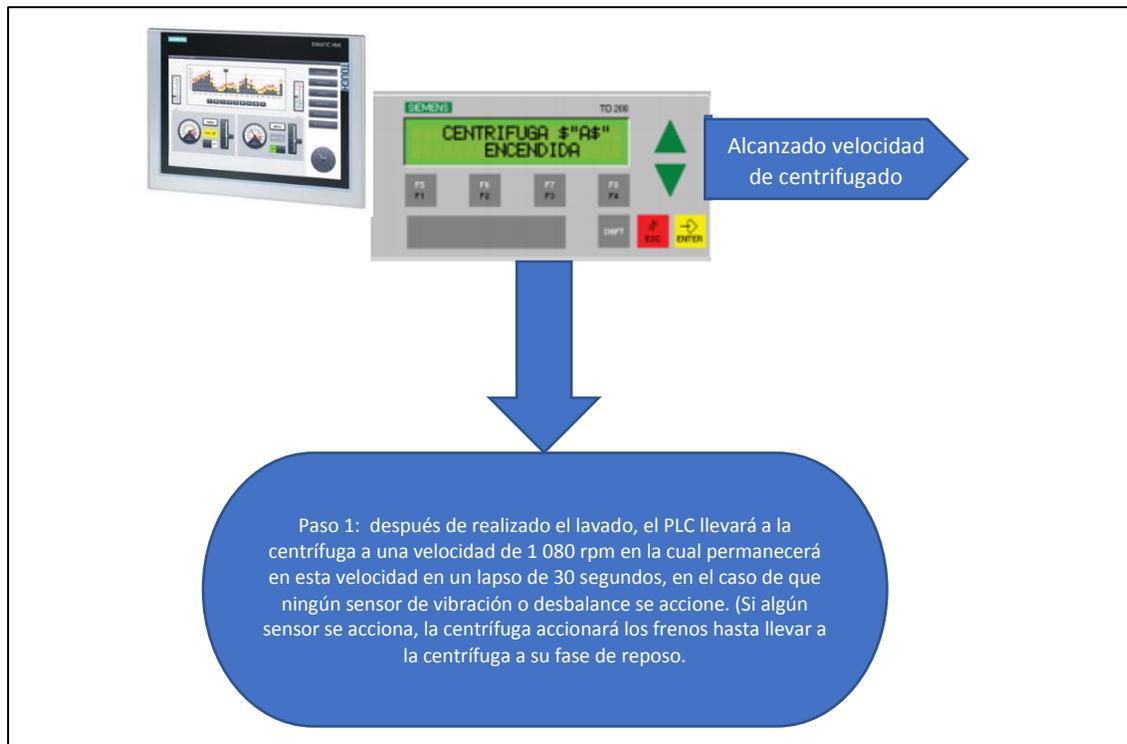
Figura A-12. **Alcanzando la velocidad de centrifugado**



Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 1.

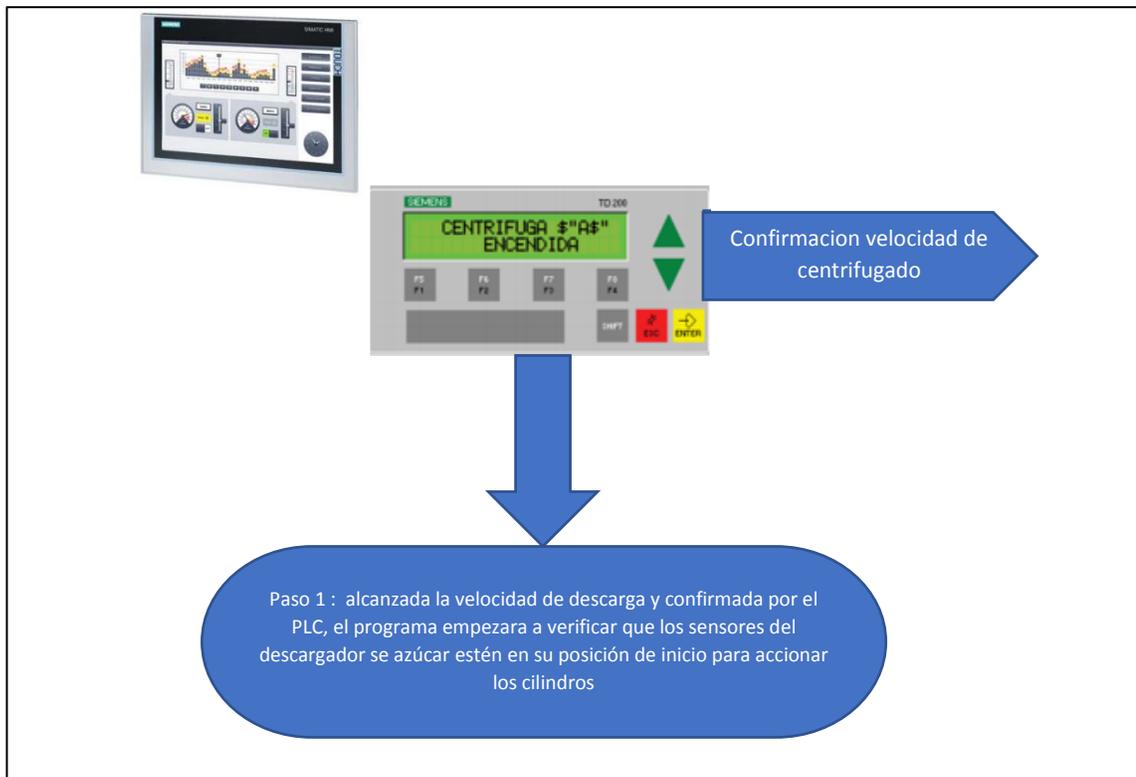
Figura A-13. **Busqueda velocidad de carga**



Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 1.

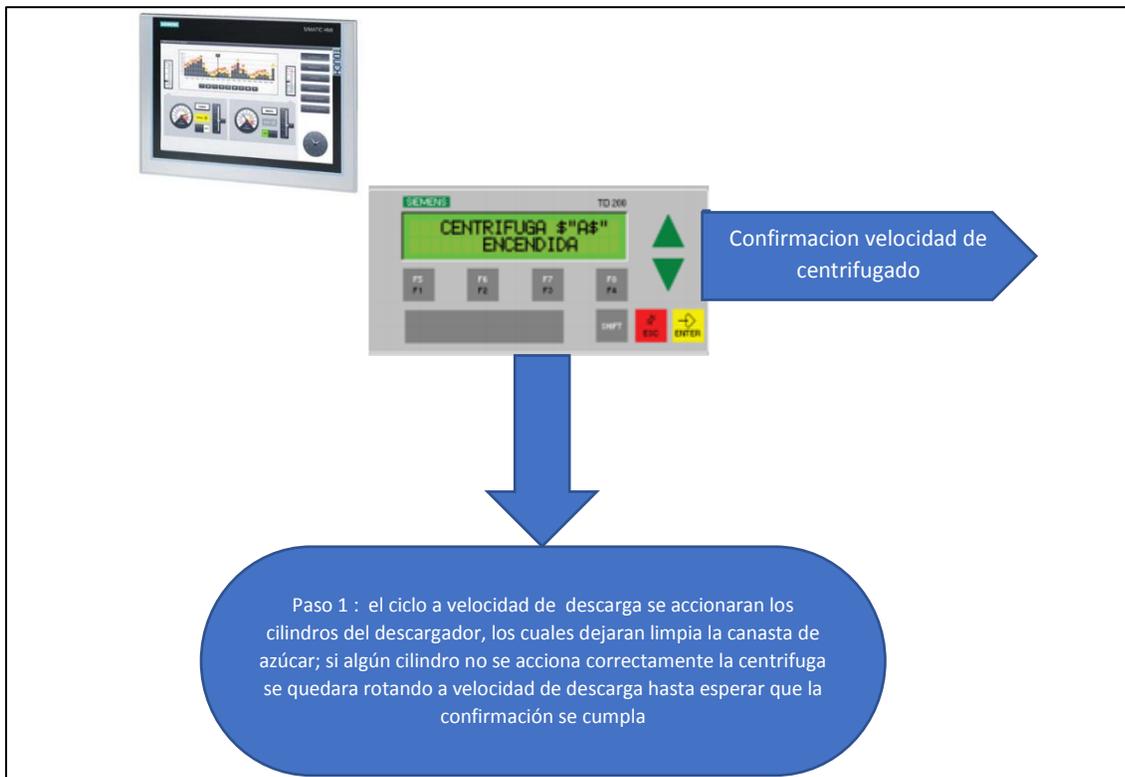
Figura A-14. **Confirmación de velocidad de descarga**



Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 1.

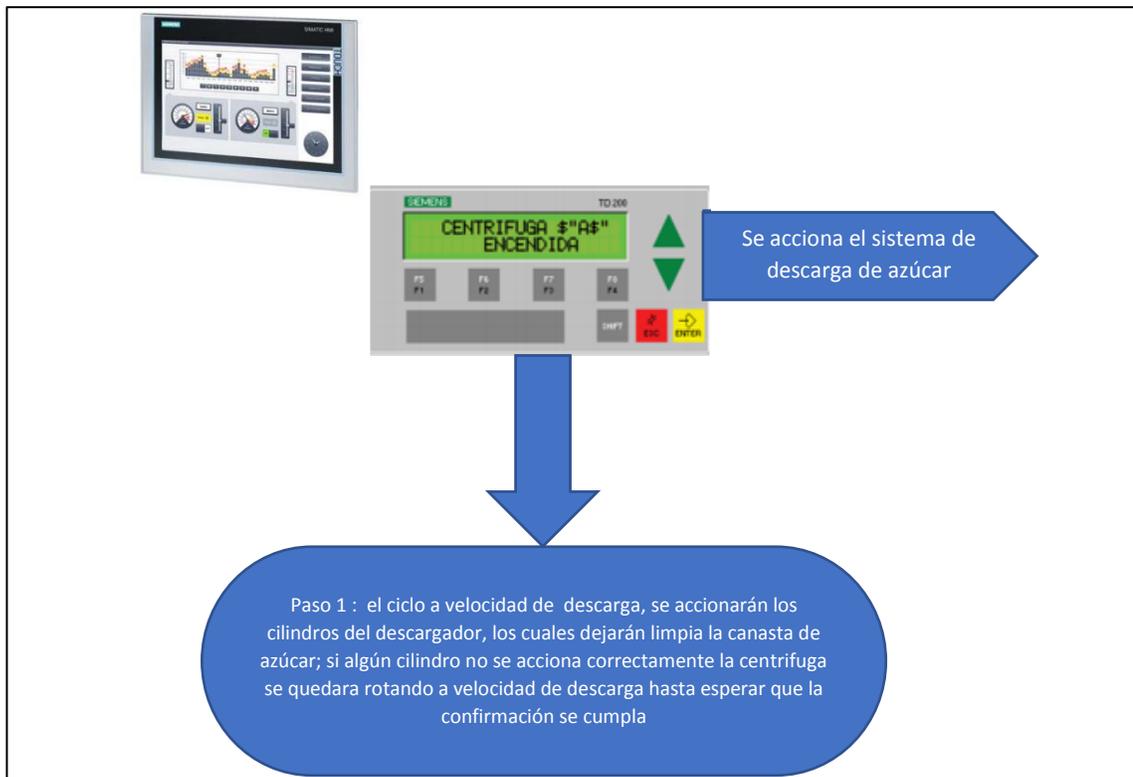
Figura A-15. **Se acciona el sistema de descarga de azúcar**



Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 1.

Figura A-16. **Busqueda de la velocidad del lavado de telas**

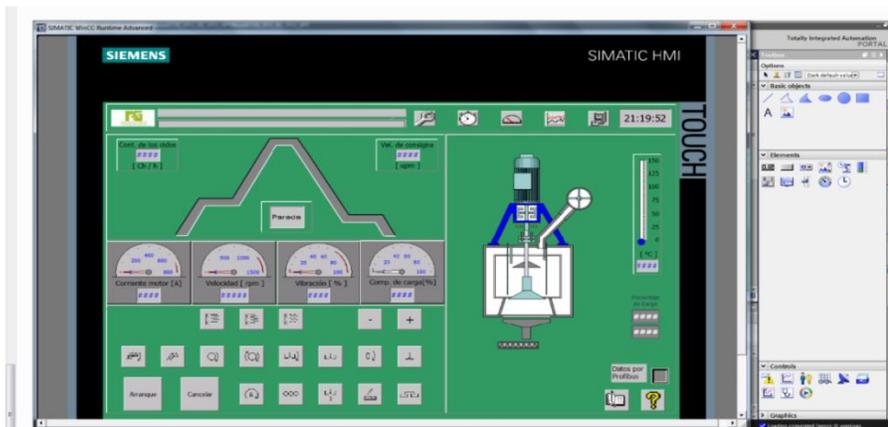


Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 1.

- Pantallas de control

Figura A-17. Control de centrifuga pantalla tipo touch



Fuente: elaboración propia, empleando Graficos WinCC Felxible.

Figura A-18. Pantalla tipo touch, tiempos tecnológicos



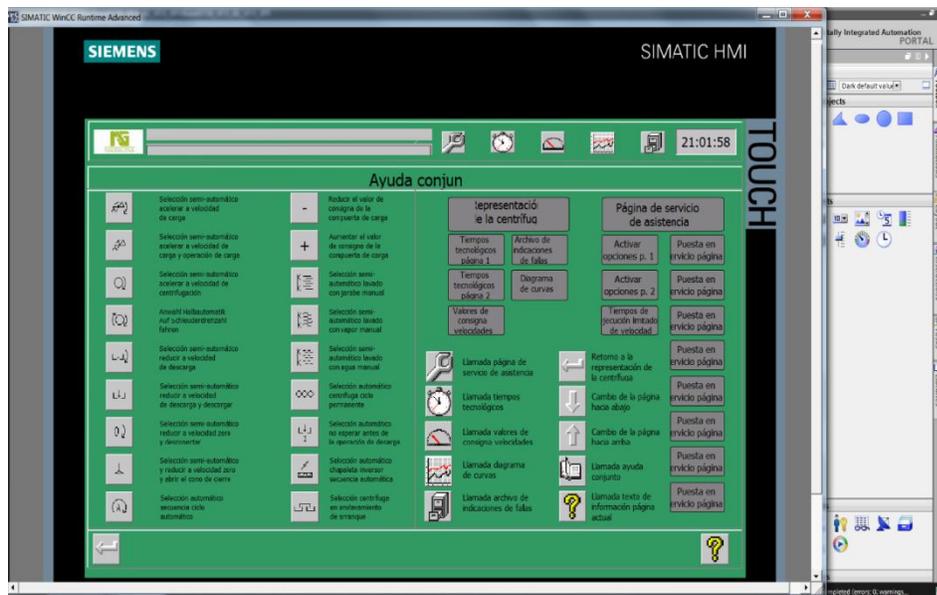
Fuente: elaboración propia, empleando Graficos WinCC Felxible.

Continuación del apéndice 1.



Fuente: elaboración propia, empleando Graficos WinCC Felxible.

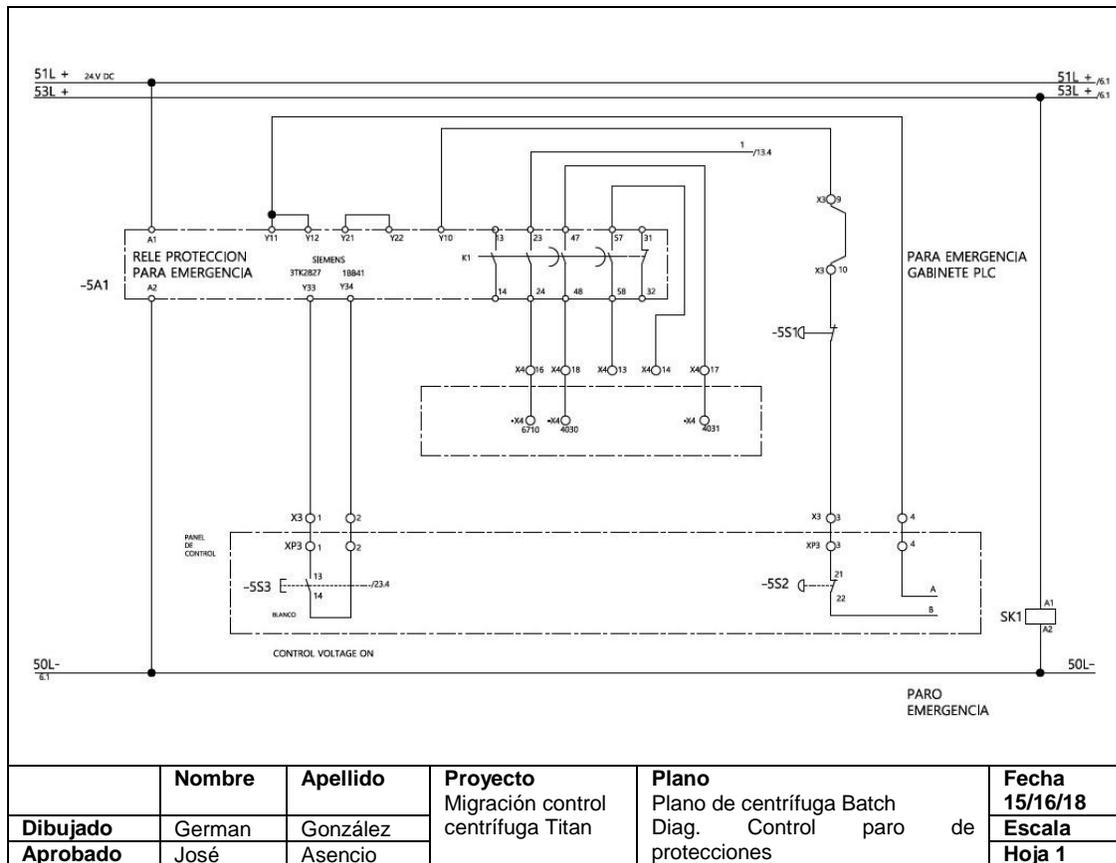
Figura A-19. Pantalla tipo touch, ayuda conjunta



Fuente: elaboración propia, empleando Graficos WinCC Felxible.

Continuación del apéndice 1.

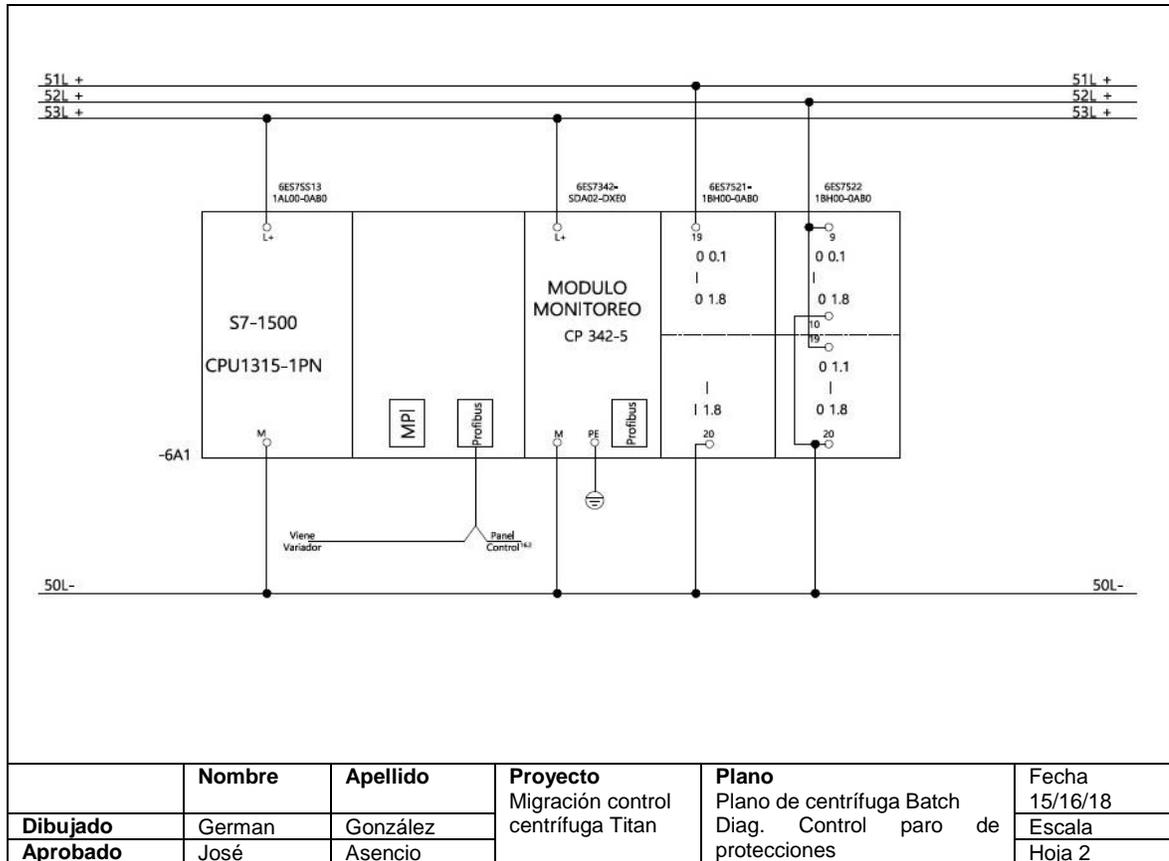
Figura A-20. Diagrama 01, paro de protecciones



Fuente: elaboración propia, empleando Graficos WinCC Felxible.

Continuación del apéndice 1.

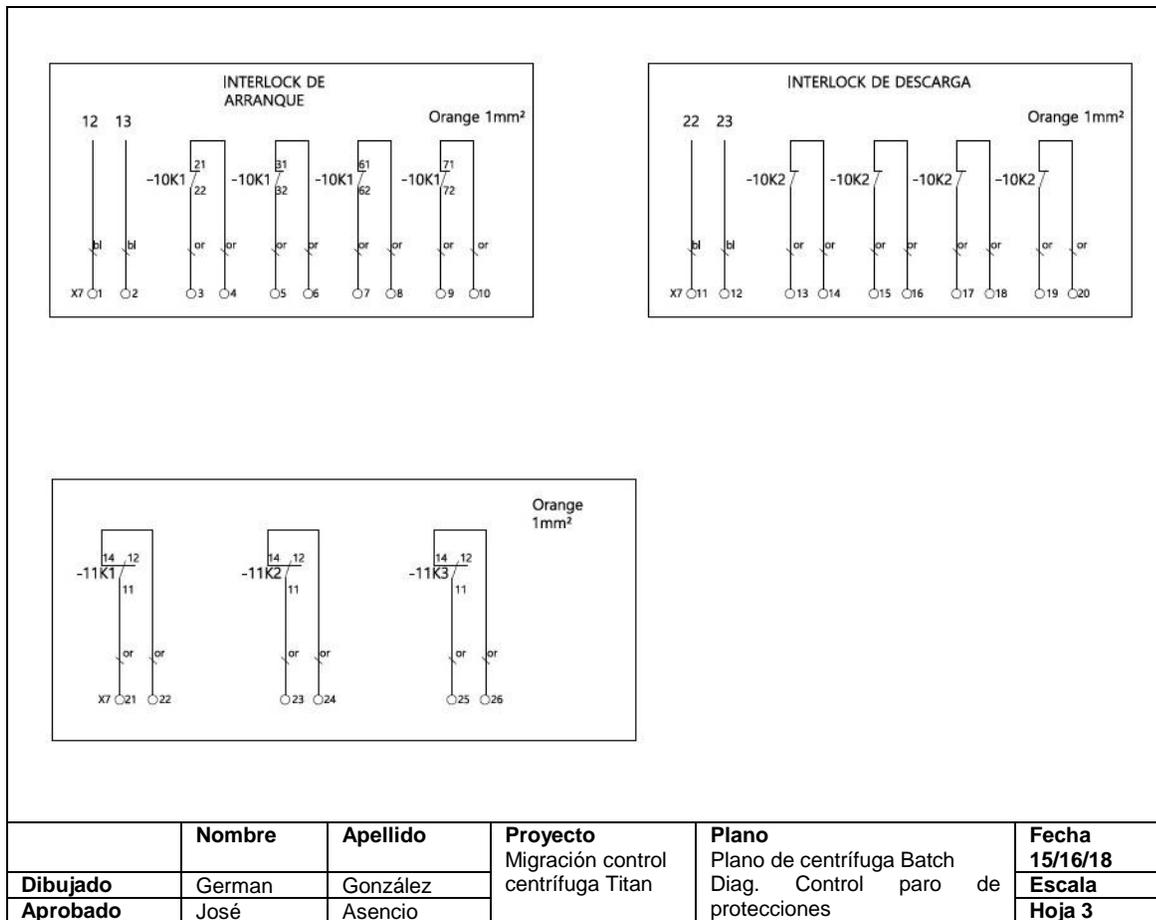
Figura A-21. **Diagrama 02, plano de centrífuga Batch Simatic S7-1500**



Fuente: elaboración propia, empleando Graficos WinCC Flexble.

Continuación del apéndice 1.

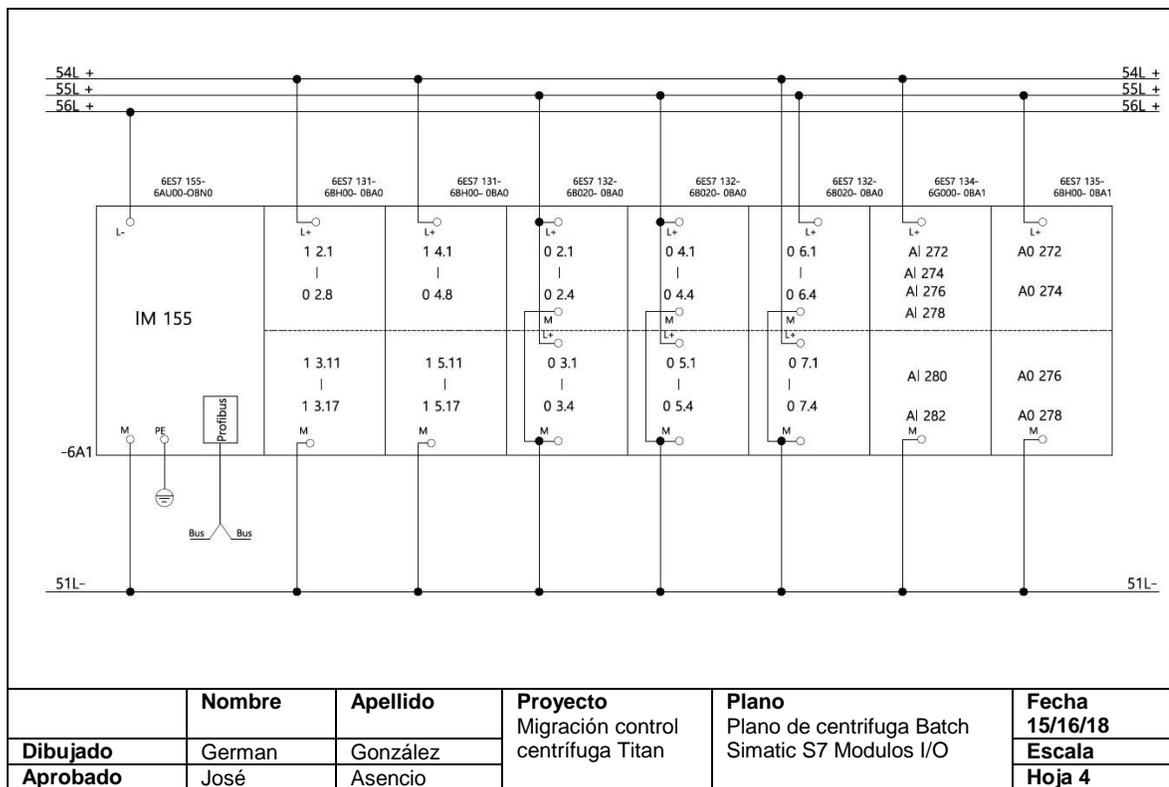
Figura A-22. Diagrama 03, plano centrífuga Batch Interlock



Fuente: elaboración propia, empleando Graficos WinCC Felxible.

Continuación del apéndice 1.

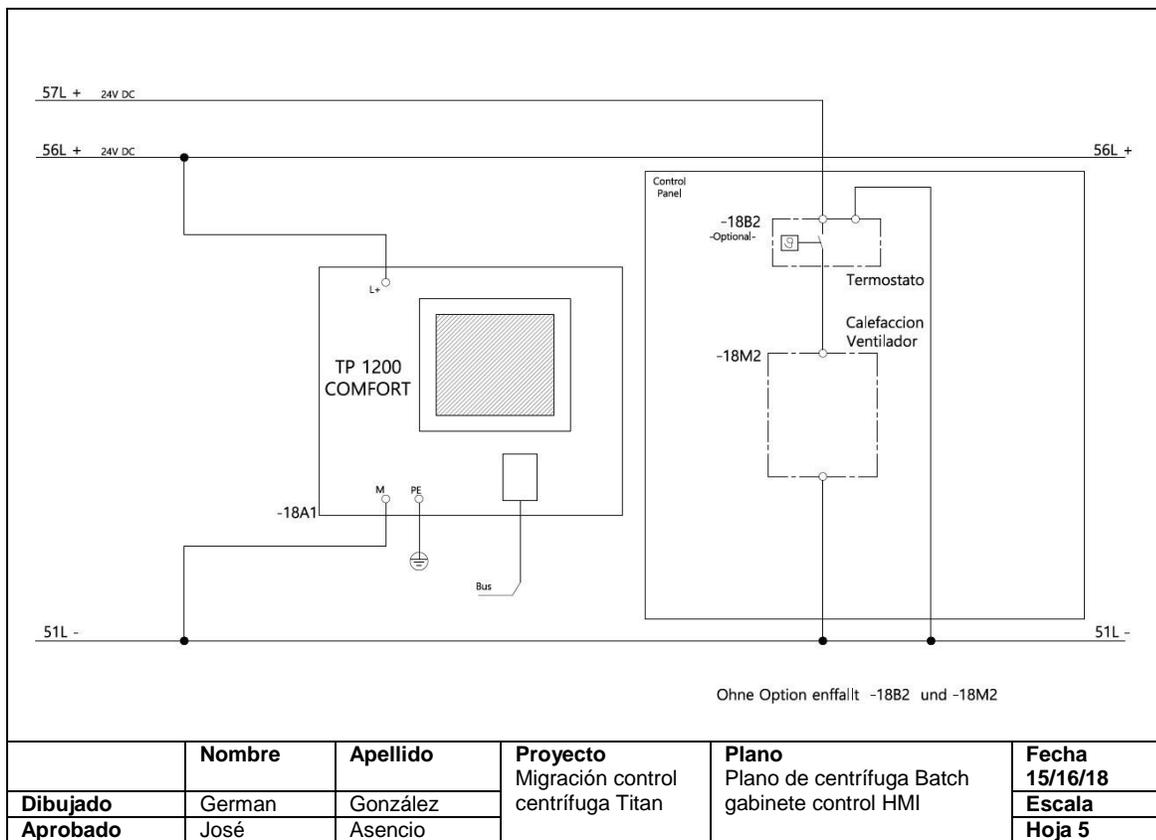
Figura A-23. **Diagrama 04, plano de centrífuga Batch Simatic S7 módulos I/O**



Fuente: elaboración propia, empleando Graficos WinCC Felxible.

Continuación del apéndice 1.

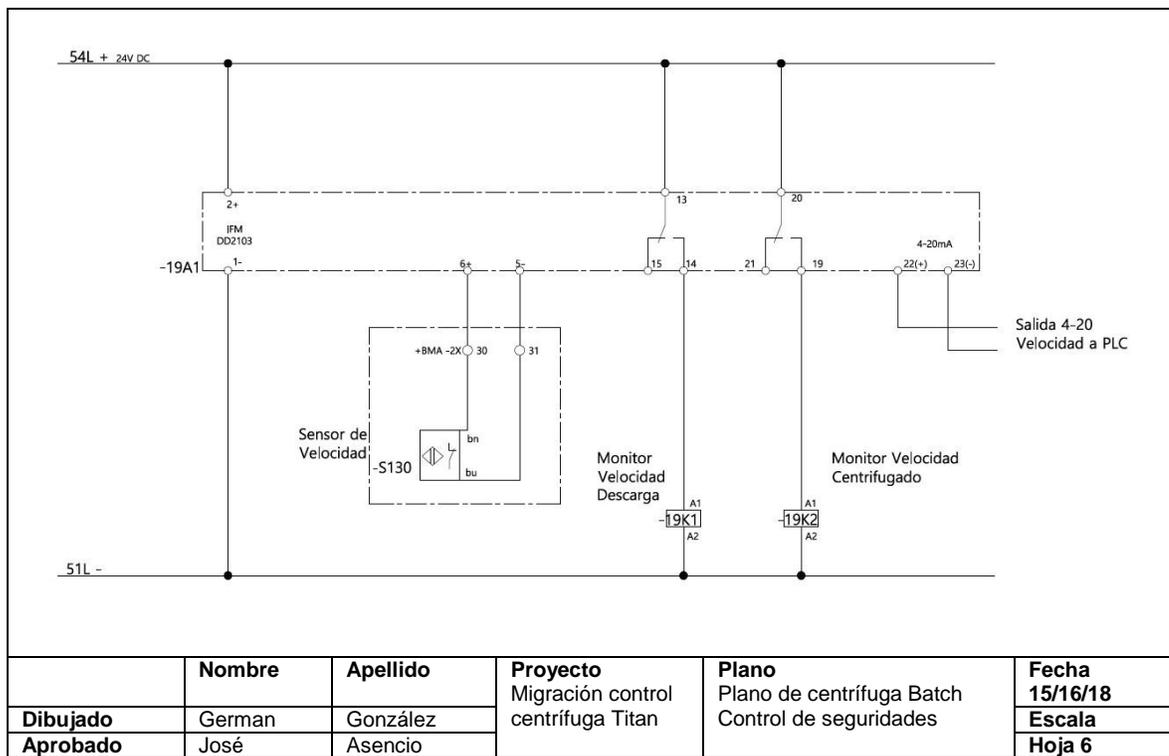
Figura. A-24. **Diagrama 05, plano de centrifuga Batch, gabinete control HMI**



Fuente: elaboración propia, empleando Graficos WinCC Felxible.

Continuación del apéndice 1.

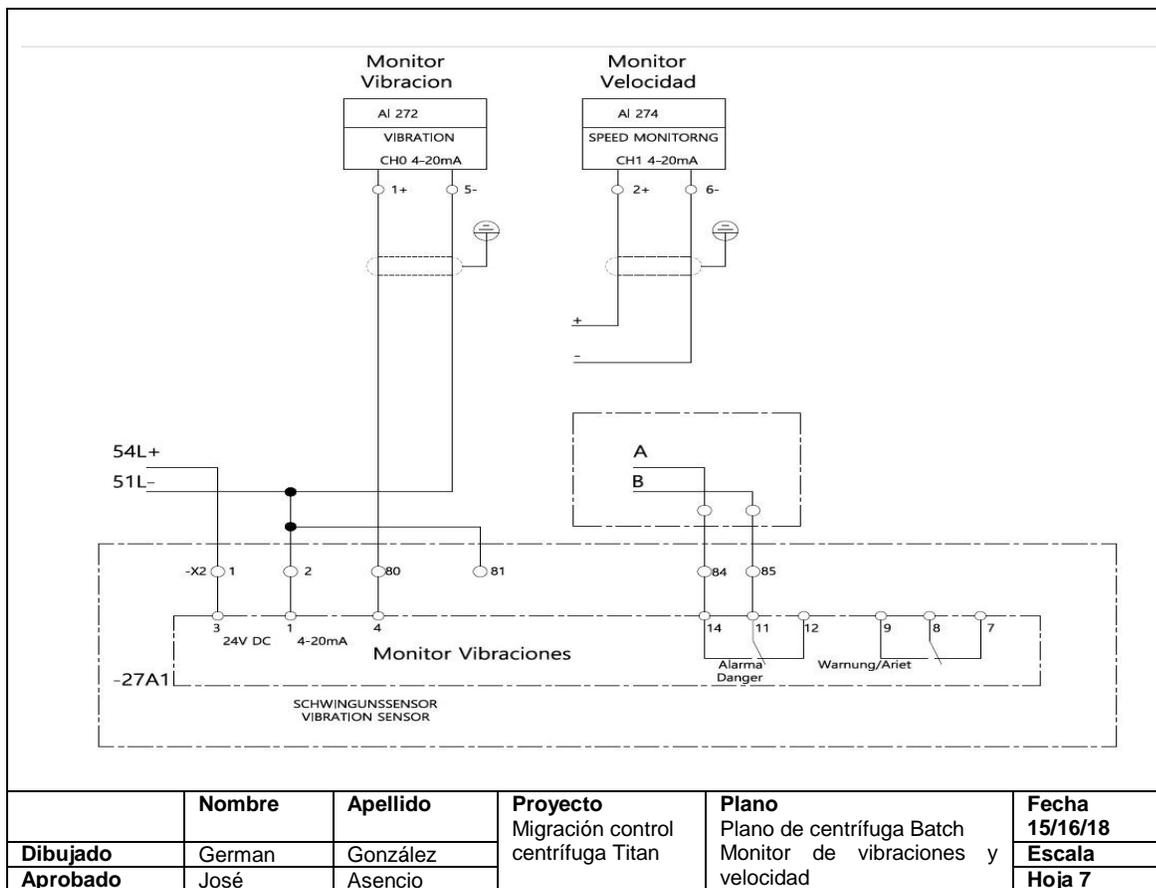
Figura A-25. **Diagrama 06, plano de centrífuga Batch, control de seguridades**



Fuente: elaboración propia, empleando Graficos WinCC Felxible.

Continuación del apéndice 1.

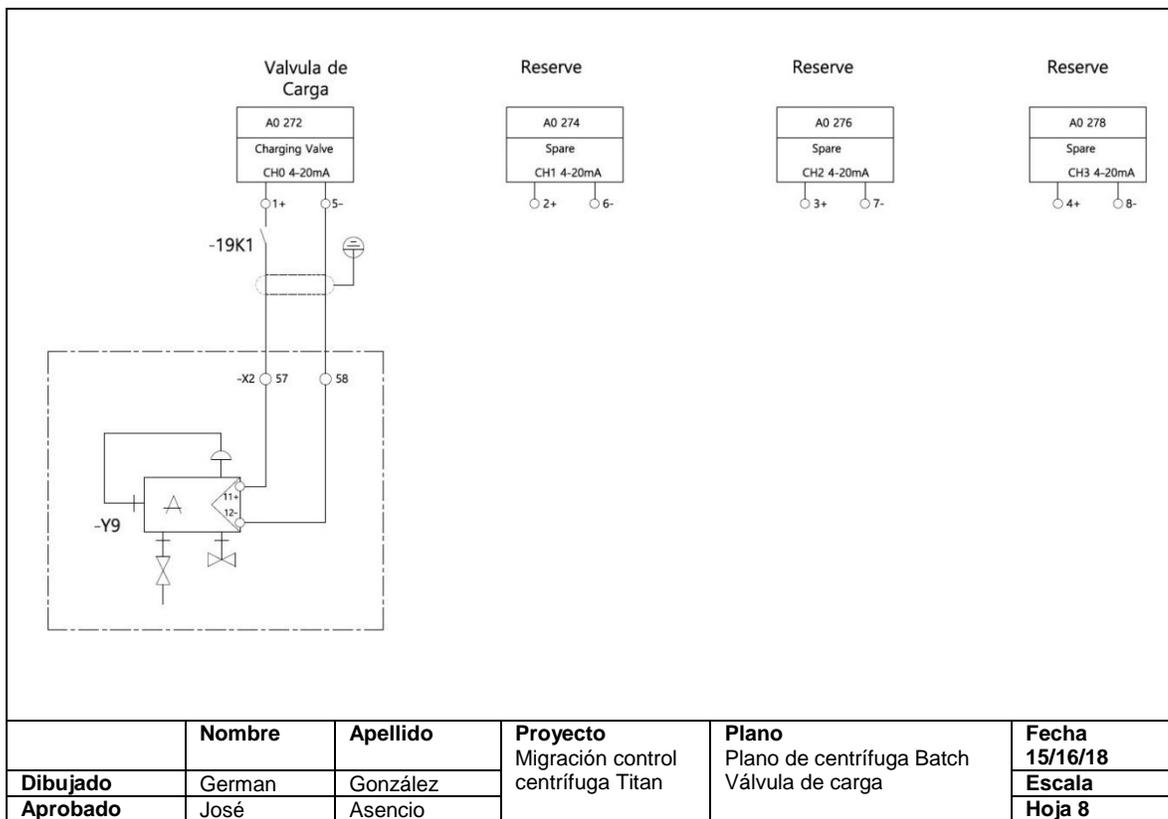
Figura A-26. **Diagrama 07, plano de centrífuga Batch, control de seguridades**



Fuente: elaboración propia, empleando Graficos WinCC Felxible.

Continuación del apéndice 1.

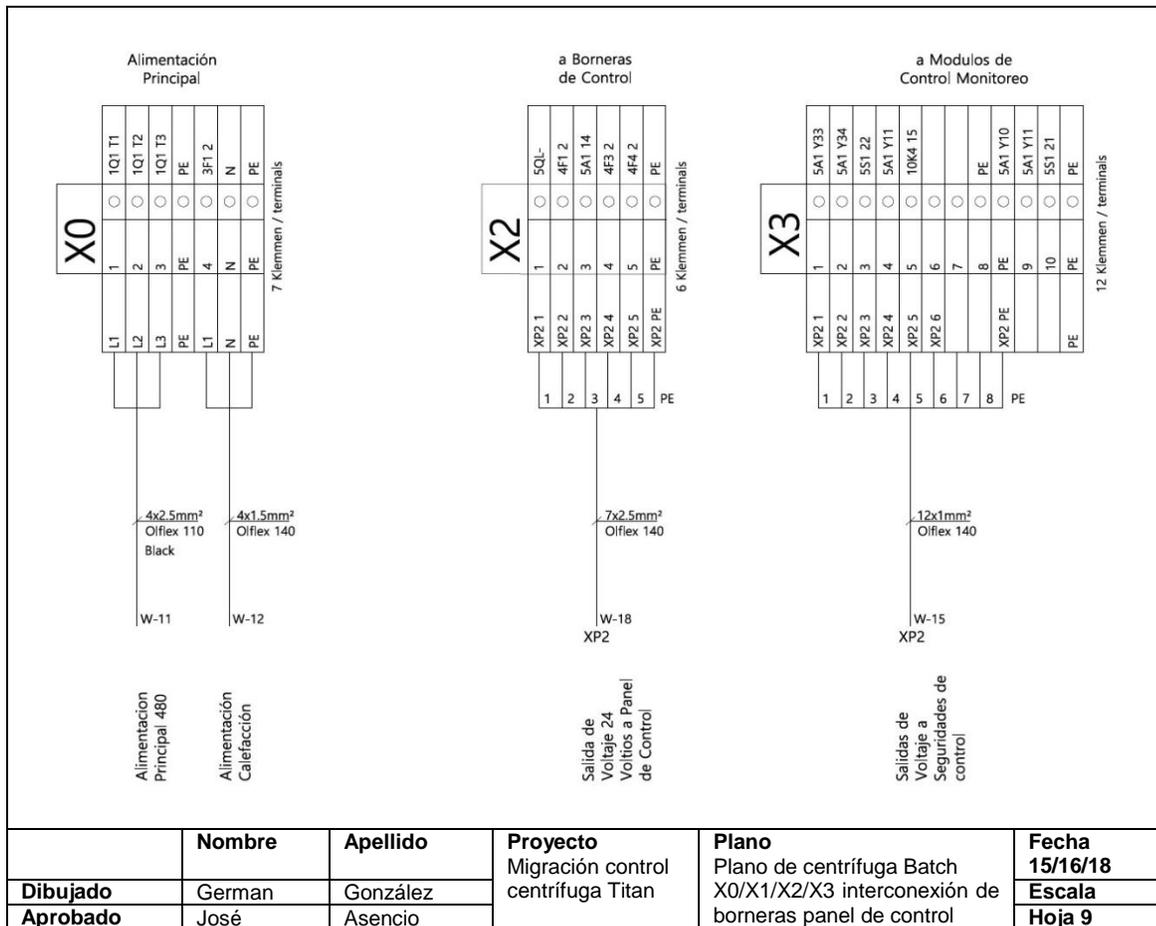
Figura A-27. **Diagrama 08, plano de centrífuga Batch, válvula de carga**



Fuente: elaboración propia, empleando Graficos WinCC Felxible.

Continuación del apéndice 1.

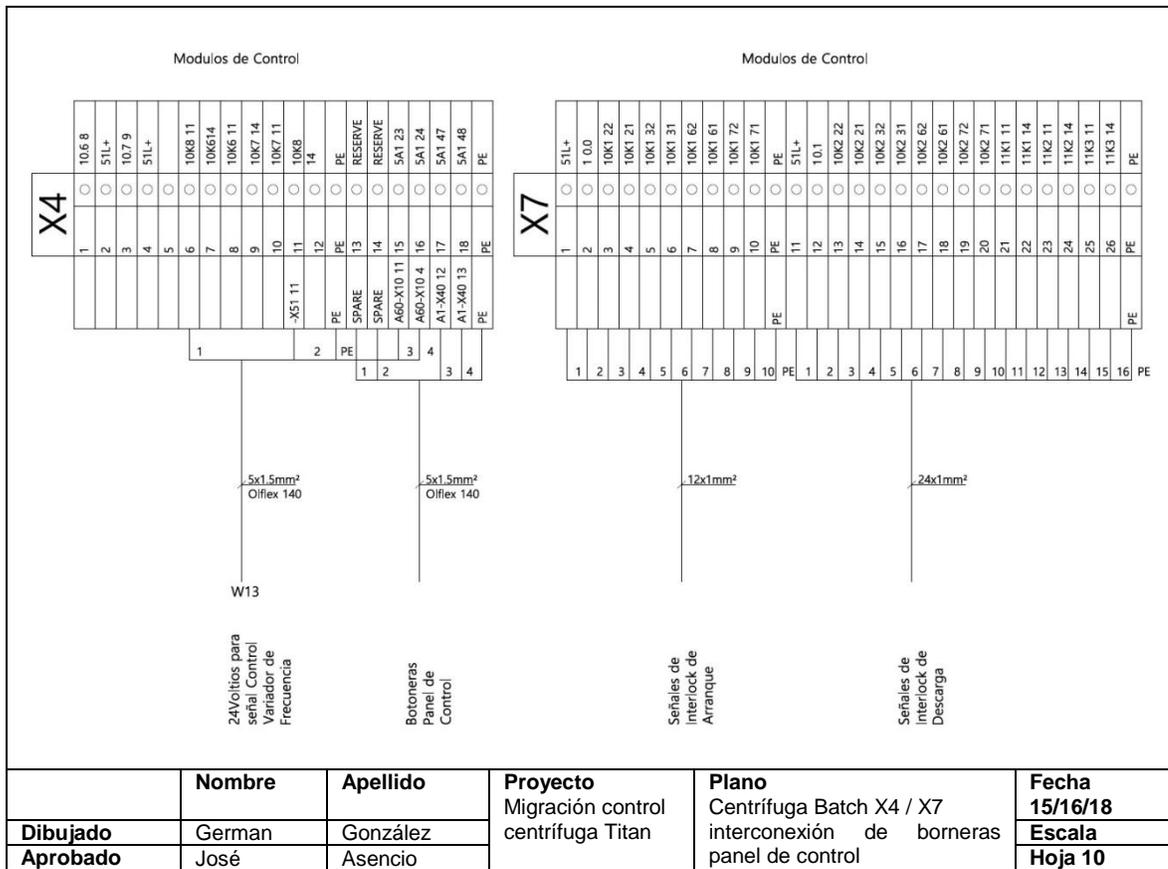
Figura A-28. Diagrama 09, plano de centrifuga Batch X0/X1/X2/X3, interconexión de borneras panel de control



Fuente: elaboración propia, empleando Graficos WinCC Felxible.

Continuación del apéndice 1.

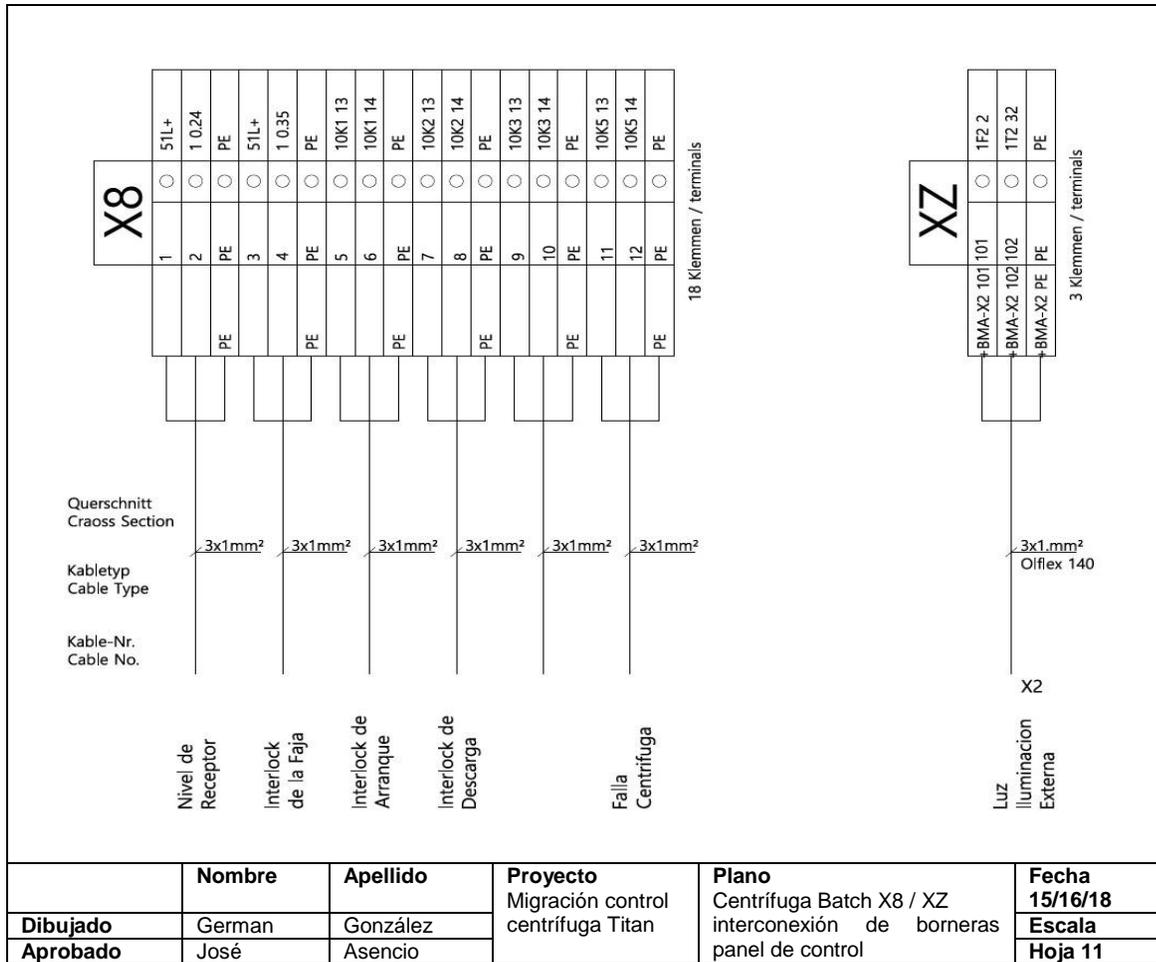
Figura A-29. **Diagrama 10, plano de centrífuga Batch X4/X7, interconexión de borneas panel de control**



Fuente: elaboración propia, empleando Graficos WinCC Felxible.

Continuación del apéndice 1.

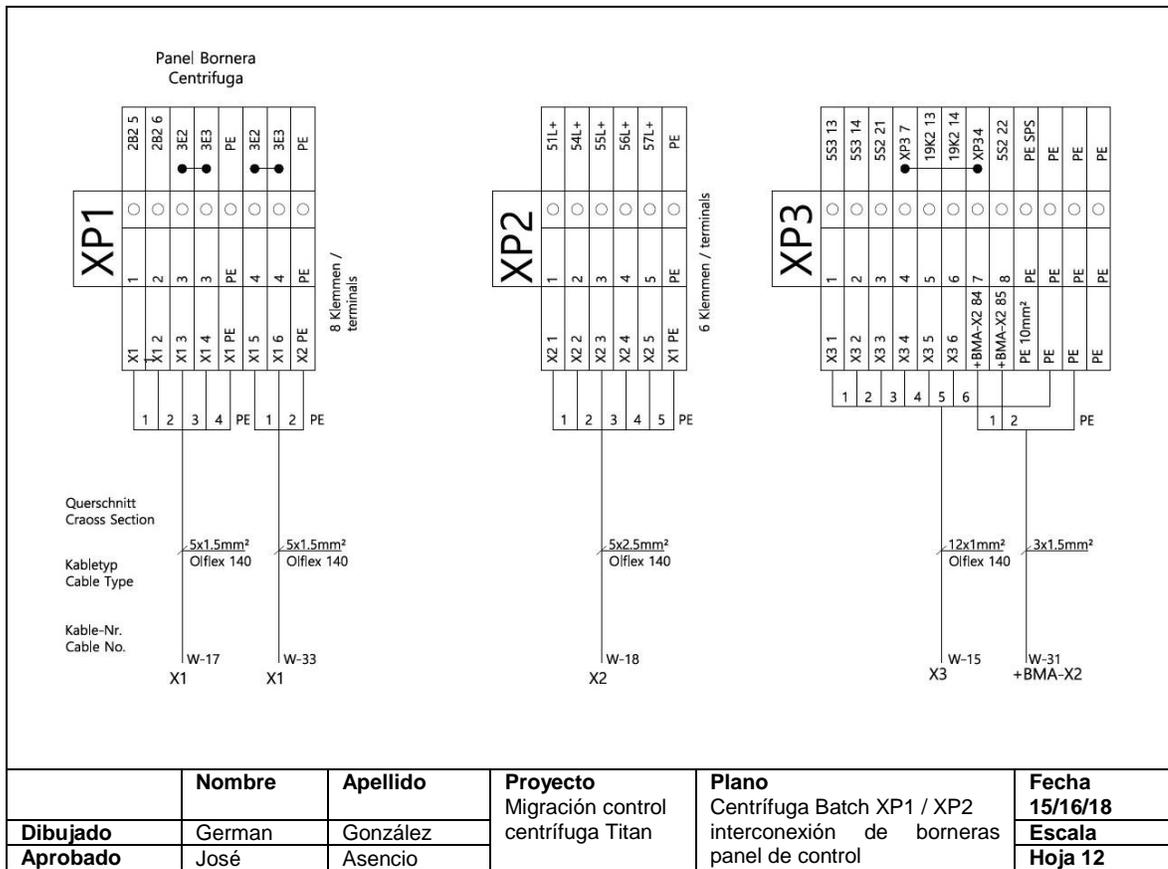
Figura A-30. Diagrama 11, plano de centrífuga Batch X8/X2 interconexión



Fuente: elaboración propia, empleando Graficos WinCC Felxible.

Continuación del apéndice 1.

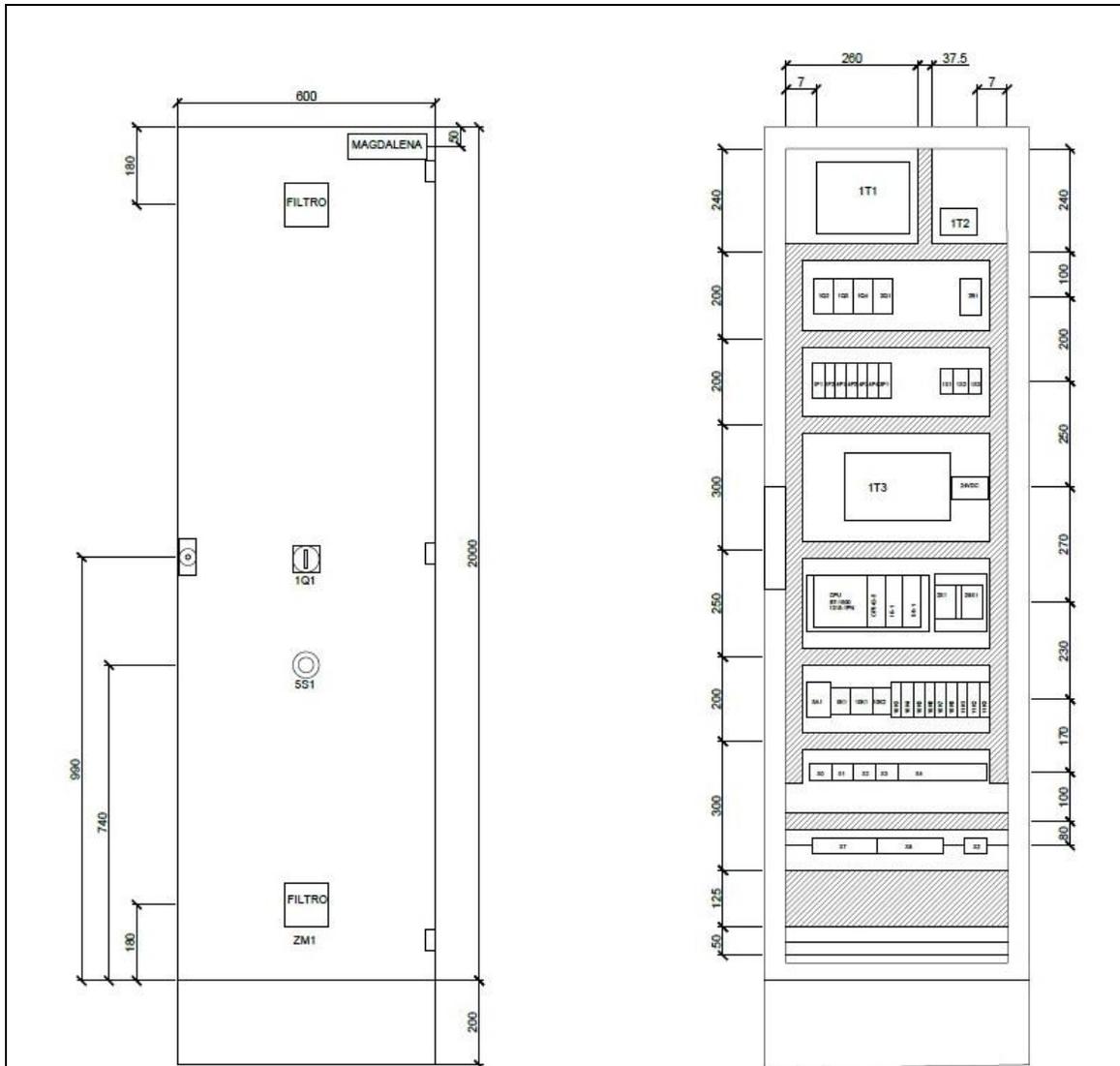
Figura A-31. **Diagrama 12, plano de centrifuga Batch XP1/XP2/XP3 Inter. de borneras panel de Ctrl**



Fuente: elaboración propia, empleando Graficos WinCC Felxible.

Continuación del apéndice 1.

Figura A-32. Diagrama 13, plano de centrífuga Batch gabinete de control

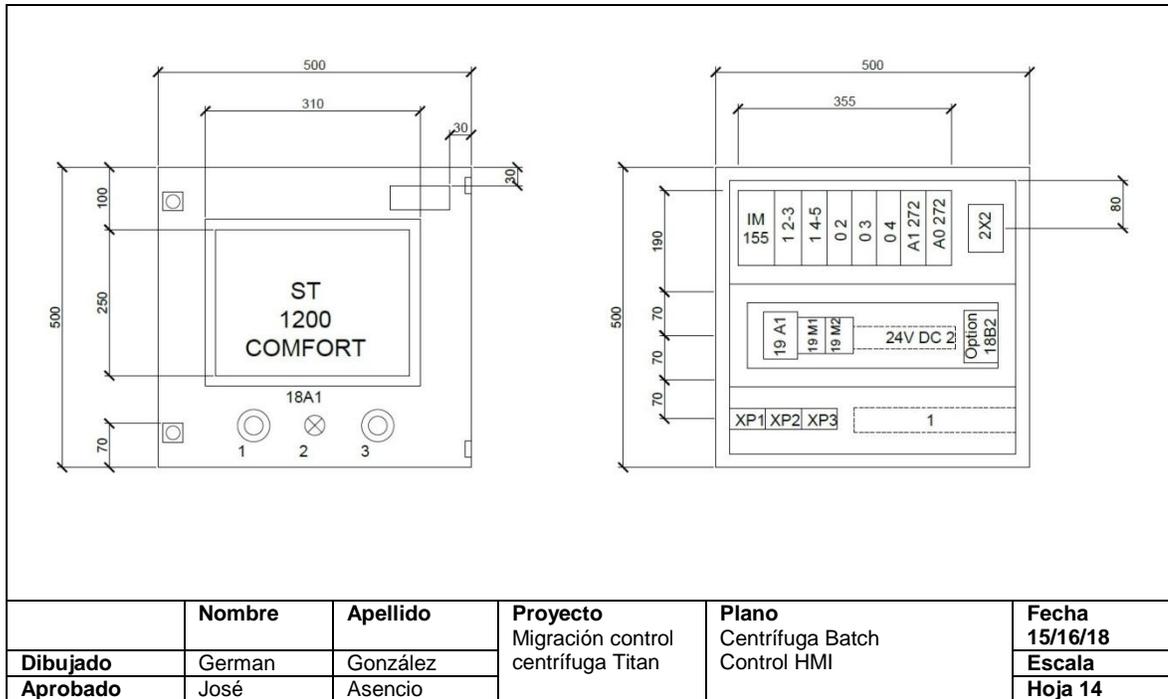


	Nombre	Apellido	Proyecto	Plano	Fecha
Dibujado	German	González	Migración control centrífuga Titan	Centrífuga Batch gabinete de control	15/16/18
Aprobado	José	Asencio			Escala
					Hoja 13

Fuente: elaboración propia, empleando Graficos WinCC Felxible.

Continuación del apéndice 1.

Figura A-33. Diagrama 14, plano de centrifuga Batch, gabinete de control



Fuente: elaboración propia, empleando Graficos WinCC Felxible.

Continuación del apéndice 1.

**Lógica de programación  
en PLC**

**STARTPROG**

DEFLIB DMRG

//CENTRIFUGA AUTOMATICA MIGRACION WESTERN STATE V.2018//

; JOSE ASECIO enero/2018

; Hay tres tipos de operación MANUAL-RECICLO-SECUENCIA

**;-MANUAL-**

; El operador presiona **RUN** para iniciar el ciclo

; La centrífuga arranca a la velocidad de carga

; Con **LOAD** el operador inicia la carga

; La centrífuga Carga, Acelera, Desacelera, Frena, Descarga y descansa Frenada.

; El operador termina el ciclo con **RESET**

; Un nuevo ciclo se puede iniciar presionando **RUN**

**;-RECYCLE-**

; El operador presiona **AUTO-START** para iniciar el ciclo

; La centrífuga Arranca, Carga, Acelera, Desacelera,

; Frena, Reversa, Descarga, Resetea y repite el ciclo.

; La centrífuga continúa haciendo ciclos

; Hasta que el operador presiona **STOP** o pasa el selector a **MANUAL**

**;-SEQUENCED-**

; El operador presiona **AUTO-START** para iniciar el ciclo

; La centrífuga Arranca, Carga, Acelera, Desacelera, Frena, Reversa, Descarga, Resetea

; Después del reset la centrífuga espera su turno en secuencia y repite el ciclo.

; La centrífuga continúa haciendo ciclos

Continuación del apéndice 1.

; Hasta que el operador presiona **STOP** o pasa el selector a **MANUAL**

**; ESTADOS DE LA CENTRIFUGA**

**REPOSO** EQU 10 ; La centrífuga aun esta frenada, aunque no hay alarmas.  
**LIBERADA** EQU 20 ; La centrífuga esta lista para operar, sin freno.  
**ARRANQUE** EQU 30 ; La centrífuga arranca, manteniendo su velocidad para carga.  
**ACEL\_CENT** EQU 40 ; La centrífuga hace el proceso de centrifugado.  
**DESACEL** EQU 50 ; La centrífuga, desacelera, frena y levanta campana.  
**DESCARGA** EQU 60 ; La centrífuga, hace todo el proceso de descarga.  
**ALARMA** EQU 70 ; La centrífuga se va a estado de alarma por fallo de seguridades.

; XX = Identificación de cada centrífuga.

**; ELEMENTOS DEL VECTOR CENTRI\_XX\_STA**

; ESTADO EQU 0 ; Estado de la centrífuga  
; ESTADO\_ant EQU 1 ; Estado anterior de la maquina  
; TURNO\_MAN EQU 2 ; Turno en manual  
; TURNO\_AUT EQU 3 ; Turno en automático

**; ELEMENTOS DEL VECTOR CENTRI\_XX\_SEG**

SG EQU 0 ; Seguridades codificadas  
SGa EQU 1 ; Valor anterior de las seguridades codificadas  
FSG EQU 2 ; Primera seguridad que fallo  
LUV EQU 3 ; Lógicos de usos varios  
MSG EQU 4 ; Memoria de estado de seguridades al producirse el fallo

**; ELEMENTOS DEL VECTOR CENTRI\_XX\_PTPO**

T1 EQU 0 ; Tiempo de prelavado  
T2 EQU 1 ; 1er lapso de lavado  
T3 EQU 2 ; 1er lavado  
T4 EQU 3 ; 2do lapso de lavado

## Continuación del apéndice 1.

T5 EQU 4 ; 2do lavado  
T6 EQU 5 ; Tiempo antes freno regenerativo  
T7 EQU 6 ; Freno regenerativo  
CT1 EQU 7 ; Contacto de CT1  
CT2 EQU 8 ; Contacto de CT2  
DT1 EQU 9 ; Tiempo para levantar arado  
DT2 EQU 10 ; Tiempo para iniciar descarga  
DT3 EQU 11 ; Tiempo para bajar el arado  
DT4 EQU 12 ; Tiempo para subir el arado  
RCT1 EQU 13 ; Tiempo para salir del estado de freno en reciclo  
RCT2 EQU 14 ; Tiempo para salir del estado de reposo en reciclo  
RCT3 EQU 15 ; Tiempo para salir del estado de arrancar en reciclo  
TCMAX EQU 16 ; Tiempo máximo de carga, para cerrar compuerta

### **; ELEMENTOS DEL VECTOR CENTRI\_XX\_PVEL**

Hmin EQU 0 ; Velocidad mínima para cargar en alta velocidad  
Hmax EQU 1 ; Velocidad máxima para cargar en alta velocidad  
Lmin EQU 2 ; Velocidad mínima para cargar en baja velocidad  
Lmax EQU 3 ; Velocidad máxima para cargar en baja velocidad  
Up EQU 4 ; Velocidad para levantar la campana  
Paro EQU 5 ; Velocidad para considerar parada la centrífuga  
Sdc EQU 6 ; Velocidad en sentido contrario para iniciar la descarga

### **; ELEMENTOS DEL VECTOR CLK FLOATS**

; memo EQU 0 ; Elemento que cuenta en segundos  
; cnt EQU 1; Elemento que cuenta en décimas de segundo

### **; ELEMENTOS DEL VECTOR RESETS**

; T1\_r EQU 0 ; Reset del timer 1  
; T2\_r EQU 1 ; Reset del timer 2  
; T3\_r EQU 2 ; Reset del timer 3  
; T4\_r EQU 3 ; Reset del timer 4  
; T5\_r EQU 4 ; Reset del timer 5

## Continuación del apéndice 1.

; T6\_r EQU 5 ; Reset del timer 6  
; T7\_r EQU 6 ; Reset del timer 7  
; CT\_r EQU 7 ; Reset del timer de control  
; DT1\_r EQU 8 ; Reset del timer de descarga  
; DT2\_r EQU 9 ; Reset del timer DT2  
; DT3\_r EQU 10 ; Reset del timer DT3  
; DT4\_r EQU 11 ; Reset del timer DT4  
; LS\_r EQU 12 ; Reset del timer para carga  
; RCT\_r EQU 13 ; Reset del timer de reciclo  
; FRE\_r EQU 14 ; Resets del timer para levantar campana

### **; ELEMENTOS DEL VECTOR CENTRI\_XX\_ENT**

CS1 EQU 0 ; Selector de automático (reciclo)  
CS2 EQU 1 ; Selector de secuencia  
Rev EQU 2 ; Boton para reversa  
Run EQU 3 ; Poner en marcha  
AS EQU 4 ; Auto arranque  
IN EQU 5 ; Boton para meter el arado  
LOAD EQU 6 ; Boton para cargar  
DOWN EQU 7 ; Boton para bajar el arado  
OMIT EQU 8 ; Boton para omitir carga  
WASH EQU 9 ; Boton para hacer lavado  
RST EQU 10 ; Boton de reset  
PEM EQU 11 ; Paro de emergencia  
JOG EQU 12 ; Boton para dar pulsos  
STOP EQU 13 ; Paro  
; reserva  
; reserva  
PFR EQU 16 ; Falla por perdida de fase  
GS EQU 17 ; Desbalance en la maquina  
PSW4 EQU 18 ; Presion de aire clutch activado  
LS EQU 19 ; Limit switch palpador  
XLS EQU 20 ; Rele protección motores activado



Continuación del apéndice 1.

**; ELEMENTOS DEL VECTOR LOG DE VALVULAS**

cmdv EQU 0 ; Orden de marcha  
vce EQU 5 ; Valvula cerrada  
vab EQU 7 ; Valvula abierta  
alndv EQU 15 ; Alarma no disponible

**DEFSUB PUBLIC CENTRI06 (** FLOAT RPM; &  
VAR LOGIC m25, &  
m50, &  
mREV, &  
VLSV, &  
GSV, &  
DSV1, &  
DSV2, &  
ENT, &  
SAL; &  
VAR INTEGER STA, &  
SEG; &  
VAR FLOAT pTPO, &  
pVEL, &  
CLK\_test1, &  
CLK\_test2, &  
CLK\_test3, &  
CLK\_test4)

**////////// DEFINICION DE PARAMETROS //////////**

; RPM Velocidad de la centrífuga en rpm  
; M25 Logicos Variador velocidad de baja  
; M50 Logicos Variador velocidad de alta  
; MREV Logicos motor descarga  
; VLSV Vector logicos de la campana  
; GSV Vector logicos compuerta de carga

## Continuación del apéndice 1.

; DSV1 Vector logicos arado entra/sale  
; DSV2 Vector logicos arado sube/baja  
; ENT Vector copia de entradas digitales  
; SAL Vector copia de salidas digitales  
; SEG Vector de seguridades  
; STA Vector enteros estados de la maquina  
; PTPO Vector parametros de tiempos  
; PVEL Vector parametros de velocidades

### **SUBJECT "Centrífugas azucar refino 2018"**

Local logic rec, man, ONT1, ONT2, ONT3, ONT4, Finch, FinDC

Local float time1 [2], time2 [2], time3 [2], time4 [2]

; Seguridades centrífugas de azucar refino R1  
SEG = 0  
SEG [SG]. [0] = ENT [gs] ; Centrifuga no balanceada  
SEG [SG]. [1] = ENT [pem] ; Paro de emergencia  
SEG [SG]. [2] = ENT [psa] ; Baja Presion de aire  
SEG [SG]. [3] = ENT [pso] ; Fallo por vibracion  
SEG [SG]. [4] = ENT [xls] ; Falla en motor  
SEG [SG]. [5] = ENT [sterr] ; Fallo lectura de velocidad  
SEG [SG]. [6] = ENT [pfr] ; Falla por variador  
SEG [SG]. [7] = ENT [paro] ; Boton de paro centrífuga  
; SEG [SG]. [7] = ENT [sgea] ; Seguridad del estado actual  
Primer\_Fallo (SEG, ENT [rst])  
SAL [sgOK] = SEG [LUV].[0] ; logico seguridades correctas

; Definimos el tipo de operacion de la centrifuga

Rec = ENT [cs1]

Man = (not ENT [cs1]) and (not ENT [cs2])

Continuación del apéndice 1.

**CASE (STA [ESTADO]) OF**

**REPOSO -> //////////////////////////////////////**

**; LA CENTRIGUFA ESTA FRENADA EN DESCANSO**

SAL [bsv] = **TRUE** ; Freno mecanico  
SAL [lpfin] = **FALSE** ; Luz piloto fin de ciclo  
SAL [lpalm] = **FALSE** ; Luz piloto centrifuga en alarma  
Vlsv [cmdv] = **FALSE** ; Actuador de campana de descarga  
Gsv [cmdv] = **FALSE** ; Actuador compuerta de carga  
dsv1 [cmdv] = **FALSE** ; Actuador meter adentro  
dsv2 [cmdv] = **FALSE** ; Actuador bajar arado  
m25 [cmdm] = **FALSE** ; Motor en velocidad baja  
m50 [cmdm] = **FALSE** ; Motor en velocidad de alta  
mREV [cmdm] = **FALSE** ; Motor de descarga, reversa

**IF (ENT [rst]) THEN** ; Si pulsamos el boton de **RESET**  
    **STA [ESTADO] = LIBERADA** ; Cambiamos de estado  
    **STA [ESTADO\_ant] = REPOSO** ; Memorizamos el estado anterior

**ENDIF**

**IF (not SAL [sgOK]) THEN**  
    **STA [ESTADO] = ALARMA** ; Cambiamos de estado  
    **STA [ESTADO\_ant] = REPOSO** ; Memorizamos el estado anterior  
**ENDIF**

**LIBERADA -> //////////////////////////////////////**

**; LA CENTRIGUFA LISTA PARA OPERAR, NO FRENADA**

SAL [bsv] = **FALSE** ; Feno mecanico  
SAL [dcsv] = **FALSE** ; Enable para variador  
SAL [lpfin] = **FALSE** ; Luz piloto fin de ciclo  
SAL [lpalm] = **FALSE** ; Luz piloto centrifuga en alarma

Continuación del apéndice 1.

vlsv [cmdv] = **FALSE** ; Actuator de campana de descarga  
gsv [cmdv] = **FALSE** ; Actuator compuerta de carga  
dsv1 [cmdv] = **FALSE** ; Actuator meter adentro  
dsv2 [cmdv] = **FALSE** ; Actuator bajar arado

m25 [cmdm] = **FALSE** ; Velocidad de baja a variador  
m50 [cmdm] = **FALSE** ; Velocidad de Motor en alta  
mREV [cmdm] = **FALSE** ; Motor de descarga, reversa

**IF (man) THEN**

**IF (ENT [run]) THEN** ; Si pulsamos **RUN** y estamos en **MANUAL**  
ONT1 = ONT2 = ONT3 = ONT4 = **FALSE** ; Reseteamos todos los contadores  
STA [ESTADO] = ARRANQUE ; Cambiamos de estado  
STA [ESTADO\_ant] = LIBERADA ; Memorizamos el estado anterior  
**ENDIF**

**IF (not SAL [sgOK]) THEN**

STA [ESTADO] = ALARMA ; Cambiamos de estado  
STA [ESTADO\_ant] = REPOSO ; Memorizamos el estado anterior

**ENDIF**

**ENDIF**

**ARRANQUE -> //////////////////////////////////////**  
**; LA CENTRIGUFA LISTA PARA OPERAR, NO FRENADA**

## Continuación del apéndice 1.

SAL [bsv] = FALSE ; Freno mecánico  
SAL [dcsv] = FALSE ; Velocidad de centrifugado en alta  
SAL [lpin] = FALSE ; Luz piloto fin de ciclo  
SAL [lpalm] = FALSE ; Luz piloto centrifuga en alarma

Vlsv [cmdv] = FALSE ; Actuador de campana de descarga  
dsv1 [cmdv] = FALSE ; Actuador meter adentro  
dsv2 [cmdv] = FALSE ; Actuador bajar arado

m50 [cmdm] = FALSE ; Variador Velocidad de alta  
mREV [cmdm] = FALSE ; Variador en Frenado

**IF** (man) **THEN**

**IF** (ENT [high]) **THEN** ;Alta velocidad, mantenemos la velocidad entre dos valores  
**IF** (RPM >= Pvel [Hmax]) **THEN** ; Mínima velocidad alcanzada  
m25 [cmdm] = FALSE ; Arrancamos Velocidad de baja  
**ENDIF**  
**IF** (RPM <= Pvel [Hmin]) **THEN** ; Máxima velocidad alcanzada  
m25 [cmdm] = TRUE ; Paramos velocidad de baja  
**ENDIF**  
**ELSE**  
**IF** (RPM >= Pvel [Lmax]) **THEN** ; Minima velocidad alcanzada  
m25 [cmdm] = FALSE ; Arrancamos Variador en velocidad baja  
**ENDIF**  
**IF** (RPM <= Pvel [Lmin]) **THEN** ; Maxima velocidad alcanzada  
m25 [cmdm] = TRUE ; Paramos Variador en velocidad baja  
**ENDIF**  
**ENDIF**

**CLOCKST** (Time1, NOT ONT1, ONT1) ; Contador de prelavado

clk\_test1 = time1

**CLOCKST** (Time2, NOT ONT2, ONT2) ; Contador compuerta de carga

## Continuación del apéndice 1.

```
clk_test2 = time2
```

```
IF (ENT [load]) THEN                                ; Presionamos boton load  
// IF (not resetCnt1) THEN  
//   Time1 [0] = Time1 [1] = 0.0  
// ENDIF  
   ONT1 = TRUE                                       ; Iniciamos el timer de prelavado  
//   resetCnt1 = TRUE  
ENDIF
```

```
IF (Time1 <= pTPO [T1]) THEN  
   SAL [wsv] = TRUE                                  ; Solenoide agua de lavado  
ELSE  
   SAL [wsv] = FALSE                                ; Solenoide agua de lavado  
   ONT1   = FALSE                                    ; Detenemos y reseteamos el timer  
   ONT2   = TRUE                                     ; Iniciamos contador tiempo de carga  
   FinCH  = FALSE                                    ; negamos el fin de carga  
ENDIF
```

```
FinCH = (Time2 >= pTPO [TCMAX]) OR (ENT [omit]) OR ENT [LS]  
IF (not FinCH) THEN                                ; No finaliza la carga  
   gsv [cmdv] = TRUE                                 ; Actuador compuerta de carga  
ELSE  
   gsv [cmdv] = FALSE                               ; Actuador compuerta de carga  
   STA [ESTADO] = ACEL_CENT                          ; Cambiamos de estado  
   STA [ESTADO_ant] = ARRANQUE                      ; Memorizamos el estado anterior  
ENDIF
```

Continuación del apéndice 1.

**ENDIF**

**IF** (not SAL [sgOK]) **THEN**

**STA** [ESTADO] = ALARMA ; Cambiamos de estado

**STA** [ESTADO\_ant] = REPOSO ; Memorizamos el estado anterior

**ENDIF**

**ACEL\_CENT -> ///**

**; LA CENTRIGUFA ACELERA Y COMPLETA EL CENTRIFUGADO**

SAL [bsv] = **FALSE** ; Feno mecanico

SAL [lpin] = **FALSE** ; Luz piloto fin de ciclo

SAL [lpalm] = **FALSE** ; Luz piloto centrifuga en alarma

Vlsv [cmdv] = **FALSE** ; Actuador de campana de descarga

Gsv [cmdv] = **FALSE** ; Actuador compuerta de carga

dsv1 [cmdv] = **FALSE** ; Actuador meter adentro

dsv2 [cmdv] = **FALSE** ; Actuador bajar arado

mREV [cmdm] = **FALSE** ; Motor de descarga, reversa

**IF** (man) **THEN**

    ONT1 = **TRUE** ; Inciamos tiempo antes primer lavado

**CLOCKST** (Time1, NOT ONT1, ONT1) ; Contador de prelavado

**IF** (rpm <= 500.0) **THEN**

        m25 [cmdm] = **TRUE** ; Variador en Velocidad de baja

        m50 [cmdm] = **FALSE** ; Variador en Velocidad de alta

**ELSE**

        m25 [cmdm] = **FALSE** ; Variador en Velocidad de baja

        m50 [cmdm] = **TRUE** ; Variador en Velocidad de alta

        SAL [bwsv] = **TRUE** ; Agua enfriamiento del freno

Continuación del apéndice 1.

**ENDIF**

**IF** (Time1 >= pTPO [T2]) **THEN**

ONT1 = **FALSE** ; Detenemos tiempo antes primer lavado

ONT2 = **TRUE** ; Iniciamos tiempo de primer lavado

SAL [wwsv] = **TRUE** ; Solenoide agua de lavado

**ENDIF**

CLOCKST (Time2, NOT ONT2, ONT2) ; Contador de primer lavado

**IF** (Time2 >= pTPO [T3]) **THEN**

SAL [wwsv] = **FALSE** ; Solenoide agua de lavado

ONT2 = **FALSE** ; Detenemos tiempo de primer lavado

ONT3 = **TRUE** ; Iniciamos tiempo antes segundo lavado

**ENDIF**

**CLOCKST** (Time3, NOT ONT3, ONT3) ; Contador antes segundo lavado

clk\_test3 = time3

**IF** (Time3 >= pTPO [T4]) **THEN**

ONT3 = **FALSE** ; Detenemos tiempo antes segundo lavado

ONT4 = **TRUE** ; Iniciamos tiempo de segundo lavado

SAL [wwsv] = **TRUE** ; Solenoide agua de lavado

**ENDIF**

**CLOCKST** (Time4, NOT ONT4, ONT4) ; Contador de segundo lavado

clk\_test4 = time4

**IF** (Time4 >= pTPO [T5]) **THEN**

SAL [wwsv] = **FALSE** ; Solenoide agua de lavado

ONT4 = **FALSE** ; Detenemos tiempo de primer lavado

**STA** [ESTADO] = DESACEL ; Cambiamos de estado

**STA** [ESTADO\_ant] = ACEL\_CENT ; Memorizamos el estado anterior

Continuación del apéndice 1.

**ENDIF**

**ENDIF**

**IF (not SAL [sgOK]) THEN**

**STA [ESTADO] = ALARMA** ; Cambiamos de estado

**STA [ESTADO\_ant] = ACEL\_CENT** ; Memorizamos el estado anterior

**ENDIF**

**DESACEL -> //////////////////////////////////////**

**; LA CENTRIGUFA DESACELERA, FRENA Y**

SAL [wwsv] = FALSE ; Solenoide agua de lavado

SAL [dcsv] = FALSE ; Clutch descarga para reversa

SAL [lpin] = FALSE ; Luz piloto fin de ciclo

SAL [lpalm] = FALSE ; Luz piloto centrifuga en alarma

Gsv [cmdv] = FALSE ; Actuador compuerta de carga

dsv1 [cmdv] = FALSE ; Actuador meter adentro

dsv2 [cmdv] = FALSE ; Actuador bajar arado

mREV[cmdm] = FALSE ;Motor de descarga, reversa

**IF (man) THEN**

**ONT1 = TRUE** ; Iniciamos tiempo antes freno regenerativo

**CLOCKST (Time1, NOT ONT1, ONT1)** ; Contador de segundo lavado

**IF (Time1 <= pTPO [T6]) THEN**

**SAL [bwsv] = TRUE** ; Agua enfriamiento del freno

**m50 [cmdm] = TRUE** ; Variador en Velocidad de alta

## Continuación del apéndice 1.

```
m25 [cmdm] = FALSE ; Variador en Velocidad de baja
SAL [bsv] = FALSE ; Freno mecanico
vlsv [cmdv] = FALSE ; Actuador de campana de descarga
ELSE
SAL [bwsv] = FALSE ; Agua enfriamiento del freno
m50 [cmdm] = FALSE ; Variador en Velocidad de alta
m25 [cmdm] = TRUE ; Variador en Velocidad de baja
ONT2 = TRUE ; Iniciamos tiempo de freno regenerativo
SAL [bsv] = FALSE ; Freno mecanico
vlsv [cmdv] = FALSE ; Actuador de campana de descarga
ENDIF

CLOCKST (Time2, NOT ONT2, ONT2) ; Contador de segundo lavado
IF (Time2 <= pTPO [T7] ) THEN
m25 [cmdm] = TRUE ; Variador en Velocidad de baja
SAL [bsv] = FALSE ; Feno mecanico
Vlsv [cmdv] = FALSE ; Actuador de campana de descarga
ELSE
m25 [cmdm] = FALSE ; Variador en Velocidad de baja
SAL [bsv] = TRUE ; Freno mecanico
Vlsv [cmdv] = FALSE ; Actuador de campana de descarga
ENDIF

IF (rpm <= PVEL [up]) THEN ; Evaluamos velocidad para levantar campana
Vlsv [cmdv] = TRUE ; Actuador de campana de descarga
ENDIF

IF (rpm <= PVEL [paro]) THEN
STA [ESTADO] = DESCARGA ; Cambiamos de estado
STA [ESTADO_ant] = DESACEL ; Memorizamos el estado anterior
ENDIF
```

Continuación del apéndice 1.

ENDIF

IF (not SAL [sgOK]) THEN ; Evaluamos velocidad para considerar parada la centrifuga

STA [ESTADO] = ALARMA ; Cambiamos de estado

STA [ESTADO\_ant] = DESACEL ; Memorizamos el estado anterior

ENDIF

**DESCARGA -> //////////////////////////////////////**

**; LA CENTRIGUFA ESTA EN LARMA POR FALLO DE SEGURIDADES**

**; LA CENTRIGUFA ESTA FRENADA EN DESCANSO**

SAL [bwsv] = FALSE ; Agua enfriamiento del freno

SAL [wwsv] = FALSE ; Solenoide agua de lavado

SAL [lpalm] = FALSE ; Luz piloto centrifuga en alarma

gsv[cmdv] = FALSE ; Actuador compuerta de carga

m25 [cmdm] = FALSE ; Variador en Velocidad de baja

m50 [cmdm] = FALSE ; Variador en Velocidad de alta

IF (man) THEN ; Si estamos en operacion manual

IF (not finDC) THEN

SAL [bsv] = FALSE ; Feno mecanico

vlsv [cmdv] = TRUE ; Actuador de campana de descarga

SAL [dcsv] = TRUE ; Clutch descarga para reversa

MREV [cmdm] = TRUE ; Motor de descarga, reversa

SAL [lpin] = FALSE ; Luz piloto fin de ciclo

ELSE

SAL [bsv] = TRUE ; Feno mecanico

MREV [cmdm] = FALSE ; Motor de descarga, reversa

## Continuación del apéndice 1.

```
SAL [lpin] = TRUE ; Luz piloto fin de ciclo
ENDIF

IF (rpm >= pVEL [Sdc] ) THEN
dsv1 [cmdv] = TRUE ; Actuador meter arado
dsv2 [cmdv] = FALSE ; Actuador bajar arado
ENDIF

ONT1 = dsv1 [vab] ; Iniciamos tiempo antes bajar arado al entrar el arado
CLOCKST (Time1, NOT ONT1, ONT1); Contador tempo antes de bajar arado

IF (Time1 >= pTPO [DT3]) THEN
dsv1 [cmdv] = TRUE ; Actuador meter arado
dsv2 [cmdv] = TRUE ; Actuador bajar arado
ONT1 = FALSE ; Detenemos contador
ENDIF

ONT2 = dsv2 [vab] ; Iniciamos tiempo antes sacar arado al bajar el arado
CLOCKST (Time2, NOT ONT2, ONT2); Contador de segundo lavado
IF (Time2 >= pTPO [DT4]) THEN
dsv1 [cmdv] = FALSE ; Actuador meter arado
dsv2 [cmdv] = TRUE ; Actuador bajar arado
ONT2 = FALSE ; Detenemos contador
ENDIF

dsv2 [cmdv] = dsv1 [vce] ; Levantamos el arado cuando sale totalmente

finDC = dsv2 [vce] ; Logico indicacion fin descarga

IF (rpm <= pVEL[paro] )THEN
finDC = FALSE ; Logico indicador fin descarga
vlsv[cmdv] = FALSE ; Actuador de campana de descarga
STA [ESTADO] = LIBERADA ; Cambiamos de estado
```

Continuación del apéndice 1.

```
STA [ESTADO_ant] = DESCARGA ; Memorizamos el estado anterior
ENDIF
```

```
ENDIF
```

```
IF (not SAL [sgOK]) THEN
  STA [ESTADO] = ALARMA ; Cambiamos de estado
  STA [ESTADO_ant] = DESCARGA ; Memorizamos el estado anterior
ENDIF
```

**ALARMA -> //**

**; LA CENTRIGUFA ESTA EN LARMA POR FALLO DE SEGURIDADES**

```
SAL [bwsv] = FALSE ; Agua enfriamiento del freno
SAL [wwsv] = FALSE ; Solenoide agua de lavado
SAL [bsv] = TRUE ; Freno mecanico
SAL [lpin] = FALSE ; Luz piloto fin de ciclo
SAL [lpalm] = TRUE ; Luz piloto centrifuga en alarma
```

```
vsv [cmdv] = FALSE ;Actuador de campana de descarga
gsv [cmdv] = FALSE ;Actuador compuerta de carga
dsv1 [cmdv] = FALSE ; Actuador meter adentro
dsv2 [cmdv] = FALSE ; Actuador bajar arado
```

```
m25 [cmdm] = FALSE ; Variador en Velocidad de baja
m50 [cmdm] = FALSE ; Variador en Velocidad de alta
MREV [cmdm] = FALSE ; Motor de descarga, reversa
```

```
IF (SAL [sgOK]) THEN
  STA [ESTADO] = REPOSO ; Cambiamos de estado
  STA [ESTADO_ant] = ALARMA ; Memorizamos el estado anterior
```

Continuación del apéndice 1.

ENDIF

OTHERWISE -> ; Estado NO PROGRAMADO.

STA [ESTADO] = REPOSO

ENDCASE

ENDSUB

ENDPROG

STARTPROG

### **; ESTADOS DE LA CENTRIFUGA**

FRENO EQU 5; La máquina se encuentra en el estado inicial

REPOSO EQU 10; La máquina se encuentra en el estado de reposo

ARRANCAR EQU 15; La máquina se encuentra en el estado de arrancar el ciclo

PRELAVADO EQU 20; La máquina se encuentra haciendo lavado de compuerta

EN\_CARGA EQU 25; La máquina se encuentra en el estado de carga

ACELERAR EQU 30; La máquina se encuentra acelerando

CENTRIFUGAR EQU 35 ; La máquina se encuentra centrifugando

FRENO\_REG EQU 40; La máquina se encuentra frenando regenerativamente

FRENAR EQU 45; La máquina se encuentra frenando

EN\_REVERSA EQU 50; La máquina se encuentra girando en reversa

DESC\_ADENTRO EQU 55; La máquina mueve el arado hacia adentro

DESC\_ABAJO EQU 60; La máquina mueve el arado hacia abajo

DESC\_AFUERA EQU 65; La máquina mueve el arado hacia afuera

DESC\_ARRIBA EQU 70; La máquina mueve el arado hacia arriba

Continuación del apéndice 1.

**; ELEMENTOS DEL VECTOR INT**

ESTADO EQU 0; Estado de la centrifuga  
ESTADO\_ant EQU 1; Estado anterior de la maquina  
TURNO\_MAN EQU 2; Turno en manual  
TURNO\_AUT EQU 3; Turno en automatico

**; ELEMENTOS DEL VECTOR PAR\_TPOS**

T1 EQU 0; Tiempo de prelavado  
T2 EQU 1; 1er lapso de lavado  
T3 EQU 2; 1er lavado  
T4 EQU 3; 2do lapso de lavado  
T5 EQU 4; 2do lavado  
T6 EQU 5; Separacion de mieles  
T7 EQU 6; Freno regenerativo  
CT1 EQU 7; Contacto de CT  
CT2 EQU 8; Contacto de CT  
DT1 EQU 9; Tiempo para levantar arado  
DT2 EQU 10; Tiempo para iniciar descarga  
DT3 EQU 11; Tiempo para bajar el arado  
DT4 EQU 12; Tiempo para subir el arado  
RCT1 EQU 13; Tiempo para salir del estado de freno en reciclo  
RCT2 EQU 14; Tiempo para salir del estado de reposo en reciclo  
RCT3 EQU 15; Tiempo para salir del estado de arrancar en reciclo

**; ELEMENTOS DEL VECTOR PAR\_RPM**

min EQU 0; Velocidad mínima para cargar  
max EQU 1; Velocidad máxima para cargar  
up EQU 2; Velocidad para levantar la campana  
stop EQU 3; Velocidad para considerar parada la centrifuga  
i\_desc EQU 4; Velocidad en sentido contrario para iniciar la descarga

Continuación del apéndice 1.

**; ELEMENTOS DEL VECTOR CLK FLOATS**

Memo EQU 0; Elemento que cuenta en segundos

cnt EQU 1 ;Elemento que cuenta en decimas de segundo

**; ELEMENTOS DEL VECTOR RESETS**

T1\_r EQU 0; Reset del timer 1

T2\_r EQU 1; Reset del timer 2

T3\_r EQU 2; Reset del timer 3

T4\_r EQU 3; Reset del timer 4

T5\_r EQU 4; Reset del timer 5

T6\_r EQU 5 ;Reset del timer 6

T7\_r EQU 6; Reset del timer 7

CT\_r EQU 7; Reset del timer de control

DT1\_r EQU 8; Reset del timer de descarga

DT2\_r EQU 9; Reset del timer DT2

DT3\_r EQU 10; Reset del timer DT3

DT4\_r EQU 11; Reset del timer DT4

LS\_r EQU 12; Reset del timer para carga

RCT\_r EQU 13; Reset del timer de reciclo

FRE\_r EQU 14; Resets del timer para levantar campana

**; ELEMENTOS DEL VECTOR PULSADOR**

Paro\_emerg EQU 0; Paro de emergencia

A\_start EQU 1; Auto arranque

Marcha EQU 2; Poner en marcha

Paro EQU 3; Paro

Reset EQU 4; Boton de reset

Carga EQU 5; Boton para cargar

O\_carga EQU 6; Boton para omitir

Lavado EQU 8; Boton para hacer lavado

Jog EQU 9; Boton para dar pulsos

Adentro EQU 10; Boton para meter el arado

Abajo EQU 11; Boton para bajar el arado

## Continuación del apéndice 1.

CS1 EQU 12; Selector de automatico  
CS2 EQU 13; Selector de secuencia

### **; ELEMENTOS DEL VECTOR LOGS**

PFR EQU 0; Falla por perdida de fase  
GS EQU 1; Desbalance en la maquina  
PSW2 EQU 2; Presion de aire arado adentro  
PSW3 EQU 3; Presion de aire arada abajo  
PSW4 EQU 4; Presion de aire clutch  
SLSW EQU 5; Limit switch campana  
DLSW EQU 6; Limit switch arado  
GLSW EQU 7; Limit switch de compuerta  
LS EQU 8; Limit switch palpador

### **; ELEMENTOS DEL VECTOR VALVULAS**

bcwsv EQU 0; Valv. agua enfriamiento freno  
Vlsv EQU 1; Valv. Para levantar campana  
Gsv EQU 2; Valv. Para abrir compuerta  
Dcsv EQU 3; Valv. Clutch de descarga  
Dsv1 EQU 4; Valv. Arado entra y sale  
Dsv2 EQU 5; Valv. Arado abajo y arriba  
Wwsv EQU 6; Valv. Agua de lavado  
Bsv EQU 7; Valv. De freno  
Izp EQU 8; Luz indicadora de fin de ciclo

Continuación del apéndice 1.

**; ELEMENTOS DEL VECTOR LOG**

cmd EQU 0; Orden de marcha

c1 EQU 7; Indicacion de marcha motor

```
DEFSUB PUBLIC CENTRIFUGA (FLOAT RPM; &  
    VAR LOGIC M25_LOG, &  
    M50_LOG, &  
    MDESCARGA_LOG; &  
    VAR LOGIC LOGS; &  
    VAR LOGIC PULSADOR; &  
    VAR LOGIC VALVULAS; &  
    VAR INTEGER INT; &  
    VAR FLOAT PAR_RPM, PAR_TPOS; &  
    VAR FLOAT CLK_1, CLK_2, CLK_3, CLK_4, &  
    CLK_5, CLK_6, CLK_7, CLK_CT, &  
    CLK_DT1, CLK_DT2, CLK_DT3, &  
    CLK_DT4, CLK_LS, CLK_RCT, CLK_FRE; &  
    VAR LOGIC RESETS)
```

; Definicion de Parametros

; RPM Velocidad de la centrifuga en rpm

; AMP Intensidad del motor de la centrifuga

; M25\_LOG Vector logico del motor de 25 Hp

; M50\_LOG Vector logico del motor de 50 Hp

; MDESCARGA\_LOG Vector logico motor de descarga

; BCWSV Valv. agua de enfriamiento freno

; VLSV Valv. para abrir campana

; GSV Valv. compuerta de carga

; DCSV Valv. clutch motor de descarga

; DVS1 Valv. de descarga arado entra y sale

; DSV2 Valv. de descarga arado sube y baja



## Continuación del apéndice 1.

ENDIF

```
IF (PULSADOR [reset]) THEN; Si pulsamos el boton de RESET
  INT [ESTADO] = REPOSO; Mandamos la maquina al estado de reposo
ENDIF
```

; Estado donde la maquina se encuentra en reposo  
REPOSO->

```
VALVULAS [LZP]   = FALSE; Luz piloto apagada
VALVULAS [BSV]   = FALSE; Quitamos el freno
VALVULAS [BCWSV] = FALSE; No hay agua de enfriamiento
VALVULAS [VLSV]  = FALSE; La campana esta abajo
VALVULAS [GSV]   = FALSE; Abre la compuerta manual
VALVULAS [DCSV]  = FALSE; Clutch inhabilitado
VALVULAS [DSV1]  = FALSE; Arado adentro/afuera en reposo
VALVULAS [DSV2]  = FALSE; Arado arriba/abajo en reposo
VALVULAS [WWSV]  = FALSE; No hay agua de lavado
M25_LOG [cmd]    = PULSADOR [jog] ; Motor de 25 Hp en marcha
M50_LOG [cmd]    = FALSE; Motor de 50 Hp no marcha
MDESCARGA_LOG [cmd] = FALSE; Motor de descarga no marcha
```

```
IF (PULSADOR [CS1]) THEN ; Si estamos en reciclo
  IF (PULSADOR [A_start]) THEN; Si pulsamos el boton de AUTOSTART
    INT [ESTADO] = ARRANCAR; Mandamos la maquina al estado de ARRANCAR
    RESETS [RCT_r] = TRUE ; Iniciamos el Timer de Reciclo
  ENDIF
ENDIF
```

```
IF (PULSADOR [CS1]) THEN ; Si estamos en reciclo
  IF ((CLK_RCT [memo] >= PAR_TPOS [RCT2]) AND (NOT LOGS [SLSW])) THEN; Si el
  tiempo es > a RCT2 y la campana esta abajo
    INT [ESTADO] = ARRANCAR ; Mandamos la maquina al estado de ARRANCAR
```

## Continuación del apéndice 1.

```
ENDIF  
ENDIF
```

```
IF (PULSADOR [marcha]) THEN ; Si pulsamos el boton de RUN  
    INT [ESTADO] = ARRANCAR; Mandamos la maquina al estado e ARRANCAR  
ENDIF
```

```
IF (PULSADOR [reversa]) THEN ; Si pulsamos el boton de REVERSE  
    INT [ESTADO] = EN_REVERSA; Mandamos la maquina al estado de REVERSA  
ENDIF
```

```
IF (PULSADOR [paro]) THEN; Si pulsamos el boton de STOP  
    INT [ESTADO] = FRENO; Mandamos la maquina al estado de FRENO  
ENDIF
```

```
IF (LOGS [GS]) THEN ; Si hay desbalance  
    INT [ESTADO] = FRENO; Mandamos la maquina al estado de FRENO  
ENDIF
```

```
INT[ESTADO_ant] = 0
```

```
RESETS [T1_r] = FALSE; Reset del Timer T1  
RESETS [T2_r] = FALSE; Reset del Timer T2  
RESETS [T3_r] = FALSE; Reset del Timer T3  
RESETS [T4_r] = FALSE; Reset del Timer T4  
RESETS [T5_r] = FALSE; Reset del Timer T5  
RESETS [T6_r] = FALSE; Reset del Timer T6  
RESETS [T7_r] = FALSE; Reset del Timer T7  
RESETS [CT_r] = FALSE; Reset del Timer CT  
RESETS [DT1_r] = FALSE; Reset del Timer DT1  
RESETS [DT2_r] = FALSE; Reset del Timer DT2  
RESETS [DT3_r] = FALSE; Reset del Timer DT3  
RESETS [DT4_r] = FALSE; Reset del Timer DT4
```

## Continuación del apéndice 1.

RESETS [LS\_r] = FALSE; Reset del Timer LS

RESETS [FRE\_r] = FALSE; Reset del timer de levantar campana

; Estado donde la maquina se encuentra en marcha

ARRANCAR->

VALVULAS [LZP] = FALSE; Luz piloto apagada

VALVULAS [BSV] = FALSE; Quitamos el freno

VALVULAS [BCWSV] = FALSE; No hay agua de enfriamiento

VALVULAS [VLSV] = FALSE; La campana esta abajo

VALVULAS [GSV] = FALSE; La compuerta esta cerrada

VALVULAS [DCSV] = FALSE; Clutch inhabilitado

VALVULAS [DSV1] = FALSE; Arado adentro/afuera en reposo

VALVULAS [DSV2] = FALSE; Arado arriba/abajo en reposo

VALVULAS [WWSV] = PULSADOR [lavado] ; Lavado de agua manual

M50\_LOG [cmd] = FALSE; Motor de 50 Hp no marcha

MDESCARGA\_LOG [cmd] = FALSE ; Motor de descarga no marcha

IF (RPM <= PAR\_RPM [min]) THEN ; control de la velocidad para cargar

M25\_LOG [cmd] = TRUE

ENDIF

IF(RPM >= PAR\_RPM[max])THEN ;control de la velocidad para cargar

M25\_LOG [cmd] = FALSE

ENDIF

IF (PULSADOR [carga]) THEN ; Si pulsamos el boton de LOAD

INT [ESTADO] = PRELAVADO ; Mandamos la maquina al estado de PRELAVADO

ENDIF

IF (PULSADOR [CS1]) THEN ; Si estamos en reciclo

IF (CLK\_RCT [memo] >= PAR\_TPOS [RCT3]) THEN ; Si el tiempo es > a RCT3

## Continuación del apéndice 1.

```
    INT [ESTADO] = PRELAVADO      ; Mandamos la maquina al estado de PRELAVADO
    RESETS [RCT_r] = FALSE        ; Detenemos y reseteamos el Timer de Reciclo
  ENDIF
ENDIF
```

```
IF (PULSADOR [o carga]) THEN ; Si pulsamos el boton de OMIT LOAD
  INT [ESTADO] = ACELERAR ; Mandamos la maquina al estado de ACELERAR
ENDIF
```

```
IF (PULSADOR [Paro]) THEN ; Si pulsamos el boton de STOP
  INT [ESTADO] = FRENO ; Mandamos la maquina al estado de FRENO
ENDIF
```

```
IF (PULSADOR [Reset]) THEN ; Si pulsamos el boton de RESET
  INT [ESTADO] = REPOSO; Mandamos la maquina al estado de REPOSO
ENDIF
```

```
IF (LOGS [GS]) THEN ; Si hay desbalance
  INT [ESTADO] = FRENO ; Mandamos la maquina al estado de FRENO
ENDIF
```

```
INT [ESTADO_ant] = 0
```

; Estado donde se hace el prelavado

PRELAVADO->

```
VALVULAS [LZP] = FALSE ; Luz piloto apagada
VALVULAS [BSV] = FALSE ; Quitamos el freno
VALVULAS [BCWSV] = FALSE ; No hay agua de enfriamiento
VALVULAS [VLSV] = FALSE ; La campana esta abajo
VALVULAS [GSV] = FALSE ; Compuerta de carga cerrada
VALVULAS [DCSV] = FALSE ; Clutch inhabilitado
VALVULAS [DSV1] = FALSE ; Arado adentro/afuera en reposo
```

## Continuación del apéndice 1.

```
VALVULAS [DSV2] = FALSE ; Arado arriba/abajo en reposo
VALVULAS [WWSV] = TRUE ; Valv de agua abierta
RESETS [T1_r] = TRUE ; Iniciamos el conteo para el prelavado T1
M50_LOG [cmd] = FALSE ; Motor de 50 Hp no marcha
MDESCARGA_LOG [cmd] = FALSE ; Motor de descarga no marcha

IF (RPM <= PAR_RPM [min]) THEN; control de velocidad para cargar
    M25_LOG [cmd] = TRUE
ENDIF

IF (RPM >= PAR_RPM [max]) THEN; control de velocidad para cargar
    M25_LOG [cmd] = FALSE
ENDIF

IF (CLK_1 [memo] >= PAR_TPOS [T1]) THEN; Si el tiempo es > a T1
    VALVULAS [WWSV] = FALSE ; Cerramos la valvula de lavado
    RESETS [T1_r] = FALSE ; Detenemos y reseteamos el T1
    INT [ESTADO] = EN_CARGA ; Mandamos la maquina al estado de CARGA
ENDIF

IF (PULSADOR [Paro]) THEN; Si pulsamos el boton de STOP
    INT [ESTADO] = FRENO ; Mandamos la maquina al estado de FRENO
ENDIF

IF (PULSADOR [Reset]) THEN; Si pulsamos el boton de RESET
    INT [ESTADO] = REPOSO ; Mandamos la maquina al estado de REPOSO
ENDIF

IF (LOGS [GS]) THEN ; Si hay desbalance
    INT [ESTADO] = FRENO ; Mandamos la maquina al estado de FRENO
ENDIF

INT [ESTADO_ant] = 0
```

Continuación del apéndice 1.

**; Estado donde la maquina se encuentra cargando**

**EN\_CARGA->**

VALVULAS [LZP] = FALSE; Luz piloto apagada  
VALVULAS [BSV] = FALSE; Quitamos el freno  
VALVULAS [BCWSV] = FALSE ;No hay agua de enfriamiento  
VALVULAS [VLSV] = FALSE; La campana esta abajo  
VALVULAS [GSV] = TRUE; Compuerta de carga abierta  
VALVULAS [DCSV] = FALSE; Clutch inhabilitado  
VALVULAS [DSV1] = FALSE; Arado adentro/afuera en reposo  
VALVULAS [DSV2] = FALSE; Arado arriba/abajo en reposo  
VALVULAS [WWSV] = PULSADOR [lavado] ;Lavado manual  
M50\_LOG [cmd] = FALSE; Motor de 50 Hp no marcha  
MDESCARGA\_LOG [cmd] = FALSE; Motor de descarga no marcha

IF (RPM <= PAR\_RPM [min]) THEN; control de velocidad para cargar  
M25\_LOG [cmd] = TRUE  
ENDIF

IF (RPM >= PAR\_RPM [max]) THEN; control de velocidad para cargar  
M25\_LOG [cmd] = FALSE  
ENDIF

RESETS [LS\_r] = TRUE

IF ((CLK\_LS [memo] >= 15.0) or (LOGS [LS])) THEN ; Si el tiempo es > ó señal de palpador  
; IF (LOGS [LS]) THEN ; Si la maquina esta cargada  
VALVULAS [GSV] = FALSE ; Cerramos la compuerta  
INT [ESTADO] = ACELERAR; Mandamos la maquina al estado de ACELERAR  
RESETS [LS\_r] = FALSE  
; ENDIF  
ENDIF

## Continuación del apéndice 1.

```
IF (PULSADOR [O_carga]) THEN; Si pulsamos el boton OMIT LOAD
  INT [ESTADO] = ACELERAR; Mandamos la maquina al estado de ACELERAR
ENDIF
```

```
IF (PULSADOR [Paro]) THEN; Si pulsamos el boton de STOP
  INT [ESTADO] = FRENO; Mandamos la maquina al estado de FRENO
ENDIF
```

```
IF (PULSADOR [Reset]) THEN; Si pulsamos el boton de RESET
  INT [ESTADO] = REPOSO; Mandamos la maquina al estado de REPOSO
ENDIF
```

```
IF (LOGS [GS]) THEN ; Si hay desbalance
  INT [ESTADO] = FRENO; Mandamos la maquina al estado de FRENO
ENDIF
```

```
INT [ESTADO_ant] = 0
```

### **; Estado donde la maquina alcanza una velocidad media ACELERAR->**

```
VALVULAS [LZP] = FALSE; Luz piloto apagada
VALVULAS [BSV] = FALSE; Quitamos el freno
VALVULAS [BCWSV] = FALSE; No hay agua de enfriamiento
VALVULAS [VLSV] = FALSE; La campana esta abajo
VALVULAS [GSV] = FALSE; La compuerta esta cerrada
VALVULAS [DCSV] = FALSE; Clutch inhabilitado
VALVULAS [DSV1] = FALSE; Arado adentro/afuera en reposo
VALVULAS [DSV2] = FALSE; Arado arriba/abajo en reposo
VALVULAS [WWSV] = PULSADOR [lavado]; Lavado manual
M25_LOG [cmd] = TRUE ; Motor de 25 Hp en marcha
M50_LOG [cmd] = FALSE; Motor de 50 Hp no marcha
```

## Continuación del apéndice 1.

MDESCARGA\_LOG [cmd] = FALSE; Motor de descarga no marcha

RESETS [LS\_r] = FALSE; Detenemos el timer para cargar

RESETS [CT\_r] = TRUE ; Iniciamos el Timer de control CT

RESETS [T2\_r] = TRUE ; Iniciamos el Timer del 1er lapso de lavado T2

IF (CLK\_CT [memo] >= PAR\_TPOS [CT1]) THEN; Si el tiempo es > a CT1

INT [ESTADO] = CENTRIFUGAR ; Mandamos la maquina al estado de CENTRIFUGAR

RESETS [CT\_r]= FALSE ; Detenemos y reseteamos el Timer de control

ENDIF

IF (PULSADOR [Paro]) THEN; Si pulsamos el boton de STOP detenemos la maquina

INT [ESTADO] = FRENO

ENDIF

IF (PULSADOR [Reset]) THEN; Si pulsamos el boton de RESET vamos a reposo

INT [ESTADO] = REPOSO

ENDIF

IF (LOGS [GS]) THEN; Si hay desbalance detenemos la maquina

INT [ESTADO] = FRENO

ENDIF

INT [ESTADO\_ant] = 0

**; La maquina cambia de baja a alta velocidad para poder centrifugar**

**CENTRIFUGAR->**

VALVULAS [LZP] = FALSE; Luz piloto apagada

VALVULAS [BSV] = FALSE; Quitamos el freno

VALVULAS [BCWSV] = TRUE ; Si hay agua de enfriamiento

VALVULAS [VLSV] = FALSE; La campana esta abajo

VALVULAS [GSV] = FALSE; La compuerta esta cerrada

## Continuación del apéndice 1.

VALVULAS [DCSV] = FALSE; Clutch inhabilitado  
VALVULAS [DSV1] = FALSE; Arado adentro/afuera en reposo  
VALVULAS [DSV2] = FALSE; Arado arriba/abajo en reposo  
; VALVULAS [WWSV] = PULSADOR [lavado]; Lavado de agua manual  
M25\_LOG [cmd] = FALSE; Variador en velocidad de baja no marcha  
M50\_LOG [cmd] = TRUE ; Variador en velocidad de alta no marcha  
MDESCARGA\_LOG [cmd] = FALSE; Motor de descarga no marcha

```
IF (CLK_2 [memo] >= PAR_TPOS [T2]) THEN
    RESETS [T2_r] = FALSE ; Detenemos y reseteamos el Timer del 1er lapso de lavado T2
    RESETS [T3_r] = TRUE ; Iniciamos el Timer del 1er lavado T3
    VALVULAS [WWSV] = TRUE ; Abrimos la valvula para el 1er lavado
ENDIF
```

```
IF (CLK_3[memo] >= PAR_TPOS[T3])THEN
    VALVULAS [WWSV] = FALSE ; Cerramos la valvula para el 1er lavado
    RESETS [T3_r] = FALSE ; Detenemos y reseteamos el Timer del 1er lavado T3
    RESETS [T4_r] = TRUE ; Iniciamos el Timer de tiempo entre lavados T4
ENDIF
```

```
IF (CLK_4[memo] >= PAR_TPOS[T4])THEN
    RESETS [T4_r] = FALSE ; Detenemos y reseteamos el Timer del 2do lapso de lavado T4
    RESETS [T5_r] = TRUE ; Iniciamos el Timer del 2do lavado T5
    VALVULAS [WWSV] = TRUE ; Abrimos la valvula de agua para el 2do lavado
ENDIF
```

```
IF (CLK_5[memo] >= PAR_TPOS[T5])THEN
    VALVULAS [WWSV] = FALSE ; Cerramos la valvula de agua del 2do lavado
    RESETS [T5_r] = FALSE ; Detenemos y reseteamos el Timer del 2do lavado T5
    RESETS [T7_r] = TRUE ; Iniciamos el Timer del freno regenerativo T7
ENDIF
```

```
IF (CLK_7[memo] >= PAR_TPOS[T7])THEN
```

## Continuación del apéndice 1.

```
INT [ESTADO] = FRENO_REG
RESETS [T7_r] = FALSE
ENDIF
```

```
IF (PULSADOR [Paro]) THEN; Si pulsamos el boton de STOP detenemos la maquina
  INT [ESTADO] = FRENO
ENDIF
```

```
IF (PULSADOR [Reset]) THEN; Si pulsamos el boton de RESET vamos a reposo
  INT [ESTADO] = REPOSO
ENDIF
```

```
IF (LOGS [GS]) THEN; Si hay desbalance detenemos la maquina
  INT [ESTADO] = FRENO
ENDIF
```

```
INT [ESTADO_ant] = 0
```

; Estado donde se aplica el freno regenerativo

### **FRENO\_REG->**

```
VALVULAS [LZP]   = FALSE ; Luz piloto apagada
VALVULAS [BSV]   = FALSE ; Quitamos el freno
VALVULAS [VLSV]  = FALSE ; La campana esta abajo
VALVULAS [GSV]   = FALSE ; La compuerta esta cerrada
VALVULAS [DCSV]  = FALSE ; Clutch inhabilitado
VALVULAS [DSV1]  = FALSE ; Arado adentro/afuera en reposo
VALVULAS [DSV2]  = FALSE ; Arado arriba/abajo en reposo
VALVULAS [WWSV]  = PULS  ; Variador en baja en marcha
M50_LOG [cmd]    = FALSE ; Variador en alta no marcha
MDESCARGA_LOG [cmd] = FALSE ; Motor de descarga no marcha
```

## Continuación del apéndice 1.

RESETS [CT\_r] = TRUE ; Volvemos a poner a contar al Timer de control

IF (CLK\_CT [memo] >= PAR\_TPOS [CT2]) THEN

INT [ESTADO] = FRENAR

RESETS [CT\_r] = FALSE

ENDIF

IF (PULSADOR [Paro]) THEN ; Si pulsamos el boton de STOP detenemos la maquina

INT [ESTADO] = FRENO

ENDIF

IF (PULSADOR [Reset]) THEN ; Si pulsamos el boton de RESET vamos a reposo

INT [ESTADO] = REPOSO

ENDIF

IF (LOGS [GS]) THEN ; Si hay desbalance detenemos la maquina

INT [ESTADO] = FRENO

ENDIF

INT [ESTADO\_ant] = 0

### **; Estado donde la maquina empieza a frenar**

#### **FRENAR->**

VALVULAS [LZP] = FALSE ; Luz piloto apagada

VALVULAS [BSV] = TRUE ; Aplicamos el freno

VALVULAS [BCWSV] = FALSE ; No hay agua de enfriamiento

VALVULAS [GSV] = FALSE ; La compuerta esta cerrada

VALVULAS [DCSV] = FALSE ; Clutch inhabilitado

VALVULAS [DSV1] = FALSE ; Arado adentro/afuera en reposo

VALVULAS [DSV2] = FALSE ; Arado arriba/abajo en reposo

VALVULAS [WWSV] = FALSE ; Valv de lavado cerrada

## Continuación del apéndice 1.

```
M25_LOG [cmd] = FALSE ; Motor de 25 Hp no marcha  
M50_LOG [cmd] = FALSE ; Motor de 50 Hp no marcha  
MDESCARGA_LOG [cmd] = FALSE ; Motor de descarga no marcha
```

```
RESETS [FRE_r] = TRUE
```

```
; IF RPM <= PAR_RPM [up] THEN  
; test_camp = TRUE  
; ENDIF
```

```
IF (CLK_FRE [memo]>= PAR_RPM [up]) THEN  
    VALVULAS [VLSV] = TRUE ; Levantamos la campana  
    RESETS [FRE_r] = FALSE  
ENDIF
```

```
IF ((LOGS [SLSW]) AND (RPM <= PAR_RPM [stop])) THEN  
    INT [ESTADO] = EN_REVERSA ; Iniciamos el Timer de descarga  
    INT [ESTADO_ant] = FRENAR ; Estado anterior  
    RESETS [FRE_r] = FALSE  
ENDIF
```

```
IF (PULSADOR [Paro]) THEN; Si pulsamos el boton de STOP detenemos la maquina  
    INT [ESTADO] = FRENO  
ENDIF
```

```
IF (PULSADOR [Reset]) THEN ; Si pulsamos el boton de RESET vamos a reposo  
    INT [ESTADO] = REPOSO  
ENDIF
```

```
IF (LOGS [GS]) THEN ; Si hay desbalance detenemos la maquina  
    INT [ESTADO] = FRENO
```

## Continuación del apéndice 1.

ENDIF;

; Estado donde el arado hace contacto con la pared de la canasta  
DESC\_ADENTRO->

VALVULAS [LZP] = FALSE ; Luz piloto apagada  
VALVULAS [BSV] = FALSE ; Quitamos el freno  
VALVULAS [BCWSV] = FALSE ; No hay agua de enfriamiento  
VALVULAS [VLSV] = TRUE ; La campana esta arriba  
VALVULAS [GSV] = FALSE ; La compuerta esta cerrada  
VALVULAS [DSV1] = TRUE ; Arado adentro de la canasta  
VALVULAS [DSV2] = FALSE ; Arado arriba/abajo en reposo  
VALVULAS [WWSV] = FALSE ; Valv de lavado cerrada  
M25\_LOG [cmd] = FALSE ; Velocidad baja no marcha  
M50\_LOG [cmd] = FALSE ; Velocidad alta no marcha  
MDESCARGA\_LOG [cmd] = TRUE ; Motor de descarga en marcha

RESETS [DT2\_r] = TRUE

IF (CLK\_DT2 [memo] >= 3.0) THEN  
  IF (LOGS [PSW2]) THEN  
    INT [ESTADO] = DESC\_ABAJO  
    RESETS [DT2\_r] = FALSE  
  ENDIF  
ENDIF

IF (PULSADOR [Paro]) THEN ; Si pulsamos el boton de STOP detenemos la maqjuna  
  INT [ESTADO] = FRENO  
ENDIF

IF (PULSADOR [Reset]) THEN ; Si pulsamos el boton de RESET vamos a reposo  
  INT [ESTADO] = REPOSO  
ENDIF

## Continuación del apéndice 1.

```
IF (LOGS [GS]) THEN ; Si hay desbalance detenemos la maquina
  INT [ESTADO] = FRENO
ENDIF
```

```
INT [ESTADO_ant] = 0
```

```
; Estado donde el arado se mueve hacia abajo para descargar
DESC_ABAJO->
```

```
VALVULAS [LZP] = FALSE ; Luz piloto apagada
VALVULAS [BSV] = FALSE ; Quitamos el freno
VALVULAS [BCWSV] = FALSE ; No hay agua de enfriamiento
VALVULAS [VLSV] = TRUE ; La campana esta arriba
VALVULAS [GSV] = FALSE ; La compuerta esta cerrada
VALVULAS [DCSV] = TRUE ; Clutch habilitado
VALVULAS [DSV1] = TRUE ; Arado adentro de la canasta
VALVULAS [DSV2] = TRUE ; Arado hacia abajo
VALVULAS [WWSV] = FALSE ; Valv de lavado cerrada
M25_LOG [cmd] = FALSE ; Motor de 25 Hp no marcha
M50_LOG [cmd] = FALSE ; Motor de 50 Hp no marcha
MDESCARGA_LOG [cmd] = TRUE ; Motor de descarga en marcha
```

```
RESETS [DT3_r] = TRUE
```

```
IF (CLK_DT3 [memo] >= PAR_TPOS [DT3]) THEN
  INT [ESTADO] = DESC_AFUERA
  RESETS [DT3_r] = FALSE
ENDIF
```

```
IF (PULSADOR [Paro]) THEN ; Si pulsamos el boton de STOP detenemos la maquina
  INT [ESTADO] = FRENO
ENDIF
```

## Continuación del apéndice 1.

```
IF (PULSADOR [Reset]) THEN ; Si pulsamos el boton de RESET vamos a reposo
    INT [ESTADO] = REPOSO
ENDIF
```

```
IF (LOGS [GS])THEN ;Si hay desbalance detenemos la maquina
    INT [ESTADO] = FRENO
ENDIF
```

```
INT [ESTADO_ant] = 0
```

```
; Estado donde el arado se retira de la pared de la canasta
DESC_AFUERA->
```

```
VALVULAS [LZP]    = FALSE ; Luz piloto apagada
VALVULAS [BSV]    = FALSE ; Quitamos el freno
VALVULAS [BCWSV]  = FALSE ; No hay agua de enfriamiento
VALVULAS [VLSV]   = TRUE  ; La campana está arriba
VALVULAS [GSV]    = FALSE ; La compuerta está cerrada
VALVULAS [DCSV]   = TRUE  ; Clutch habilitado
VALVULAS [DSV1]   = FALSE ; Arado afuera de la canasta
VALVULAS [DSV2]   = TRUE  ; Arado hacia abajo
VALVULAS [WWSV]   = FALSE ; Valv de lavado cerrada
M25_LOG [cmd]     = FALSE ; Motor de 25 Hp no marcha
M50_LOG [cmd]     = FALSE ; Motor de 50 Hp no marcha
MDESCARGA_LOG [cmd] = TRUE ; Motor de descarga en marcha
```

```
RESETS [DT4_r]    = TRUE ; Ponemos a contar
```

```
IF (CLK_DT4 [memo] >= 3.0) THEN ; Despues de transcurrido un tiempo subimos el arado
    INT [ESTADO] = DESC_ARRIBA
    RESETS [DT4_r] = FALSE ; Detenemos y reseteamos el timer de descarga
ENDIF
```

## Continuación del apéndice 1.

```
IF (PULSADOR [Paro]) THEN ; Si pulsamos el boton de STOP detenemos la maquina
    INT [ESTADO] = FRENO
ENDIF
```

```
IF (PULSADOR [Reset]) THEN ; Si pulsamos el boton de RESET vamos a reposo
    INT [ESTADO] = REPOSO
ENDIF
```

```
IF (LOGS [GS]) THEN ; Si hay desbalance detenemos la maquina
    INT [ESTADO] = FRENO
ENDIF
```

```
INT [ESTADO_ant] = 0
```

```
; Estado donde subimos el arado
```

```
DESC_ARRIBA->
```

```
VALVULAS [LZP] = FALSE ; Luz piloto apagada
```

```
VALVULAS [BSV] = FALSE ; Quitamos el freno
```

```
VALVULAS [BCWSV] = FALSE ; No hay agua de enfriamiento
```

```
VALVULAS [VLSV] = TRUE ; La campana esta arriba
```

```
VALVULAS [GSV] = FALSE ; La compuerta esta cerrada
```

```
VALVULAS [DCSV] = TRUE ; Clutch habilitado
```

```
VALVULAS [DSV1] = FALSE ; Arado afuera de la canasta
```

```
VALVULAS [DSV2] = FALSE ; Arado hacia arriba
```

```
VALVULAS [WWSV] = FALSE ; Valv de lavado cerrada
```

```
M25_LOG [cmd] = FALSE ; Velocidad de bajano marcha
```

```
M50_LOG [cmd] = FALSE ; Velocidad de alta no marcha
```

```
MDESCARGA_LOG [cmd] = TRUE ; Motor de descarga en marcha
```

```
IF (LOGS [DLSW]) THEN ; Si el arado esta en posicion de descanso
```

```
    IF (PULSADOR [CS1]) THEN
```

```
        INT [ESTADO] = FRENO; Vamos al estado de FRENO
```

```
        VALVULAS [LZP] = TRUE; Luz piloto fin de ciclo
```

Continuación del apéndice 1.

```
    INT [ESTADO_ant] = DESC_ARRIBA
    INT [TURNO_AUT] = INT [TURNO_AUT] + 1
ELSE
    INT [ESTADO] = FRENO ; Vamos al estado de FRENO
    VALVULAS [LZP] = TRUE ; Luz piloto fin de ciclo
    INT [TURNO_MAN] = INT [TURNO_MAN] + 1
ENDIF
ENDIF

IF (PULSADOR [Paro]) THEN ; Si pulsamos el boton de STOP detenemos la maquina
    INT [ESTADO] = FRENO
ENDIF

IF (PULSADOR [Reset]) THEN; Si pulsamos el boton de RESET vamos a reposo
    INT [ESTADO] = REPOSO
ENDIF

IF (LOGS [GS]) THEN; Si hay desbalance detenemos la maquina
    INT [ESTADO] = FRENO
ENDIF

ENDCASE

ENDSUB

ENDPROG
```

Fuente: elaboracion propia.



