

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**AUTOMATIZACIÓN DE CENTRÍFUGAS EN UNA INDUSTRIA AZUCARERA**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR**

**MARIO ROBERTO GÁLVEZ CHACÓN**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1,999**

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**



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

**AUTOMATIZACIÓN DE CENTRÍFUGAS EN UNA INDUSTRIA AZUCARERA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 6 de marzo de 1,998. Ref. EIME.059.98

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Mario Roberto Gálvez Chacón".

Mario Roberto Gálvez Chacón

# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



## FACULTAD DE INGENIERÍA

### MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL I:	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II:	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL III:	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
VOCAL IV:	Br. Oscar Stuardo Chinchilla Guzmán
VOCAL V:	Br. Mauricio Alberto Grajeda Mariscal
SECRETARIA:	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Julio Ismael González Podszuek
EXAMINADOR:	Ing. Francisco Javier González López
EXAMINADOR:	Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
EXAMINADOR:	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
SECRETARIO:	Ing. Francisco Javier González López

Guatemala, 03 de Junio de 1999

Señor  
Ing. Roberto Urdiales  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente.

Señor Director:

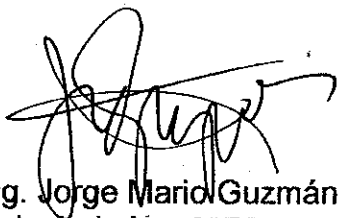
Atentamente me dirijo a usted para presentarle el trabajo de tesis titulado  
"Automatización de centrifugas en una industria azucarera" realizado por el  
Bachiller Mario Roberto Gálvez Chacón.

A mi juicio, el presente trabajo cumple con los objetivos planteados, con un  
contenido interesante, útil y de actualidad. Por tanto, el autor de esta tesis y yo,  
como su asesor, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones de  
la misma.

Me es grato informarle que el presente trabajo de tesis me es completamente  
satisfactorio, por lo que me permito someterlo a su consideración y aprobación.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Jorge Mario Guzmán Torre  
Colegiado No. 2376  
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 1 de septiembre de 1,999

Señor Director  
Ing. Roberto Urdiales Contreras  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Señor Director.

Me permito dar aprobación al trabajo de tesis titulado: Automatización de centrífugas en una industria azucarera, realizado por el señor Mario Roberto Gálvez Chacón, por considerar que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. José Luis Herrera Gálvez  
Coordinador Área Electrotecnia

JLHG/sdem.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de tesis del estudiante Mario Roberto Gálvez Chacón, titulado: Automatización de centrifugas en una industria azucarera, procede a la autorización del mismo.

Ing. Roberto Urdiales Contreras

Director

Guatemala, 6 de octubre de 1,999.



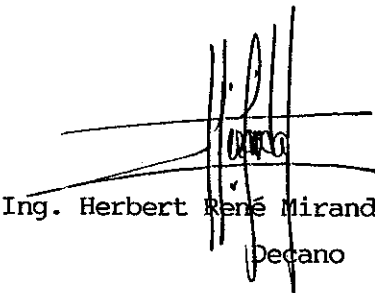
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de tesis: Automatización de centrifugas en una industria azucarera, del estudiante Mario Roberto Gálvez Chacón, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

  
Ing. Herbert René Miranda Barrios  
Decano

Guatemala, noviembre de 1,999.



## **DEDICATORIA**

Dedico la presente tesis a:

### **DIOS**

Por ser la fuerza generadora de todo cuanto existe y quien me guía hoy y siempre.

### **MIS PADRES**

Mario Edmundo Gálvez Bethancourt y  
Olga Marina Chacón de Gálvez.  
Con amor y respeto infinito, que con su ejemplo siempre me han guiado por el camino correcto.

### **MIS HERMANOS**

Erick René, Jose Vinicio, Iris Maria, Norma Eunice,  
Monica Lissette y Emanuel, con amor fraterno.

### **A TODA MI FAMILIA EN GENERAL**

Respetuosamente.

### **A MIS COMPAÑEROS DE ESTUDIO**

Con aprecio sincero y en reconocimiento a su apoyo incondicional ayer hoy y siempre.

### **A MIS AMIGOS**

Que como yo luchan por forjar un país mejor.

### **A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.**



## **AGRADECIMIENTO**

**AL INGENIERO JORGE MARIO GUZMÁN TORRE**

Por su valiosa asistencia que me brindó.

**A INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA S.A.**

Por su colaboración para realizar el presente trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VI
ÍNDICE DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	X
INTRODUCCIÓN .....	XVII
<b>1. LAS MÁQUINAS CENTRÍFUGAS UTILIZADAS PARA LA SEPARACIÓN DE CRISTALES DEL LÍQUIDO MADRE EN LA INDUSTRIA AZUCARERA...1</b>	
1.1 Definición.....	1
1.1.1 Máquinas centrífugas que se utilizan en procesos de separación de cristales del líquido madre en la industria azucarera.....	1
1.2 Estructura .....	1
1.2.1 Componentes y partes mecánicas de una centrífuga.....	1
1.2.2 Consideraciones de montaje y ajustes mecánicos utilizados en la instalación de las centrífugas.....	3
1.2.3 Diagramas e instrucciones para la instalación de cañerías. ....	16
1.3 Consideraciones de mantenimiento.....	19
1.3.1 Tolerancias de desviación de ejes entre el motor y la base del motor. ....	19
1.3.2 Nivelado de la base del motor.....	22
1.3.3 Cambio del adaptador del embrague del motor.....	23
1.3.4 Ensamble de cabezal, eje y canasto.....	24
1.3.5 Ilustración del flujo de aceite y del agua de enfriado del freno .	25
1.3.6 Freno operado por aire y enfriado por agua .....	26
1.3.7 Lubricación .....	27

1.3.8	Unidad servo y control de carga, ajustes de la misma .....	28
1.3.9	Inspección de seguridad de los canastos de las centrifugas.....	32
1.3.10	Instrucción, operación y mantenimiento de frenos de las máquinas.....	34
1.3.11	Instrucciones de mantenimiento, fuera de zafra .....	35
1.3.12	Sugerencias para el personal responsable de la operación y mantenimiento de la estación de centrifugas .....	38

## 2. EL CONTROLADOR ELECTRÓNICO PROGRAMABLE Y LOS DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS NECESARIOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UNA CENTRÍFUGA.....41

2.1	Definición y arquitectura de un controlador programable .....	41
2.1.1	¿Qué es un controlador lógico programable? .....	41
2.1.2	Componentes básicos de un sistema de control electrónico programable .....	41
2.2	Definiciones de operación y funcionamiento de dispositivos necesarios para la automatización de una centrifuga.....	45
2.2.1	Definición de un variador de frecuencia .....	45
2.2.1.1	¿Qué es un variador de frecuencia? .....	45
2.2.1.2	Modo de operación y funcionalidad del variador de frecuencia .....	46
2.2.1.3	Requerimientos de instalación y cableado.....	49
2.2.1.4	Consideraciones de funcionamiento y programación de equipos .....	53
2.2.2	Descripción de los sensores y dispositivos de control adicionales utilizados para la automatización de una centrifuga.....	59
2.3	Consideraciones especiales de instalación. ....	60
2.3.1	Acondicionamiento de la alimentación de entrada, cableado de potencia y cableado de señales de control.....	60

2.3.2	Condiciones de aterrizaje del equipo eléctrico en general.....	62
<b>3</b>	<b>EL DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE CENTRÍFUGAS EN PROCESO AZUCAREROS INDUSTRIALES .....</b>	<b>65</b>
3.1	Descripción del diseño de ingeniería de la automatización de una centrífuga.....	65
3.1.1	Descripción y análisis del funcionamiento del proceso industrial azucarero relacionado con las centrífugas. ....	65
3.1.2	Consideraciones prácticas a tomar en el proyecto. ....	67
3.1.3	Diagrama de funcionamiento de una centrífuga. ....	68
3.2	Componentes a utilizar en la automatización de una centrífuga.....	69
3.2.1	Características y especificaciones técnicas de la unidad de procesamiento central ( CPU ). ....	69
3.2.2	Descripción y análisis de operación de los módulos discretos de entrada y salida. ....	72
3.2.3	Descripción y análisis de operación de los dispositivos de comunicación.....	77
3.2.4	Descripción y análisis de operación del módulo de acceso a la tabla de datos de la unidad de procesamiento central. ....	78
3.3	Programación .....	80
3.3.1	Descripción general del tipo de lógica de programación .....	80
3.3.2	Estructura y diseño del programa del controlador electrónico programable .....	84
3.3.3	Consideraciones básicas del sistema para el control del proceso y control de fallas en la centrífuga .....	98

4. EL DISEÑO DEL CONTROL AUTOMÁTICO DE ARRANQUE EN SECUENCIA, CONTROL DE OPERACIÓN Y CONTROL DE DATOS DE PRODUCCIÓN DE VARIAS CENTRÍFUGAS AUTOMATIZADAS EN UN PROCESO INDUSTRIAL AZUCARERO .....	105
4.1 Descripción del control de secuencia .....	105
4.1.1 Análisis del sistema de lectura y escritura de datos a las diferentes centrífugas que existen en el sistema.....	105
4.1.2 Consideraciones prácticas realizadas en el diseño.....	107
4.1.3 Diagrama de un sistema de control general del área de centrífugas, para el control de producción. ....	108
4.2 Componentes utilizados en el proyecto secuenciador de centrífugas .	109
4.2.1 Descripción de la estructura completa del autómata programable utilizado en el proyecto.....	109
4.2.2 Características y especificaciones técnicas del sistema secuenciador.....	111
4.3 Programación del sistema secuenciador.....	113
4.3.1 Estructura del programa del controlador electrónico.....	113
4.3.2 Análisis del diseño del programa para el control de secuencia.....	115
4.3.3 Estructura y análisis del programa del interface de control del operador, para el manejo de datos de producción y el control del funcionamiento de las centrífugas existentes en el sistema....	123
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	129
5.1 Análisis de inversión.....	129
5.2 Ventajas de utilizar un controlador electrónico en el proceso de automatización de una centrífuga . ....	134

5.3	Ventajas de utilizar un controlador electrónico de control de operación y control de datos de producción en un sistema industrial azucarero en el cual existen varias centrifugas.....	135
5.4	Análisis comparativo entre el control de relevación convencional y el control electrónico en la operación de una o varias centrifugas.....	136
	CONCLUSIONES.....	138
	RECOMENDACIONES.....	140
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	142
	BIBLIOGRAFÍA.....	143
	ANEXOS O APÉNDICE .....	144

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

No. FIGURA	DESCRIPCIÓN	Pág.
1	Esquema de centrífuga suspendida tipo batch, con transmisión de descarga en reversa. -----	4
2	Nivelado de base de motor. -----	6
3	Instalación del eje de una centrífuga. -----	8
4	Tolvas de compuerta y compuerta de carga. -----	10
5	Ajustes de la unidad servo. -----	13
6	Válvula automática de canasto. -----	14
7	Ajustes del arado del descargador. -----	15
8	Instalación agua de enfriamiento de freno. -----	17
9	Línea de cañería de lubricación. -----	18
10	Tolerancias de desviación entre motor y su base. -----	19
11	Tolerancias de desviación entre motor y su base. -----	20
12	Tolerancias de desviación entre motor y su base. -----	21
13	Tolerancias de desviación entre motor y su base. -----	22
14	Nivelado de motor. -----	23
15	Flujo de aceite y agua de enfriado. -----	26

16	Unidad servo y control de carga. -----	30
17	Utilización de SCR's en un circuito trifásico para proveer control sobre el nivel de voltaje de salida de CC. -----	47
18	Circuito inversor trifásico y voltajes de salida del inversor. -----	48
19	Consideraciones de instalación para variadores 1336 PLUS. -----	52
20	Tarjeta de interfase de control TB3. -----	55
21	Tarjeta interna TB2 del variador 1336 PLUS.-	56
22	Diagrama de funcionamiento de la centrífuga.	69
23	Ciclo de operación de un procesador. -----	71
24	Diagrama de dispositivo Source con módulo de entrada Sink. -----	74
25	Diagrama de dispositivo Sink con módulo de entrada Source. -----	74
26	Diagrama de dispositivo Sink con módulo de salida Source.	75
27	Diagrama de dispositivo Source con módulo de salida Sink. -----	76
28	Conexión de interfase con el operador a red DH-485. -----	80
29	Típico diagrama en escalera. -----	82
30	Ordenamiento de subrutinas en el programa.	94
31	Diagrama de flujo del diseño del programa del controlador lógico programable -----	95
32	Diagrama de flujo del diseño del programa	



	del controlador lógico programable -----	96
33	Diagrama de flujo del diseño del programa del controlador lógico programable -----	97
34	Diagrama de red de comunicación DH-485. -	109
35	Disposición de equipo en secuenciador central. -----	111
36	Descripción de la instrucción de mensaje. ---	115
37	Configuración de la instrucción de mensaje de lectura. -----	116
38	Configuración de la instrucción de mensaje de escritura. -----	117
39	Habilitación de instrucciones de mensaje de lectura. -----	118
40	Habilitación de instrucciones de mensaje de escritura. -----	119
41	Descripción de las instrucciones FFL/FFU.--	120
42	Habilitación de la instrucción FFL ( fifo load ). -----	122
43	Habilitación de la instrucción FFU ( fifo unload ). -----	123

### Tablas

I	Especificaciones del procesador -----	70
II	Especificaciones del procesador -----	112
III	Datos de Producción -----	144
IV	Análisis de inversión -----	145

## ÍNDICE DE SÍMBOLOS

<b>Lbf</b>	Libras fuerza
<b>Seg</b>	Segundo
<b>Hrs</b>	Horas
<b>Plg</b>	Pulgadas
<b>Fig</b>	Figura
<b>Psi</b>	Libras por pulgada cuadrada
<b>Pie/lbs</b>	Fuerza pie por libra
<b>"</b>	Pulgada
<b>°C</b>	Grados Centígrados
<b>°F</b>	Grados Farenheit
<b>K</b>	( 1 x 10E 3 ) Kilo
<b>V</b>	Voltaje
<b>I</b>	Corriente
<b>CC</b>	Corriente Continua
<b>DC</b>	Corriente Directa
<b>AC</b>	Corriente Alterna
<b>KVA</b>	Potencia Kilovoltamperios
<b>RPM</b>	Velocidad de rotación Revoluciones por minuto
<b>VDC</b>	Voltaje de corriente directa
<b>\$</b>	Moneda en dolares

## GLOSARIO

<b>AC</b>	Corriente Alterna, la corriente varía entre valores positivos y negativos en el tiempo.
<b>AIC</b>	Isolated Link Coupler. Módulo de comunicación aislado utilizado para redes DH-485.
<b>APS</b>	Del inglés Advanced Programming Software, el cual es un paquete de programación avanzado para computadora y permite programar el controlador lógico programable.
<b>BAUD RATE</b>	Término utilizado para indicar la razón por la cual los datos seriales son transferidos. Se define como 1 bit / segundo.
<b>BIT</b>	Digito binario, cuando se usa en asociación a un código binario, sus valores pueden ser 0 o 1.
<b>BYTE</b>	Palabra de ocho Bits.
<b>CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE</b>	Reemplazo electrónico para paneles industriales que utilizan lógica de relevación convencional.

<b>CPU</b>	Unidad de procesamiento central o procesador.
<b>CHIGRE</b>	Bar en el que se sirve principalmente sidra.
<b>DC</b>	Corriente directa.
<b>DIODO</b>	Término que significa dos electrodos en donde DI significa DOS y ODO significa electrodo. Es un dispositivo semiconductor, el cual idealmente actúa como un interruptor.
<b>DISPOSITIVO DE ENTRADA</b>	Un dispositivo, como un pulsador o interruptor, que proporciona señales a través de los circuitos de entrada al controlador lógico programable.
<b>DISPOSITIVO DE SALIDA</b>	Un dispositivo, como una luz piloto o una bobina de un contactor, que es energizado por el controlador lógico programable.
<b>DTAM-PLUS</b>	Del inglés Data Table Access Module, que significa módulo de acceso a la tabla de datos del controlador lógico programable.
<b>EEPROM</b>	Memoria programable eléctricamente por el usuario; es borrada con señales eléctricas. Viene del inglés Electrically Eraseable Programmable Read Only Memory.

**ESTRIADO**

Proceso de manufactura que se realizan en piezas mecánicas, el cual tiene forma de surcos o canales.

**HHT**

Del Inglés Hand Held Terminal; es una terminal de programación manual, para la programación del controlador lógico programable de tipo SLC500.

**HORQUILLA**

Horqueta u. horcón. Pieza en forma de horca de un mecanismo.

**INTERFACE ANALÓGICO**

Dispositivos que se utilizan para la conversión de señales. Estos dispositivos pueden convertir señales periódicas ( de pulsos ) a señales analógicas.

**KVA**

Letras que dan un significado de una media de la potencia eléctrica de un sistema u/o equipo. Kilo Voltamperios.

**LCD**

Pantalla de cristal líquido.

**NODO**

También llamado estación. Es una dirección o localización lógica en la red.

**PROTOCOLO**

El Lenguaje que es transmitido a través de una red.

**RACK LÓGICO DE E/S**

Unidad de direccionamiento de entrada/salida que corresponde a 8 palabras en la tabla de imagen de entradas y 8 palabras en la tabla de imagen de salidas. Un rack puede contener un máximo de 8 grupos de entrada/salida hasta 128 entradas/salidas discretas.

**RAM**

Memoria de acceso aleatorio, del inglés Random Access Memory; esta es una memoria de lectura y escritura.

**REACTANCIA**

Dispositivo que es una bobina la cual se conecta en serie con las líneas de alimentación de potencia y sirve para oponerse a los cambios bruscos de corriente que pueden existir en la alimentación.

**RECTIFICADOR**

Dispositivo que transforma una fuerza electromotriz alterna en continua.

**RED**

Serie de estaciones ( nodos ) conectadas por algún tipo de medio de comunicación. Una red puede ser hecha por varias o una sola unión.

**RED DH-485**

Colección de dispositivos conectados al cable de comunicación permitiendo intercambio de información. Utiliza un puerto RS-485 y un protocolo de comunicación de Allen Bradley.

**RS-232**

Estándar que especifica características funcionales, mecánicas y eléctricas para circuitos de comunicación binaria. Es un interface de comunicación serial.

**REGLA DE ENRASE**

Herramienta de trabajo, la cual sirve para realizar trabajos de nivelación de piezas mecánicas.

**RS-LOGIX500**

Es un paquete de programación para computadora, el cual trabaja bajo un ambiente de Windows 95/NT. Sirve para poder monitorear y programar los controladores lógicos programables SLC500.

**SCAN**

Se refiere a un ciclo de procesamiento del programa de un controlador lógico programable.

**SINK**

Término utilizado para describir el flujo de corriente entre un dispositivo de E/S y la circuitería de E/S. Un dispositivo SINK provee un camino hacia el lado negativo de la fuente de alimentación (PNP).

**SLOT**

Puesto de conexión en un bastidor (chasis) para los módulos de entrada y salida del controlador lógico programable.

**SLC500**

Controlador Lógico Programable de la familia de los equipos Allen Bradley. Small Logic Controller 500.

**SOURCE**

Término utilizado para describir el flujo de corriente entre un dispositivo de E/S y la circuitería de E/S . Un dispositivo SOURCE provee un camino hacia el lado positivo de la fuente de alimentación (NPN).

**TOLVA**

Recipiente donde se acumula o se retiene la meladura en los ingenios. La tolva está conectada a las compuertas de las centrifugas.

**TRANSIENTE**

Situación anormal de energía. Por ejemplo un pico de voltaje o una corriente muy alta ( en menos de la duración de un ciclo ).

**TTL**

Lógica de transistor - transistor. Utiliza un rango típico de nivel alto de voltaje de 2.4 a 5 Voltios y un rango típico de nivel bajo de voltaje de 0 a 0.4 voltios.

**UVPROM**

Memoria programable de lectura solamente, borrrable con luz ultravioleta, utilizada para almacenar o transferir programas del controlador lógico programable.

**VFD**

Pantalla fluorescente.



**ZUMO AZUCARADO**

Líquido que se extrae de la caña de azúcar.

## INTRODUCCIÓN

La industria guatemalteca, al igual que todas las industrias, tiene la oportunidad de aprovechar el avance acelerado de la tecnología. De esta forma se mantiene dentro del mercado siendo competitiva, con productos de alta calidad y bajo costo. Para seguir siendo competitivos y cumplir con las características de alta calidad y bajo costo, se han venido utilizando cada vez más los controladores lógicos programables para la automatización de diversos procesos.

Los procesos de producción de la industria azucarera se han implementando con la ayuda de los sistemas de control automático, provocando que éstos sean más eficientes, debido al control preciso del proceso, al bajo costo de mano de obra que esto representa, al mejoramiento de la calidad del producto, a la reducción de los tiempos muertos y a la facilidad que posee el usuario para la realización del trabajo de mantenimiento y solución de fallas.

En realidad, antes de la automatización de un proceso se pueden realizar varias preguntas como ¿Vale la pena actualizarse con la tecnología y reemplazar los sistemas de control con lógica de relevación convencional? o ¿Qué tanta flexibilidad presentan estos equipos?. Como respuesta a las anteriores preguntas se puede decir que al utilizar un control lógico programable para la automatización de un proceso industrial se puede lograr no solo reemplazar paneles convencionales sino incrementar la eficiencia, la flexibilidad y la productividad, así como ir un paso adelante y tener la capacidad de adquisición de diferentes tipos de datos para el análisis de la producción general.

El trabajo de tesis está centrado en el análisis específico del diseño de ingeniería para el control automatizado de las máquinas centrífugas que se utilizan para separar los productos cristalinos, el zumo azucarado que es el líquido madre extraído de la caña de azúcar. Inicialmente se hará un enfoque mecánico general de la máquina centrífuga donde se definirán y estudiarán las funciones de las diferentes partes mecánicas, hidráulicas y neumáticas que conforman la misma. Luego se presentará el estudio completo del controlador lógico programable y los dispositivos necesarios para la automatización de la máquina centrífuga, así como también las consideraciones que se tomaron en el diseño del sistema de control para la programación de los controladores lógicos programables utilizados en el proyecto y finalmente se presentará un capítulo donde se analizarán los resultados de la inversión, las ventajas de la utilización de los controladores programables y donde se hará un análisis comparativo entre el control de relevación convencional y el control lógico programable en la operación de una o varias centrífugas.

# **1. LAS MÁQUINAS CENTRÍFUGAS UTILIZADAS PARA LA SEPARACIÓN DE CRISTALES DEL LÍQUIDO MADRE EN LA INDUSTRIA AZUCARERA**

## **1.1 Definición**

### **1.1.1 Máquinas centrífugas que se utilizan en procesos de separación de cristales del líquido madre en la industria azucarera**

Las máquinas que aprovechan la fuerza centrífuga de un recipiente que gira a gran velocidad en torno a un eje se les llaman máquinas centrífugas. En el área de la industria azucarera se utilizan un tipo de máquinas centrífugas las cuales sirven para la separación de los cristales de azúcar del líquido de jugo de caña preparado. El recipiente que gira a gran velocidad en torno al eje del motor se le denomina canasta y es en donde, la fuerza centrífuga que es proporcional a la masa del cuerpo y al cuadrado de la velocidad de giro, se obtiene que el azúcar se adhiera a las paredes de la misma.

## **1.2 Estructura**

### **1.2.1 Componentes y partes mecánicas de una centrífuga**

Los componentes más importantes en este tipo de máquinas son los siguientes:

- Transmisión de descarga del Turntork, está compuesta por un motor de menor potencia que el motor principal, un conjunto de fajas para la transmisión de potencia al eje de la máquina y un embrague o clutch neumático. La función de la transmisión de descarga es hacer girar la

canasta en sentido de reversa para que se pueda realizar la descarga del azúcar a los transportadores.

- Motor de transmisión principal 2 velocidades con freno regenerativo. La función del motor principal es proporcionar diferentes velocidades de operación y proporcionar un frenado regenerativo para evitar desgaste excesivo en los componentes del freno mecánico.
- Control automático electroneumático. La función de este control de electroválvulas es proporcionar los movimientos adecuados de los componentes mecánicos accionados neumáticamente.
- Cabezal y freno de la centrífuga. Este componente es el que realiza la acción de frenado mecánico de la máquina centrífuga.
- Control de carga. Controla la cantidad de carga o la cantidad de meladura que ingresa a la canasta para realizar un ciclo de operación. El operador es el encargado de realizar la definición de la cantidad de carga de operación.
- Descargador. Comúnmente se le llama arado y este en conjunto con el componente de transmisión de descarga se encargan de la descarga del azúcar a los transportadores. Este realiza la función de desprendimiento del azúcar de la canasta por medio de una acción de raspado o arado.
- Compuerta de carga. Se encarga de controlar la entrada de meladura a la canasta de la centrífuga por medio de la acción de abrirse o cerrarse.
- Elevador de la válvula cónica del canasto. Es el componente que al actuar realiza el movimiento de subir o bajar la válvula cónica, su accionamiento se realiza por medios neumáticos.
- Canasto. Es la parte de la máquina que gira en conjunto con el eje del motor y en la cual se deposita la meladura para poder realizar la función de separar los cristales de azúcar de la misma.
- Envolverte. Componente que protege y cubre al canasto de la máquina.
- Válvula cónica. Comúnmente se le denomina campana y su función es de subir para permitir que el azúcar ingrese a los transportadores.

- Separadora de mieles. Componente de la centrifuga que se encuentra en la parte inferior de la máquina y que sirve para poder aprovechar la meladura resultante después de un ciclo de operación.

En la figura 1 se muestra el esquema de una centrifuga suspendida, tipo batch, con transmisión de descarga en reverso.

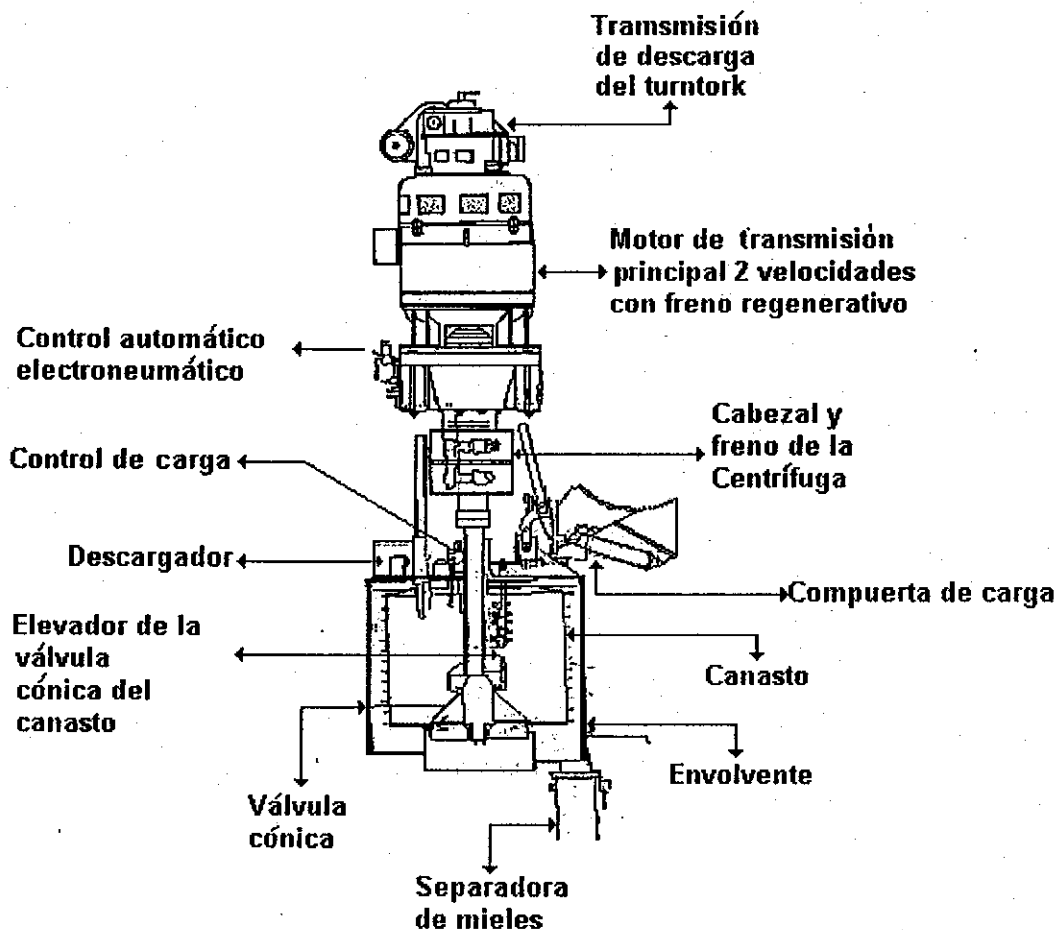
### **1.2.2 Consideraciones de montaje y ajustes mecánicos utilizados en la instalación de las centrifugas**

Unas de las consideraciones más importantes que tenemos que tomar en cuenta en el montaje de una centrifuga es que se estudien todos los planos y documentos relacionados con la máquina. Además para el funcionamiento adecuado de la centrifuga se tienen que tener las consideraciones externas a la máquina como los servicios de aire comprimido a 100 PSIG, los servicios de agua de lavado con una presión de línea de 75 PSIG, los servicios de agua de enfriado que deben estar libres de sedimentos, con una presión de 10 a 12 PSIG y los servicios de abastecimiento de vapor a una presión de 75 PSIG.

Con respecto a las consideraciones de montaje de las partes de una centrifuga se deben tomar en cuenta las siguientes:

1. La estructura de soporte ( armazón ) y el tanque mezclador tienen que estar nivelados y alineados, con distancias y tamaños de vigas de acuerdo a los planos proporcionados por los distribuidores de las máquinas. Las vigas que forman la estructura deben ser de acero, sin superficies maquinadas.

**Fig. 1 Esquema de centrífuga suspendida, tipo batch,  
Con transmisión de descarga en reverso.**



**The Western states machine, company.**

**General instalation and operating instructions. Pag. 1**

2. Una vez montada la estructura de soporte se tiene que instalar una de las partes más importantes de la centrífuga que es la base del motor la cual tiene que montarse con un alineamiento perfecto, tanto como en el plano vertical como en el plano horizontal. Por lo anterior hablaremos de como se realiza el ajuste mecánico en la instalación de la base del motor. Para hacer este trabajo se necesita un nivel de mecánico, una regla de enrase de 40

pulgadas de largo, dos bloques paralelos de 2 ½ pulgadas X 1 pulgada X 4 pulgadas , una llave de tuercas "Allen" para tornillos de nivelado de ¾ de pulgada.

Los procedimientos para la instalación de la base del motor son los siguientes:

- a.- Use la regla de enrase y los bloques paralelos ( los bloques son necesarios para elevar la regla de enrase sobre la base del motor ) como se muestra en la figura 2.
- b.- Comience al frente de la máquina y proceda en la misma dirección en que giran las manecillas del reloj registrando los valores ubicados por el calibrador.
- c.- Corte las cuñas necesarias, en la forma ilustrada en la figura 2 e insértelas en cada esquina. No importa cuántas cuñas se requieran, habrá por lo menos una esquina cero que no requiera acuñado.
- d.- Después de colocar las cuñas, afloje los tornillos de nivelado, de forma que la base descansa completamente en las cuñas.
- e.- Instale las placas estabilizadoras y asegure la base completamente apretando firmemente los pernos de fijación.
- f.- Vuelva a revisar el nivelado y haga las rectificaciones que sean necesarias. Este paso es absolutamente indispensable debido a que al asegurar los pernos de fijación puede ocurrir cambios en el nivelado.

3. Envolvente y canasto. Para las centrífugas Western States existen diferentes tipos de envoltentes según la aplicación, los dos tipos más comunes que se utilizan son :

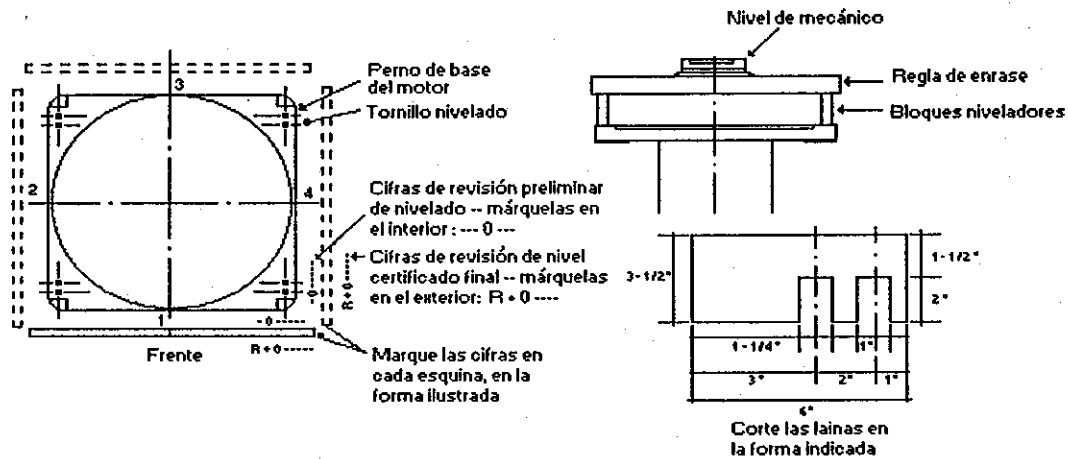
- El tipo de envolvente montado en rieles de soporte, el cual esta atornillado a la armazón por medio de dos rieles de soporte.



- Y el tipo de envolverte montado en plancha de piso, la cual esta soldada a la armazón.

El canasto de la centrifuga esta instalado en la parte interior de la envolverte y tiene que estar alineado, centrado con respecto a la misma, para la instalacion del canasto y la envolverte. Se tienen que seguir los mismos procedimientos y precauciones recomendados para la base del motor.

**Fig. 2 Nivelado de la base del Motor**



**The western states machine, company.**

**General instalation and operating instructions. Pag 4.**

- Acoplamiento del cabezal y motor. Después de haber instalado los motores y sus bases, debe adherir la mitad del motor de los acoplamientos del cabezal a los acoplamientos del motor. Al instalar los pernos del acoplamiento del motor, asegúrese que las cabezas de los pernos queden arriba y las tuercas queden abajo. Esto permitirá quitar los pernos del acoplamiento y separar los acoplamientos sin tener que quitar el eje y bajar el cabezal. La razón de esta separación del acoplamiento es permitir

hacer trabajar el motor independientemente para revisar los cojinetes y para otros propósitos.

5. Cabezal de la centrífuga. Es el punto de suspensión para el eje y el canasto, provee un punto de conexión flexible entre la unidad motriz y el canasto. La conexión entre la unidad motriz y el eje del canasto es a través del eje del cabezal. El extremo superior del eje del cabezal está estriado para recibir una mitad de acoplamiento flexible, el extremo inferior del eje del cabezal está bordado para recibir el eje del canasto.

Si la mitad del motor del acoplamiento del cabezal no fue instalada debidamente se puede colocar en posición con la mitad inferior del acoplamiento del cabezal y puede ser atornillada al acoplamiento del motor después que el cabezal haya sido atornillado en posición. Para el ajuste y montaje del cabezal se tienen que tener rangos de desalineación y desbalanceo muy pequeños.

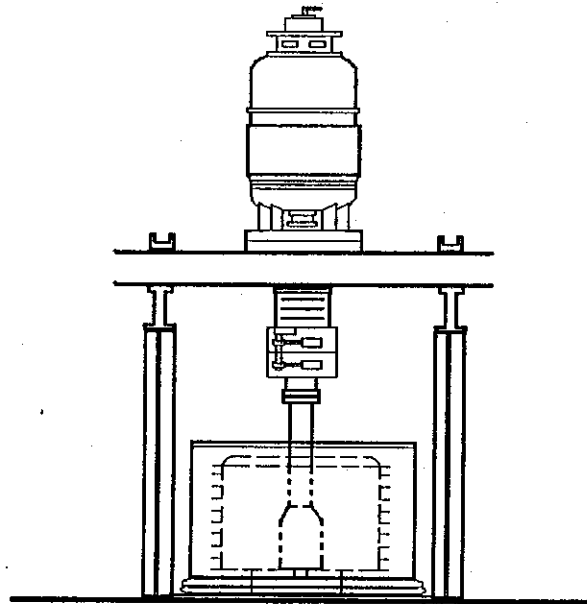
6. Instalación del eje. Para la instalación del eje de la centrífuga se tienen que tener los procedimientos y/o precauciones siguientes: ( figura 3 )

- Primero asegurarse que las superficies de acoplamiento del eje y de la parte inferior del canasto estén suaves, limpias y libres de rebabas o muescas.
- Aplique aire comprimido para soplar los hoyos del atornillado del eje, asegurándose que no quede ningún material extraño en los hoyos.
- No haga rodar el eje ni lo golpee en el suelo. Para levantarlo y ponerlo en posición use un " chigre " de cordeles en vez de un aparejo levantador de cadenas o cables.
- A todos los pernos aplíquese una capa lubricante o equivalente.

- Los pernos pueden ser apretados al pretensado requerido apretando las tuercas hasta que suenen, o apretándolas mediante una llave de martillo o un aprieta tuercas neumático de percusión.

Basado en apretar el perno a 70 % del mínimo de tensión requerido, la torsión recomendada para los pernos de 1 ½ pulgada de diámetro del fondo del canasto es de 1250 pie/Lbs. El uso de lubricante, antes del armado reduce los requisitos de torsión a 700 pie/Lbs. Calentando los pernos en aceite a 300 grados F. antes del armado, ayudará a obtener una mejor torsión de tuerca, proporcionando alrededor de la mitad del pretensado requerido. La otra mitad se logrará apretando la tuerca en caliente usando la mitad de los valores de torsión indicados.

**Fig. 3 Instalación del eje de una centrífuga**



**The western states machine. Company.  
General instalation and operating instructions. Pag 8**

- Con un calibrador de separadores revise el contacto de metal a metal entre el eje y el canasto.
- Instale la placa de seguridad y alambre todos los pernos.
- Con las superficies de acoplamiento del eje del cabezal y del eje del canasto limpias y libres de rebabas o muescas, apriete el eje al cabezal usando los pernos y arandelas de fijación que se suministran.
- Por último el usuario debe realizar una inspección general de todas las superficies de acoplamiento para evitar problemas de solturas mecánicas, desalineaciones severas, desbalanceos grandes etc.

7. Instalación de la tolva en la compuerta. Hay diferentes tipos de tolvas uno con aletas soldadas como parte integral de la tolva para montar los soportes de los cilindros de aire y el otro, que usa un soporte de montaje separado.

Atornille la tolva al dispositivo de montaje, fije la tolva al tanque mezclador manteniendo la tolva centrada con la centrífuga y al frente paralela con la línea del centro del tanque mezclador y la línea del centro de la cubierta del envolvente.

Con la tolva apropiadamente instalada, enganche el dispositivo a la cubierta del envolvente por delante y por detrás.

Con el eje a plomo y fijado en posición, use el dispositivo de montaje para poner en posición la tolva, teniendo cuidado de mantener el frente de la tolva en paralelo con la línea del centro del armazón, perpendicular con la cubierta del envolvente.

La distancia desde la cubierta del envolvente al fondo de la aleta de la tolva y desde el centro del eje hasta el frente de la aleta de la tolva, debe ser mantenida tan próxima a las cifras indicadas como sea posible ( ver figura 4 ).

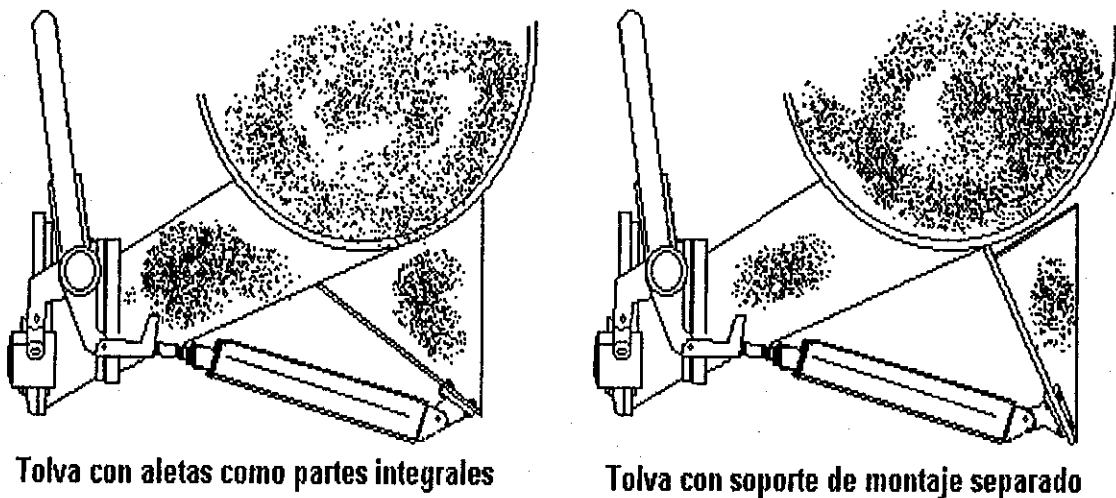
A veces es necesario cortar o esmerilar la tolva para obtener la posición apropiada. Cuando se hace esto, la tolva debe ser soldada a puntos y luego revisada antes de soldarla en sólido al tanque mezclador.

Otra vez, para esta operación se recomienda soldadura punteada para evitar distorsión por calor. Todas las soldaduras de la tolva deben ser impermeables y deben hacerse, si es posible, por dentro y por fuera.

A veces al instalar el tanque mezclador en la armazón, las aperturas para la tolva no estarán en relación apropiada con la centrifuga. El instalador tendrá que cortar otras aperturas y parchar las aperturas del tanque mezclador para conformarse a los planos del armado.

8. Instalación de la compuerta de carga. La compuerta enviada de fábrica viene apropiadamente ajustada y lista para instalar. Atomille en posición el conjunto de la compuerta a la tolva, usando un empaque apropiado para la junta de la tolva con la compuerta .

**Fig. 4 Tolvas de compuerta y compuertas de carga**



**The Western states machine, company.**

**General instalation and operating instructions. Pag. 11**

Antes de montar los cilindros de aire, la compuerta debe estar abierta en su posición máxima. La compuerta puede ser abierta forzándola con una pieza de madera de 2 por 4 Plg. o usando un segmento de cañería de 2 Plg. de diámetro en conjunto con la palanca de emergencia de la compuerta.

- Adhiera los cilindros de aire a las palancas de operación de la compuerta.
- Una los soportes moldeados al extremo fijo de los cilindros de aire.
- Extienda las varillas de los cilindros de aire hasta su posición máxima.
- Mueva el conjunto de cilindros hacia adelante y hacia atrás para establecer la posición de los soportes moldeados en las aletas de la tolva o para localizar los soportes de montaje para poder soldarlos al tanque mezclador.

Para hacer lo anterior, es necesario mantener la línea de centro de los cilindros de aire paralela con la línea del centro de las palancas de operación de la compuerta para evitar que se pierda el alineamiento de la máquina.

Para lograr esto, mueva el soporte hacia la izquierda hasta que se trabaje en la horquilla de la palanca de la compuerta, marque esto en el tanque del mezclador. Ahora, mueva el soporte hacia la derecha hasta que vuelva a trabar, marque esto también. El punto medio entre estas dos marcas establece la posición del centro. Usando un patrón de soldaduras de puntos soldar el soporte en el tanque mezclador.

Si la tolva proporcionada tiene aletas, coloque y atornille en las aletas los soportes moldeados. Si los hoyos de los soportes no están alineados con los hoyos de las aletas, perfora nuevos hoyos en las aletas, para evitar fallas de alineamiento.

9. Unidad servo. Las consideraciones de montaje que se tienen que tomar en cuenta son las siguientes:

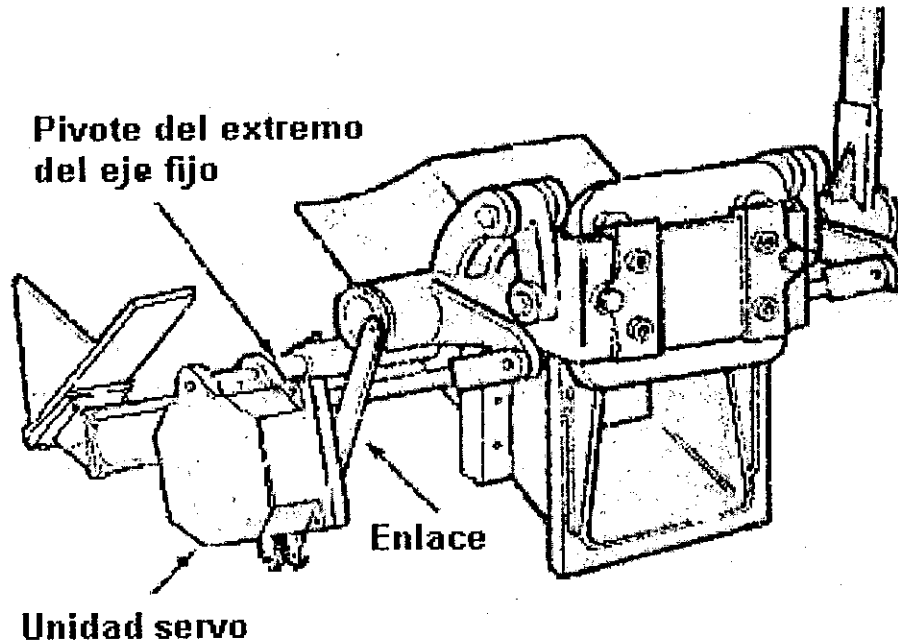
- Ponga el pivote del extremo del eje fijo en el extremo fijo del tubo que está soldado a la tolva .
- Quite la chaveta y la arandela desde el pasador.
- Cuelgue la unidad servo en el eje fijo, como se ve en la ilustración( figura 5 ), cuidando que las mangueras salgan por detrás y por debajo de la caja del servo.
- Antes de empujar la unidad completamente en posición en el pivote del extremo del eje fijo, vuelva a colocar la arandela y coloque el enlace desde la unidad de servo en el pivote del collarín ubicado en el eje de operación de la compuerta .

Para el ajuste de la unidad servo afloje el tornillo de fijación ubicado en la palanca servo AL-103B hasta que no tenga contacto con el casquete B . Ahora la palanca está colocada con el extremo superior extendido al máximo hacia la izquierda con el pistón del cilindro de aire de la unidad de servo hasta el fondo. Ahora, atornille el tornillo de fijación A hasta que el resorte C esté completamente oprimido. Continúe el tornillo de fijación A hasta que el extremo superior ahorquillado de la palanca AL-103B se mueva hacia la derecha por lo menos 1/16 de pulgada desde D, así moviendo el pistón del cilindro de aire desde su posición de fondo. Ahora, fije en posición el tornillo de fijación A.

10. Control de Carga. El conjunto de la unidad de control está montado sobre la cubierta superior del envoltente y atornillado en posición mediante los pernos y los hoyos roscados que se proporcionan. El ajuste del control de carga lo realiza el usuario según las necesidades de carga que requieran en la centrífuga, siempre teniendo en cuenta la capacidad de la máquina y para

realizar esta acción se mueve la palanca servo que existe en la caja de control.

**Fig. 5 Ajustes de la unidad de Servo**



**The Western states machine, company.**

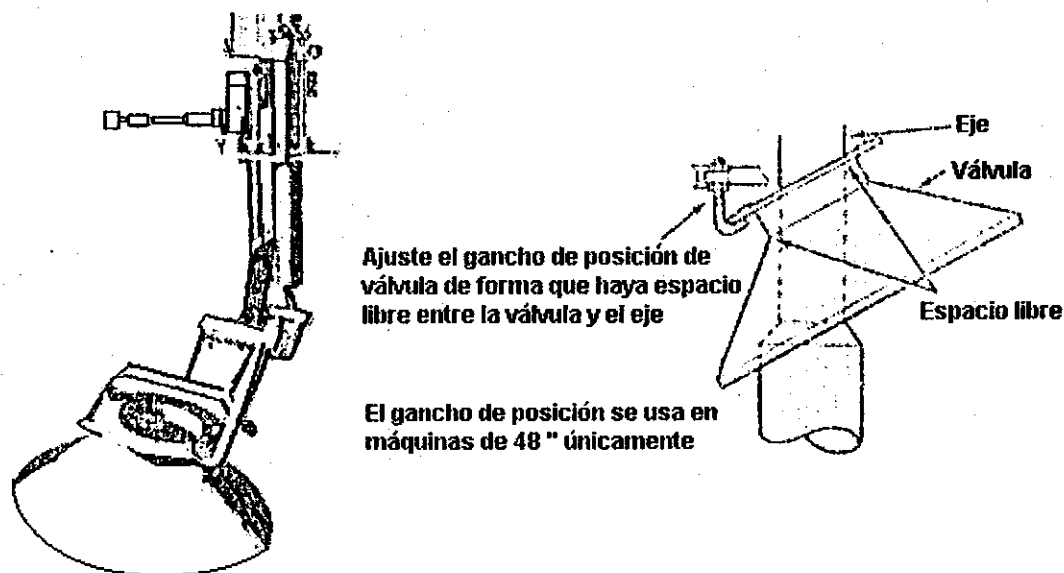
**General instalation and operating instructions. Pag. 14**

1. Elevador neumático de la válvula cónica de canasto ( Figura 6 ). Las consideraciones de montaje que se tienen que tomar en este caso son las siguientes:
  - Instale la válvula cónica en el canasto en posición alrededor del eje.
  - Asegúrese que estén apretados todos los tornillos de cabeza que mantienen unidas las medias válvulas.
  - Monte el conjunto de soporte del elevador de la válvula en la cubierta del envolvente, atornillándolo en los hoyos roscados que se proporcionan.
  - El conjunto elevador debe estar a plomo y paralelo con el eje.



La horquilla del elevador de la válvula debe montar a horcajadas, equidistantemente, el eje y la válvula debe revisarse que este requisito se cumpla estrictamente antes de continuar.

**Fig. 6 Válvula automática de canasto**



**The Western states machine, company.**

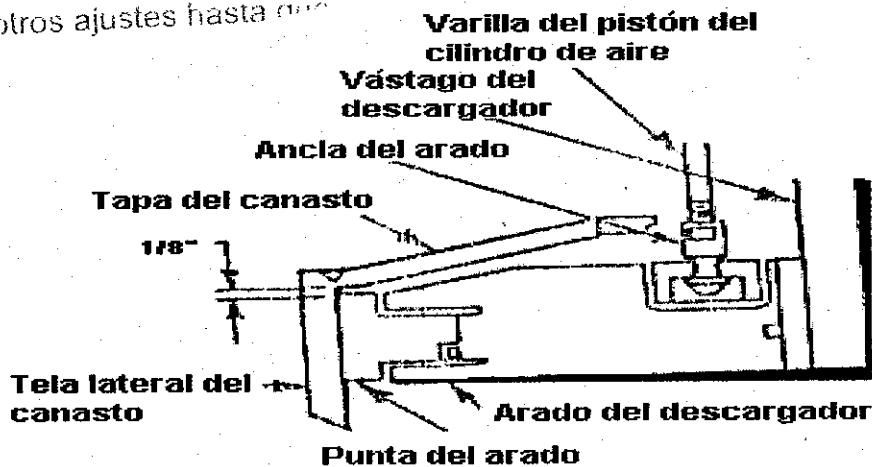
**General instalation and operating instructions. Pag. 17**

12. Descargador automático ( Figura 7 ). Los procedimientos para el montaje de este dispositivo son los siguientes:

- Monte el conjunto de descargador sobre la cubierta superior del envolvente, atornillándolo mediante los pernos de cabeza hexagonal que se proporcionan.
- Aplique aire al lado UP del cilindro de aire; esto pondrá el vástago del descargador en la posición completamente hacia arriba.

- Si es necesario acuñarlo, hágalo con un área de soporte tan extensa como sea posible bajo la plancha de soporte, luego apriételo sólidamente.
- Como el total de la carrera del cilindro de aire, más el ancho del arado del descargador es  $3/16$  de pulgada menos que el fondo del canasto, el arado debe ajustarse por medio de la ancla del arado, de forma que la punta del arado tenga un espacio libre de  $1/8$  de pulgada debajo de la tapa del canasto. Este ajuste se realiza con aire aplicado al lado UP del cilindro. Después de hacer este ajuste, el arado debe revisarse al fondo de la carrera del cilindro para estar seguro que se mantiene en el espacio libre requerido en el fondo del canasto. Si no es así, será necesario hacer otros ajustes hasta que se cumplan estos requisitos.

**Fig. 7 Ajustes del arado del descargador**



The Western states machine, company.

General instalation and operating instructions. Pag. 18

13. Separadora de mieles desplazable. Instale la separadora en la ubicación proporcionada bajo la envolvente. Al conectar a la separadora la tubería de salida ésta debe estar apoyada, de forma que no se aplique ningún tipo de

presión al conjunto de la separadora. Cualquier desalineamiento o distorsión puede causar que la separadora no funcione correctamente.

### 1.2.3 Diagramas e instrucciones para la instalación de cañerías

Después que las centrifugas han sido instaladas, deben ser equipadas con tubería para:

- Agua de lavado
- Agua de enfriado del freno
- Aire comprimido

Para el agua y aire comprimido, se recomienda tubería de acero inoxidable, de cobre o de bronce. Para la línea de lubricación se puede usar tubería negra o tubería galvanizada.

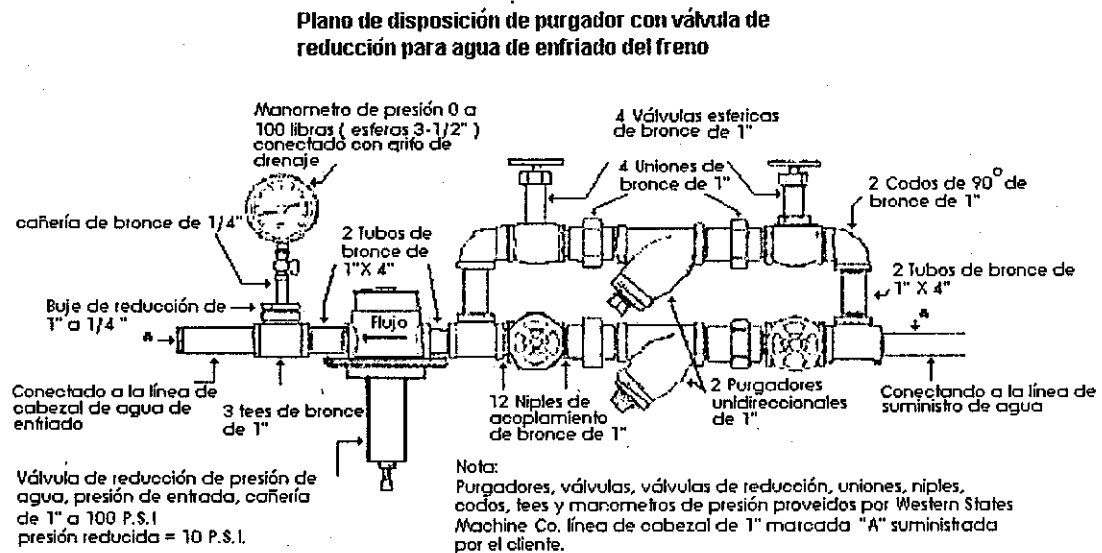
Western States proporciona la cañería de cobre necesaria para tramos cortos y curvaturas intrincadas de las tuberías de agua, aire y aceite. También, proporciona mangueras de goma para conexiones de las líneas de aire. En el momento de la instalación de las cañerías el usuario debe realizar una limpieza con aire comprimido a la misma y el uso de sello de cañería debe mantenerse al mínimo.

En la instalación se debe reducir el número de uniones como sea posible, se recomienda que se utilice cinta de teflón en todas las uniones roscadas, hay que revisar la cañería para ver si llena los requisitos de especificación como diámetro, espesor de pared y que no este deformada, además los tubos deben ser formados para ensamblar con alineación directo a la línea del centro de las uniones, sin distorsión o tensión.

Las consideraciones específicas que se tienen que tomar según la función de la cañería en la máquina centrífuga son:

- Que para la cañería de agua de enfriamiento del freno, el agua debe de estar libre de sedimentos, tal como sea posible. Se recomienda enfriado condensado de 90 a 100 grados Fahrenheit, de 10 PSIG a 12 PSIG ( ver la figura 8 ).

**Fig. 8 Instalación Agua de Enfriamiento del Freno**

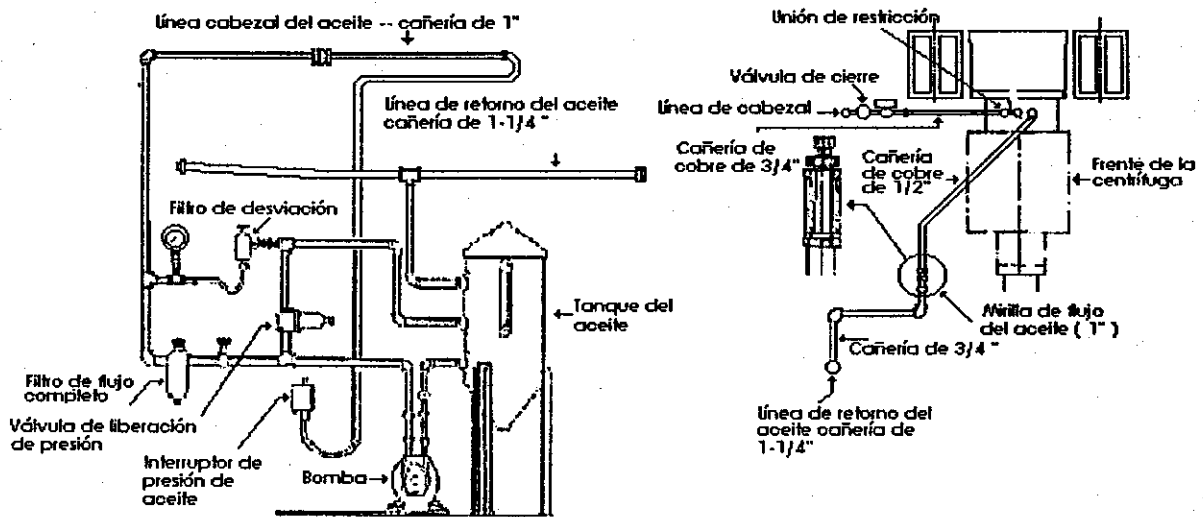


**The Western states machine, company.**

**General instalation and operating instructions. Pag. 23**

- La línea de alimentación de lubricación puede realizarse para una sola máquina o para lubricar más de una centrífuga. Si en la instalación se lubricarán varias máquinas se debe instalar una línea cabezal de 1 pulgada. Esta línea cabezal será suficiente para alimentar hasta cinco máquinas. En la línea de la cañería de lubricación de retorno se tiene que instalar mirillas de flujo, uniones de goteo y la línea tiene que tener un regreso adecuado del aceite que posea una caída de por lo menos 1 pulgada por pie de longitud y esta no debe tener trampas o depósitos que limiten el flujo libre por gravedad. ( ver Figura 9 ).

**Fig. 9 Línea de Cañería de Lubricación.**



**The Western states machine, company.**

**General instalation and operating instructions. Pag. 25**

- Para la tubería de aire comprimido se recomienda que el aire sea limpio y seco a una presión de 100 PSIG. Si en la instalación hay más de una máquina, la línea de derivación de cada una de las máquinas deberá estar equipada con una válvula de cierre instalada tan cerca de la línea cabezal como sea posible. Toda la tubería de aire debe ser limpiada cuidadosamente antes de la instalación y otra vez antes de conectarla a la centrífuga. Las conexiones de cañería de aire suministran el solenoide de distribución de aire en cada máquina. Las válvulas solenoides controlan el flujo de aire a las funciones automáticas de cada máquina.

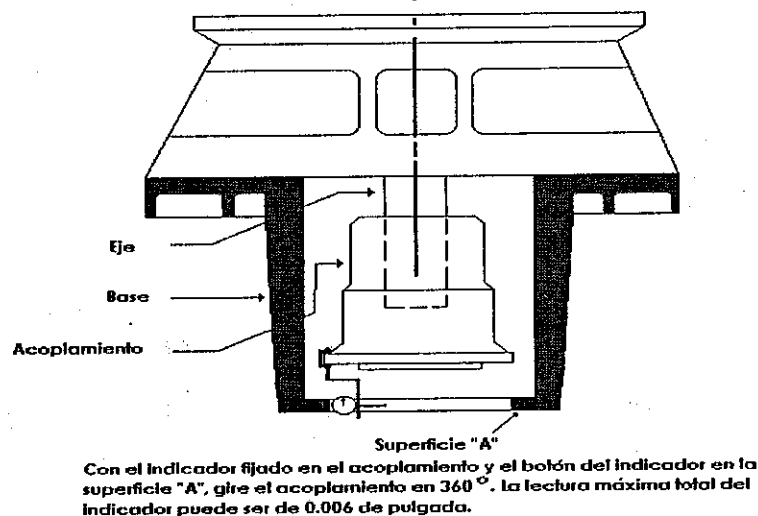
### 1.3 Consideraciones de mantenimiento

#### 1.3.1 Tolerancias de desviación de ejes entre el motor y la base del motor

Las diferentes medidas de desalineamiento que podemos tomar entre el eje de la máquina y la base del motor luego compararlas con las tolerancias de desviación que da el fabricante, son las siguientes:

1.- Con el indicador fijado en el acoplamiento y el botón del indicador en la superficie " A " , gire el acoplamiento en 360 grados. La lectura máxima total del indicador puede ser 0.006 de pulgada. ( figura 10 )

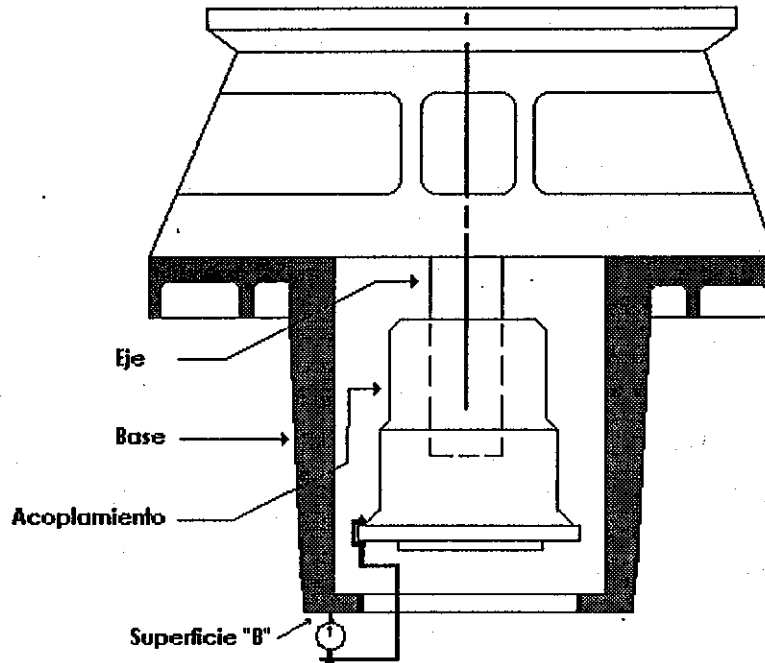
Fig. 10 Tolerancias de desviación entre motor y su base



The Western states machine, company.  
General instalation and operating instructions. Pag. 31

2.- Con el indicador fijado en el acoplamiento y el botón del indicador en la superficie " B " , gire el acoplamiento en 360 grados. La lectura máxima del indicador puede ser 0.006 de pulgada. ( figura 11 )

**Fig.11 Tolerancias de desviación entre motor y su base**



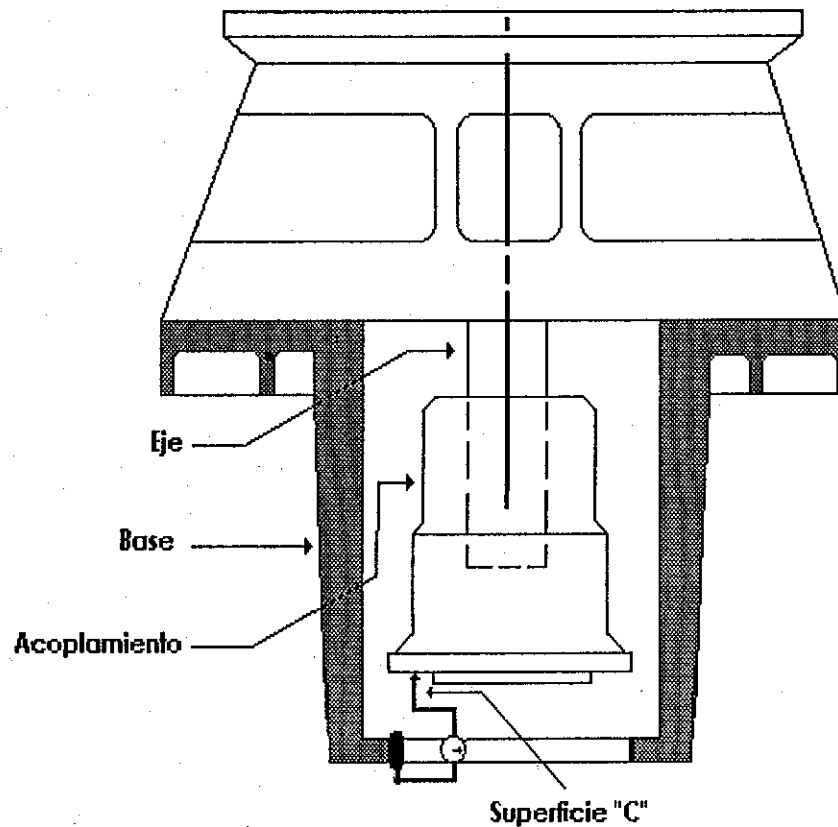
Con el indicador fijado en el acoplamiento y el botón del indicador en la superficie "B", gire el acoplamiento en 360°. La lectura máxima total del indicador puede ser de 0.006 de pulgada.

**The Western states machine, company.**

**General instalation and operating instructions. Pag. 31**

3.- Con el indicador fijado en la base del motor y el botón del indicador en la superficie " C " , la lectura máxima total del indicador puede ser 0.004 de pulgada. ( figura 12 )

**Fig.12 Tolerancias de desviación entre motor y su base**



Con el indicador fijado en la base del motor y el botón del indicador en la superficie "C". la lectura máxima total del indicador puede ser 0.004 de pulgada.

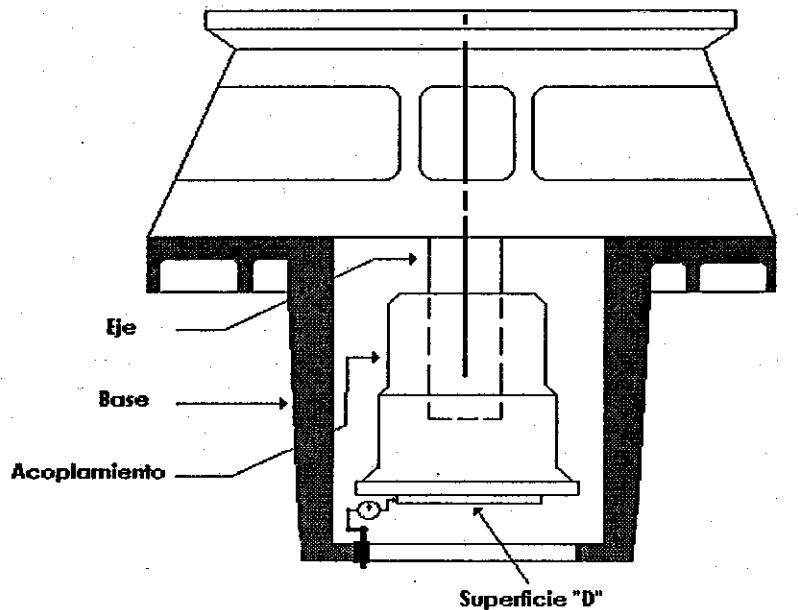
**The Western states machine, company.**

**General instalation and operating instructions. Pag. 31**

4.- Con el indicador fijado en la base del motor y el botón del indicador en la superficie " D " , la lectura máxima total del indicador puede ser 0.004 de pulgada. ( figura 13 )



**Fig.13 Tolerancias de desviación entre motor y su base**



Con el indicador fijado en la base del motor y el botón del indicador en la superficie "D". La lectura máxima total del indicador puede ser 0.004 de pulgada.

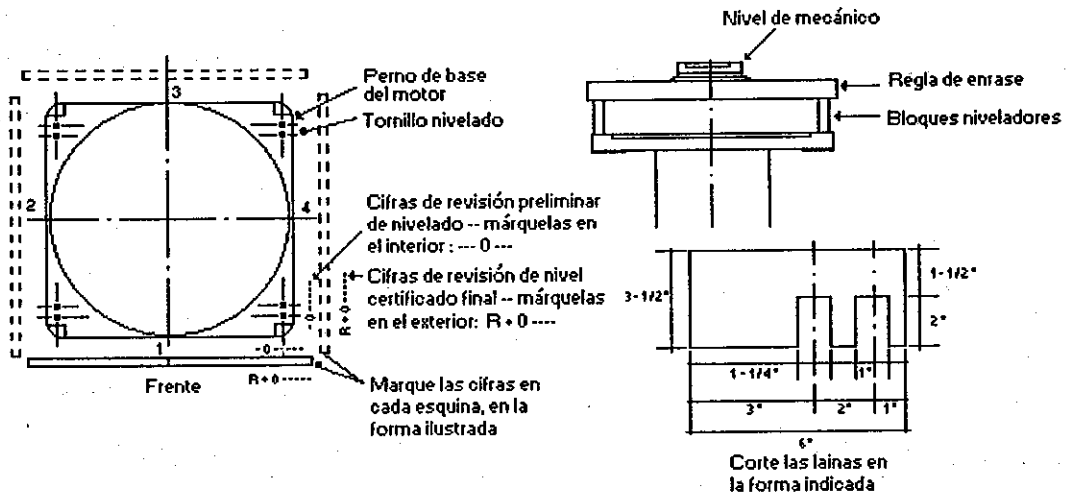
**The Western states machine, company.**

**General instalation and operating instructions. Pag. 32**

### **1.3.2 Nivelado de la base del motor**

En el montaje de la centrífuga se tiene que tener en cuenta el nivelado del motor para evitar problemas de desbalanceo y desalineamiento que pueden provocar vibración mecánica. En la gráfica 14 se muestra que es lo que hay que tomar en cuenta para realizar el trabajo de nivelado del motor.

**Fig.14 Nivelado del Motor**



**The western states machine, company.**

**General instalation and operating instructions. Pag 36**

### 1.3.3 Cambio del adaptador del embrague del motor

Para realizarse el trabajo del cambio del adaptador del embrague del motor se debe proceder con mucho cuidado debido a que está es una fijación a presión. El eje debe estar apoyado en la forma que se pueda sujetar sin dañar los cojinetes de bolas, para evitar problemas posteriores de vibración. Los cojinetes del motor generalmente tienen casi 1/16 de pulgada de juego axial para compensar la expansión por el calor. El eje del motor debe ser alzado mediante el gato hasta el límite del espacio libre del extremo superior, usando una fuerza moderada en el gato. El extremo del eje debe estar separado del gato mediante una placa de cobre.

### **1.3.4 Ensamble de cabezal, eje y canasto**

Antes de la instalación asegúrese que todas las superficies están limpias, lisas y libres de rebabas. Las tuercas pueden ser apretadas a fondo para lograr la tensión requerida mediante una llave de impacto.

Basado en apretar el perno al 70 % del mínimo de tensión requerido, la torsión recomendada para los pernos de 1 1/8 de pulgada de diámetro del fondo del canasto, es de 1.250 lbs./pie. El uso de algún lubricante, antes del armado reduce los requisitos de torsión a 700 lbs./pie. Las cifras comparables para un perno de eje de 1 pulgada son de 875 lbs./pie en seco, 480 lbs./pie lubricado y para un perno de 15/16 de pulgada, 600 lbs./ pie en seco y 325 lbs./pie lubricado.

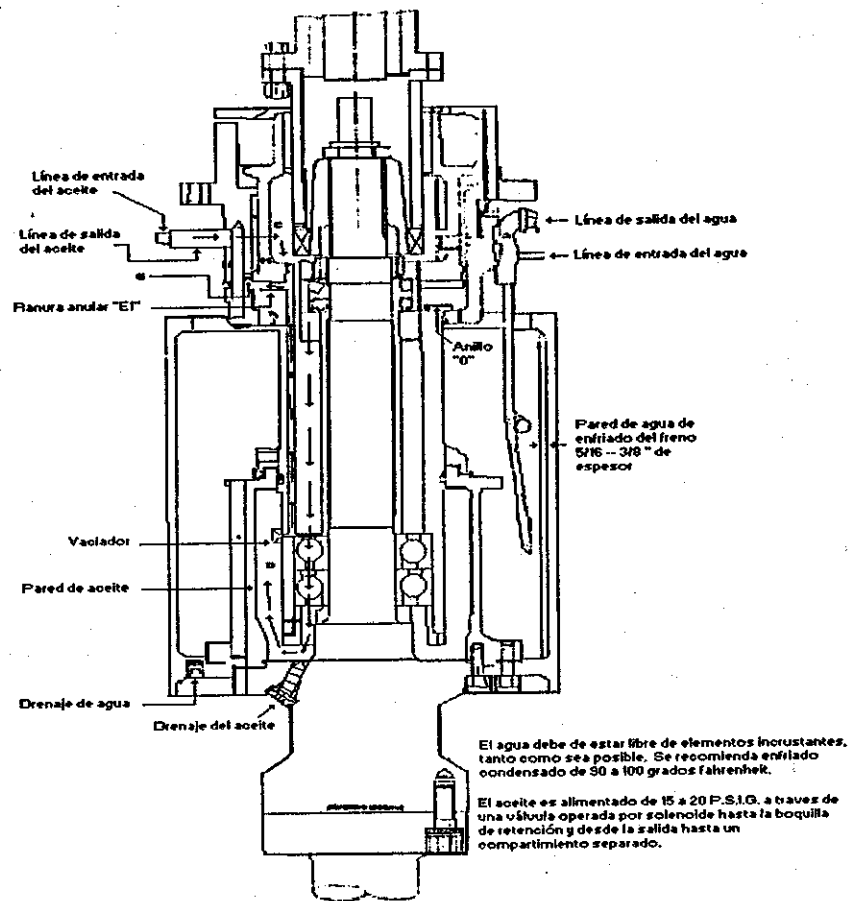
Además de las torsiones adecuadas en el ensamble, es muy importante que en el montaje se tomen las consideraciones de lubricación iniciales de la parte de la transmisión de potencia. Cuando ya se ha lubricado inicialmente el sistema la centrífuga se encarga en su funcionamiento de mantener los niveles de lubricante en las cámaras de aceite que posee el sistema de la transmisión de potencia, en el cual, de una de las cámaras fluye el aceite por gravedad pasando por los cojinetes hacia la otra cámara y después el fluido es bombeado por un vaciador a través de un pasaje de la caja del cojinete hasta la ranura anular alrededor del asiento de bola. La rotación del embrague imparte rotación al aceite en la cámara primera y consecuentemente está causa una presión en la misma que hace que se mantengan los niveles adecuados en las cámaras.

### 1.3.5 Ilustración del flujo de aceite y del agua de enfriado del freno

Mientras la centrífuga está funcionando, los niveles del aceite son mantenidos en las varias cámaras, en la forma como se muestra en la figura 15. Desde la cámara C el aceite fluye por gravedad pasando por los cojinetes a la cámara D. De la cámara D el aceite es bombeado por un vaciador a través del pasaje E de la caja del cojinete hasta la ranura anular EL alrededor del asiento de bola. El aceite fluye por esta ranura lubricando el asiento de bola hasta llegar al pasaje F. El anillo O evita que el aceite se filtre al tambor del freno. El pasaje F esta conectado con la cámara B a través del pasaje G en el extremo inferior y con el elemento de salida en el extremo superior.

La acción del vaciador combinada con el aceite que entra directamente a través del canal de alimentación mantiene el aceite en la cámara B a un nivel que permite que el aceite fluya por gravedad de vuelta al tanque de reserva. El pasaje del aceite entre las cámaras B y C es a través de la apertura M. Esto permite que el aceite fluya desde la cámara B a la cámara C. La rotación del embrague causa una presión en reverso en la apertura M. La presión en reverso limita el flujo del aceite a la cámara C a la cantidad del aceite que pasa por los cojinetes y mantiene relativamente alto el nivel de aceite en la cámara B. Si se deja que el nivel del aceite en la cámara C suba demasiado, la rotación causará que el aceite se rebalse por sobre el amortiguador de goma. Este cabezal esta diseñado para que agua o cualquier otro elemento extraño, más pesado que el aceite, no circule a través de los cojinetes. Esos elementos permanecerán en la cámara D, separados del aceite por una fuerza centrífuga. Por esta razón, se recomienda que de vez en cuando se quite el aceite del cabezal, soltando el tapón inferior de drenaje.

**Fig. 15 Flujo de Aceite y Agua de enfriado**



**The western states machine, company.**

**General instalation and operating instructions. Pag 40**

### 1.3.6 Freno operado por aire y enfriado por agua

El freno es armado como parte integral del cabezal. El agua de enfriado es introducida en el tambor del freno mediante la línea de entrada de agua. Una válvula solenoide controlada desde el control automático, se abre cuando la

máquina cambia de baja velocidad a alta velocidad y se cierra cuando el cambio es de alta velocidad a baja velocidad, antes de aplicar el freno mecánico. El agua en el tambor del freno se adhiere a la pared por una acción centrífuga y es achicada a un espesor determinado por un ajuste en el vaciador . Este ajuste debe ser entre 5/15 de pulgada y 3/8 de pulgada. El flujo del agua debe ser alrededor de dos galones por ciclo.

Para una centrifuga directamente conectada a transmisión eléctrica, la compresión del aire debe ser ajustada para obtener un mínimo de tiempo de frenado. En caso de una falla en la presión de aire comprimido, se puede aplicar manualmente una zapata para frenar la máquina haciendo girar la rueda de mano que se observa junto a las zapatas en sentido de las manecillas del reloj.

Ocasionalmente, debemos aplicar unas gotas de aceite en los pistones a través de la abertura de la parte superior del cilindro de aire del freno.

### **1.3.7 Lubricación**

Los cojinetes que soportan el eje de baja velocidad deben ser empacados una vez al año con grasa de buena calidad.

Para empacar el cojinete superior, quite la tapa de la caja y empaque el cojinete. Para empacar el cojinete inferior, quite el tapón macho roscado de 2 pulgadas que está en la cubierta superior del Turntork y haga girar la correa V del extremo del eje del engranaje helicoidal hasta que el engrasador ubicado en la rueda del engranaje esté alineado con el hoyo del tapón mencionado

anteriormente. Con un inyector de lubricante, engrase el cojinete inferior usando la misma cantidad de grasa que usó en el cojinete superior.

Para el engranaje helicoidal y para el eje del mismo use aceite 600 W. Llenez hasta el tope la boquilla la cual está ubicada en la T de cañería que sobresale de la caja de Turntork.

Una de las precauciones generales que se tienen que tomar en la lubricación es que el aceite 600 W demora un poco de tiempo en tomar su nivel, por tal motivo, hay que verter el aceite lentamente. Se tiene que tener cuidado de no poner demasiado, ya que si el aceite se rebalsa en el Turntork, se filtrará pasando por el eje del engranaje helicoidal hasta llegar al motor principal.

Lubrique el sello giratorio una vez cada tres meses. Use aceite SAE 10 o SAE 20 . Si fallan los cojinetes o si se presenta cualquier otro signo de escape de aire, reemplace el sello giratorio.

### **1.3.8 Unidad servo y control de carga, ajustes de la misma**

La función de este dispositivo es abrir la compuerta de carga, medir la carga del canasto de la centrífuga y cerrar la compuerta cuando la carga ha alcanzado el espesor de pared deseado. Con el objeto de que la carga sea lo más exacta posible ( aún con masas de diferentes características de fluidez ), se usa una conexión de servo entre el calibrador de carga y la palanca de operación de la compuerta. El cierre de la compuerta desde su posición de apertura máxima comienza cuando la pared de azúcar en el canasto ha alcanzado entre el 50 % y el 75 % del total de la carga. La compuerta se va cerrando gradualmente hasta la posición ajustada desde la cual se cierra repentinamente cuando la pared de

azúcar alcanza la carga total. Se provee un tornillo de ajuste para ajustar el espesor de carga y un tornillo para ajustar la posición de cierre de la compuerta. Una palanca ( operada manualmente sobre una escala graduada ) ajusta la apertura de la compuerta. Los primeros dos ajustes son más o menos finos y normalmente los establecemos según nuestra necesidad.

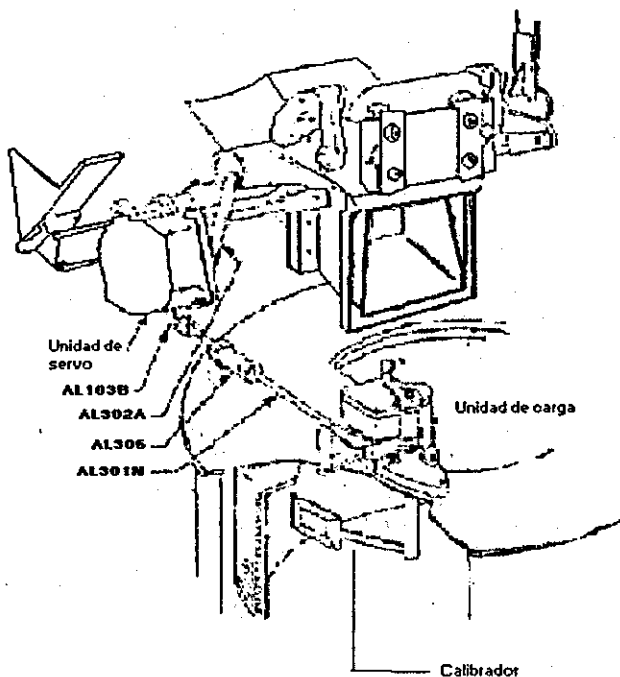
La operación de estos dispositivos es la siguiente: la válvula solenoide de la compuerta, activada manualmente o por el control automático, provee presión de aire al cilindro de aire de la unidad de servo y al cilindro de la varilla de conexión. Esto mueve hacia la derecha el ancla de la palanca de la válvula permitiendo que el carrete de la válvula de cuatro vías AL-123 se mueva hacia la posición de apertura de la compuerta. También activa el cilindro de varilla de conexión AL-306 llevando el calibrador de carga a la posición de carga.

El movimiento de apertura de la compuerta produce un movimiento correspondiente en la unidad de servo, la cual se mueve hacia la derecha, llevando consigo el ensamble de varilla de conexión y la palanca de servo AL-204B . Esto mueve el calibrador de carga en dirección contraria a la que se mueven las manecillas del reloj y lo ponen en contacto con la masa que se está acumulando en la pared del canasto ( Ver figura 16 ).

Durante el movimiento de apertura de la compuerta la leva gira y cierra el interruptor de límite por medio del brazo de disparo del mismo. El interruptor de límite cerrado mantiene activada la válvula solenoide de la compuerta hasta el fin del período de carga. Fue necesario activar la válvula solenoide de la compuerta sólo lo suficiente como para iniciar la apertura de la compuerta y el cierre del interruptor de límite.



**Fig. 16 Unidad Servo y Control de Carga**



**The western states machine, company.**

**General instalation and operating instructions. Pag 44**

Cuando el canasto tiene aproximadamente dos tercios de la carga, la masa entra en contacto con el calibrador de carga y lo empuja haciéndolo girar. Esto produce el cambio correspondiente en el ensamble de varilla de conexión que se mueve hacia la izquierda y por medio de la palanca de válvula AL-103B, mueve el carrete de la válvula de aire AL-123 a la posición de cierre. Esto a su vez, causa que la compuerta comience a cerrar y produce un movimiento de corrección en la unidad servo y un movimiento de corrección correspondiente en el carrete de la válvula de aire que se mueve a una posición neutral hasta que el calibrador de carga vuelva a requerir cerrar la compuerta.

Este tipo de cierre gradual mediante acción servo tiene lugar hasta que se obtiene la carga deseada. Entonces la leva anteriormente mencionada libera y

abre el interruptor límite inactivando la válvula solenoide de la compuerta, ventilando el cilindro de aire y permitiendo que el resorte empuje hacia la izquierda el pistón y la palanca para mover positivamente el carrete de la válvula de aire a la posición de cierre. Al inactivar la válvula solenoide de la compuerta también se ventila el cilindro de la varilla de conexión AL-306, permitiendo que se retracte por medio de la acción de su resorte de retorno. Esto acorta el ensamble de la varilla de conexión moviendo el calibrador de carga para retirarlo de la pared del canasto y para evitar cualquier contacto con la masa debido a oscilación o desuniformidad de la carga.

Durante el período de carga, el operador puede contrarestar la posición de la compuerta accionando la manivela de la palanca. Empujando esta palanca se cierra la compuerta y tirando de la palanca la compuerta se abrirá un poco más. Mientras la compuerta no este cerrada más allá de la posición ajustada, la compuerta volverá a la posición que requiera el calibrador de carga cuando se deje de accionar la palanca.

Para el ajuste de la unidad de servo se tiene que aflojar el tornillo de fijación que está ubicado en la palanca del servo AL-103B hasta que no tenga contacto con el casquete de la válvula AL-123 . La palanca está colocada con el extremo superior extendido al máximo hacia la izquierda, con el pistón del cilindro de aire de la unidad de servo hasta el fondo. Después ajuste el tornillo de fijación de la palanca hasta que el resorte existente esté completamente oprimido, continúe girando el tornillo hasta que el extremo superior ahorquillado de la palanca AL-103B se mueva hacia la derecha por lo menos 1/16 de pulgada desde el punto pivote del mecanismo de la palanca, así moviendo el pistón del cilindro desde su posición de fondo. Ahora, apriete a fondo el tornillo de fijación ubicado en la palanca del servo.

Para el ajuste de la unidad de carga se hace girar el tornillo de ajuste de compuerta en dirección contraria a la que giran las manecillas del reloj, hasta que el pivote de detección de la palanca servo toque la leva. En la palanca de leva hay dos marcas una 0 y la otra 1. Hay una marca a cincel en uno de los lados de la cubierta de la caja de control. Estas marcas son incorporadas en la fabrica después que la unidad ha sido armada. Cuando la marca cero este alineada con la línea de la cubierta, debe corresponder con las otras marcas de centrado. Cuando la palanca de leva se lleva hasta la posición 1 del índice, las otras marcas deben estar alineadas.

En caso que sea necesario hacer ajustes dentro de la caja de control, quite la cubierta de la caja, mueva la palanca de servo hacia la derecha para realizar el ajuste fino. También nos tenemos que relacionar con el tornillo de carga que se encuentra cerca del ajuste de compuerta.

### **1.3.9 Inspección de seguridad de los canastos de las centrifugas**

Todos y cada uno de los usuarios de centrifugas deben tener un programa y procedimiento para inspección regular del canasto de la centrifuga. Un estudio de las fallas ocurridas en los canastos indica que prácticamente en todos los casos, esas fallas pudieron haberse evitado con una inspección oportuna y adecuada.

El programa de inspección no puede ser superficial. Debe revisarse cuidadosamente toda la superficie interior y exterior del canasto. En general, hay dos tipos de canastos cilíndricos en servicio en la industria: moldeado o soldado.

Por experiencia, hemos establecido los hechos siguientes acerca de los canastos cilíndricos: Normalmente las planchas del canasto moldeado fallan en dirección vertical, mientras que las planchas de canastos soldados fallan horizontalmente. Por lo anterior se recomienda que el área de los hoyos y alrededor de los hoyos se revise cuidadosamente buscando las grietas del material y hendiduras de corrosión causadas por fatiga. Las fallas que son ocurridas en el canasto soldado ocurren frecuentemente en el cuello o el fondo del mismo o también ocurren fallas en los cordones de soldadura debido a la erosión y corrosión, ya sea una o en combinación. Su efecto es reducir la sección transversal de la soldadura y consecuentemente su resistencia.

Grietas verticales en los canastos soldados ocurren en los lugares donde hay espacio entre el anillo y la hoja. Este espacio permite que la hoja se curvee, lo cual resulta en una grieta debido a fatiga de la hoja.

La conexión entre el canasto y el eje de impulsión es muy importante. Asegúrese que el ajuste sea firme y que las tuercas están bien apretadas y alambradas. La mayoría de las fallas de los pernos en los canastos se debe a fatiga y que los pernos no fueron apretados adecuadamente.

La posición vertical del canasto con respecto a la curvatura del fondo debe revisarse para asegurar el espacio libre entre el exterior del fondo del canasto y el anillo vertical interior del fondo del envolvente, así como también el espacio libre entre la tapa del canasto y la cubierta del envolvente.

Después de cierto tiempo de estar en servicio los canastos deben revisarse que no estén fuera de centro . Si es necesario hacer correcciones, éstas deben hacerse utilizando técnicas adecuadas de maquinado y luego se requiere un balanceo dinámico.

El uso de tintura líquida penetrante durante inspecciones ayuda a ubicar imperfecciones de la superficie. Se usa en las uniones de los rayos del canasto con el rotor o el anillo y en cualquiera de las soldaduras circunferenciales que

unen las planchas en la boca del canasto y en el fondo del canasto, con el objeto de facilitar la inspección visual.

### **1.3.10 Instrucción, operación y mantenimiento de frenos de las máquinas**

Tanto para la instalación y desinstalación de los forros de los frenos se tienen que utilizar líquidos apropiados para la adhesión y desadhesión que producirán las uniones de alta resistencia entre las bandas metálicas o zapatas y los forros de frenos, así como el rompimiento de esta resistencia respectivamente.

En un tambor pequeño con tapa, remoje los forros y bandas con Diversity Strip número 90-A. Asegúrese que esté completamente cubierto, remoje por 24 horas. Los forros y epoxia se desprenderán con facilidad, si en las bandas metálicas quedan residuos de epoxia, remoje por dos horas más . Enjuague con agua tibia y use una escobilla de acero, si remoja todo por 48 horas, los forros y epoxia se separarán completamente de las bandas metálicas sin necesidad de otra operación. El Diversity Stryp #90-A es un elemento cáustico.

Las cintas o zapatas de freno deben ser limpiadas quitándoles la herrumbre y capas de óxido y luego debe de limpiarse con un chorro de arena para poner áspera la superficie y obtener una mejor adhesión. En la limpieza final debe removerse los residuos de grasa y humedad. La superficie del reverso del forro del freno, que será adherida a la zapata, también debe ser limpiada.

Para la preparación del adhesivo primero revuelva bien el adhesivo y el catalizador, usando un agitador separado para cada tarro. Luego mida, por volumen, partes iguales vertiéndolas en un recipiente limpio. Revuelva bien la mezcla y déjela estar por 20 minutos antes de usarla. Usando una llana dentada, aplique una capa de mezcla adhesiva de cuatro a seis milésimas de

pulgada de espesor al lado no operativo del forro del freno únicamente, llenando todos los vacíos.

Para el montaje junte las piezas y oprímalas fuertemente. El ciclo ideal de endurecimiento es de 2 horas a 200 ° F en la línea de adhesión. Si no dispone de medios para calentar el freno, pero puede mantenerlo en un lugar en donde la temperatura no baje de 75 ° F ( 23 ° C ) , se puede obtener una buena adhesión si deja que el material endurezca por 7 días, al término de los cuales la adhesión adquiere su dureza máxima.

Entre los datos técnicos tenemos que la resistencia a la tensión y deslizamiento es en exceso de 600 PSI, en uso normal. Cuando se permite el endurecimiento en la forma recomendada prácticamente no habrá contracción del adhesivo. La duración y la resistencia a la humedad y al calor son excelentes. La duración de la mezcla para aplicación es alrededor de 2 horas y la vida de los elementos sin mezclar es de por lo menos un año.

Para la limpieza hay que limpiar antes de que la mezcla se seque y al armar las zapatas, asegúrese que se ajustan a los requisitos del tambor del freno de la centrífuga.

### **1.3.11 Instrucciones de mantenimiento fuera de zafra**

Fuera de zafra se requiere cierta actividad de mantenimiento para proteger el equipo en contra de la corrosión y el deterioro. También es una buena oportunidad para hacer una cuidadosa inspección de la máquina y para reemplazar las partes desgastadas.

Los procedimientos de inspección del canasto fueron delineados en las sugerencias de mantenimiento y su importancia no debe desestimarse. Aún cuando no es necesario desarmar completamente la centrífuga todos los años,

hay ciertas áreas que requieren ser desmanteladas para realizar una inspección apropiada. Después de obtener los resultados de la primera inspección detallada, se puede establecer un programa regular de inspecciones. Las sugerencias siguientes pueden usarse como guía:

- a) La máquina debe ser lavada completamente, asegurándose que se remueva cualquier suciedad, azúcar y grasa.
- b) Las telas del canasto deben quitarse para inspeccionar el canasto, de acuerdo a las sugerencias de mantenimiento.
- c) Deben quitarse las zapatas del freno. Debe quitarse la entrada de agua de enfriado, el achicador y el tambor del freno debe ser bajado. El exterior debe limpiarse y el interior debe ser decapado, si es necesario.
- d) Después de la inspección, el interior debe ser pintado con pintura anticorrosiva.
- e) Inspeccione las zapatas del freno; si están gastadas, deben reemplazarse en pares. Si las zapatas tienen suficiente material, pero está cristalizado, deben ser escobilladas con un cepillo de acero y se les debe dar una capa de aceite de cilindro antes de rearmarlas. Los bornes del freno deben ser engrasados.
- f) En los cabezales G-8A y G-10, debe quitarse el aceite y reemplazarse y debe de hacerse funcionar la máquina lo suficiente como para que los cojinetes reciban una capa de aceite. Este aceite debe ser quitado y reemplazado con aceite Regal-G o su equivalente.
- g) En los cabezales G-8C, G-8D y G-12, que son lubricados por circulación, debe tomarse una muestra de aceite para revisión. El tanque de suministro de aceite debe ser revisado de la misma forma. Si se encuentra que el aceite está en buenas condiciones, se debe hacer funcionar la máquina por los menos una vez cada dos semanas para hacer circular el aceite y mover los cojinetes.

- h) Los descargadores deben ser revisados cuidadosamente. En la mayoría de los casos es recomendable removerlos para revisarlos detalladamente. Todas las piezas deben ser limpiadas y las partes desgastadas deben ser reemplazadas. Al ensamblarlas de nuevo deben ser lubricadas y todas las superficies maquinadas deben recibir una capa de recubrimiento de protección.
- i) En los descargadores operados por aire, los controladores de flujo de aire deben ser desarmados, limpiados e inspeccionados. Las mangueras de aire deben ser revisadas, ya que la goma se deteriora rápidamente bajo ciertas condiciones ambientales.
- j) El elevador de la válvula del canasto debe ser removido de la cubierta para facilitar su inspección, limpieza y lubricación. La válvula cónica de acero inoxidable requiere lavado con agua caliente e inspección de los pernos que aseguran las dos mitades.
- k) La unidad de servo y el control de carga deben ser limpiados y revisados. Deben revisarse las mangueras de aire; la válvula Beckert Harcum debe ser lubricada con aceite de la máquina, deben revisarse todos los ajustes y deben lubricarse todas las partes móviles.
- l) Ya nos hemos referido a la inspección del canasto. Debemos agregar que el eje debe ser limpiado cuidadosamente y se le debe dar una capa protectora de recubrimiento.
- m) La cubierta debe ser lavada completamente por dentro y por fuera y si es necesario, debe dársele una capa de pintura anticorrosiva.
- n) La compuerta de carga debe ser limpiada completamente y si es necesario, lubricada y reajustada. Debe aplicarse una capa de recubrimiento a todas las partes maquinadas. La compuerta debe dejarse abierta durante la temporada de inactividad.



- o) La válvula de agua de lavado, debe recibir su mantenimiento preventivo y se debe prestar atención a los rociadores. Asegúrese que los orificios no se han agrandado o estén obstruidos debido a la erosión.
- p) Los separadores de miel deben ser lavados con agua caliente, revisados y lubricados.
- q) Todos los cilindros de aire deben ser limpiados, revisados y lubricados, prestando atención a todas las tapas. Asegúrese que no estén agrietadas o resacas.
- r) Para decidir acerca del mantenimiento requerido del motor principal debe reconocerse la resistencia del aislamiento de los devanados. Esta resistencia debe ser verificada regularmente durante la temporada de inactividad. Si se le encuentra en buen estado, una lubricación con limpieza general del motor, de acuerdo a las especificaciones del fabricante, serán suficientes. Un registro de lecturas de resistencia proporcionará un buen índice de las condiciones de aislamiento.
- s) La transmisión de descarga del Turntork, se debe revisar cuidadosamente y especialmente revisarse todos los interruptores de límite y correas, incluyendo los pertenecientes al conjunto del interruptor o sensor de velocidad.

### **1.3.12 Sugerencias para el personal responsable de la operación y mantenimiento de la estación de centrifugas**

**Antes de iniciar cada turno se sugiere que:**

*Revise el flujo y ( si es necesario ) la temperatura el agua de enfriado del freno.  
Revise el flujo de la línea de lubricación ( si se usa un sistema de circulación ).*

*Revise el nivel del aceite del tanque de suministro y haga girar una revolución del filtro Cuno.*

*Revise la acción del descargador – si es necesario, lávelo, lubríquelo y ajústelo.*

*Revise la condición de las telas del canasto.*

*Revise que los rayos del canasto y la cara inferior de la válvula no tengan acumulación de azúcar.*

*Revise la operación del interruptor de giro.*

*Revise la operación de las alarmas de la compuerta y del seguro del ciclo.*

*Revise el tiempo requerido para frenar mecánicamente.*

*Con la compuerta abierta, lubrique con grasa las correderas de la compuerta.*

*Revise que la máquina y el área circundante estén limpias.*

**Semanalmente se sugiere que:**

*Revise el ajuste de la compuerta.*

*Revise que el descargador y sus componentes tengan el ajuste apropiado.*

*Revise el mecanismo de detección de velocidad real de la máquina.*

*Revise los tornillos de la válvula del canasto.*

*Revise las cubiertas deslizantes.*

*Revise los entrecierres de la válvula del canasto y del descargador.*

*Quite el agua desde los cubiletes de los lubricadores de aire.*

*Lubrique y engrase todos los puntos de lubricación de la máquina.*

*Aceite los cilindros de aire del freno.*

*Repare cualquier escape de aire o filtración de agua o aceite.*

**Mensualmente se sugiere que:**

*Revise la tensión del amortiguador de goma.*

*Revise el interior del tambor de freno .*

*Revise el aceite del cabezal ( si no es circulado ).*

*Revise el aceite en las cavidades de acoplamiento ( si no es circulado ).*

*Revise los filtros de las líneas de agua .*

**Cada tres meses se sugiere que:**

*Lubrique el sello giratorio del Turntork.*

**Cada seis meses se recomienda que :**

*Revise el nivel de aceite en el Turntork.*

*Revise los filtros del sistema de lubricación.*

*Revise las correas del Turntork.*

**Anualmente se sugiere que:**

*Engrase los cojinetes del Turntork.*

*Lubrique el motor .*

*Cambie los filtros de fibra de vidrio de las tomas de aire.*

*Revise que la base del motor esté a nivel.*

*Revise la estructura de soporte.*

*Revise los tornillos, tuercas, pernos y remaches.*

*Inspeccione el canasto ( que los rayos y fondo no tengan grietas ).*

## **2. EL CONTROLADOR ELECTRÓNICO PROGRAMABLE Y LOS DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS NECESARIOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UNA CENTRÍFUGA**

### **2.1 Definición y arquitectura de un controlador programable**

#### **2.1.1 ¿Qué es un controlador lógico programable?**

Los controladores lógicos programables son dispositivos electrónicos que reemplazan paneles industriales que utilizan lógica de relevación convencional ( Hard – wired ).

#### **2.1.2 Componentes básicos de un sistema de control electrónico programable**

Entre un sistema eléctrico utilizando lógica de relevación convencional y un sistema eléctrico utilizando un controlador electrónico programable se tienen similitudes, como que los dispositivos de entrada y salida en un control de relevación convencional, al igual que en un controlador programable, incluyen dispositivos operados manualmente y dispositivos operados automáticamente ( interruptores de fin de carrera y sensores ) por la máquina o siendo controlado, así como también se incluyen dispositivos de salida hacia equipos de potencia y solenoides, los cuales controlan los movimientos de la máquina.

La diferencia entre los dos sistemas de control radica en que en el de relevación convencional la lógica de control se realiza con relés y en un controlador lógico programable se utilizan instrucciones programadas con simbología de lógica de escalera, similar a un diagrama eléctrico de control.

El controlador lógico programable modular consiste en un chasis, fuente de poder, la unidad de procesamiento central, módulos discretos de entrada / salida, módulos especiales de entrada / salida, el interface con el operador y el módulo de memoria.

El chasis contiene e intercomunica al procesador y a los módulos de entrada y salida. La fuente de poder se monta en el lado izquierdo del chasis. Todos los componentes se deslizan dentro del chasis a través de guías formadas en el mismo. Un máximo de tres chasis pueden ser conectados en un sistema con el control lógico programable modelo SLC500 mediante el lazo local ( paralelo ) y hasta cuatro mediante el lazo remoto ( serial ). Existen cuatro tipos de chasis que se diferencian por su capacidad de montaje de módulos ( 4 slots, 7 slots, 10 slots, 13 slots ).

La unidad de procesamiento central siempre ocupa el primer espacio o slot del primer chasis. De estas unidades de procesamiento de datos existen varios tipos, según la capacidad de almacenamiento de memoria RAM y la capacidad de manejo de las instrucciones de programación ( SLC 5/01 de 1K y 4 K, SLC 5/02 de 12 K, SLC 5/03 de 12 K, SLC 5/04 y SLC 5/05 ). Estos procesadores operan en un ambiente industrial de hasta 60 ° C ( 140 ° F ). Todo procesador tiene como opción una batería de litio para evitar pérdidas de la memoria RAM mientras el chasis se mantenga desenergizado.

Con respecto a los dispositivos discretos de entrada/salida existen tres tipos de módulos: de entrada, de salida y combinados. Éstos están disponibles en

una amplia variedad de densidades incluyendo cuatro, ocho, diez y seis y treinta y dos puntos, los cuales se pueden interfazar a corriente alterna y corriente directa y a niveles de voltaje TTL. Los módulos de salida están disponibles en corriente alterna de estado sólido, corriente directa de estado sólido y salidas tipo contacto de relé.

La familia del SLC500 ofrece módulos especiales de entrada y salida para optimizar un sistema de control. Estos módulos van desde interfaces analógicos hasta control de movimiento, desde comunicaciones hasta control a alta velocidad.

Cuando se configura un sistema modular, se debe tener una fuente de poder individual para cada chasis. La fuente de poder no ocupa un espacio en el chasis; se monta a la izquierda del mismo con dos tornillos. La fuente provee de energía o alimentación al procesador y a cada uno de los slots de entrada y salida. Todas las fuentes de poder están protegidas por fusibles reemplazables. Existen dos diferentes fuentes de poder en corriente alterna y una en corriente directa, la selección entre la alimentación 120/240 Voltios se hace a través de un puente que se observa al frente de la fuente.

Cuando hablamos de interfaces con el operador para programar y/o monitorear el controlador lógico programable SLC500, podemos mencionar a la unidad portátil de programación o HHT, que se usa para configurar el controlador electrónico, ingresar/modificar programas de usuario, cargar un programa al controlador lógico programable, recuperar un programa y monitorear operaciones de control, examinar programas y dar mantenimiento.

Otro interface que podemos mencionar es una computadora IBM- Compatible el cual posea los Software de programación para estos equipos, los cuales son

el APS ( Advanced Programing Software, que trabaja con el sistema operativo DOS ) y el RS-LOGIX 500 ( que trabaja bajo un ambiente de Windows '95/NT ), que sirven para poder configurar el controlador lógico programable, ingresar/modificar un programa, recuperar un programa, monitorear operaciones de control, cargar un programa hacia el controlador lógico programable, examinar programas, crear e imprimir diagramas de escalera, tabla de datos, referencia cruzada de instrucciones y configuraciones, almacenar programas múltiples en la memoria de la computadora y utilizar el editor especial ( cut / copy / paste ).

Otro interface de comunicación que podemos mencionar es el Módulo de Acceso a la Tabla de Datos ( DTAM ), el cual es un dispositivo que permite introducir la información del archivo de datos del controlador lógico programable, cambiar modos de operación, monitorear y limpiar fallas del procesador y transferir el programa del usuario entre RAM y un módulo de memoria EEPROM con cualquier procesador de la familia SLC500.

Cuando hablamos de los módulos de memoria opcionales EEPROM ( Electrically Eraseable Programmable Read Only Memory ) y UVPROM ( UV – Eraseable PROM ) son aquellos dispositivos que podemos colocar en el procesador SLC500 y con los cuales se puede salvar los contenidos de la RAM del procesador para propósitos de almacenamiento, se puede cargar los contenidos de los módulos EEPROM y UVPROM a la RAM del procesador y se puede utilizar el módulo de memoria UVPROM cuando se requiere una mayor seguridad del programa, ya que el programa en la UVPROM no puede ser alterado cuando está instalado en el controlador lógico programable.

## **2.2 Definiciones de operación y funcionamiento de dispositivos necesarios para la automatización de una centrifuga**

### **2.2.1 Definición de un variador de frecuencia**

#### **2.2.1.1 ¿Qué es un variador de frecuencia?**

En la electrónica moderna de potencia, el área de más rápido desarrollo quizás sea el de la conversión estática de frecuencias, por medio de electrónica de estado sólido. Tradicionalmente han existido dos aproximaciones a los convertidores estáticos de la corriente alterna, el ciclo convertidor y el rectificador – inversor. El ciclo convertidor es un elemento para poder convertir directamente potencia de corriente alterna de una frecuencia a potencia de corriente alterna de otra frecuencia, mientras que el rectificador – inversor primero convierte la potencia de corriente alterna en potencia de corriente continua y luego convierte la potencia de corriente continua en potencia de corriente alterna a una frecuencia diferente.

Debido a lo anterior se puede decir que un variador de frecuencia es un dispositivo eléctrico que convierte potencia de corriente alterna de una frecuencia ( alimentación ) en potencia de corriente alterna a una diferente frecuencia ( carga ), variable.

El rectificador inversor, no sufre de las limitaciones de frecuencia del ciclo convertidor. En efecto, la frecuencia de salida de este elemento, si se desea, puede ser mayor que la frecuencia de entrada. Por ésta y por otras razones el



rectificador inversor es más universal en las aplicaciones de propósito general de los controladores estáticos de frecuencia. Un rectificador inversor está dividido en dos partes:

- .- Un Rectificador para producir potencia de corriente continua.
- .- Un inversor para producir potencia de corriente alterna, a partir de potencia en corriente continua.

### **2.2.1.2 Modo de operación y funcionalidad del variador de frecuencia**

Para saber el modo de funcionamiento de un variador de velocidad se tiene que entender como operan las partes en la cual está dividido, generalmente son:

.- El Rectificador : Los rectificadores básicos para convertir potencia de CA en potencia de CC, desde el punto de vista de control de motores, presentan un problema, pues su voltaje de salida es fijo para un voltaje de entrada dado. Este problema puede superarse, reemplazando los diodos de estos circuitos por SCR's.

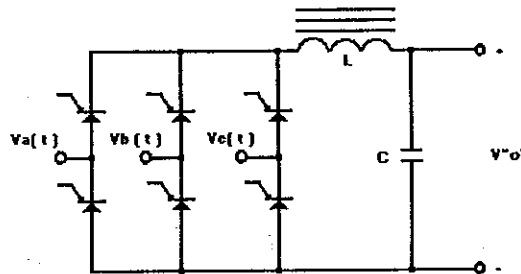
En la figura 17 se muestra , un rectificador trifásico de onda completa, con los diodos del circuito reemplazados por SCR's. El voltaje de CC promedio en la salida de este circuito depende de donde se disparen los SCR's en sus semiciclos positivos . Si se disparan al comienzo del semiciclo, éste tendrá la misma tensión que el rectificador trifásico de onda completa con diodos. Si los SCR's nunca se disparan, el voltaje de salida será cero voltios. Para cualquier

otro ángulo de disparo en la onda entre  $0$  y  $180^\circ$ , el voltaje de CC a la salida estará dentro del valor máximo y  $0$  V.

Cuando en los circuitos rectificadores se utilizan SCR's, para tener control de voltaje de CC en la salida, este voltaje tendrá un contenido armónico mucho mayor que el rectificador simple, por lo cual es importante tener algún tipo de filtro en la salida que ayude a aislar la salida de CC.

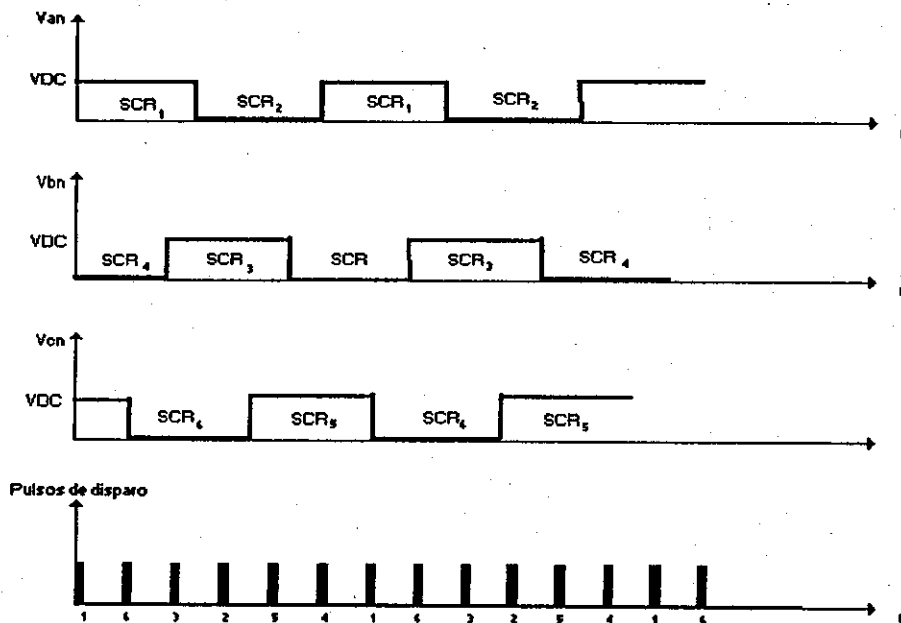
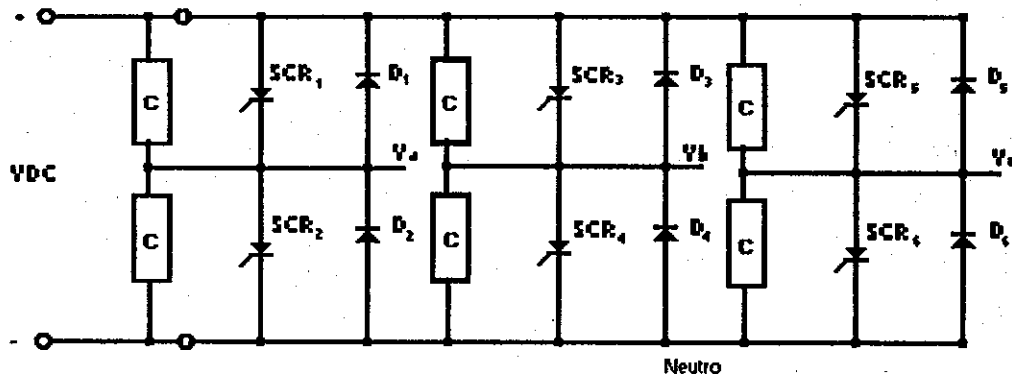
- El circuito inversor trifásico: En la figura 18 se muestra un circuito inversor trifásico, el cual consta de seis SCR's alimentados por una entrada de CC. Hay dos SCR's en cada una de las tres fases, permitiendo que el voltaje de cada fase se conecte a voltaje positivo o negativo en cualquier momento.

**Fig. 17 Utilización de SCR's en un circuito rectificador trifásico para proveer control sobre el nivel de voltaje de salida de CC**



Es en extremo importante que ambos SCR's de una fase no puedan ponerse en conducción al mismo tiempo, pues ésto llevaría a corto la salida de la fuente

**Fig. 18 Circuito inversor trifásico y voltajes de salida del inversor**



de alimentación de CC. En una fase, cuando en un SCR se pone en conducción, el otro, en la misma fase, deberá ser apagado por la circuitería de conmutación. En este circuito, dos o tres SCR's pueden conducir al mismo tiempo, mientras no estén en la misma fase. En la gráfica anteriormente descrita se muestra la secuencia de encendido de los SCR's y los voltajes resultantes de líneas y fases aplicados a la carga. Nótese que el voltaje de salida tiene un

contenido armónico muy alto, pero que es una verdadera aproximación a una salida de CA. La frecuencia del voltaje de salida la determina el temporizado de los pulsos aplicados a los SCR's, por consiguiente, el control de frecuencia puede complementarse mediante variaciones en circuitos simples de generación de pulsos.

Los componentes y circuitos de la electrónica de potencia han forjado la mayor revolución en el área del control de motores de los últimos veinte años, o más. Es por eso que la funcionalidad de los variadores de velocidad es bastante alta y aceptada porque permite una vía conveniente para convertir potencia de CA en potencia de CC, cambiar el nivel de voltaje de un sistema de potencia de CC, para convertir potencia de CC en potencia de CA y para cambiar la frecuencia de un sistema de potencia de CA.

El ajuste del nivel promedio de voltaje de CC en una carga, se ejecuta mediante circuitos troceadores (snubber), los cuales controlan la fracción de tiempo que un voltaje fijo de CC se aplica a la carga .

La conversión estática de frecuencia se ejecuta mediante circuitos rectificadores-inversores, los cuales primero convierten el voltaje de CA de una frecuencia en voltaje de CC y luego convierten el nivel de CC en un voltaje de CA de diferente frecuencia.

### **2.2.1.3 Requerimientos de instalación y cableado**

En la instalación de los variadores de frecuencia se tiene que tomar en cuenta que el equipo contiene piezas y conjuntos sensibles a las descargas

electrostáticas. Se requiere precauciones de control de estática al instalar, probar, dar servicio o reparar este equipo. Otro aspecto que se tiene que tomar en cuenta es que un variador incorrectamente instalado o aplicado puede resultar en daño de los componentes o en la reducción de la vida útil del producto. Los errores de cableado o de aplicación, tales como tamaño muy pequeño de motor, alimentación de CA incorrecta o inadecuada, o temperaturas ambientales excesivas pueden resultar en un mal funcionamiento del sistema.

Otro de los requerimientos de instalación y cableado que se tienen que tomar en cuenta es que el variador de velocidad está diseñado a trabajar en un circuito capaz de suministrar hasta un máximo de 200,000 amperios simétricos rms, 600 voltios máximo, por lo que se tienen que instalar fusibles recomendados por el proveedor.

Los variadores han sido diseñados para operar en tres sistemas de suministro trifásicos, cuyas líneas de voltajes son simétricas. Se incluyen dispositivos de supresión de tensión para proteger el variador contra sobre voltajes entre línea y tierra producidos por tormentas de rayos. Cuando existe la posibilidad de voltajes anormalmente altos de fase a tierra ( sobre 125 % del nominal ) o cuando la tierra de suministro está conectada a otro sistema o equipo que podría causar que el potencial de tierra varíe con la operación, se necesita un aislamiento apropiado para el variador. Si existe la posibilidad, se recomienda enfáticamente usar un transformador de aislamiento.

En general, un variador 1336 Plus es apropiado para la conexión directa a una línea de corriente alterna del voltaje correcto con una impedancia mínima de 1 % ( 3 % para variadores de 0.5 – 30 HP ) relativa a los KVA de entrada nominales del variador. Si la línea tiene una impedancia menor, debe añadirse una reactancia de línea o un transformador de aislamiento antes del variador para

aumentar la impedancia de la línea. Si la impedancia de línea es muy baja, los picos transitorios de voltaje o las interrupciones pueden crear picos de corriente excesiva que causarán que se funda el fusible de entrada, o que se produzcan fallos de sobre voltaje, lo cual puede dañar la estructura de potencia del variador.

Las reglas básicas para determinar si se requiere una reactancia de línea o un transformador de aislamiento son:

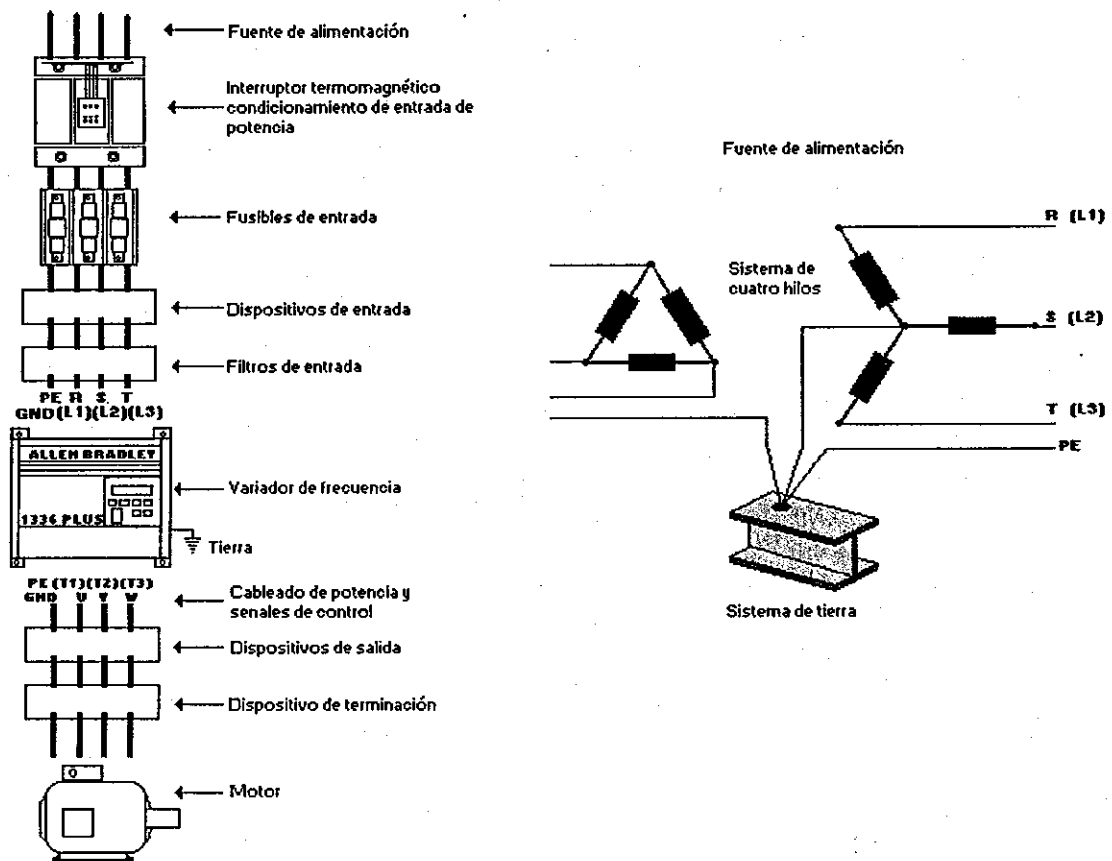
- a) Si el sistema de potencia de entrada de corriente alterna no tiene sistema neutro o monofásico con referencia a tierra ( ver figura 19 ), se recomienda enfáticamente un sistema con el neutro del secundario conectado a tierra. Si los voltajes de línea a tierra sobre cualquier fase pueden exceder 125 % del voltaje de línea a línea nominal, se recomienda enfáticamente un transformador de aislamiento del secundario conectado a tierra.
- b) Si la línea de corriente alterna que alimenta el variador tiene capacitores de corrección del factor de potencia que son conmutados a entrada y salida, se recomienda un transformador de aislamiento o reactancias de 5 % entre el variador y los capacitores. Si los capacitores están conectados permanentemente y no son conmutados, se aplican las reglas generales para desigualdad de impedancia.
- c) Si la línea de entrada con frecuencia sufre interrupciones transitorias de potencia o picos de voltaje significativos, se requiere se instale un transformador de aislamiento o reactancias de 5 %.

Además se debe prestar atención especial a la configuración de las conexiones de potencia y tierra al variador para evitar interferencias con equipos

sensibles cercanos. El cable al motor lleva voltajes conmutados y debe instalarse lejos de equipos sensibles.

El conductor a tierra del cable del motor debe conectarse directamente a la terminal de tierra ( PE ) del variador. El conectar este conductor de tierra a un punto de tierra de un gabinete o barra de bus de tierra puede causar que circule corriente de alta frecuencia en el sistema de tierra del envolvente. El extremo del motor de este conductor de tierra debe estar conectado de manera sólida a la tierra de la caja del motor.

**Fig. 19 Consideraciones de instalación para Variadores 1336 Plus**



**Allen Bradley company.**

**Variador de Velocidad de CA 1336 PLUS. Pag. 2.12**

Se puede usar cable blindado para proteger al sistema contra las emisiones radiales del cable del motor. El blindaje debe conectarse a la terminal de tierra del variador y a la tierra del motor.

Si se usan conexiones de cableado de mando, estas deben estar alejadas del cableado de potencia y debe ser cable blindado el cual debe estar conectado a tierra en un solo punto en el sistema, lejos del variador.

#### **2.2.1.4 Consideraciones de funcionamiento y programación del equipo**

El 1336 Plus ha sido diseñado para un arranque simple y eficiente. Los parámetros programables están agrupados de manera lógica, de modo que la mayoría de los arranques pueden realizarse ajustando los parámetros de un solo grupo. Las características y ajustes avanzados están agrupados separadamente. Esto elimina la necesidad de ejecutar parámetros innecesarios en el arranque inicial.

Para el funcionamiento adecuado de nuestro variador se tienen que tener las siguientes consideraciones importantes:

- Se debe conectar la alimentación eléctrica al variador para ver o cambiar los parámetros del 1336 PLUS. La programación previa puede afectar el estado del variador cuando se aplica alimentación eléctrica.



- Si se instala la opción de interface de control, los circuitos de arranque remoto pueden ser conectados al TB3 en la tarjeta de interface ( Figura 20 ). Confirme que todos los circuitos estén en estado desactivado antes de conectar la alimentación eléctrica. Pueden existir voltajes suministrados por el usuario en el TB3 aunque la alimentación eléctrica no esté conectada al variador. Al hablar de la opción de interface de control, hablamos que se proporciona un medio de interconectar varias señales y comandos al 1336 PLUS usando cierres de contacto. Hay seis versiones diferentes de la opción a su disposición:

- L4 Interface de cierre de contacto
- L4E Interface de cierre de contacto con entradas de realimentación de Encoder.
- L5 Interface de +24 VCA/CC.
- L5E Interface de +24 VCA/CC con entradas de realimentación de Encoder.
- L6 Interface de 115 VCA.
- L6E Interface de 115 VCA con entradas de realimentación de encoder.

Los comandos que se pueden emitir hacia la tarjeta de interface de control TB3 son los siguientes (esto depende del parámetro de programación de modo de control ):

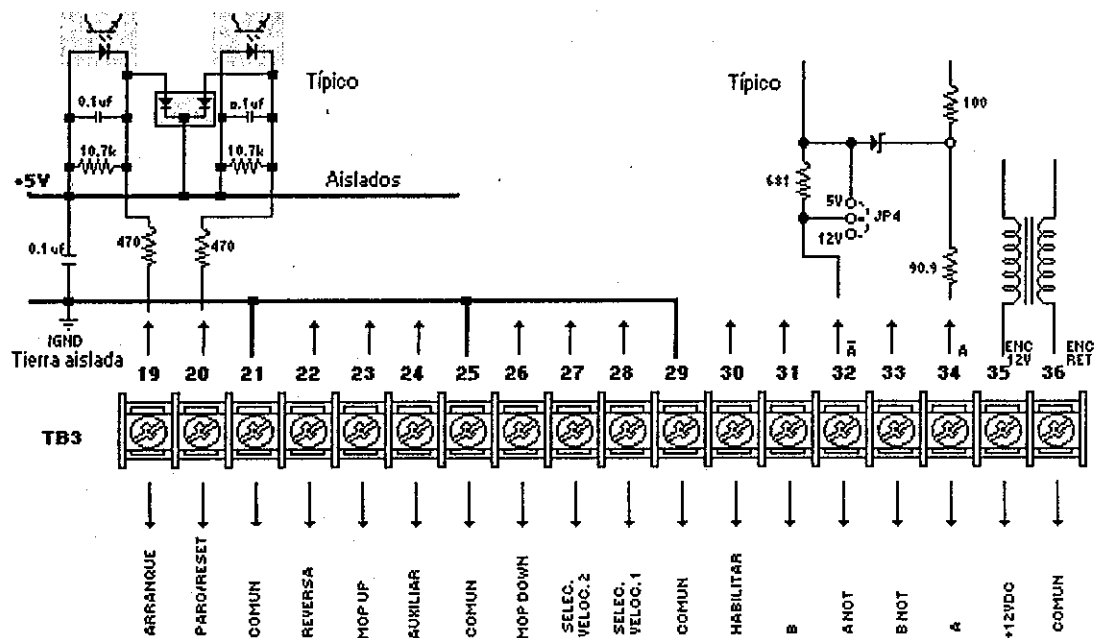
- a.- Comando de arranque para que el variador empiece a acelerar a la frecuencia ordenada.
- b.- Comando de paro para que el variador pare la salida según el modo de parada programado.
- c.- Comando de retroceso para ordenar al variador a funcionar en dirección de retroceso

e.- Comandos de habilitación del variador.

f.- Comandos de paradas de emergencia.

g.- Comandos para accionar frecuencias predefinidas si se han programado.

**Fig. 20 Tarjeta de interface de control TB3**



**Allen Bradley company.**

**Variador de Velocidad de CA 1336 PLUS. Pag. 2.17**

- Además de la tarjeta de interface de control se tienen que reconocer las funciones de la tarjeta interna TB2 ( Figura 21 ) que posee el variador de velocidad :
  - a.- En la tarjeta se tiene la posibilidad de comando de frecuencia para el variador con ayuda de un potenciómetro de corte analógico.

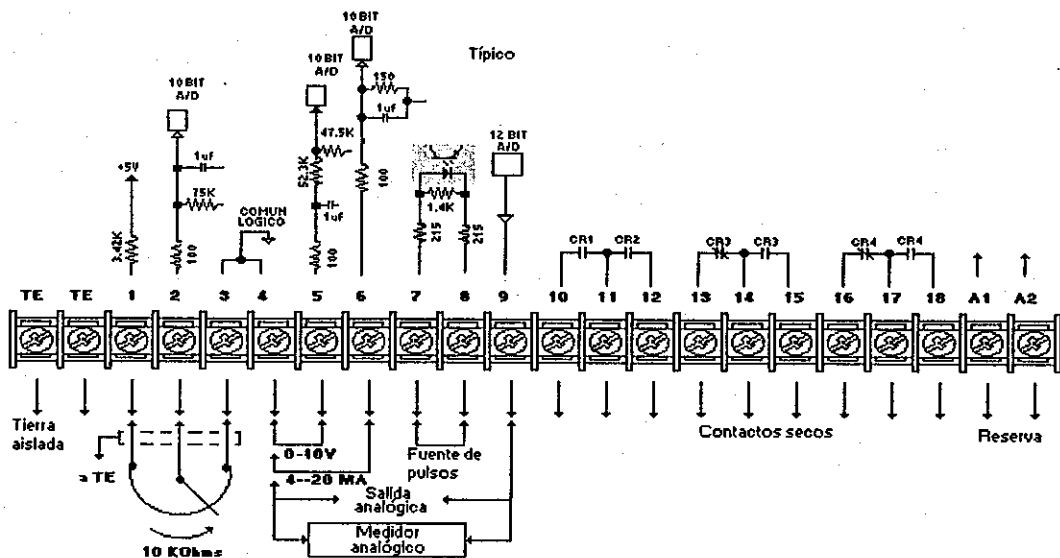
b.- Se tienen entradas analógicas de voltaje ( 0 a 10 V ) de corriente ( 4 a 20 mA ) que también por programación pueden comandar en la frecuencia del variador de velocidad.

c.- Otra función que posee esta tarjeta es que posee una salida analógica que se puede predefinir que sea de voltaje o de corriente por un puente en una de las tarjetas electrónicas del variador.

d.- Se tienen entradas para utilizar contactos secos internos del variador para obtener señales de falla, marcha, alarma, etc.

Cuando hablamos de la programación del variador, los grupos de parámetros en los cuales se debe poner más énfasis son en el grupo de ajustes, en el grupo de ajustes avanzados y en el grupo de selección de frecuencia.

**Fig. 21 Tarjeta interna TB2 del variador 1336 PLUS**



**Allen Bradley company.**

**Variador de Velocidad de CA 1336 PLUS. Pag. 2.20**

Los parámetros que se programan en el grupo de ajustes son los siguientes:

- .- Modo de entrada: es el parámetro en el cual se escoge la manera de comandar los arranques del variador con ayuda de la tarjeta de interface de control TB3.
- .- Selección de frecuencia: el cual controla cual de las fuentes actualmente esta suministrando el comando de frecuencia al variador de velocidad.
- .- Tiempo de aceleración 1: es el valor que determina el tiempo que el variador tomará para cambiar gradualmente de 0 Hz a frecuencia máxima.
- .- Tiempo de desaceleración 1: es el valor que determina el tiempo que el variador tomará para cambiar gradualmente de frecuencia máxima a 0 Hz.
- .- Frecuencia base, es el valor de frecuencia nominal de la placa del fabricante del variador.
- .- Tensión base: es el valor de voltaje nominal de la placa del motor.
- .- Tensión máxima: es el valor que establece el voltaje más alto de salida del variador de frecuencia.
- .- Frecuencia mínima: es el parámetro que establece la frecuencia más baja de salida del variador de frecuencia.
- .- Frecuencia máxima: es el parámetro que establece la frecuencia más alta de salida del variador de frecuencia .
- .- Selección de parada: este parámetro selecciona el modo de parada cuando el variador de velocidad recibe un comando de parada ( Rampa, Curva S, Freno de CC y por su propia inercia ).
- .- Limitación de corriente: es el parámetro que establece la corriente de salida máxima permitida del variador de velocidad antes de que ocurra la limitación de corriente.
- .- Modo de sobrecarga: este factor selecciona el factor de reducción de capacidad nominal para la función de sobrecarga electrónica I<sup>2</sup>T.

.- Intensidad de sobrecarga: es el parámetro que establece el valor de la carga total de la placa del fabricante del motor.

Los parámetros que se programan en el grupo de ajustes avanzados son los siguientes:

.- Refuerzo de CC: este es el parámetro que establece el nivel de refuerzo de CC que se aplicará a las frecuencias Bajas. Estas selecciones miden automáticamente la resistencia del motor y ajustan el voltaje de refuerzo para mantener un rendimiento de refuerzo constante e independiente de la temperatura cambiante del motor.

.- Tipo de motor: es el parámetro en el cual se establece el tipo del motor conectado al variador de velocidad.

Los parámetros que se programan en el grupo de selección de frecuencia son los siguiente:

.- Selección de frecuencia 1: este parámetro controla cual de las fuentes de frecuencia actualmente esta suministrando el comando de frecuencia al variador de velocidad.

.- Selección de frecuencia 2: este parámetro es en el cual se define la fuente de comando de frecuencia para el variador cuando por medio de la tarjeta de interface de control se selecciona que opere el variador con la fuente de frecuencia 2.

## **2.2.2 Descripción de los sensores y dispositivos de control adicionales utilizados para la automatización de una centrífuga**

En la automatización de una centrífuga se utilizan sensores de proximidad, para que ejecuten la función de detectar la posición de las piezas movibles de la máquina. El tipo de sensores de proximidad representan una verdadera revolución en la tecnología de los detectores. Para la elección de los sensores adecuados para este trabajo se tiene que tener muy en cuenta las siguientes características:

- Soporte a la abrasión .
- Soporte a la colisión.
- Soporte a la fuerza mecánica.
- Soporte a la rotura o desgaste del cable.
- Soporte a químicos / introducción de fluidos cortantes / degradación.
- Soporte a ruido eléctrico
- Tamaño y espacio de montaje.
- Distancia de sensado.
- Superficie de sensado.
- Inmune a los campos magnéticos creados por las máquinas de soldadura.
- Rango de temperatura de trabajo.
- Voltaje de trabajo.

Tomando las consideraciones anteriores podemos instalar los sensores de proximidad en donde sea necesario para la automatización de la máquina. Los sitios donde se instalan regularmente son:

1. Sensor que detecta que arado está adentro.
2. Sensor que detecta que arado está en reposo.
3. Sensor que detecta que arado está abajo.

4. Sensor que detecta que campana está abajo.
5. Sensor que detecta que compuerta está cerrada.
6. Sensor que detecta la velocidad del eje del motor.
7. Sensor que detecta velocidad cero.
8. Sensor que detecta la pieza del control de carga.
9. Sensor que detecta que existe un desbalance de canasta.

Otros dispositivos que son necesarios para la automatización de una centrífuga son:

- .- Controladores de presión, los cuales nos sirven para detectar si existe un flujo adecuado de lubricante ( controlador de presión de aceite en el sistema ), así como también un enfriamiento con flujo de agua ( controlador de presión de agua ).
- .- Manijas de varias posiciones, pulsadores de varios colores y luces piloto.
- .- Dispositivos de protección de mando.

## **2.3 Consideraciones especiales de instalación**

### **2.3.1 Acondicionamiento de la alimentación de entrada, cableado de potencia y cableado de señales de control**

En el tablero eléctrico se realizó la disposición de equipo que acondiciona la alimentación de entrada y componentes que permitirán el control automático de la centrífuga. Entre los equipos que acondicionan la alimentación de entrada al tablero tenemos los siguientes:

.- Un interruptor principal, el cual sirve para realizar la operación de conexión y desconexión de la entrada de potencia. Este equipo lleva internamente una bobina de disparo para desconectar al mismo cuando se quiere que el control automático funcione solo en modo de simulación ( sin potencia ).

.- Generalmente el voltaje de entrada al tablero es 480 V, sistema estrella cuatro hilos, para el chequeo continuo del suministro de alimentación de potencia se tiene un relé SEG que supervisa que no existan en el sistema altos y bajos voltajes. Al presentarse un problema con el voltaje de alimentación se tiene que este relé manda una señal al controlador lógico programable y se presenta una falla en el sistema.

.- Un relé SEG que supervisa la secuencia de fases del sistema para que no exista problema de cambios de rotación en los motores de la centrífuga. Cuando existe un cambio en la secuencia de fases en la alimentación de entrada se manda una señal al controlador lógico programable y se pone en falla todo el sistema.

Referente a las condiciones que deben cumplir los cableados de potencia y de control son las siguientes:

.- Que el cableado de potencia se encuentre alejado de las señales de control para evitar ruido en las señales que van al controlador lógico programable.

.- Que los cables de instalación cumplan con las especificaciones de dimensión y características técnicas de las normas respectivas y no deben dar lugar a confusiones o a interpretaciones múltiples.



### **2.3.2 Condiciones de aterrizaje del equipo eléctrico en general**

En virtud de que existe confusión al respecto de las definiciones que incluyen los términos tierra y neutro, a continuación se presentan las expresiones más utilizadas:

- a) **Tierra:** Desde el punto de vista eléctrico, se considera que el globo terráqueo tiene un potencial de cero ( o neutro ); si se utiliza como referencia y como sumidero de corrientes indeseables. Sin embargo, puede suceder que por causas naturales ( presencia cercana de nubes o descargas atmosféricas ) o artificiales ( falla eléctrica en una instalación ) una zona terrestre tenga en forma temporal una carga eléctrica negativa o positiva con respecto a otra zona ( no necesariamente lejana ). Por esta razón pueden aparecer corrientes en conductores cuyos extremos estén en contacto con zonas de potenciales distintos.
- b) **Resistencia a Tierra:** Este término se utiliza para referirse a la resistencia eléctrica que presenta el suelo ( tierra ) de cierto lugar. El valor de la resistencia a tierra debe estar dentro de ciertos límites dependiendo del tipo de instalación. En el párrafo 206-49 de las NTIE ( 1981) se especifica que el valor de la resistencia a tierra no debe ser mayor de 25 Ohms, sin embargo se recomienda que esté entre 5 y 10 Ohms.
- c) **Toma de tierra:** Se entiende que un electrodo enterrado en el suelo con una terminal que permita unirlo a un conductor es una toma de tierra. Este electrodo puede ser una barra o tubo de cobre, una varilla o tubo de fierro y en general cualquier estructura que esté en contacto con la tierra y que tenga una resistencia a tierra dentro de ciertos límites.
- d) **Tierra remota:** Se le llama así a una tierra lejana al punto que esté considerando en ese momento . Su definición es útil ya que puede utilizarse

como referencia en caso de que fluyan corrientes entre la instalación y esa toma de tierra.

- e) Sistema de tierra: Se llama sistema de tierra a la red de conductores eléctricos unidos a una o más formas de tierra y provistos de una o varias terminales a las que pueden conectarse puntos de la instalación. El sistema de tierra de una instalación se diseña en función de; el nivel de voltaje, la corriente de cortocircuito, la superficie que ocupa la instalación, la probabilidad de explosión y/o incendio, la resistencia a tierra, la humedad y la temperatura del suelo.
- f) Neutro: Potencial 0 V, posible circulación de corriente ( desbalance o corrientes de falla ). El neutro de una instalación puede estar conectado a tierra a través de una impedancia ( resistiva o inductiva ). La función de esta impedancia es limitar la corriente de cortocircuito que circularía por el conductor, o las partes del equipo que estén conectadas a tierra y disminuir así los posibles daños.

Con las definiciones anteriores podemos darnos cuenta de cuales son las condiciones de aterrizaje del equipo eléctrico instalado en los tableros, que están relacionados con el sistema de control de centrífugas.

### **3. EL DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE CENTRÍFUGAS EN PROCESO AZUCAREROS INDUSTRIALES**

#### **3.1 Descripción del diseño de ingeniería de la automatización de una centrifuga**

##### **3.1.1 Descripción y análisis del funcionamiento del proceso industrial azucarero relacionado con las centrifugas**

A continuación se describe el algoritmo de funcionamiento de un ciclo de una centrifuga en forma detallada ( para tener una idea clara del proceso ):

- 1.- El primer paso del proceso es el arranque de toda la máquina verificando todas las condiciones iniciales, tales como presiones de aceite, presiones de agua y posiciones de partes mecánicas adecuadas.
- 2.- Luego de realizar todo el chequeo de las condiciones iniciales, empieza a girar la canasta y se realiza el prelavado de la misma. Este paso se realiza para drenar todos los residuos no deseables que pueden existir en la máquina.
- 3.- Después de un tiempo de haber realizado el prelavado y que el motor este girando a velocidad de carga ( 250 RPM ) se realiza el paso de carga, en el cual se abre la compuerta y empieza a caer a la canasta la masa principal.
- 4.- Se procede al control de nivel de carga según el nivel fijado por el operador y el cierre de la compuerta cuando ya se ha llegado a la carga deseada en la canasta.

5.- Luego de cerrar la compuerta el motor empieza a girar a una velocidad más alta ( 1200 RPM ) y por el efecto de la fuerza centrífuga la masa empieza acumularse en las paredes del canasto, a este paso se le llama de secado.

Durante este paso de secado se realizan varios lavados, el motivo de los cuales es que según el tiempo de los mismos se pueden obtener diferentes tipos de azúcares.

6.- Luego de terminar el tiempo de secado, se realiza el paso de frenado el cual primero con ayuda del motor se realiza un frenado regenerativo y cuando la velocidad del eje del motor ya ha sido reducida lo suficiente se realiza el frenado mecánico.

7.- Luego de haber terminado el paso del frenado, el paso siguiente es la descarga, en el cual se hace girar el canasto en dirección opuesta, se levanta campana y se acciona el mecanismo del arado. En este paso se realiza el arado del azúcar que se encuentra adherida a la pared del canasto y como la campana esta arriba se deposita en el transportador que se encuentra debajo de la centrífuga.

8.- El último paso que se tiene en el ciclo de la centrífuga es que después de haber depositado toda el azúcar en el transportador se baja campana y se deshabilita todo el mecanismo del arado dejándolo en la posición de reposo.

Los pasos que anteriormente se explicaron representan el ciclo de funcionamiento de la centrífuga en forma automática, ya que en forma manual el operador puede realizar varias funciones a la vez.

### 3.1.2 Consideraciones prácticas a tomar en el proyecto

A continuación se presentan las consideraciones prácticas que se deben seguir para la realización de un proyecto de automatización de una centrifuga, para obtener resultados óptimos.

- a) Cuando se está trabajando con motores eléctricos, como es el caso del motor principal de la centrifuga y el motor de reversa, es importante seleccionar el equipo eléctrico adecuado para el accionamiento de los mismos, tomando en cuenta todas las características eléctricas. En el caso de que se utilice un variador se tiene que considerar todas las características de instalación para estos equipos.
- b) Se debe considerar la cantidad de entradas y salidas digitales necesarias para realizar el proyecto de automatización de la centrifuga. En el conteo de las entradas digitales tenemos que tomar en cuenta las señales de los sensores de proximidad, las señales de los pulsadores y manijas instalados en estaciones remotas y señales de los equipos de potencia. En el conteo de las salidas digitales se tienen que tomar en cuenta las señales para las solenoides, señales para luces indicadoras y señales para accionamiento de contactores de potencia.
- c) Para evitar problemas de daños a las salidas de los módulos se recomienda tomar la consideración de instalación de bornes fusibles o bornes termomagnéticos.
- d) Otra consideración muy importante que se tienen que tomar en el proyecto son los tipos de voltajes con los cuales se trabajará. Por condiciones de

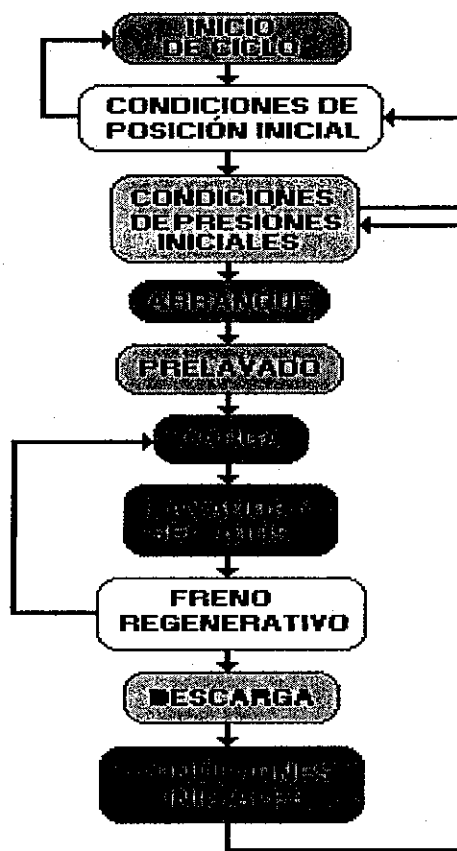
trabajo y equipo estándar, lo más conveniente es trabajar con un voltaje de control de 120 voltios, tanto para entradas y salidas digitales, para sensores especiales ( como el sensor de velocidad ) u otro tipo de equipos electrónicos para trabajar con 24 VDC.

- e) Hablando de la instalación en general se tiene que asegurar que la misma sea eficiente, económica, flexible y de fácil acceso. Cuando mencionamos de economía en el proyecto de ingeniería es que debemos de pensar en su realización con la menor inversión posible. Hipotéticamente hablando, la mejor solución a un problema de instalaciones eléctricas debería ser única: la ideal. En la realidad como proyectistas requerimos de habilidad y tiempo para acercarnos a esa solución ideal. Pero las horas hombre dedicadas al proyecto son parte importante del costo, por lo que tampoco es recomendable dedicar demasiado tiempo a resolver problemas sencillos. Se entiende por instalación flexible aquella que puede adaptarse fácilmente a pequeños cambios.

### **3.1.3 Diagrama de funcionamiento de una centrífuga**

A continuación se presenta el diagrama de flujo del funcionamiento de una centrífuga. ( ver figura 22 )

**Fig. 22 Diagrama de funcionamiento de la Centrifuga**



### **3.2 Componentes a utilizar en la automatización de la centrifuga**

#### **3.2.1 Características y especificaciones técnicas de la unidad de procesamiento central ( CPU )**

Algunas de las características del CPU 5/02 utilizado, que lo hacen el procesador apropiado para esta aplicación, son las siguientes:

- Memoria de programa de 4 K ( 16 K palabras de datos para almacenamiento de recetas ).

- Direccionamiento de hasta 480 puntos de entrada/salida.
- Iniciación en la comunicación puerto a puerto DH-485.
- Programable utilizando el software de programación RS-Logix 500 ( bajo Windows '95 / NT ), el software de programación avanzado ( APS ) o la terminal de programación Manual ( HHT ).
- LED de estado indicador de comunicación, LED de estado indicador de falla y LED de estado indicador de forzado.
- Listado UL , aprobado por CSA.
- Soporte de módulo para comunicación con periferia remota ( RIO ).

Entre las especificaciones técnicas tenemos las siguientes:

**Tabla I. Especificaciones del procesador**

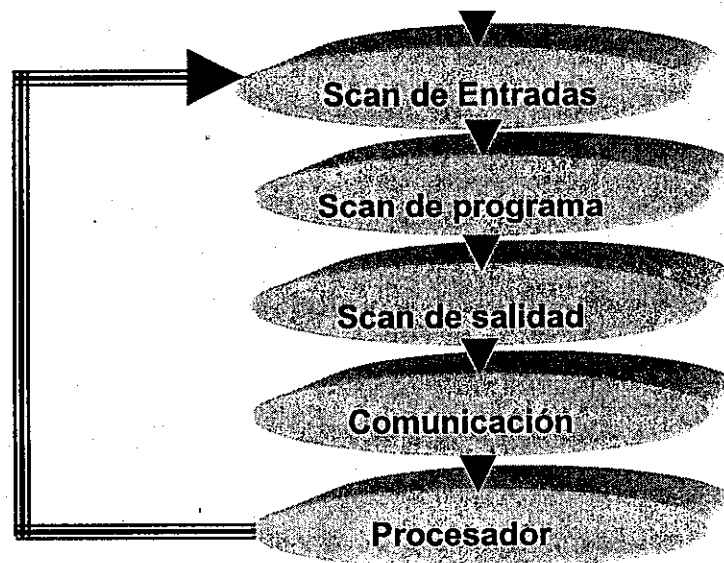
<b>Especificación</b>	<b>CPU Modelo SLC 5/02</b>
Memoria del Programa RAM	4K Instrucciones o 16K palabras de datos
Capacidad de entrada/salida	480 Discretas
Máximo en chasis/slots	3 / 30
Back-up RAM standard	Batería de Litio ( 5 años )
Módulo de memoria	EEPROM UVPROM
LED indicadores	Run, CPU Fault , Forced I/O , Battery Low , COMM
Programación	RS-LOGIX , APS , HHT
Tiempo de SCAN típico	4.8 ms / K
Ejecución de Bit ( XIC )	4 microsegundos
Comunicación	DH-485 , Receptor o Iniciador



Especificación	CPU Modelo SLC 5/02
Carga para la fuente de poder a 5 VDC	350 mA.
Carga para la fuente de poder a 24 VDC	105 mA.

El ciclo de operación del procesador se puede representar en forma de diagrama, de la siguiente manera:

**Fig. 23 Ciclo de Operación de un Procesador.**



La descripción de los eventos en el ciclo se describen a continuación.

**Scan de entradas:** El estado de los módulos de entrada es leído y la tabla imagen de entrada en el procesador es actualizada con esta información.

**Scan del programa:** El programa en lógica de escalera es ejecutado. La tabla imagen de entrada es evaluada, los escalones de la escalera son resueltos y la tabla imagen de salida es actualizada. La información todavía no es transferida a los módulos de salida.

**Scan de salidas:** La información en la tabla imagen de salida es transferida a los módulos de salida.

**Comunicaciones:** La comunicación con programadores u otros dispositivos se realiza.

**Procesador:** Toma lugar el mantenimiento interno del procesador. Esto incluye actualización de la base de tiempo interna, el archivo de estado y otras.

### **3.2.2 Descripción y análisis de operación de los módulos discretos de entrada y salida**

" Sink " y " Source " son términos utilizados para describir la relación del flujo de una señal de corriente entre el campo de entrada y dispositivos de salida en un sistema de control y su fuente de alimentación.

- ◆ Dispositivos de campo conectados al lado positivo ( + V ) de la fuente de alimentación de campo son dispositivos de campo " Source " ( fuente ).
- ◆ Dispositivos de campo conectados al lado negativo ( Común DC ) de la fuente de alimentación de campo son llamados dispositivos de campo

" Sink " ( sumidero ).

Para mantener compatibilidad entre los dispositivos de campo y el sistema del controlador lógico programable, esta definición se extiende a los circuitos de entrada y salida en los módulos discretos de entrada y salida.

- ◆ Los circuitos de entrada y salida " Source " suplen ( fuente ) corriente a dispositivos de campo " Sink ".
- ◆ Los circuitos de entrada y salida " Sink " reciben ( sumidero ) corriente de dispositivos de campo " Source ".

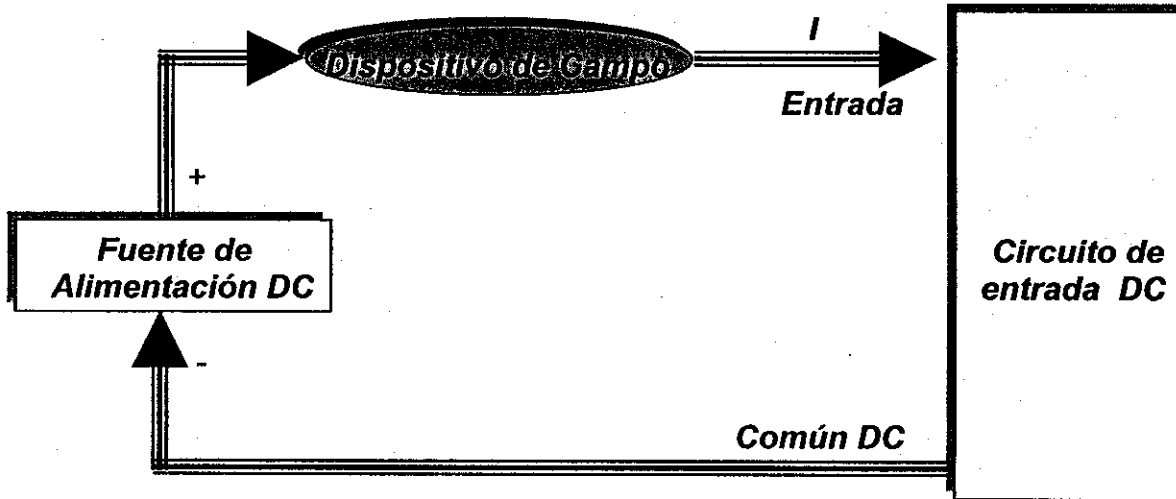
Los relés pueden ser utilizados en circuitos de salida AC o DC y acomodar dispositivos de campo ya sea Sink o Source. Esta capacidad es el resultado de que el conmutador de salida sea de contacto mecánico, no sensible a la dirección del flujo de corriente y capaz de acomodar un amplio rango de voltajes.

Este alto grado de flexibilidad hace que los módulos de salida de contactos sean bastante populares y útiles en ambientes de control con una amplia mezcla de requerimientos de circuitos eléctricos de entrada y salida.

Cuando hablamos de circuitos de entrada y salida de estado sólido en DC, debido al diseño de los dispositivos de campo DC, éstos requieren que sean utilizados en un circuito específico Sink o Source dependiendo de la circuitería interna del dispositivo. Los circuitos de campo de entrada o de salida en DC son comúnmente utilizados con dispositivos de campo que poseen alguna circuitería interna de estado sólido, los cuales necesitan un voltaje auxiliar de alimentación DC para funcionar.

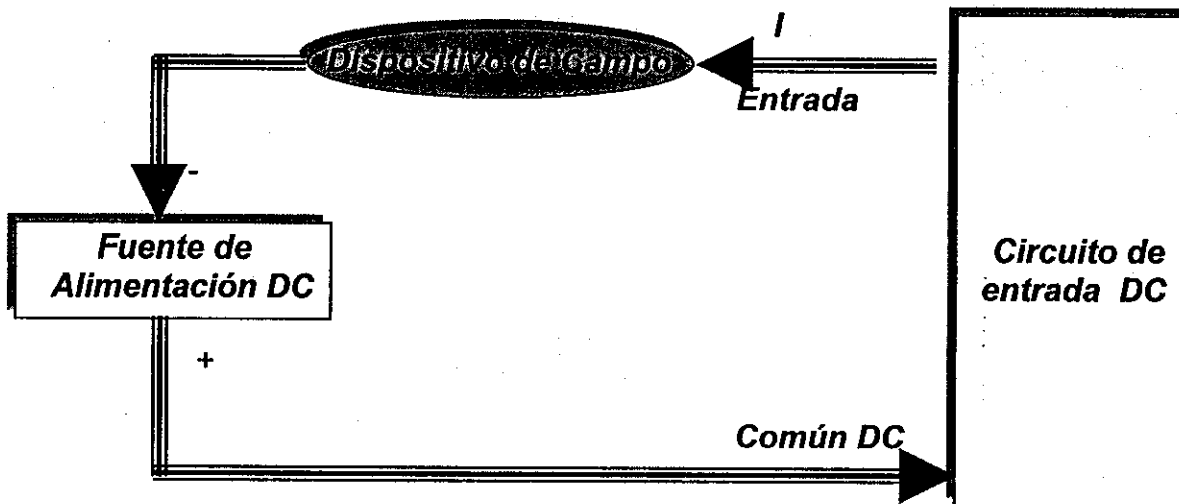
Cuando instalamos un dispositivo de campo de tipo Source con un módulo de entrada de tipo Sink, el dispositivo de campo se tiene que encontrar en el lado positivo de la fuente de alimentación entre la fuente y la terminal de entrada. Cuando el dispositivo de campo es activado, éste proporciona ( fuente) corriente al circuito de entrada.

Fig. 24 Diagrama de dispositivo Source con módulo de entrada Sink



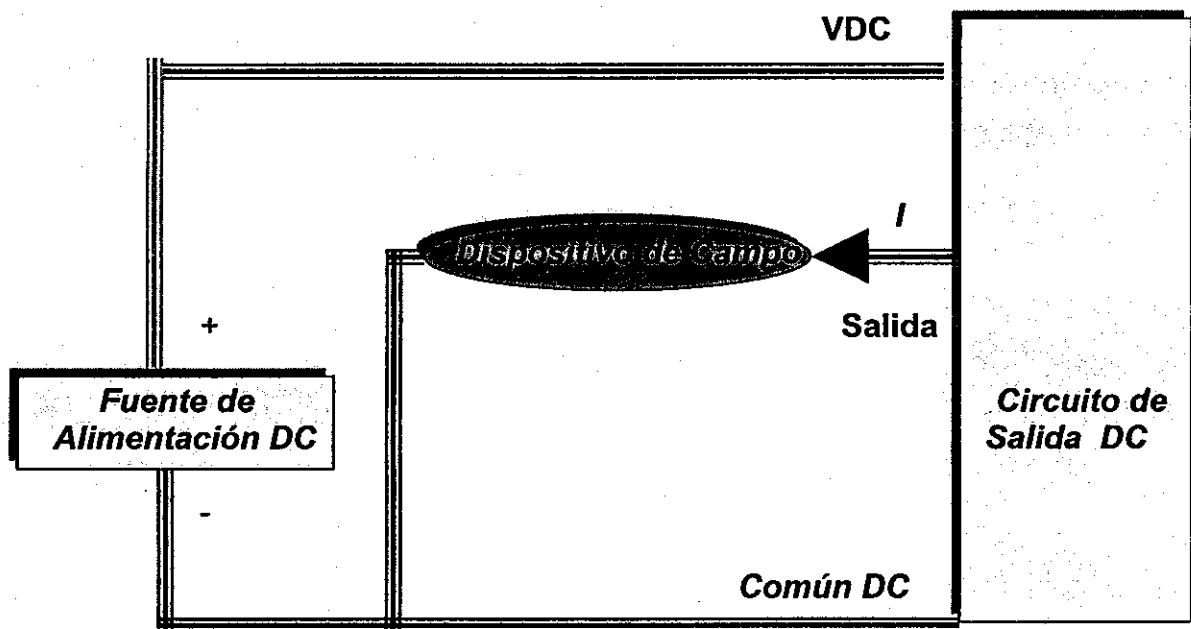
Cuando instalamos un dispositivo de campo de tipo Sink con un módulo de entrada de tipo Source, el dispositivo de campo se tiene que encontrar en el lado negativo de la fuente de alimentación entre la fuente y la terminal de entrada. Cuando el dispositivo de campo es activado, éste consume (sumidero) corriente del circuito de entrada.

Fig. 25 Diagrama de dispositivo Sink con módulo de entrada Source



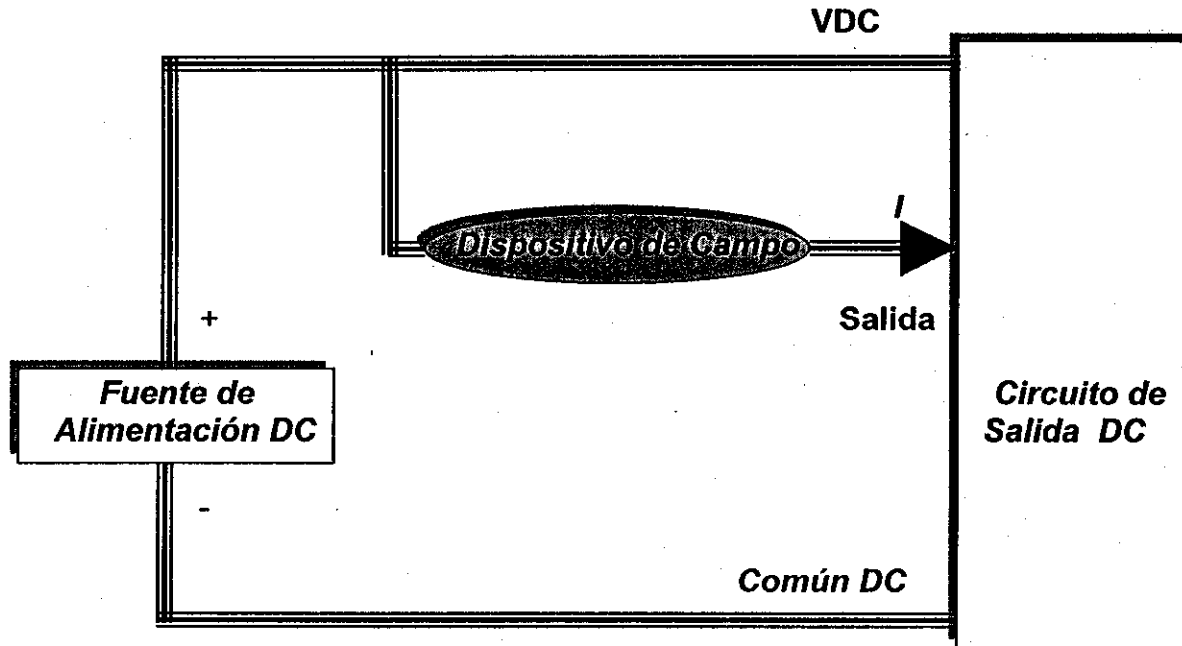
Cuando instalamos un dispositivo de campo de tipo SINK con un módulo de salida de tipo Source, el dispositivo de campo se tiene que encontrar en el lado negativo de la fuente de alimentación entre la fuente y la terminal de salida. Cuando el dispositivo de campo es activado, éste proporciona ( fuente) corriente al dispositivo de campo.

**Fig. 26 Diagrama de dispositivo Sink con módulo de salida Source**



Cuando instalamos un dispositivo de campo de tipo Source con un módulo de salida de tipo Sink, el dispositivo de campo se tiene que encontrar en el lado positivo de la fuente de alimentación entre la fuente y la terminal de salida. Cuando el dispositivo de campo es activado, éste consume ( sumidero) corriente del dispositivo de campo.

**Fig. 27 Diagrama de dispositivo Source con módulo de salida Sink.**



Un circuito de entrada responde a una señal de entrada de la siguiente manera:

1. Un filtro de entrada remueve señales falsas debidas al rebote o interferencia eléctrica.
2. Un aislamiento opto-eléctrico protege el circuito de entrada y los circuitos secundarios aislando los circuitos lógicos de las señales de entrada.
3. La circuitería lógica procesa la señal.
4. Un LED a la entrada se enciende o se apaga indicando el estado del correspondiente dispositivo de entrada.

Un circuito de salida controla la señal de salida de la siguiente manera:

1. La circuitería lógica determina el estado de la salida.
2. Un LED a la salida indica el estado de la señal de salida.
3. Un aislamiento opto-eléctrico separa la circuitería lógica de salida y la circuitería secundaria de las señales de campo.
4. El manejador de salida enciende la correspondiente salida.

### **3.2.3 Descripción y análisis de operación de los dispositivos de comunicación**

Para lograr que un controlador lógico programable de la familia de los SLC500 se conecte a una red de comunicación de tipo DH-485, es necesario el dispositivo de comunicación llamado AIC ( Insolated Link Coupler ).

El dispositivo AIC puede también ser usado para conectar dispositivos periféricos como computadoras, interfaces con el operador etc. Las distancias máxima del cable puede ser de 4000 pies de longitud.

Las consideraciones importantes que tenemos que tomar en cuenta para crear una red de comunicación DH-485 son las siguientes:

- ◆ La cantidad de ruido eléctrico, temperatura y humedad del ambiente en el cual se hará la red.
- ◆ Número de dispositivos conectados a la red de comunicación ( máximo 32 ).
- ◆ La calidad de conexión a tierra en el sistema.

- ◆ Cantidad de tráfico de comunicación en la red.
- ◆ Tipo de proceso que será controlado.
- ◆ Configuración de la Red.

Para instalar una red DH-485, necesitamos el cable adecuado, los dispositivos AIC, los conectores terminales y las fuentes de poder 24 VDC si son necesarios.

### **3.2.4 Descripción y análisis de operación del módulo de acceso a la tabla de datos de la unidad de procesamiento central**

El interface con el operador DTAM-PLUS se conecta directamente al controlador lógico programable SLC500 a través de su puerto de comunicación. El DTAM-PLUS permite que el operador sea llevado a través de una secuencia de menús y pantallas desplegadas para controlar y visualizar el proceso en cuestión, permitiendo un acceso rápido y fácil a los archivos de datos del SLC, incluyendo archivos de entrada y salida, palabras de estado, temporizadores, contadores, etc.

El DTAM-PLUS se utilizará, en este caso, con comunicación tipo DH-485 utilizando los puertos de los módulos de comunicación AIC.

A continuación se presentan algunas de las características del DTAM-PLUS:

- ◆ Software de Programación, el cual simplifica la creación de las pantallas para desplegar en pantalla la información que sea necesaria del SLC500, según la aplicación. También se pueden generar pantallas de alarmas para

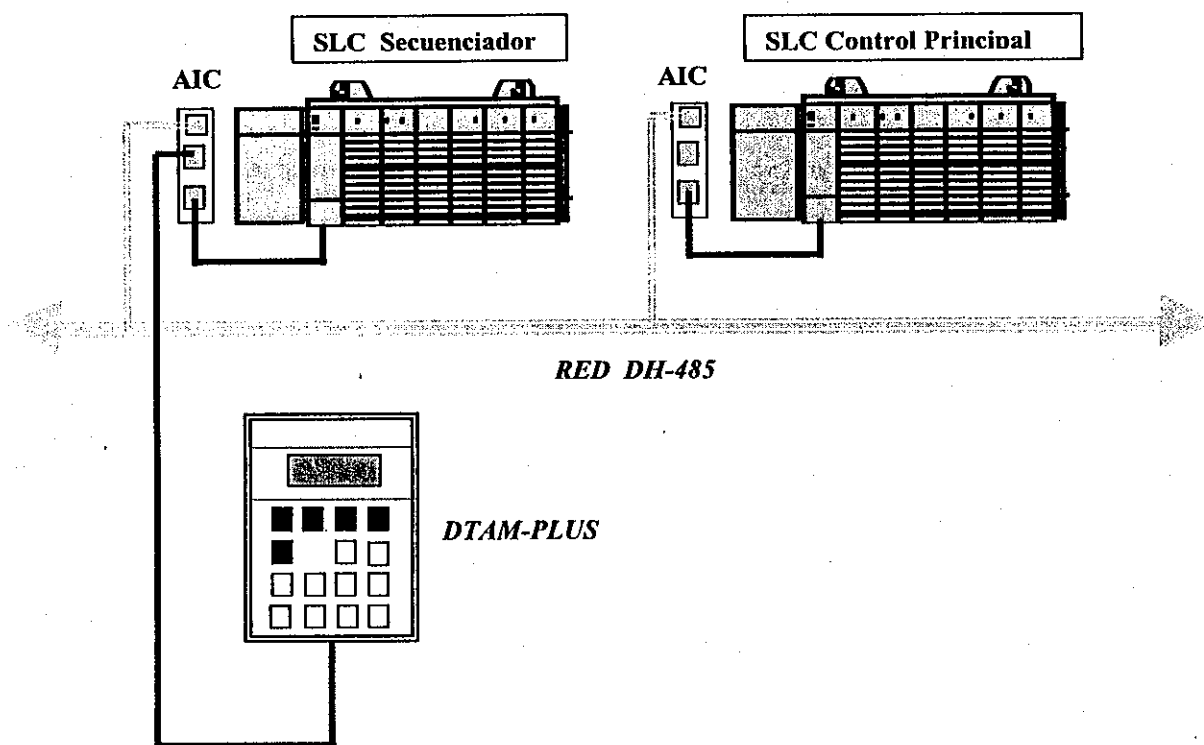


monitorear información crítica de la tabla de datos y notificar al operador cuando algún límite preestablecido ha sido excedido.

- ◆ Puerto de Comunicación, soporta conexiones RS-485/422 Y RS-232.
- ◆ Pantalla LCD ( Liquid Cristal Display ) o VFD ( Vacuum Fluorescent Display ), con cuatro líneas por 20 caracteres para despliegue de datos de proceso, apuntadores del operador y condiciones de alarma.
- ◆ Memoria de 8 o 40 K soportando hasta 50 o 244 pantallas de datos.
- ◆ Reloj de tiempo real, para aplicaciones críticas tales como soportes de producción.
- ◆ Puerto de impresora Standard, soporta impresión local de reportes, datos, condiciones de alarma. También sirve como un puerto secundario para la programación.
- ◆ Escaleo de datos en unidades de ingeniería estándar permitiendo el despliegue de datos como valores numéricos o gráficas de barras.

A continuación se presenta el diagrama de conexión del DTAM-PLUS al módulo AIC que se encuentra en el tablero de control de secuencia de las centrífugas:

**Fig. 28** Conexión de interface con el operador a red DH-485



### 3.3 Programación

#### 3.3.1 Descripción general del tipo de lógica de programación

La lógica programable que utilizaremos en el proyecto de automatización de las centrifugas es llamada lógica de escalera ( Ladder Logic ). El diagrama de escalera representa el "programa del usuario" que se ingresa a la memoria del

controlador y contendrá instrucciones que simbolizan las entradas externas y los dispositivos de salida.

También contendrá alguna de las siguientes instrucciones:

- ◆ Instrucciones de lógica de relés ( bit ).
- ◆ Temporizadores y contadores.
- ◆ Instrucciones de comparación.
- ◆ Instrucciones lógicas y de movimiento.
- ◆ Otras instrucciones avanzadas.

Mientras que el programa es procesado ( scanned ) durante la operación del controlador, el cambio de estado de las entradas externas será aplicado al programa, energizando y desenergizando las salidas externas de acuerdo con las instrucciones particulares que se hayan utilizado.

Para ilustrar como funciona la lógica en escalera, se utilizará un ejemplo sencillo con instrucciones de bit. Las tres instrucciones que se utilizarán son las siguientes:

- XIC - Examine if close - Examinar si está cerrado: análogo a un contacto de relé normalmente abierto. Para esta instrucción, se le pide al procesador que "examine si ( el contacto ) está cerrado".
- XIO - Examine if Open - Examinar si está abierto : análogo a un contacto de relé normalmente cerrado. Para esta instrucción, se le pide al procesador que " examine si ( el contacto ) está abierto".

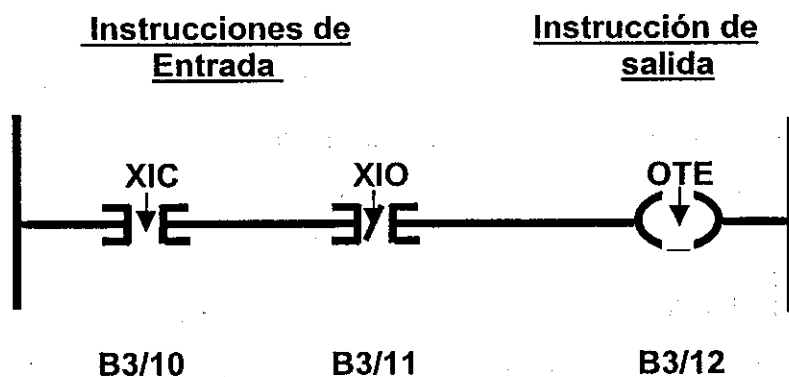
- OTE - Output Energize - Energizar salida: análogo a la bobina de un contactor. El procesador hace verdadera esta instrucción ( análogo a energizar una bobina ) cuando existe un camino de instrucciones verdaderas XIC y XIO en el escalón.

Hay que tener en mente que la operación de estas instrucciones es similar, pero, no equivalente a los contactos de relés y bobinas. De hecho, un conocimiento de las técnicas de contactos de relé no es un requisito para programar el controlador lógico programable SLC500.

Un diagrama en escalera consiste en escalones individuales, cada uno consiste en una o más instrucciones de entrada y una o más instrucciones de salida.

El escalón de la escalera mostrado abajo tiene dos instrucciones de entrada y una instrucción de salida. La instrucción de salida siempre aparece a la derecha, a la par del riel de energía derecho. Las instrucciones de entrada siempre aparecen a la izquierda de la instrucción de la salida.

**Fig. 29 Típico diagrama en escalera**



XIC: Examinar si está cerrado	Dirección B3/10
XIO: Examinar si está abierto	Dirección B3/11
OTE: Energizar salida	Dirección B3/12

Es necesario hacer notar que cada una de las instrucciones en el diagrama de arriba tienen una dirección. Esta dirección identifica una localización de almacenaje en el archivo de datos del procesador, en donde se indica el estado de la instrucción .

Durante la operación del controlador, el procesador evalúa cada escalón, cambiando el estado de las instrucciones de acuerdo con la continuidad lógica de los escalones. Más, específicamente, las instrucciones de entrada ponen las condiciones bajo las cuales el procesador hará una instrucción de salida verdadera o falsa. Estas condiciones son las siguientes:

- Cuando el procesador encuentra un camino continuo de instrucciones de entradas verdaderas en un escalón, la instrucción de salida OTE será verdadera. Entonces, se dice que las condiciones del escalón son verdaderas.
- Cuando el procesador no encuentra un camino continuo de instrucciones de entradas verdaderas en un escalón, la instrucción de salida OTE será falsa. Entonces, se dice que las condiciones del escalón son falsas.

Suponiendo que el controlador está operando y las instrucciones de entrada del escalón cambian de estado sobre un periodo de tiempo, entonces la instrucción de salida cambiará de estado de acuerdo a la continuidad de la lógica de programación.

### 3.3.2 Estructura y diseño del programa del controlador electrónico programable

El diseño del programa en lógica de escalera se basó en la descripción del funcionamiento de la máquina centrífuga descrita anteriormente. La estructura del programa del controlador lógico programable que controla la máquina centrífuga se realizó de una manera que fuera entendible para el usuario y que se puedan realizar cambios del programa o de variables con facilidad.

Se crearon varios archivos o subrutinas dentro del programa. Con esta programación estructurada se facilita al usuario, la revisión del programa en escalera en caso de mantenimiento. Las subrutinas creadas son las siguientes:

1. **Subrutina principal:** este es el archivo del programa en escalera el cual no necesita de una instrucción para que pueda ser escaneado por el procesador y es donde se programan las instrucciones que habilitan los demás archivos ( Instrucción JSR, Jump to Subrutine ). En el diseño de este archivo se programó los siguientes puntos:
  - En las primeras líneas del programa se realizó la programación del control de las revoluciones por minuto reales del eje del motor, para realizar esto se programó un temporizador interno ( con dirección T4:43, con resolución de centésimas de segundos ), el cual con la ayuda de la señal del sensor inductivo ( I:2/13 ) y un bit interno que solo da un pulso ( b3:0/10 ), se tiene que cuando se recibe la señal del sensor se realiza un movimiento del valor acumulado del temporizador a una variable interna del procesador ( dirección N12:30 ) y luego se vuelve el valor acumulado del temporizador a cero, para volver a tomar otro dato. El

valor que se tiene en la variable interna N12:30 ( variable de enteros ) representa el tiempo que toma el eje en dar una revolución ( por ejemplo, si se tiene un valor almacenado de 250 centésimas de segundo quiere decir que la velocidad de la máquina en ese momento es de aproximadamente 24 revoluciones por minuto), entonces se calcula la velocidad real como sigue:

$$\text{Rev/Seg} = 1 \text{ rev.} / ( T \text{ seg.} )$$

$$\text{Rev/min} = ( \text{Rev/Seg} ) \times 60$$

Internamente en el programa se realizan operaciones matemáticas para convertir los valores constantes que el usuario desea para los límites de velocidad de carga. Por ejemplo, un valor constante que se tiene es la variable interna N12:31 que tiene un valor de 254 y representa las revoluciones por minuto que se quieren en la realidad como mínimo al estar en el ciclo de carga de la centrifuga; este valor se divide entre 6 y luego entre 1000 para comparar en todo el programa datos de revoluciones por centésimas de segundo.

Después de realizar las operaciones matemáticas para la conversión de unidades en las cuales estaremos trabajando se hace la programación en la cual se comparan límites mínimos y máximos de las variables internas del procesador con la variable real de la velocidad ( en dimensiones de revoluciones por centésimas de segundo ) y si está dentro de los límites se accionan o se energizan instrucciones de salida ( bit Internos ) que nos indicarán a lo largo del programa si la máquina está en velocidad baja , en velocidad de carga , velocidad alta , etc.

- En el archivo principal también se programó las líneas las cuales chequean en qué modo de operación funcionará la máquina. Los modos de operación de la máquina son tres: operación manual ( donde el operador controla toda la máquina ), operación de recicló ( operación automática pero solo termina un ciclo y vuelve a empezar otro nuevo a los pocos segundos ) y operación en secuencia ( operación automática pero para arrancar nuevamente tiene que recibir una señal del equipo secuenciador ).
  
- El control de las condiciones iniciales de presión ( Switch de presión de lavado de spray, Switch de presión de clutch de reversa, Switch de presión de aceite ), el control de las condiciones iniciales de protecciones generales ( térmicos de contactores de potencia OK, alimentación principal al tablero OK , termistores de los motores OK ) y el control de las condiciones de posición inicial ( arado en reposo, compuerta cerrada, freno de tambor, campana abajo, señal de cero revoluciones ), son verificadas por el programa del controlador y cuando todas están bien se activan bit internos de salida que se consultan a lo largo de todo el programa en escalera.
  
- Como anteriormente se ha mencionado, para la consulta de los demás archivos programados se tienen instrucciones ya determinadas ( JSR ) y esta consulta al archivo se programó de manera que un archivo fuera habilitando al otro y deshabilitándose él mismo, para que solo lo hiciera una vez en un ciclo de operación automática de la centrífuga. Esta secuencia de operación se tiene de la siguiente manera:
  - a. Las subrutina de falla siempre estan consultándose debido a que en la línea de programación no tiene instrucciones hacia la izquierda.



- b. Inicialmente la subrutina que se consulta aparte de la principal y la de fallas es la subrutina de carga de datos y arranque de ciclo ( Archivo 4). En el diagrama en escalera a la instrucción JSR la habilita el bit con direccionamiento B9:0/0 ( Paso 1 secuencia inicial subrutina principal ).
- c. Habilitada la subrutina cuatro se cargan todos los valores predefinidos de las variables internas hacia los valores seleccionados de los temporizadores internos y se deshabilita el bit B9:0/0 ( deshabilitación de la subrutina cuatro ) y se habilita el bit B9:0/1 que habilita la subrutina cinco ( paso dos secuencia subrutina principal ) .
- d. En la subrutina cinco se produce todo lo referente a prelavado de la centrífuga y al terminar los pasos de la propia subrutina se inicializan los mismos y además se deshabilita el bit B9:0/1 ( habilitación de la subrutina de prelavado 5 ) y se habilita el bit B9:0/2 que habilita la subrutina de carga número 6 ( paso tres secuencia subrutina principal ).
- e. Ya habilitada la subrutina de carga se realizan todos los pasos que tiene la misma y al terminar su función se realiza la operación de deshabilitar el bit B9:0/2 ( deshabilitación de la subrutina de carga ), de iniciar todos los pasos de la propia subrutina y de habilitar el bit B9:0/3 que habilita la subrutina de secado en el ciclo de la centrífuga ( bit de paso 4 secuencia subrutina principal ).
- f. Habilitada la subrutina de secado ( JSR 7 ), se realizan todos los pasos internos del propio archivo y cuando termina su secuencia se inician todos los pasos, se habilita la subrutina de paro y se deshabilita la subrutina de secado ( JSR 8, subrutina de paro habilitada por el bit interno B9:0/4 paso 5 secuencia principal ).
- g. En la subrutina de ocho se realiza el paro de la centrífuga de alta velocidad a baja velocidad con un frenado regenerativo y de baja

velocidad a cero velocidad con freno mecánico. Luego de haber realizado todos los pasos de la secuencia de paro se habilita la subrutina de descarga ( JSR 9 ), se deshabilita la subrutina de paro y se inician todos los pasos del archivo nueve ( B9:0/5 bit de habilitación de subrutina de descarga )

- h. La subrutina de descarga es habilitada por el bit B9:0/5, por la entrada que nos indica que el transportador de azúcar está arrancado y por que no existió falla en los lavados durante todo el ciclo. Ya habilitada se realizan todos los pasos de descarga y al finalizar los mismos, se deshabilita la subrutina de descarga, se inician los pasos de la misma y se habilita el bit B9:0/6 ( paso 7 secuencia subrutina principal)
- i. Cuando esta habilitado el bit de fin de secuencia principal ( B9:0/6 ) se habilita un timer de retardo para iniciar la secuencia principal y poder arrancar otro ciclo de la centrifuga.

- En la subrutina principal también se realiza el accionamiento de todas las salidas discretas que se tienen en el sistema. Estos accionamientos de las salidas discretas tienen ciertas condiciones las cuales se explican a continuación:

.- Para el accionamiento de la salida correspondiente a la bobina del contactor de baja velocidad se tienen que cumplir las siguientes condiciones:

- a. Que haya una orden de velocidad de carga ( esta orden se da en los pasos de carga JSR 6 y el paso de freno regenerativo JSR 8 ) ya sea en modo automático o en modo manual.
- b. Como protección se tiene que la señal de retroalimentación del contactor de reversa no esté presente ( abierto el contactor ), la señal

del contactor de alta velocidad esté abierta, que las salidas tanto para el contactor de alta como para el contactor de reversa no estén accionadas, no esté presente la señal que indica que la máquina esta frenada, esté la campana abajo y que esté el arado en reposo.

- Para el accionamiento de la salida correspondiente a la bobina del contactor de alta velocidad se tienen que cumplir las siguientes condiciones:

- a. Que haya una orden de velocidad alta ( esta orden se da en los pasos de la JSR 7 ) ya sea en modo automático o en modo manual.
- b. Como protección se tiene que la señal de retroalimentación del contactor de reversa no esté presente ( abierto el contactor ), la señal del contactor de baja velocidad esté abierta, las salidas tanto para el contactor de baja como para el contactor de reversa no estén accionadas, no esté la señal que indica que la máquina está frenada, la campana abajo y esté el arado en reposo.
- c. Además al accionar la salida correspondiente a la bobina del contactor de alta se energiza la solenoide de agua de enfriamiento del freno y el solenoide de lubricación de motor en alta velocidad.

- Para que se accione la solenoide de lavado de compuerta se tiene que cumplir la condición de que el ciclo de operación de la centrifuga esté en el paso de prelavado o que la máquina esté en cero revoluciones y que el operador accione el pulsador de lavar.

- La salida correspondiente al solenoide de lavado spray se acciona cuando se cumplen las condiciones que indiquen que el ciclo de operación de la máquina está en prelavado, también se acciona el solenoide si el

ciclo de operación está en purgado o también se puede accionar si el operador presiona el pulsador de lavar y que la máquina esté a cero revoluciones por minuto.

.- En la subrutina principal se tiene también programada la línea que inicia todos los pasos de operación de una centrífuga si existe una falla en el sistema o un paro de emergencia tales como:

- Falla de la alimentación principal.
- Falla en térmicos de los motores.
- Falla de desbalance de la máquina ( detectada por el sensor de desbalance ).
- Falla de mando habilitado.
- Paro de emergencia ( accionar el hongo ).
- Paro de ciclo ( pulsar el botón de paro ).

Cuando ocurre una de estas fallas existe un sostén de la indicación y del inicio. Para iniciar otro ciclo se tiene que presionar el botón de restablecer ( reset ) que existe en el sistema.

.- El accionamiento de las salidas correspondientes al solenoide de subir campana se activa si ningún contactor de alta o baja velocidad está accionado, si el freno mecánico de la máquina no está accionado y si hay una orden de levantar campana ( orden de levantar se puede dar seleccionando la manija para que levante campana siempre que esté en modo de operación manual y que esté en reposo o en el paso de descarga la máquina y también se da la orden de levantar campana

cuando está accionado el contactor de reversa y hay una orden del paso de descarga.

- Para el accionamiento del clutch de reversa se tienen que cumplir: que no esté accionado el contactor de alta y el de baja velocidad y que pase un tiempo de retardo de seguridad. Cuando ya está accionado el solenoide del clutch de reversa se consulta si la campana se levantó y si lo anterior se cumple se acciona la salida correspondiente al contactor de reversa. El procedimiento anterior se produce automáticamente en el paso de descarga del ciclo de operación de la centrífuga o también se puede realizar en forma manual.

- Cuando el motor de reversa de la centrífuga está funcionando, el procedimiento a seguir ya sea en forma manual o en modo de operación automático es el arado del azúcar que se encuentra adherida a la pared del canasto de la máquina. Los movimientos que tiene que hacer la pieza mecánica de la máquina llamada arado son:

- 1.- Arado adentro
- 2.- Arado abajo
- 3.- Arado afuera
- 4.- Arado arriba ( a reposo ).

Cuando funciona el arado del azúcar se está en la etapa de descarga en el ciclo de la centrífuga, unas de las condiciones importantes para la descarga son que la campana se encuentre arriba para que el azúcar caiga al transportador, que el eje de la centrífuga esté girando en reversa y que en ningún momento se conecte el contactor de alta y de baja velocidad.

2. **Subrutina de despliegue:** este es el archivo del programa en escalera en el cual se realiza todo el control para el despliegue de mensajes de falla y mensajes de operación. En el diseño de este archivo se programó los siguientes puntos:
  - Se programaron todos los accionamientos de los bit de fallas, tales como falla de switches de presión, falla de condiciones de posición inicial, falla de protecciones de potencia generales y falla de presión de lavados.
  - Además en este archivo se programaron los mensajes de fallas ( con instrucciones copy ) para el despliegue en un interface con el operador. ( COP cuando se utiliza un interface con el operador tipo DTAM y MOV cuando se utilizá un interface con el operador de tipo Panel View ).
  
3. **Subrutina de inicio:** este es el archivo del programa en el cual se cargan los valores predefinidos para los temporizadores utilizados en el proceso y además se inician todos los pasos de las etapas del ciclo de la centrifuga. El inicio se realiza si se cumplen las condiciones iniciales y cuando se arranca un nuevo ciclo de operación de la máquina.
  
4. **Subrutina de prelavado:** en este archivo del programa durante todos los pasos de la etapa de prelavado se trata de mantener la rotación de la máquina a una velocidad de prelavado adecuada. Esta condición se cumple con la ayuda de un bit que se acciona cuando se realiza la comparación de la velocidad real de la máquina y se establece que no es la velocidad adecuada. Además de mantener la velocidad de carga en la máquina también se realiza la acción de habilitar tiempos de retardo para espera de prelavado, tiempos de retardo de prelavado y temporizadores que sirven para detectar condiciones de operación anormales.

En esta subrutina se tiene programado que en forma manual el operador puede mandar una señal para omitir la etapa de carga del ciclo de la centrífuga y pasar directamente a la etapa de lavados y purgados.

5. **Subrutina de carga:** en este archivo se realiza el control de apertura de la compuerta, lavado de la compuerta, cierre de la compuerta, el control de cantidad de carga y el control de mantener una velocidad de carga adecuada. Además de la habilitación de los puntos anteriores, el archivo también habilita temporizadores que detectarán si existe un problema en la etapa del ciclo de la centrífuga.

En el archivo se tiene una secuencia lógica de habilitación y deshabilitación de los pasos de la etapa de carga. Luego de haber terminado con los pasos correspondientes se inician los mismos y se habilita la subrutina de lavados y purgados.

6. **Subrutina de lavados y purgados:** este es el archivo del programa en escalera el cual hace girar la canasta de la máquina a alta velocidad, esto se realiza con el fin de que los granos de azúcar se queden adheridos a las paredes del canasto.

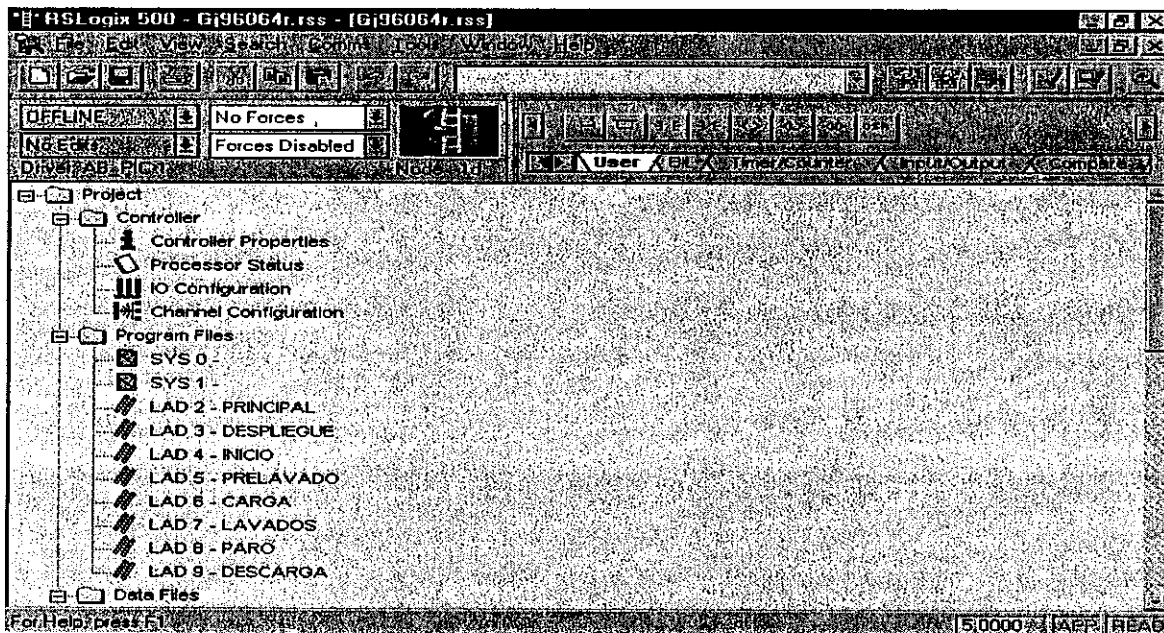
En el archivo se habilitan temporizadores para realizar retardos entre lavados retardos de lavados y así mismo ir habilitando y deshabilitando los pasos de la subrutina. Al finalizar los lavados del azúcar se realizan los pasos del freno regenerativo ( accionamiento nuevamente del contactor de baja velocidad ).

7. **Subrutina de paro:** en esta subrutina se realizan los pasos adecuados para poder parar la máquina completamente con la ayuda del accionamiento del freno mecánico.

8. **Subrutina de descarga:** este es el archivo del programa en escalera en el cual se realizan todos los pasos para que se realice la descarga adecuada del azúcar hacia el equipo de transportación. Los pasos de la subrutina incluyen el accionamiento del motor de reversa, el accionamiento del solenoide del clutch, el accionamiento de la solenoide de levantar campana y todos los accionamientos correspondientes al mecanismo del arado. Al terminar los pasos de descarga se realiza en la misma subrutina el frenado de la máquina y el accionamiento de los dispositivos necesarios para que todas las piezas de la centrífugas estén en posición inicial para empezar otro ciclo de operación.

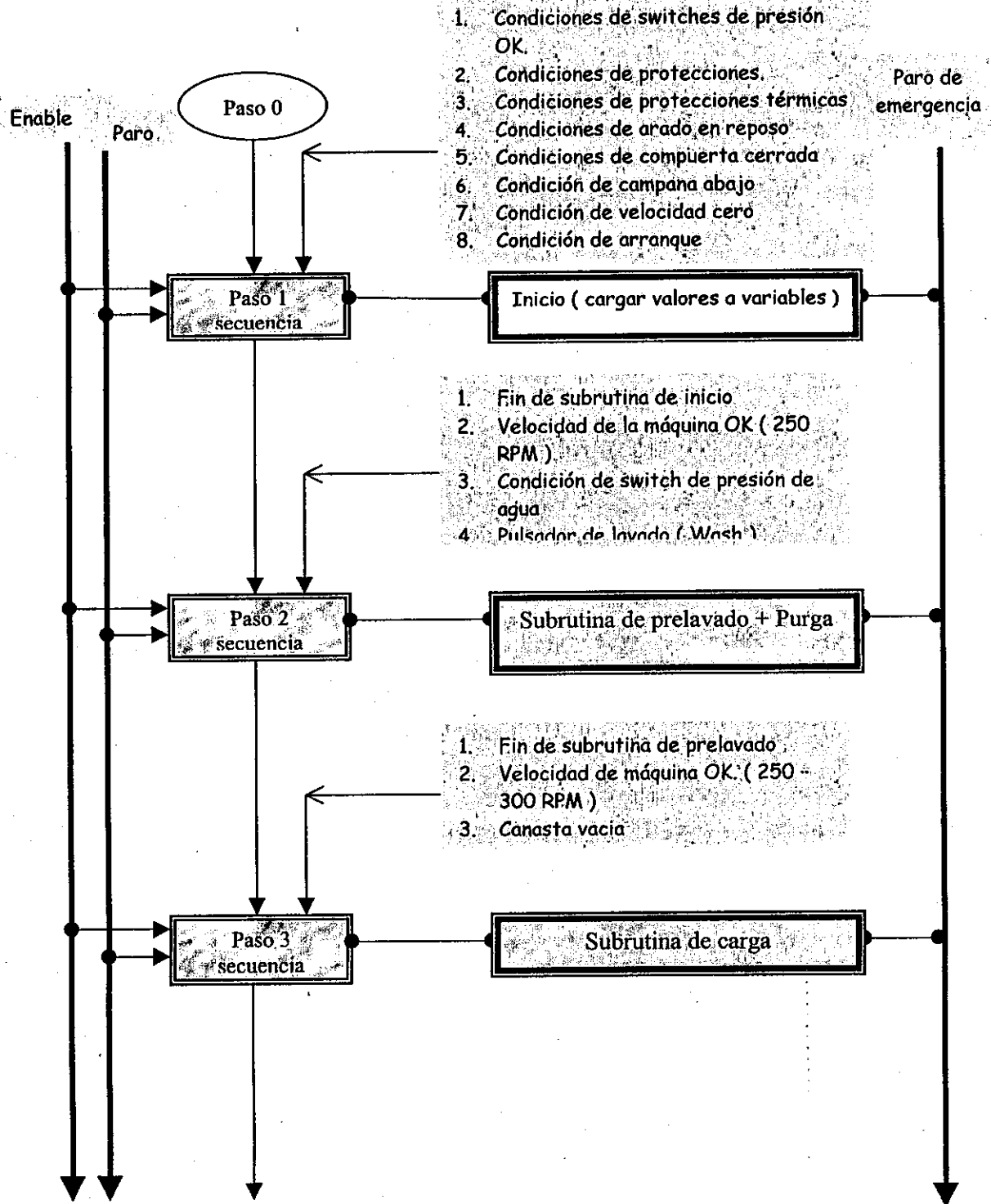
En el software de programación se puede observar claramente el orden de las subrutinas de operación del programa en escalera figura 27, además en las figuras 28-A, 29-B y 29-C podemos observar el diagrama de flujo del programa del controlador lógico programable.

**Fig. 30 Ordenamiento de subrutinas en el programa**

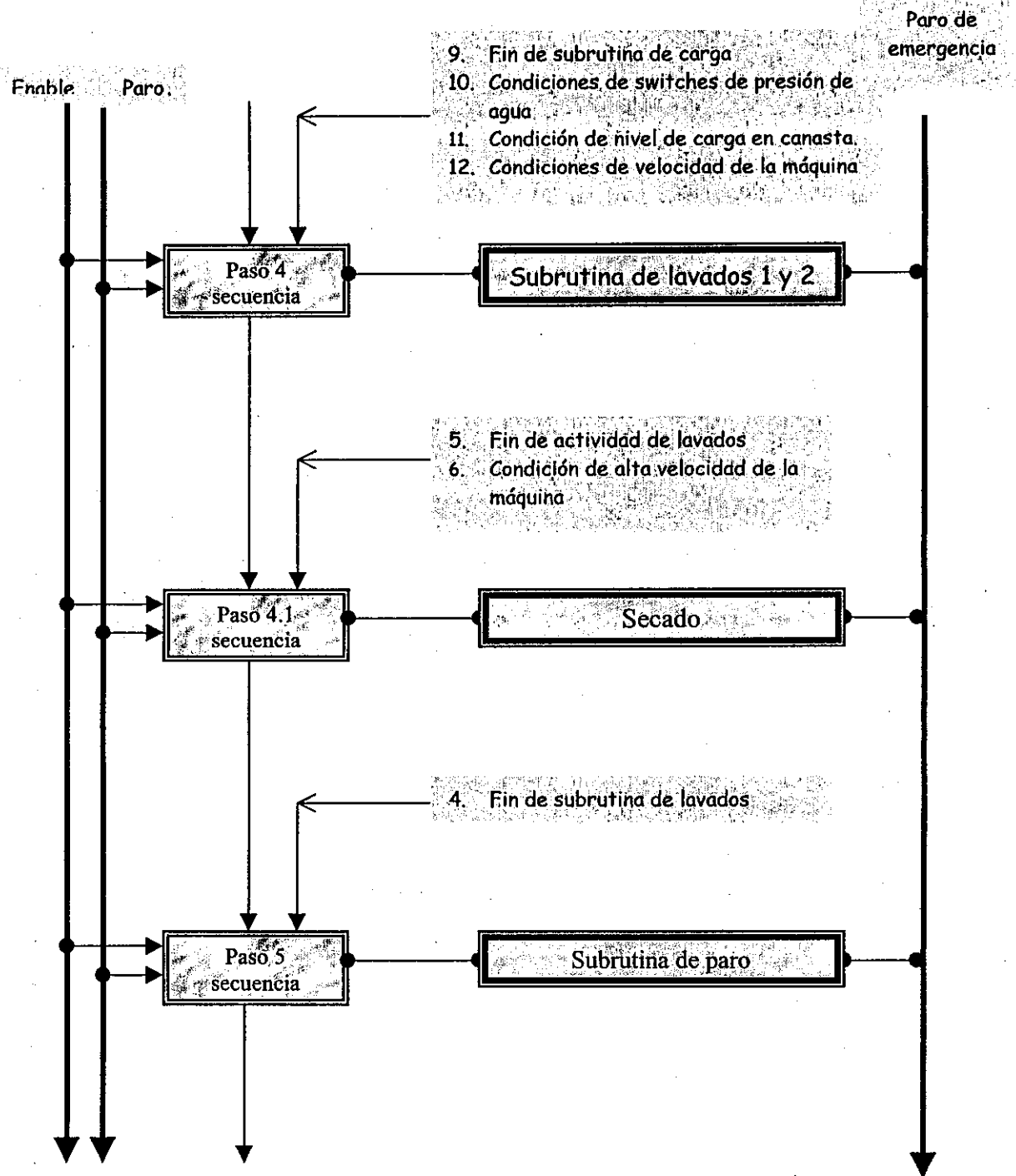




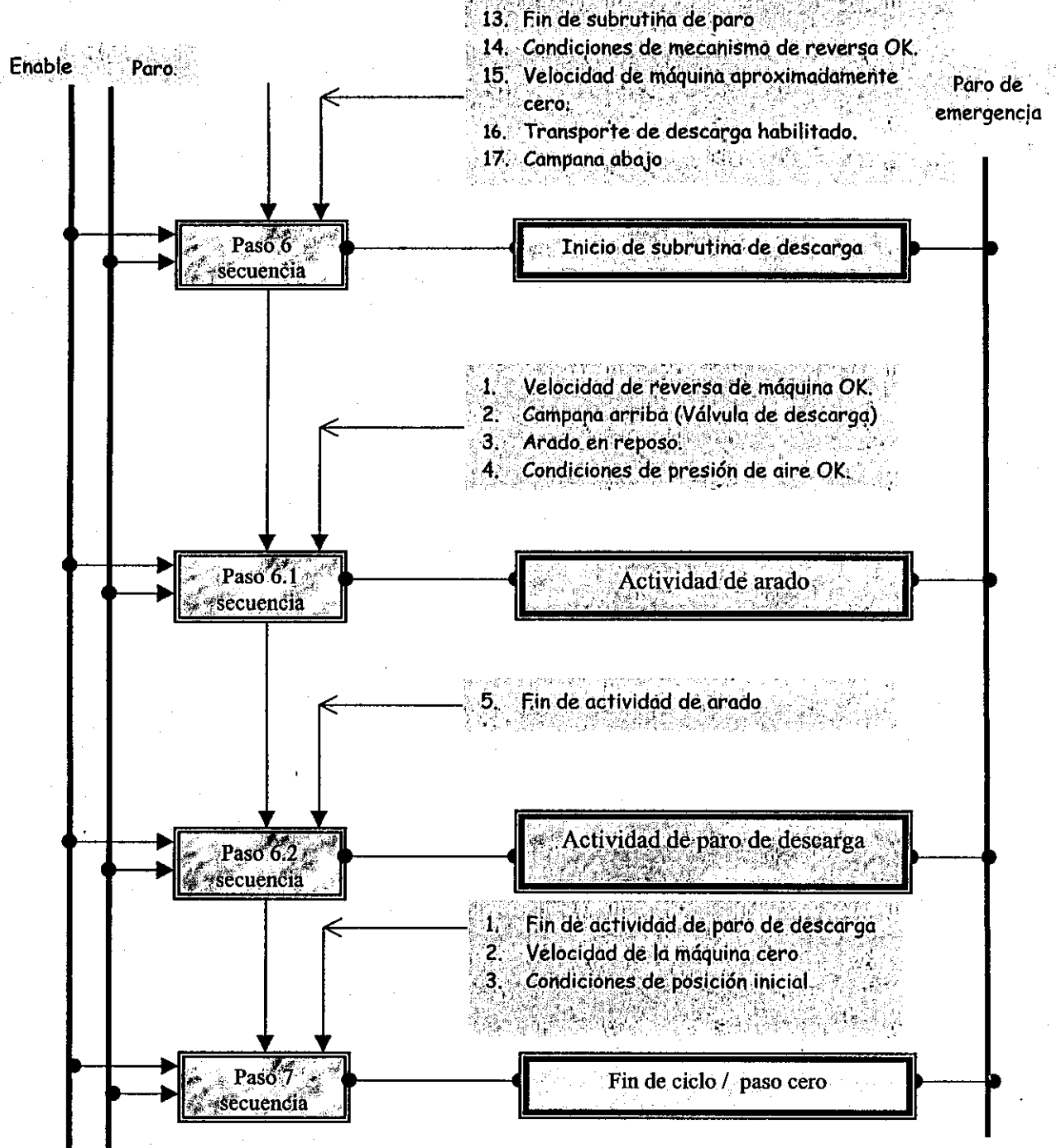
**Fig. 31 Diagrama de flujo del diseño del programa del controlador lógico programable**



**Fig. 32 Diagrama de flujo del diseño del programa del controlador lógico programable**



**Fig. 33 Diagrama de Flujo del diseño del programa del controlador lógico programable**



### 3.3.3 Consideraciones básicas del sistema para el control del proceso y control de fallas en la centrifuga

Para el control del proceso de la centrifuga, se incluyeron varias líneas en el programa en escalera del procesador para que con ayuda de un interface con el operador el usuario pueda observar los pasos del ciclo de la centrifuga y las posibles fallas que pueden ocurrir en el sistema.

Los pasos del ciclo que son mostrados en el display son los siguientes:

- **Espera arranque de ciclo:** Mensaje mostrado cuando la máquina esta lista para iniciar un ciclo de operación.
- **Velocidad de prelavado:** Paso inicial de arranque del motor principal hasta la velocidad adecuada para realizar un prelavado de la canasta de la centrifuga.
- **Prelavado:** Paso del ciclo de operación donde se realiza un pequeño lavado de la canasta de la centrifuga el cual dura aproximadamente 3 segundos.
- **Tiempo de prelavado a carga:** Retardo de tiempo para pasar del paso de prelavado al paso de carga en el ciclo de la centrifuga.
- **Abrir compuerta:** Después de realizar el prelavado se abre la compuerta para permitir que ingrese la materia prima a la centrifuga.
- **Cerrar compuerta:** Cuando el sensor de nivel de volumen de masa actue se realiza el mando para que se cierre la compuerta.
- **Velocidad de carga:** Durante la carga y después de la misma se trata de mantener una velocidad del motor principal adecuada a la cual se le llama velocidad de carga.

- **Velocidad baja:** Después de mantener un valor adecuado de velocidad para carga se realiza el mando de un valor de velocidad más rápida que se le llama velocidad baja.
- **Velocidad alta:** Paso del ciclo de la centrifuga en el cual el motor gira a su velocidad más alta, para poder realizar el procedimiento de lavado y secado de la materia prima.
- **Tiempo antes de primer lavado:** Retardo de tiempo para hacer que la máquina gire a velocidad alta antes de realizar los lavados de la masa principal.
- **Primer lavado:** Paso del ciclo de operación en el cual se realiza el primer lavado de la masa principal para poder realizar la separación de los cristales de azúcar de la misma.
- **Tiempo lavado 1 - 2:** Este mensaje en el display nos indica que se está esperando un tiempo adecuado para poder realizar el segundo lavado de la masa principal.
- **Segundo lavado:** Paso del ciclo de operación de la máquina en el cual se realiza el lavado número dos para completar la separación de los cristales de azúcar de la masa principal.
- **Secado alta velocidad:** Tiempo que se hace girar la centrifuga para poder realizar un secado adecuado del azúcar.
- **Tiempo de velocidad alta a baja:** Retardo de tiempo para poder realizar el cambio de velocidad alta a velocidad baja en la máquina.
- **Velocidad baja freno:** Paso en el cual se realiza el cambio de velocidad de alta a la velocidad baja , produciendo un frenado regenerativo ( eléctrico ) de la máquina.
- **Frenado de tambor:** Paso en el cual se realiza la acción de frenado mecánico del tambor de la máquina.
- **Levantar campana:** Luego de haber frenado el tambor de la máquina y que la velocidad del eje es casi cero se realiza la acción de levantar la campana

de la máquina, en este paso entramos al procedimiento de descarga del azúcar hacia los transportadores.

- **Reversa:** Paso en el cual se acciona el equipo eléctrico el cual sirve para hacer girar en sentido contrario al normal a la canasta de la centrífuga.
- **Meter arado:** Después de que la máquina está girando en reversa se realiza el paso del ciclo de operación el cual es el de meter el arado ( que es la pieza mecánica que raspa la capa de azúcar que hay en el canasto ).
- **Bajar arado:** Paso en el cual el arado se mueve de arriba hacia abajo.
- **Tiempo arado abajo y adentro:** Retardo de tiempo que permanece el arado en la posición de abajo y en la posición de adentro.
- **Tiempo arado abajo y afuera:** Tiempo de retardo el cual el arado permanece abajo y afuera antes de volver a su posición inicial.
- **Frenado tambor:** Después de realizar todo el procedimiento de descarga se frena la máquina y se regresan todas las piezas mecánicas a su posición inicial para poder empezar otro ciclo.
- **Ciclo completo:** Mensaje que nos indica que el ciclo de la centrífuga ha sido terminado y que podemos empezar otro ciclo de operación.

Los mensajes de falla que aparecen en el display del interface con el operador son los siguientes:

- **Falla velocidad de prelavado:** Esta falla ocurre cuando la velocidad del canasto no es la adecuada durante el prelavado, para que se presente la falla existe un retardo de tiempo que el operador puede variar con su computador.
- **Falla prelavado:** Esta falla ocurre cuando se ha mandado la señal de accionamiento a la solenoide de lavado, pero después de cierto tiempo no existe ninguna señal de que existe presión de agua.

- **Falla abrir compuerta:** Esta falla se presenta cuando se acciona la electroválvula del mecanismo de abrir la compuerta pero existe un problema mecánico o problema con el sensor de detección de compuerta abierta y después de cierto tiempo se detecta que no ha abierto la compuerta.
- **Falla cerrar compuerta:** La falla de cerrar compuerta se da cuando se ordena a la electroválvula del mecanismo de compuerta que cierre después de haber abierto la misma ( la falla puede existir debido a que después de un retardo de tiempo predefinido la compuerta se quedó bloqueada mecánicamente o que el sensor que detecta cuando la compuerta esta cerrada esté en mala posición o dañado ).
- **Falla velocidad de carga:** La falla de velocidad de carga se da cuando después de un retardo de tiempo predefinido existe un dato de velocidad de carga erróneo, esto quiere decir que el motor no esta girando a las revoluciones por minuto adecuadas.
- **Falla velocidad de baja:** Esta falla se da cuando al motor se le ha enviado la señal de que gire a la velocidad de baja pero después de un tiempo definido nos damos cuenta que las revoluciones por minuto de la máquina no son las adecuadas.
- **Falla velocidad de alta:** Esta falla ocurre cuando existe un problema en la velocidad real del motor, debido a que se le ha enviado al motor una señal para que gire a velocidad alta pero el mismo no esta girando a las revoluciones por minuto adecuadas.
- **Falla lavado 1 o 2:** Esta falla se presenta cuando en cualquiera de los dos lavados de la fase de purgado existió una falla de presión de agua ( no hubo una presión de agua adecuada para los rociadores ).
- **Falla baja velocidad freno regenerativo:** En el proceso existe un momento en el cual el motor está girando a alta velocidad y hay que realizar el cambio para que trabaje a baja velocidad, produciendo así mismo un

frenado regenerativo. Cuando en el procedimiento de freno regenerativo se produce una falla en los dispositivos eléctricos se presenta la falla anterior.

- **Falla levantar campana:** Esta falla se presenta cuando se ha enviado una señal de accionamiento para subir el mecanismo de la campana, pero después de cierto tiempo se detecta que la campana no ha subido.
- **Falla presión clutch reversa:** La falla del clutch de reversa se da cuando existe un problema con el embrague del mecanismo del clutch que sirve para hacer girar en dirección contraria al eje del motor.
- **Falla velocidad reversa:** Esta falla se presenta cuando el motor esta girando a revoluciones por minuto no adecuadas en dirección de reversa.
- **Falla presión arado adentro:** Cuando se le ha enviado una señal al mecanismo del arado para que entre, pero el mismo por problemas mecánicos no entra, después de cierto tiempo se presentará la falla.
- **Falla liberación presión arado adentro:** Esta falla nos indica que existe un problema mecánico o un problema en el sensor de detección del arado adentro.
- **Falla presión arado abajo:** Esta falla se presenta cuando se ha enviado una señal al mecanismo del arado para que baje pero este se tardó demasiado tiempo.
- **Falla condiciones iniciales switches de presión:** Cuando en el sistema no existen las condiciones iniciales de los interruptores de presión, tales como el interruptor de presión de aceite, el interruptor de presión de agua etc. se presenta la falla anterior, la cual no permite la operación de la máquina.
- **Falla condiciones protecciones generales:** Esta falla ocurre cuando existe problema ya sea con la alimentación principal del tablero eléctrico, con un problema de sobrecarga en los motores relacionados con el sistema de control o un problema relacionado con la presión de aceite del sistema de lubricación de la máquina.



- **Falla condición inicial OK:** Esta falla puede ocurrir cuando existe un problema que los sensores inductivos no detectan las piezas mecánicas que nos indican que la máquina se encuentra en posición inicial.

Los textos que anteriormente fueron presentados, con la ayuda de un computador el usuario puede cambiarlos para poder tener una interpretación adecuada de su sistema de control.

## **4. EL DISEÑO DEL CONTROL AUTOMÁTICO DE ARRANQUE EN SECUENCIA, CONTROL DE OPERACIÓN Y CONTROL DE DATOS DE PRODUCCIÓN DE VARIAS CENTRÍFUGAS AUTOMATIZADAS EN UN PROCESO INDUSTRIAL AZUCARERO**

### **4.1 Descripción del diseño del control de secuencia**

#### **4.1.1 Análisis del sistema de lectura y escritura de datos a las diferentes centrífugas que existen en el sistema**

En el proceso industrial azucarero se cuenta con varias máquinas centrífugas, por lo que es muy importante poseer un control central en el cual el usuario pueda controlar datos de operación de la máquina, datos de producción de las centrífugas individualmente y conjuntamente y poder visualizar los mensajes de fallas y de operación de las mismas.

En los capítulos anteriores hemos estado hablando respecto a las consideraciones de instalación y programación para la implementación del proyecto de automatización de las máquinas centrífugas. Ahora hablaremos de las consideraciones de instalación y programación para poder implementar en el proyecto un control central con un controlador lógico programable y un interface con el operador que con la ayuda del protocolo de comunicación DH485 nos permite comunicarnos con todos los controladores lógicos utilizados en cada centrífuga individual para poder realizar los procedimientos de lectura y escritura de datos.

A continuación se hará un análisis del sistema de control central utilizado para poder realizar la lectura y escritura de datos en los diferentes controladores programables que existen instalados en el área de centrifugas de la industria azucarera:

1.- Para realizar el control de todos los datos de las máquinas que existen instaladas en el sistema se necesita que se instale un controlador lógico programable que soporte instrucciones de comunicación o de mensaje que intercomunique un procesador con otro ( en el proyecto se utilizará un SLC500 5/02 debido a que en las centrifugas también se están utilizando SLC500 ).

2.- Además del controlador lógico programable se necesita que se instale una red de comunicación tipo DH485 con ayuda de dispositivos AIC que nos servirán para la comunicación con los controladores de cada centrifuga.

3.- Después de haber instalado el controlador lógico programable central y la red de comunicación se necesita instalar un interface con el operador compatible con el equipo ( DTAM PLUS ) para que el usuario pueda observar todos los datos y mensajes relacionados con el sistema.

4.- Cuando ya se hayan instalados todos los equipos se tiene que realizar la programación de los mismos de tal forma que el usuario pueda seleccionar en el display que datos quiere observar.

#### 4.1.2 Consideraciones prácticas realizadas en el diseño

A continuación se presentan las consideraciones prácticas que se deben seguir para la realización de la implementación en el proyecto de automatización de las centrífugas, para obtener resultados óptimos.

- a) Una de las consideraciones importantes que se debe tener muy en cuenta es el tipo de controlador programable que se instalará para la unidad central de control . El controlador lógico programable que se instalará es un SLC500 es un controlador del mismo tipo que poseen las centrífugas y el tamaño será un rack de cuatro slots.
- b) El tamaño del rack del controlador se instaló de tal manera que se pueda insertar un procesador 5/02, un módulo de ocho entradas digitales de 120 voltios y un módulo de salidas a relé. Lo anterior se consideró en la implementación del control central debido a que si existen en el proceso centrífugas que no se encuentran automatizadas y que cuentan con relevación industrial convencional, estas por medio de señales de entrada digitales y por medio de las salidas a relé se puedan poner en modo de operación de secuencia junto con las centrífugas que estén en la red de comunicación.
- c) Otra consideración básica a tomar en cuenta es el tipo de interface con el operador que se instalará en el control central, debido a que se puede instalar un DTAM PLUS el cual el display solo tiene cuatro líneas de visualización donde pueden desplegarse veinte caracteres por línea o se puede instalar un panel del operador tipo Panel View, disponibles en varios tamaños de la pantalla a escoger según los requerimientos del usuario. Los

dos interfaces son funcionales. La diferencia básica entre los dos es que el display del panel view permite observar una mayor cantidad de datos a la vez.

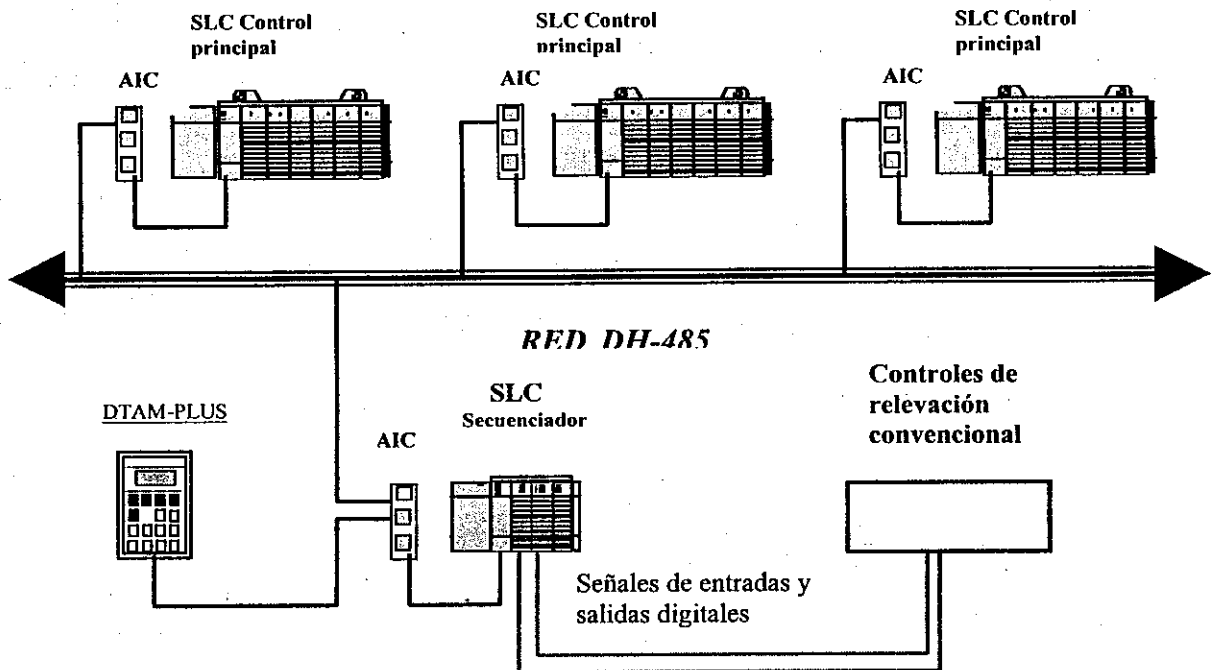
- d) Otra consideración importante es que se tienen que tomar en cuenta todos los dispositivos necesarios para crear la red DH485, incluyendo el cable de comunicación, los dispositivos AIC y los conectores.

#### **4.1.3 Diagrama de un sistema de control general del área de centrifugas, para el control de producción**

A continuación se presenta un diagrama en el cual se encuentra estructurada la red de comunicación de los controladores lógicos programables y de los dispositivos de relevación convencional que pueden formar un sistema de automatización completo del área de centrifugas en un proceso industrial azucarero.

En el diagrama anterior se observó que existen tres o más controladores lógicos programables para el control propio de las centrifugas. Además está incluido el controlador lógico programable para el control central. En la red de comunicación también se encuentra instalado el interface con el operador. Y para completar se ha incluido en el diagrama la representación de las posibles centrifugas que poseen relevación convencional.

**Fig. 34 Diagrama de red de comunicación DH-485**



## **4.2 Componentes utilizados en el proyecto secuenciador de centrifugas**

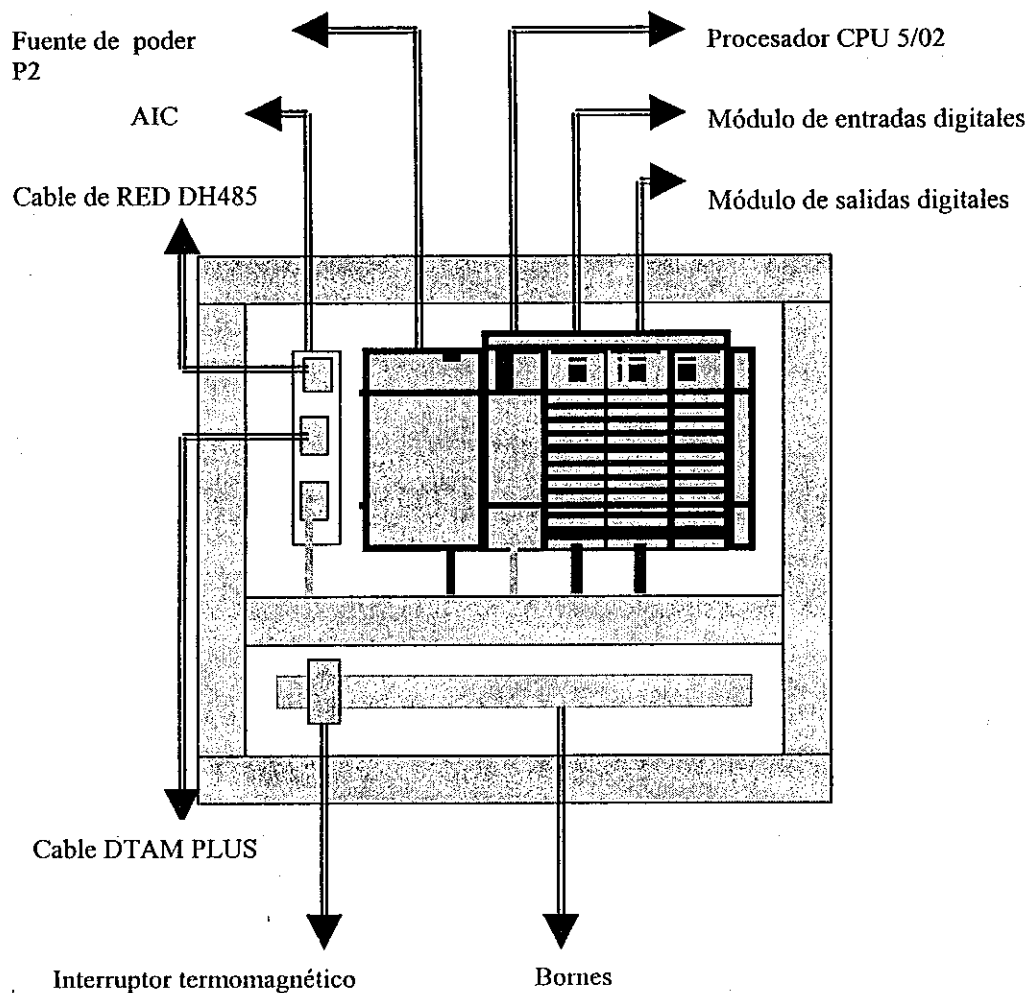
### **4.2.1 Descripción de la estructura completa del autómata programable utilizado en el proyecto**

La estructura que se posee el controlador lógico del secuenciador electrónico es la siguiente:

- Un chasis de cuatro Slot's ( espacio para cuatro módulos incluyendo el CPU).

- Una fuente de poder para alimentación del chasis del SLC500 ( que va montada en la parte izquierda del chasis ).
- Un procesador que soporte instrucciones de mensaje de lectura y mensaje de escritura ( CPU 5/02, que va montado en el primer slot de izquierda a derecha ).
- Un módulo de entradas digitales para que se puedan agregar al secuenciador automático, el control de arranque de las máquinas que son controladas por relevación convencional ( instalado en el segundo Slot de izquierda a derecha ).
- Un módulo de salidas digitales para enviar las señales de arranque hacia las centrífugas que son controladas por relevación convencional ( instalado en el slot tercero de izquierda a derecha ).
- Un módulo de comunicación AIC, para comunicación a través de la red DH-485.
- Además de los equipos anteriormente descritos, el controlador lógico programable del secuenciador lleva bornes de alimentación, bornes de para conexión de señales externas, dispositivos de protección de línea ( interruptores termomagnéticos ) y barra de tierra para el aterrizaje adecuado de todos los equipos.
- En la puerta o en alguna parte externa del tablero se instala el Interface con el Operador DTAM PLUS el cual se tiene que conectar directamente al AIC para poder incorporarlo a la red de DH-485.

**Fig. 35 Disposición de equipo en secuenciador central**



#### **4.2.2 Características y especificaciones técnicas generales del sistema secuenciador**

Algunas de las características del procesador 5/02 que lo hacen el CPU apropiado para instalarlo en el rack del controlador programable son las siguientes:



- Memoria de programa de 4 K ( 16 K palabras de datos para almacenamiento de recetas ).
- Iniciación en la comunicación puerto a puerto DH-485.
- Programable utilizando el software de programación RS-Logix 500 ( bajo Windows '95 / NT ) , el software de programación avanzado ( APS ) o la terminal de programación Manual ( HHT ).
- Led de estado indicador de comunicación, led de estado indicador de falla y led de estado indicador de forzado.
- Listado UL , aprobado por CSA.
- Soporte de módulo para comunicación con periferia remota.

Entre las especificaciones técnicas del procesador tenemos las siguientes:

**Tabla II. Especificaciones del procesador**

<b>Especificación</b>	<b>CPU Modelo SLC 5/02</b>
Memoria del programa RAM	4K Instrucciones o 16K palabras de datos
Capacidad de entrada/salida	480 Discretas
Máximo en chasis/slots	3 / 30
Back-up RAM standard	Batería de Litio ( 5 años )
Módulo de memoria	EEPROM UVPRM

<b>Especificación</b>	<b>CPU Modelo SLC 5/02</b>
Led indicadores	Run, CPU Fault , Forced I/O , Battery Low , COMM
Programación	RS-LOGIX , APS , HHT
Tiempo de SCAN típico	4.8 ms / K
Ejecución de Bit ( XIC )	4 microsegundos
Comunicación	DH-485 , Receptor o Iniciador
Carga para la fuente de poder a 5 VDC	350 mA.
Carga para la fuente de poder a 24 VDC	105 mA.

Tanto las características y especificaciones para el control automático como para el control secuenciador son iguales, debido a que los controladores lógicos programables son de la misma familia. La única diferencia de los controladores es el tamaño físico de los racks y la disposición de los módulos.

### **4.3 Programación del sistema secuenciador**

#### **4.3.1 Estructura del programa del controlador electrónico**

El programa del controlador lógico programable del secuenciador central en el sistema de control de centrífugas se ha estructurado de tal forma que solo es necesario un archivo, el principal.

En el programa se incluyen instrucciones de comparación, instrucciones de temporizadores, instrucciones de contadores, instrucciones de mensaje, instrucciones de copiado, instrucciones de enclavamiento etc., para que se pueda tener un mejor control en los arranques de los motores de cada una de las máquinas centrífugas. De forma general el secuenciador funciona de la siguiente manera:

- Cuando una centrifuga ha terminado su ciclo manda una señal al secuenciador, ya sea por medio de comunicación o por medio de relevación convencional y esta señal sirve para el almacenamiento de los datos en la instrucción FIFO ( First input – First output ).
- Se tiene una instrucción de almacenamiento de datos FIFO, que ordena los mismos según la manera que son ingresados. Esto quiere decir que en el programa existen líneas para realizar el ordenamiento de los datos y poder determinar qué centrifuga esta asignada para encendido.
- Cuando ya se tiene el ordenamiento para arrancar las centrifugas, el programa según las necesidades arrancará la máquina correspondiente, con los debidos tiempos de retardos entre arranques de los equipos para garantizar el espaciamiento adecuado de las descargas al transportador.
- Además del control de arranques de las máquinas centrífugas, se tiene programadas líneas que incluyen instrucciones de mensajes, que sirven para la lectura y escritura de datos de otros controladores lógicos programables. Esto sirve para poder programar tiempos de retardos desde el interface con el operador y poder monitorear datos de producción de las máquinas.

### 4.3.2 Análisis y descripción del programa para el control de secuencia

El programa del secuenciador está estructurado de la siguiente manera:

- ❖ Inicialmente la función principal del programa del controlador es que se incluyan en el diagrama de escalera instrucciones de mensaje, para que se pueda realizar lectura y escritura de datos hacia los diferentes controladores lógicos programables que existen en la red de comunicación DH-485.

Con la ayuda del interface ( DTAM PLUS ) el usuario puede seleccionar que datos quiere ver o que datos puede cambiar. Cuando selecciona la centrífuga número X se habilita una instrucción de mensaje, la cual sirve para realizar el intercambio de datos entre el control de esa centrífuga y el control de secuencia.

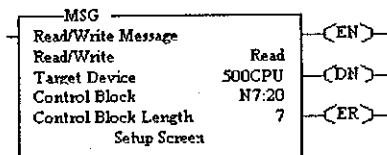
La descripción de la instrucción de mensaje se dará a continuación:

**Fig. 36 Descripción de la instrucción de mensaje**

#### MSG [Message Read/Write]

##### Use with processors

SLC 5/02  
MicroLogix DH-485

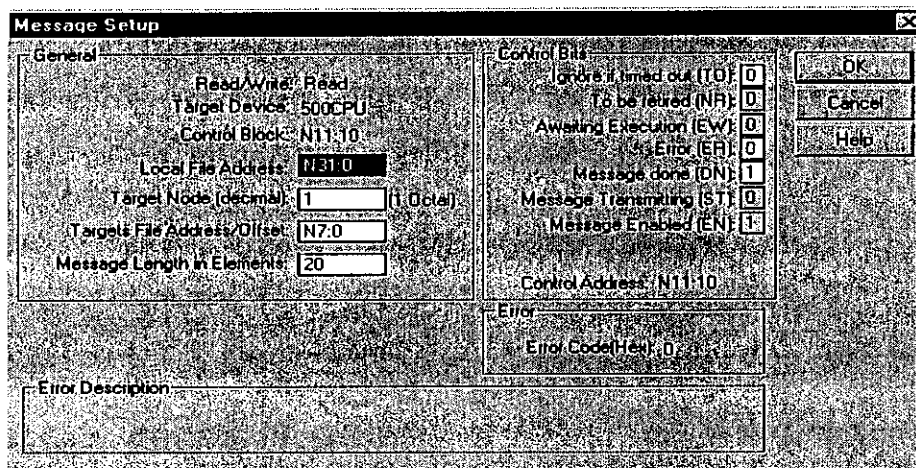


(Parameters shown are examples only,  
your data will vary.)

- La longitud de la variable de control se asigna según el tipo de mensaje que manejará la instrucción MSG.

Además de los datos anteriores, en el momento de la programación de la instrucción hay que ingresar otros datos propios de la instrucción MSG. A continuación se muestra la ventana adicional que se presenta cuando se programa la instrucción de mensaje:

**Fig. 37 Configuración de la instrucción de mensaje de lectura.**

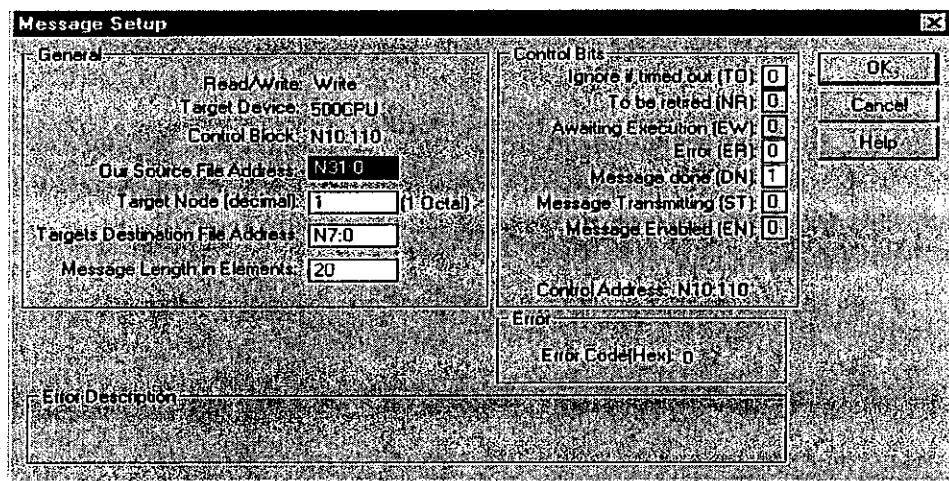


- Local File Address: Aquí es donde se designa la variable, en la cual se almacenarán los datos leídos desde el otro controlador lógico o dispositivo que se encuentra en la red de comunicación.
- Target Node : Es la dirección o el número de nodo que posee el dispositivo, del cual queremos leer datos de proceso.
- Target File Address: Es donde se designa qué variable queremos leer del dispositivo o controlador lógico remoto ( esta variable es la que contiene

la información deseada y se encuentra programada en el controlador lógico o dispositivo remoto ).

- Message Length in Elements: Es donde se designa la longitud o la cantidad de palabras que se quieren leer del otro dispositivo.
- Además podemos observar los bit de la palabra de control de la instrucción , los cuales son los que indican si la instrucción se encuentra habilitada, si el mensaje de lectura ha sido terminado, si hay un error en la lectura de datos etc.

**Fig. 38 Configuración de la instrucción de mensaje de escritura**

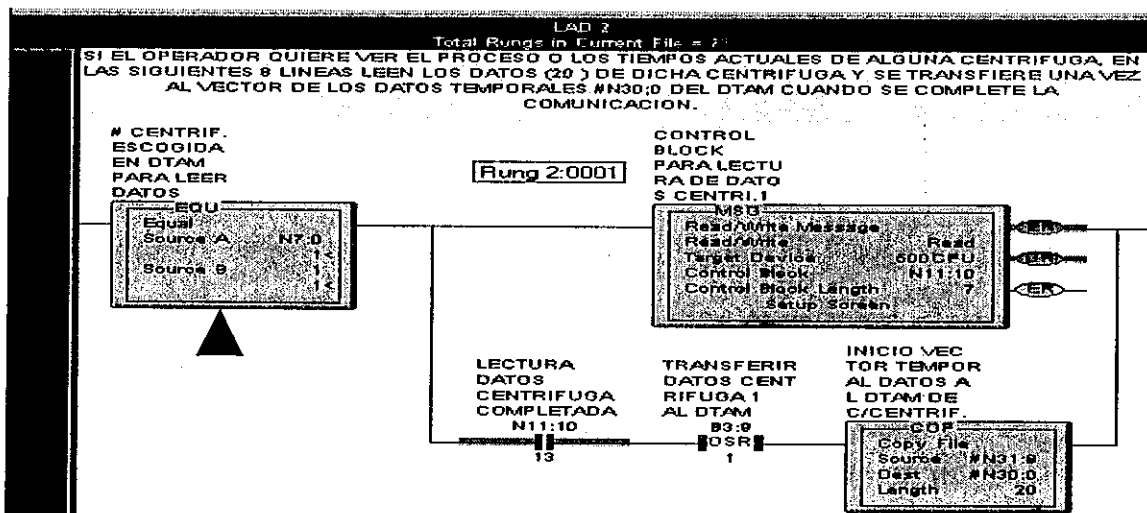


- Our Source File Address: Lugar donde se designa la variable, la cual se copiará hacia los otros dispositivos que se encuentran en la red de comunicación ( variables de escritura hacia los otros nodos programados ).
- Target Node : Es la dirección o el número de nodo que posee el dispositivo, al cual queremos escribir datos del proceso.
- Target Destination File Address: Es donde se designa la variable, a la cual queremos escribir datos del dispositivo o controlador remoto.

- Message Length in Elements: Es donde se designa la longitud o la cantidad de palabras que se quieren escribir en el dispositivo remoto.
- Además podemos observar los bit de la palabra de control de la instrucción, los cuales son los que indican si la instrucción se encuentra habilitada, si el mensaje de lectura ha sido terminado, si hay un error en la lectura de datos etc.
- ❖ Además de las instrucciones de mensajes se utilizaron instrucciones de comparación, las cuales nos sirven para poder habilitar las diferentes instrucciones de mensajes para leer los datos o escribir datos a los diferentes dispositivos de la red de comunicación DH-485. Al mismo tiempo de habilitar las instrucciones de mensaje se habilitan las instrucciones de copia ( COP ) para que se almacenen los datos en variables manejables.

Habilitación de las instrucciones de mensaje de lecturas:

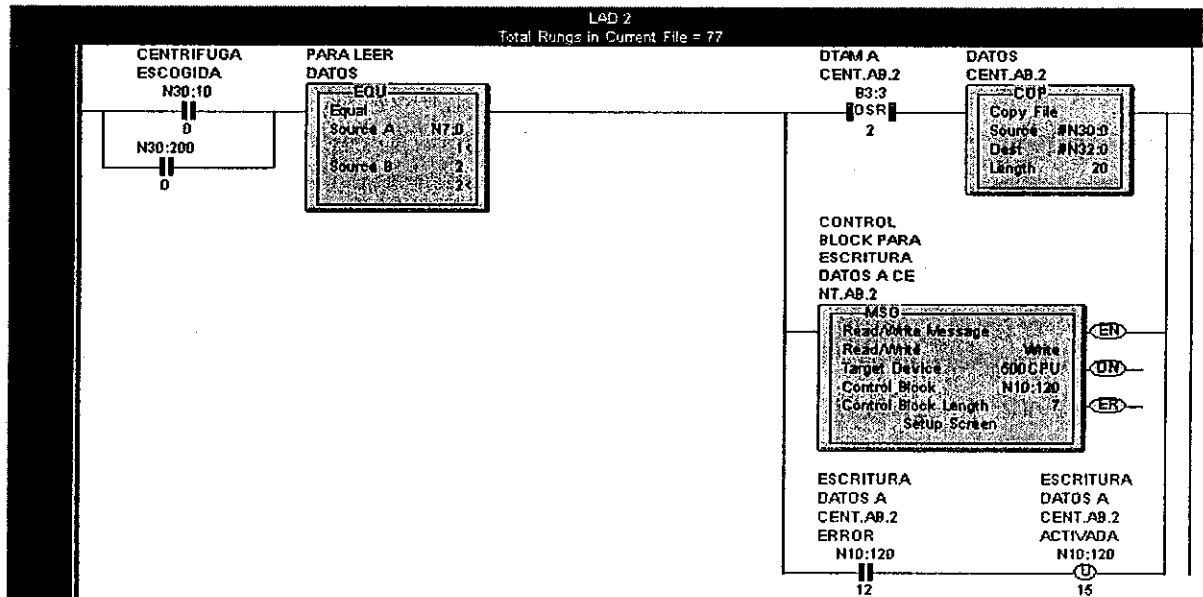
Fig. 39 Habilitación de instrucciones de mensaje de lectura.



Instrucción de comparación de igualdad de variables

Habilitación de instrucciones de mensaje de escritura:

Fig. 40 Habilitación de instrucciones de mensaje de escritura.



- ❖ En el programa de escalera del controlador lógico programable se incluyeron instrucciones que permiten poseer un ordenamiento entre arranques de centrifugas. Estas instrucciones son las llamadas FFL ( First input First output Load ) y FFU ( First input First output Unload ), estas instrucciones son usadas en par, porque una sirve para cargar datos a una variable y la otra sirve para descargar las variables ordenadas hacia una palabra de salida u otra variable.

Estas instrucciones se pueden usar solo con procesadores de tipo SLC 5/02, SLC 5/03 , SLC 5/04 , Micrologix.

Descripción:



**Fig. 41 Descripción de las instrucciones FFL/FFU**

---

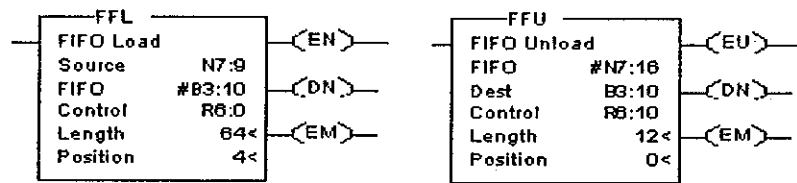
**FFL/FFU [First In First Out Load/Unload]**

---

**Use with processors**

SLC 5/02  
SLC 5/03  
SLC 5/04  
MicroLogix

**Example of Instructions**



(Parameters shown are examples only, your data will vary.)

La instrucción de FFL , carga palabras en un archivo de usuario llamado un FIFO stack ( variables de almacenamiento) cada vez que la línea en la que se encuentra la instrucción cambia de estado de falso a verdadero. El FFU descarga palabras de el FIFO stack en el mismo orden que ellas fueron almacenadas.

Estas instrucciones son muy utilizadas en aplicaciones donde es necesario la carga y descarga de valores en el mismo orden. Por ejemplo, en el cuarto de centrifugas se requiere que exista una secuencia entre arranques de las máquinas por motivos tales como evitar arranques simultáneos, atoramiento en los dispositivos de transporte de azúcar, etc. Es por esto que se ha programado estas instrucciones para que la primera centrifuga que termine su ciclo sea la primera que arranque y después de cierto tiempo ( programado ) arranque la segunda y así sucesivamente.

## Parámetros de las Instrucciones FFL y FFU:

- **Fuente:** Dirección de la palabra o constante del programa ( -32768 a 32767) que almacena el valor para ser ingresado próximamente al FIFO stack ( casilla de almacenamiento ). La instrucción FFL sitúa este valor en el próximo elemento disponible en el FIFO stack .
- **Destino:** Es la dirección de la palabra en la cual se almacenan los valores que existen en las casillas del FIFO. La instrucción FFU descarga estos valores de las casillas del FIFO y los sitúa en la palabra de destino.
- **FIFO:** Es la dirección de las casillas de almacenamiento ( STACK ). La palabra designada para el FIFO puede ser una variable entera, una palabra de salida, una palabra de entrada etc. La misma dirección de la palabra del FIFO que se programa en la instrucción de FFL debe ser la de la instrucción FFU .
- **Longitud:** Es el máximo número de casillas de almacenamiento de la instrucción del FIFO.
- **Posición:** Representa el número de la casilla en la cual se está almacenando los datos. Este valor puede cambiar después de cada carga o descarga de datos. El mismo número es usado para la instrucción FFL y para la FFU.
- **Control:** Es la dirección del archivo de control. Los bits de estado, la longitud de las casillas y el valor de la posición son almacenados en esta palabra o elemento. La misma dirección utilizada en la instrucción de FFL se utiliza en la instrucción FFU.

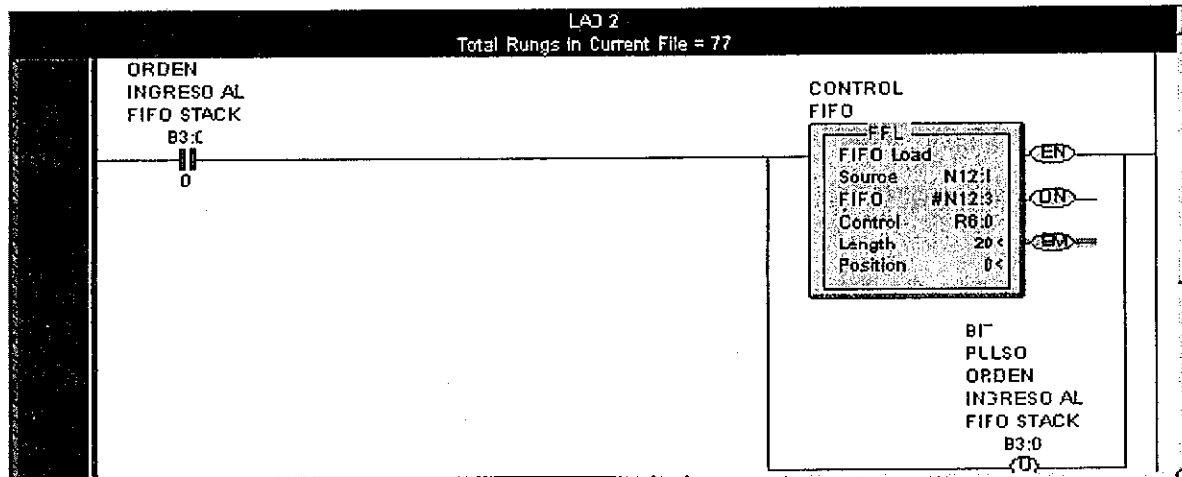
En el programa de escalera del procesador del control de secuencia en el área de centrifugas las instrucciones de carga y descarga de datos se programaron de la siguiente manera:

- Fuente: Dirección de la palabra o constante del programa ( -32768 a 32767) que almacena el valor para ser ingresado próximamente al FIFO stack ( casilla de almacenamiento ). La instrucción FFL sitúa este valor en el próximo elemento disponible en el FIFO stack .
- Destino: Es la dirección de la palabra en la cual se almacenan los valores que existen en las casillas del FIFO. La instrucción FFU descarga estos valores de las casillas del FIFO y los sitúa en la palabra de destino.
- FIFO: Es la dirección de las casillas de almacenamiento ( STACK ). La palabra designada para el FIFO puede ser una variable entera, una palabra de salida, una palabra de entrada etc. La misma dirección de la palabra del FIFO que se programa en la instrucción de FFL debe ser la de la instrucción FFU .
- Longitud: Es el máximo número de casillas de almacenamiento de la instrucción del FIFO.
- Posición: Representa el número de la casilla en la cual se está almacenando los datos. Este valor puede cambiar después de cada carga o descarga de datos. El mismo número es usado para la instrucción FFL y para la FFU.
- Control: Es la dirección del archivo de control. Los bits de estado, la longitud de las casillas y el valor de la posición son almacenados en esta palabra o elemento. La misma dirección utilizada en la instrucción de FFL se utiliza en la instrucción FFU.

En el programa de escalera del procesador del control de secuencia en el área de centrífugas las instrucciones de carga y descarga de datos se programaron de la siguiente manera:

La instrucción de FFL es habilitada por un bit, el cual cada vez que una centrífuga termina su ciclo se carga un valor designado en la variable N12:1 a la casilla del FIFO # N12:3. ( por ejemplo si termina su ciclo la centrífuga 1 se carga un valor de 1 y si termina su ciclo la centrífuga 4 se carga un valor de 16 )

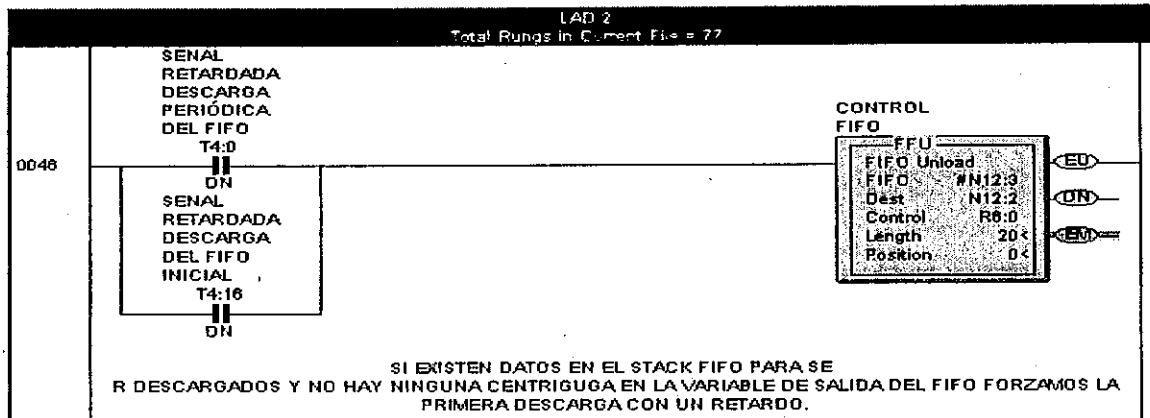
**Fig. 42 Habilitación de la instrucción FFL ( fifo load )**



La instrucción FFU es habilitada por un bit de unos timer internos, el cual se acciona cuando ha transcurrido el tiempo programado en el programa para espaciamiento entre arranques.

Las anteriores instrucciones que fueron descritas y analizadas sirven para que con ayuda del interface con el operador ( DTAM PLUS ), el usuario pueda tener el control completo en el proceso relacionado con varias centrífugas en un ingenio azucarero.

**Fig. 43 Habilitación de la instrucción FFU ( fifo unload )**



Las anteriores instrucciones que fueron descritas y analizadas sirven para que con ayuda del interface con el operador ( DTAM PLUS ), el usuario pueda tener el control completo en el proceso relacionado con varias centrifugas en un ingenio azucarero.

#### 4.3.3 Estructura y análisis del programa del interface de control del operador, para el manejo de datos de producción y el control del funcionamiento de las centrifugas existentes en el sistema

La estructura del programa del interface con el operador está estructurada de tal forma que el manejo de las pantallas de lectura de datos y las pantallas de escritura de datos sea amigable y se realice de la forma más fácil posible.

El sistema tiene un interface con el operador amigable, desde el cual el operador autorizado va a poder cambiar los tiempos del proceso, además podrá ver las fallas y los mensajes del proceso de cada centrifuga.

En el display aparece un menú principal que esta estructurado de la siguiente forma:

**1.- Secuenciador**  
**2.- Tiempos de operación**  
**3.- Fallas / proceso**

- ◆ Si nosotros en las teclas del DTAM-PLUS pulsamos el número 1 el interface nos despliega el mensaje que ingresemos al código de seguridad, al ingresarlo correctamente el display cambia de pantalla en la cual nos indica:

**Tiempo entre arranques ( Seg )**  
**Valor actual : \*\*\*\*\***  
**Valor nuevo : ^^^^^^**

El valor actual se refiere al valor que esta programado antes de cambiarlo, el valor nuevo es al cual nosotros vamos a ingresar para realizar el cambio.

Luego de haber teclado el valor nuevo pulsamos la tecla **ENTER** y automáticamente nos vamos al menú principal.

- ◆ Si nosotros pulsamos en las teclas del DTAM-PLUS el número dos, nos vamos a otra pantalla, la cual cuando existen en el sistema varias centrífugas automatizadas nos pregunta cual de todas queremos visualizar sus datos o cambiarlos.

En el caso en el cual existen varias centrifugas el submenú aparece de la siguiente forma:

**Ingrese número de centrifuga**  
**( 1, 2,3, .... )**  
**@**

Si nosotros queremos observar los datos de la centrifuga 1 tenemos que pulsar el número uno y en @ aparecerá el número uno, luego le damos a la tecla ENTER y pasamos automáticamente a observar los datos de la centrifuga uno, si se quiere ver los de la dos o los de la tres solo ingresamos el número correspondiente. Luego de haber escogido la centrifuga deseada nosotros podemos observar en el valor actual los datos de las centrifugas y podemos a la vez cambiar los mismos. Donde aparecen los tiempos de proceso nos despliega también la centrifuga que estamos observando:

**Centrifuga : ##**  
**Tiempo prelavado: ( SEG )**  
**Valor actual : \*\*\*\***  
**Valor nuevo : ^^^^**

El valor actual es el que ya existe y el nuevo nos pregunta cuanto le vamos a ingresar ( ingresar con tecla ENTER ). Si vamos ingresando tiempos nos aparecerán los otros tiempos de proceso que se trabajan o que se ingresan de la misma manera .

- 1er.- Lavado on: Tiempo que espera para aplicar primer lavado.
- Time 1er. Lavado: Tiempo que se tarda aplicando el primer lavado.
- 2 do.- Lavado on: Tiempo que espera para aplicar segundo lavado.
- Time 2 do. Lavado: Tiempo que se tarda aplicando el segundo lavado.
- T.Separar mieles: No aplicado.
- Tiempo de secado: Tiempo que tarda el ciclo de secado.
- T. Máxima carga: Tiempo de seguridad para que se mantenga la compuerta abierta, si se pasa de este tiempo estando en reciclo o secuencia ella sola va a mandar señal de cerrar compuerta.
- Time seguridad: ( único en minutos ) Es el tiempo máximo que puede tardar un ciclo, si se sobrepasa este tiempo se para el ciclo y se da falla en el sistema.

Quando el usuario termine de hacer todas las visualizaciones de todos los tiempos y cuando se hayan hecho las modificaciones respectivas a cualquier aplicación el interface nos preguntará que si queremos aceptar las modificaciones entonces si lo queremos hacer solo presionamos la tecla con la letra Y, si no se aceptan las modificaciones en esta pantalla no se harán las mismas.

- ◆ Al entrar al ítem tres del menú principal **( Fallas / Proceso )** pulsando el número tres tenemos que nos aparece una pantalla la cual nos da la siguiente información:



```
CE:### Falla actual :
*****
Proceso actual      :
*****
```

El CE nos indica que los datos que estamos visualizando son de la centrífuga con el número correspondiente. Si nosotros queremos visualizar los datos de otra centrífuga, entonces para hacer el cambio tenemos que irnos al menú principal y entrar al ítem dos ( pulsar dos para ir a datos de operación ) y en donde nos pregunte qué centrífuga queremos observar ingresamos el número deseado. Esto nos lleva a la pantalla de los tiempos de operación, pero como solo queríamos cambiar el número de centrífuga a visualizar, volvemos al menú principal solo pulsando la tecla del interface **Main menu** y luego ingresamos al ítem tres que es el de **Fallas / Proceso** .

El mensaje de la falla actual nos proporciona la última falla que ocurrió en el sistema, el mensaje de proceso nos va indicando las diferentes etapas en la cual la centrífuga elegida va operando.

Luego de esta pantalla de visualización de fallas podemos irnos a visualizar si el secuenciado, ( o sea el tablero independiente que tiene en él montado el interface con el operador y el que se encarga de secuenciar las centrífugas ) no esta en falla o si el sistema nos envía el mensaje de **Falla en el secuenciador**. Si está en falla el secuenciador podemos resetear la misma hasta cuando ya no aparezca la falla. Para poder visualizar esta pantalla solo pulsamos la tecla **Next** cuando estamos en la visualización de fallas de las centrífugas.

Estando en el ítem tres del menú principal nosotros podemos observar varias pantallas solo pulsando la tecla **Next**. Por ejemplo, podemos observar después de haber visto los mensajes de fallas los datos estadísticos de las centrifugas que están en el sistema y podemos restaurar a cero los mismos.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Análisis de inversión

El análisis que se presentará a continuación, tiene el objetivo de verificar la factibilidad de utilizar un controlador lógico programable en una máquina centrífuga en la industria azucarera. El mismo se basará en la comparación de un sistema que posee relevación convencional y otro en el cual se utilice un control lógico programable.

El ciclo de operación de una centrífuga oscila entre 210 segundos y 250 segundos, dependiendo de las condiciones de producción de azúcar que se requiera, por tal motivo se hará el análisis de dos centrífugas las cuales tienen programados tiempos iguales de producción.

Según el promedio evaluado en una industria azucarera, en la cual existen centrífugas con controles diferentes se tuvieron los datos siguientes:

#### 1. Condiciones mecánicas similares en las centrífugas:

.- La duración de un ciclo de operación de una centrífuga con relevación convencional es de 265 segundos.

.- La duración de un ciclo de operación de una centrífuga con un controlador lógico programable es de 235 segundos.

.- Porcentaje promedio de tiempo en una semana, no productivo en las máquinas con relevación es de 10.5 %.

.- Porcentaje promedio de tiempo en una semana, no productivo en las máquinas con control lógico programable es de 6.9 %.

2. Con los datos anteriores ( inciso 1 ) tenemos que la centrifuga con control de relevación convencional posee los siguientes resultados en una semana de producción:

.- Tiempo productivo de la máquina : 5 días, 21 horas, 7 minutos.

.- Tiempo no productivo de la máquina : 17 horas, 38 minutos, 24 segundos.

.- Ciclos de producción: 1917.10 ciclos.

3. Con los datos anteriores ( inciso 1 ) tenemos que la centrifuga con un sistema de control automático posee los siguientes resultados en una semana de producción:

.- Tiempo productivo de la máquina : 6 días, 12 horas, 24 minutos, 29 seg.

.- Tiempo no productivo de la máquina : 11 horas, 35 minutos, 31 segundos.

.- Ciclos de producción: 2396.04 ciclos.

4. La producción por ciclo de las máquinas centrifugas es de aproximadamente 8 quintales por ciclo, con el dato anterior tenemos los siguientes resultados de producción:

.- Máquina con relevación convencional: producción semanal igual a 15336.8 quintales de azúcar .

- Máquina con controlador lógico programable: producción semanal igual a 19168.32 quintales de azúcar.

- Diferencia de producción entre las máquinas es de 3831.52 quintales por semana de producción.

Para el análisis de inversión, se hará una estimación del precio por quintal de azúcar, el cual se tomará US\$10 (Dólares de los EE.UU.). Según los datos de producción que se estudiaron anteriormente tenemos los siguientes resultados:

- Para un sistema de una centrífuga con control convencional se tienen que:

Producción semanal : 15,336.8 Quintales

Precio por quintal: US\$ 10.00

Ventas semanales: US\$ 153,368.00

Considerando que el 60 % de las ventas corresponde a la formulación ( costo ) del producto tenemos:

Costos directos:  $153368.0 \times 0.60 = \text{US\$ } 92,020.80$

Utilidad bruta: Ventas – costos directos

$153,368 - 92,020.8 = \text{US\$ } 61,347.00$

Considerando que por gastos de administración y ventas el costo adicional es de un 18 % y por gastos de mercadeo es del 12 % tenemos que:

Gastos de administración y ventas semanales:  $92,020.8 \times 0.18 =$   
 $= \text{US\$ } 16,563.74$

Gastos de mercadeo:  $(92,020.8 + 16,563.74) \times 0.12 =$   
 $= \text{US\$ } 13,030.14$

Considerando los datos anteriores tenemos que la utilidad neta antes de impuestos es de :

Utilidad neta semanal :  $61,347 - 16,563.74 - 13,030.14 =$   
 $= \text{US\$ } 31,753.12$

Utilidad neta porcentual: 20.70 %.

- Para un sistema de una centrifuga con control lógico programable se tienen que:

Producción semanal : 19,138.32 quintales  
Precio por quintal: US\$ 10.00  
Ventas semanales: US\$ 191,383.2

Considerando que el 58 % de las ventas corresponde a la formulación del producto tenemos:

Costos directos:  $191,383.2 \times 0.58 = \text{US\$ } 111,002.256$   
Utilidad bruta: Ventas – costos directos  
 $191,383.2 - 111,002.256 = \text{US\$ } 80380.94$

Considerando que por gastos de administración y ventas el costo adicional es de un 18 % y por gastos de mercadeo es del 12 % tenemos que:

Gastos de administración y ventas semanales:  $111,002.256 \times 0.18$   
= US\$ 19,980.41

Gastos de mercadeo:  $(111,002.256 + 19,980.41) \times 0.12$   
= US\$ 15,717.92

Considerando los datos anteriores tenemos que la utilidad neta antes de impuestos es de :

Utilidad neta semanal :  $80,380.74 - 15,717.92 - 19,980.41$   
= US\$ 44,682.41

Utilidad neta porcentual: 23.745 %

Lá inversión completa en el proyecto de automatización, incluyendo todos los dispositivos de control, tableros de control, mano de obra y puesta en marcha de proyecto tiene un costo de aproximadamente de US\$ 27,000.00 ( sin el reemplazo del arrancador de 2 velocidades por un variador de frecuencia )

Observando los resultados anteriores es importante notar que el precio de venta se ha mantenido igual, la producción semanal se incrementó en un 24.98%, manteniendo los costos por mano de obra constantes. Además, se logra gracias al controlador lógico programable, un incremento en la utilidad neta semanal del 2.536 % logrando así, pagar la inversión del proyecto en aproximadamente tres semanas de operación.

## **5.2 Ventajas de utilizar un controlador electrónico en el proceso de automatización de una centrifuga**

Las ventajas más sobresalientes al utilizar un controlador lógico programable en el control principal de una máquina centrifuga son las siguientes:

1. Exactitud en el control de proceso. Al implementar un controlador lógico programable, como el descrito anteriormente, se puede alcanzar una exactitud muy superior a la de un control de relevación. Esto se logra no solamente gracias a la alta resolución del controlador en el aspecto de tiempos de retardo, contadores etc. sino también, a la operación inteligente del controlador lógico programable.
2. Adquisición de datos para el análisis de producción. Con la ayuda de un controlador lógico programable, no solamente se controla por completo el proceso, sino que se pueden adquirir datos importantes para efectos de análisis de producción. Tales datos podrían ser: cantidades totales de cargas en la centrifuga por día, por mes o números de las mismas en determinados turnos de trabajo. También se lleva el control de tiempo muerto de máquina.
3. Flexibilidad. Con un control lógico programable se tiene la flexibilidad de cambiar por completo y fácilmente la secuencia del proceso, así como, los tiempos relacionados con el proceso, cantidades formuladas, etc. ya que esto depende solamente del programa en memoria del controlador lógico programable, lo que permite adaptabilidad para el proceso de diversas especificaciones de producto.
4. Proceso más eficiente. El proceso se vuelve más eficiente en varios aspectos; se logra trabajar a la capacidad máxima de la máquina; se



incrementa la producción anual en un 16% con la misma infraestructura; capacidad de ser más agresivos en el mercado ( publicidad, promociones etc. ) al tener un menor costo ( impacto de la depreciación de activos ).

5. Mano de obra más productiva. Gracias al controlador lógico programable, se produce más con el mismo número de personas. Además de lograr un ambiente de trabajo más agradable para el operador.

### **5.3 Ventajas de utilizar un controlador electrónico de control de operación y control de datos de producción en un sistema industrial azucarero en el cual existen varias centrífugas**

Las ventajas más importantes que se poseen al implementar el proyecto del controlador lógico programable para el control central de operación en el área de centrífugas son las siguientes:

1. El operador puede tener control de todos los datos de producción de las máquinas asociadas en el proceso. El operador puede observar datos de cantidad de cargas en cada una de las centrífugas. Todo de un punto centralizado.
2. Además se puede tener control de todas las fallas ocurridas en el sistema. En el controlador lógico programable central se procesa toda la información para que en el display asociado con el proceso se pueda observar todos los mensajes de producción y de falla que pueden existir en el sistema.

3. El tiempo de operación es menor. Por ser un proceso automático se logra un tiempo de operación menor ya que no es necesario que el operador tenga que estar pendiente del arranque de las máquinas en secuencia para evitar atoramientos en las bandas transportadoras de azúcar. Además, esto le permite al operador tener más tiempo disponible para realizar otras actividades importantes para mantener la máquina en buen estado y mantener un nivel adecuado de componentes en los depósitos de cada una de los mismos ( por ejemplo, lubricante ).
4. Eliminar errores del operador. Por ser un control automático total se eliminan los errores que podrían llegar a cometer el operador de la máquina en determinado momento; como por ejemplo no secuenciar bien los arranques y descargas de la máquina y producir un atoramiento en los transportadores de azúcar.

#### **5.4 Análisis comparativo entre el control de relevación convencional y el control electrónico en la operación de una o varias centrifugas**

Para realizar este análisis se presentarán las desventajas de no utilizar el control lógico programable, que son eliminadas al utilizar el mismo:

1. Posibilidad de cometer errores en la dosificación a la canasta por parte del operador.
2. El tiempo de operación entre cargas puede ser variable, dependiendo de la capacidad del operador para realizar un proceso completo.

3. No se tiene un análisis de producción real ya que el operador solamente indica un número aproximado de cargas en la máquina, no la cantidad real. En ciertos casos el operador de la máquina no posee la capacidad suficiente para reportar este tipo de datos y si la tuviera se perdería tiempo en el proceso y podría no ser verdadera.
4. En el caso de usarse relevación convencional ( relés, temporizadores, etc. , ) para llevar a cabo un control automático del proceso, no se tendría la flexibilidad de cambiar ciertas condiciones de operación o esto implicaría cambiar el alambrado del tablero de control. Además, el mantenimiento eléctrico, para el control lógico programable es, prácticamente nulo, a comparación de un tablero de control utilizando relevación convencional; en caso de existir algún problema solamente se analiza el programa interno en memoria sin tener que analizar todo el alambrado de relés, lo cual puede llegar a ser tedioso y difícil de realizar.
5. Sin el control lógico programable no se logra un incremento en la producción anual del producto, una utilidad neta mayor y un producto de mejor calidad.
6. Sin el control lógico programable no se podría tener información desplegada en pantalla ( por medio del interface con el operador ) sobre el estado real del proceso ( en qué parte del proceso se encuentra, despliegue de fallas, avisos al operador, etc. ), así como despliegue de número de cargas por turno y como se han trabajado ( operación manual, operación en reciclo u operación en secuencia ).

## CONCLUSIONES

1. La aplicación de controladores lógicos programables representa grandes ventajas con respecto al control convencional, ya que a medida que los sistemas a controlar van creciendo o variando, no es necesario trabajar con enormes tableros de control donde se encuentra un alambrado bastante complicado; sino que se elabora un nuevo programa o se hacen correcciones al que ya se tiene. Otra ventaja del uso del controlador lógico programable es el hecho de que se puede implementar distintas tareas que no estaban diseñadas en un principio sin tener que incurrir en gastos de adquisición de equipo o en cambio de lo que ya se tiene, cosa que se tendría que realizar al tener un sistema convencional.
2. Con el control lógico programable no solamente se controla por completo el proceso sino que también se logra que el proceso sea más eficiente, el producto sea de más alta calidad y se puede tener acceso a información adicional importante tal como el análisis de producción.
3. El proyecto de automatización de las máquinas centrífugas, se ha ido implementando según la experiencia en el campo. Los variadores de frecuencia pueden sustituir perfectamente a los contactores de potencia que sirven para el accionamiento de los motores eléctricos de la máquina. Instalando un variador se puede eliminar el motor de reversa, así como, también la parte mecánica denominada transmisión de descarga del turntork. Al sustituir los controles eléctricos de potencia de arranque de los motores por el variador de frecuencia se logra tener un mejor control en las velocidades de proceso de la máquina y una economía en el consumo de energía por la capacidad de regenerar la energía de frenado hacia la red.

4. Además del control principal específico de cada una de las máquinas centrífugas que existen en el ingenio, se pueden realizar redes de comunicación entre ellos y que estos se puedan comunicar con el controlador lógico programable central que llevará el control de datos de producción, histogramas de fallas y mensajes de operación de cada una de las máquinas. También se puede tener un control en el arranque de los ciclos, para evitar problemas como atoramiento del equipo de transporte del azúcar o elevación de los kilowatts de demanda en los arranques de las máquinas.
5. El estudio de cualquier proyecto de factibilidad involucra la parte económica por lo que es muy importante analizar este aspecto. De la experiencia obtenida en este trabajo, se observó que los controladores lógicos programables son muy rentables en procesos complejos de automatizar con sistemas convencionales.
6. Teniendo en cuenta las mejoras y resultados positivos que trae consigo la implementación del controlador lógico programable en un proceso de control de máquinas centrífugas en una industria azucarera, se justifica su costo, el cual consideramos accesible para la mayoría de industrias en Guatemala.

## RECOMENDACIONES

1. Es muy importante que la industria guatemalteca conozca los resultados altamente positivos de la automatización de los procesos industriales ya que se evidencia claramente que los procesos automáticos traen consigo un producto de mejor calidad y se obtienen producciones eficientes, las cuales podrían ser más competitivos tanto en mercados nacionales como extranjeros.
2. Al utilizar un control lógico programable para la automatización de una máquina centrífuga en conjunto con un variador de frecuencia, se puede llegar a obtener un mejor control del ciclo de operación de la máquina, debido a que se posee un mejor control de las velocidades de proceso y se evitan los problemas relacionados con todos los componentes de la transmisión de descarga turntork que es puramente mecánica.
3. Los encargados de mantenimiento de las industrias azucareras que aún poseen sistemas de control convencional deben evaluar la posibilidad de implementar el controlador lógico programable en los nuevos procesos o en cambiar procesos existentes a medida que se vayan desechando o combinando con los controladores lógicos.

4. Cuando en una empresa se realiza una implementación con equipos automáticos, tales como controladores lógicos programables, se generan comentarios de los operadores y personal de mantenimiento acerca de la complejidad del proyecto. Esto provoca incertidumbre y duda sobre la funcionalidad del equipo. Por lo anterior se recomienda que se oriente al personal de la empresa, para que entiendan la funcionalidad del equipo y las ventajas que el proyecto conlleva.
  
5. Cuando se realice la implementación del control automático de la máquina centrífuga se debe explicar al personal de mantenimiento que esto no alterará la estructura organizacional de la empresa y que las ventajas que conlleva el proyecto son por ejemplo, la eficiencia que se tendrá en el control de los ciclos de operación, se evitarán los tiempos muertos largos por desperfectos de las máquinas, etc.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. The Western States machine, Company. **General instalation and operating instructions.** ( S.e. U.S.A. : The Western States Machine Co. 1976.) pág. 3
2. Allen Bradley Company , Inc. **Advanced Programming Software ( cat. No. 1747 – PA2E ).** ( S.e. U.S.A. : Allen Bradley Company, Inc , 1993.) pág. 7
3. Industrias azucareras guatemaltecas, **Datos estadísticos de producción.** ( Ingenio Pantaleón, Ingenio Concepción, 1997.) pág. 11
4. Industrias azucareras salvadoreñas, **Datos estadísticos de producción y datos de operación.** ( Ingenio Central Izalco, Ingenio Chaparrastique, 1996.)



## BIBLIOGRAFÍA

1. Allen Bradley Company , Inc. **Advanced Programming Software ( cat. No. 1747 – PA2E )**. S.e. U.S.A. : Allen Bradley Company, Inc , 1993.
2. Allen Bradley Company , Inc. **Modular Hardware Style SLC500 Installation and operation manual** . S.e. U.S.A. : Allen Bradley Company, Inc , 1992.
3. Allen Bradley Company , Inc. **Data Table Acces Module ( cat. No. 1747 – DTAM )** . S.e. U.S.A. : Allen Bradley Company, Inc , 1994.
4. Allen Bradley Company , Inc. **Variador de Velocidad de CA de frecuencia ajustable 1336 PLUS con Sensorless Vector. ( cat. No. 1747 – PA2E )**. S.e. U.S.A. : Allen Bradley Company, Inc , 1996.
5. Allen Bradley Company , Inc. **Industrial Control**. S.e. U.S.A. : Allen Bradley Company, Inc , 1994.
6. Rockwell automation, Allen Bradley Company , Inc. **RSLogix 500 Software** . S.e. U.S.A. : Allen Bardley company , Inc , 1998.
7. The Western States machine, Company. **General instalation and operating instructions**. S.e. U.S.A. : The Western States Machine Co. 1976.

## ANEXOS O APÉNDICE

**Tabla III Datos de producción:**

<b>Descripción</b>	<b>Centrífuga con Control convencional</b>	<b>Centrífuga con controlador lógico programable</b>
Tiempo promedio de ciclo de operación	265 segundos	235 segundos
% de tiempo perdido en una semana de operación	10.5 %	6.9 %
Tiempo productivo por semana	5 días, 21 horas, 7 minutos	6 días, 12 horas, 24 minutos, 29 seg.
Tiempo no productivo por semana	17 horas, 38 minutos, 24 segundos	11 horas, 35 minutos, 31 segundos.
Ciclos de producción por semana	1,917.10 ciclos	2,396.04 ciclos
Quintales de azúcar de producción	15,336.8 quintales	19,168.32 quintales

**Tabla IV Análisis de inversión:**

<b>Descripción</b>	<b>Centrífuga con Control convencional</b>	<b>Centrífuga con controlador lógico programable</b>
Producción semanal	15,336.8 quintales	19,138.32 quintales
Precio por quintal (aproximado)	\$ 10.00	\$ 10.00
Ventas semanales	\$ 153,368.00	\$ 191,683.2
Costos directos	\$ 92020.80	\$ 111,002.256
Utilidad bruta	\$ 61347.00	\$ 80,380.94
Gastos de administración y ventas semanales	\$ 16,563.74	\$ 19980.41
Gastos de mercadeo	\$ 13,030.14	\$ 15,717.92
Utilidad neta semanal	\$ 31,753.12	\$ 44,682.41
Utilidad neta porcentual	20.70 %	23.745 %