ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

AUTOMATIZACIÓN DE UNA CENTRIFUGADORA PARA EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE AZÚCAR Y MIEL

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL

ADRIÁN HIPÓLITO ERAZO CANGÁS
aerazo637@gmail.com

DIRECTOR: ING. ANA RODAS BENALCAZAR
arodas@epn.edu.ec

Quito, OCTUBRE 2010

DECLARACIÓN

Yo, Adrián Hipólito Erazo Cangás declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

_____

Adrián Hipólito Erazo Cangás

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Adrián Hipólito Erazo Cangás, bajo mi supervisión.

_____

Ing. Ana Rodas

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios principalmente por darme la vida y la salud, por haberme permitido concluir mi carrera con éxito guiando mis pasos y siendo mi soporte en las adversidades.

También quiero agradecer profundamente a mis padres por su apoyo incondicional y desinteresado, por todos sus esfuerzos y sacrificios para poder solventar mi educación.

Agradezco a todos mis maestros quienes compartieron no solo sus conocimientos científicos sino también sus experiencias personales enriqueciendo mi vida con principios y valores.

Finalmente agradezco de manera especial a la Ing. Ana Rodas por guiarme acertadamente durante todo el proceso de realización de este proyecto, por su disponibilidad y predisposición siempre brindada de manera cordial y desinteresada.

DEDICATORIA

Este trabajo esta dedicado a mis padres que con inmenso y profundo amor me acompañaron durante todo el trayecto de mi carrera siendo mi apoyo incondicional y mi inspiración principal, inculcándome valores y fortaleciéndome en los momentos de debilidad.

También quiero dedicar este trabajo a todas las personas que permanecieron a mi lado durante todo el período de estudio o parte de él, apoyándome de distintas maneras y que de una u otra forma compartieron mis sueños e ideales, a todas aquellas personas que entristecieron con mis fracasos y disfrutaron de mis triunfos.

CONTENIDO

Pág.

CONTENIDO…….. i
RESUMEN…….. ix
PRESENTACIÓN…… x

CAPITULO I

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL AZÚCAR DE CAÑA

1.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL AZÚCAR DE CAÑA EN EL INGENIO AZUCARERO DEL NORTE……..... 1
1.2 TÉRMINOS USADOS EN LA FABRICACIÓN DEL AZÚCAR……..... 3
1.2 CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR..... 3
1.3.1 METODOLOGÍA DE CULTIVO……..... 4
1.3.2 IMPACTO AMBIENTAL DEL CULTIVO……..……. 4
1.4 RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LA CAÑA DE AZÚCAR……..…….... 5
1.4.1 CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO……..…..... 5
1.4.1.1 Control de peso del producto ingresado..... 5
1.4.1.2 Control de calidad de la caña……..... 6
1.5 MOLIENDA……..…….... 6
1.5.1 LA IMBIBICIÓN……..….....7
1.5.2 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE MOLIENDA…...…..….. 8
1.6 CLARIFICACIÓN……...…..... 9
1.6.1 SULFITACIÓN…….. ……..….. 9

1.6.1.1 Calentamiento primario del jugo mixto……..... 10
1.6.1.2 Sulfitación de jugo mixto…….…… 10
1.6.2 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE SULFITACIÓN…….. 11
1.6.3 ALCALIZACIÓN…….…….... 11
1.6.3.1 Preparación de Lechada de Cal…….…… 11
1.6.4 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE ALCALIZACIÓN..... 12
1.6.5 CLARIFICADOR GRAVER…….... 12
1.6.6 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE CLARIFICACIÓN..... 12
1.7 EVAPORACIÓN……..... 13
1.7.1 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE EVAPORACIÓN…….. 13
1.8 CRISTALIZACIÓN……. 14
1.8.1 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE CRISTALIZACIÓN……..... 14
1.9 CENTRIFUGACIÓN……..... 14
1.9.1 TIPOS DE CENTRIFUGAS……..... 15
1.9.1.1Centrifugas de sedimentación…….…..... 15
1.9.1.2Centrifugas de filtro…….…..... 15
1.9.1.2.1 Centrífugas Tipo Canasta…….…….. 16
1.9.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN…….…..... 17
1.9.3 PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN…….…….... 18
1.9.3.1 Encender el transportador y bombas de miel A y miel rica….. 18
1.9.3.2 Carga de la canasta…….…… 18
1.9.3.3 Lavado……..….. 18
1.9.3.4 Descarga…….…… 18
1.9.4 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE CENTRÍFUGACIÓN…….…… 19
1.10 SECADO...……. 20
1.10.1 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE SECADO…….…….. 20
1.11 EMPACADO……. ……..... 21
1.11.1 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE EMPACADO……..... 21
1.11.1.1 Envasadora automática……...… 21
1.11.1.2 Cosedora de Sacos…….…..... 21

1.11.1.3 Balanza……..... 21
1.11.1.4 Banda Transportadora……..….... 22
1.11.2 ALMACENAMIENTO DEL PRODUCTO TERMINADO……..….... 22
1.12 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO……...…. 23

CAPITULO II

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN

2.1 LA CENTRIFUGA EN LA INDUSTRIA DEL INGENIO AZUCARERO DEL NORTE……..……. 25
2.1.1 PARTES COMPONENTES DE LA CENTRIFUGA……...….. 26
2.1.1.1 La Canasta……..…… 26
2.1.1.2 La Campana……..….. 27
2.1.1.3 Las Mallas……...….. 27
2.1.1.4 El Arado……..……..... 28
2.1.2 TAMAÑO Y CAPACIDAD……..……. 28
2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO..... 29
2.2.1 ALIMENTACION DE LA MASA COCIDA……...……. 30
2.2.2 PROCEDIMIENTOS DE LAVADO……..……... 31
2.2.3 LAVADO CON VAPOR……..……..… 31
2.3 PROBLEMAS ACTUALES DE FUNCIONAMIENTO EN LA CENTRIFUGA……..…….. 32
2.3.1 MODIFICACIONES Y ADAPTACIONES MECÁNICAS REALIZADAS EN LA CENTRIFUGADORA……..…..... 33
2.4 SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE LA CENTRIFUGA…..... 33
2.4.1 ANÁLISIS Y ESTUDIO DEL PROCEDIMIENTO DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN…….....….. 34
2.4.1.1 Encendido de la centrifuga y lavado de la tela……...…..... 34
2.4.1.2 Descargado de la masa y lavado de la bandeja…….....…. 35

2.4.1.3 Lavado de la masa y cambio de mieles…….. 35
2.4.1.4 Frenado de la centrifuga y descarga del azúcar…….. 34
2.5 VARIABLES FÍSICAS DE CONTROL DEL EQUIPO…….…... 36
2.5.1 LA VELOCIDAD……... 36
2.5.2 EL TIEMPO……..... 37
2.5.3 EL NIVEL……... 37
2.5.4 LA POTENCIA……... 37
2.6 INSTRUMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL……..… 38
2.6.1 SENSORES…….…. 38
2.6.1.1 Sensor Inductivo…….. 38
2.6.1.1.1 Partes componentes…….…. 39
2.6.1.1.2 Principio de funcionamiento…….…. 39
2.6.1.2 Apalpador…….. 40
2.6.2 PLC SIMATIC S7-200……... 41
2.6.2.1 Características generales de la CPU 224……..... 41
2.6.2.2 Módulo de ampliación de salidas digitales……..… 42
2.6.2.3 Especificaciones técnicas del módulo de ampliación……… 43
2.6.3 VISUALIZADOR DE TEXTOS TD200…….…. 43
2.7 SELECCIÓN E INSTALACIÓN DE LOS ACTUADORES….. 45
2.7.1 CILINDROS NEUMATICOS……. 45
2.7.2 ELECTROVÁLVULAS…….. 46
2.7.3 ELECTROVÁVULAS SOLENOIDES…….…. 47
2.7.4 ACTUADOR NEUMÁTICO……..... 48
2.7.5 MOTOR DE ACCIONAMIENTO……..… 48
2.7.5.1 Especificaciones técnicas del motor……..... 49
2.7.5.2 Arranque y cambio de velocidad……... 50
2.8 DISPOSITIVOS DE CONEXIÓN PARA LA COMUNICACIÓN……. 50
2.8.1 SELECCIÓN DEL CABLE DE RED…….. 50
2.8.1.1 Cable de comunicación con alimentación……. 51
2.8.2 CONECTOR DE ENLACE FÍSICO…… 52

2.9 CIRCUITOS DE CONTROL Y FUERZA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA…….. 52
2.9.1 CIRCUITO DE FUERZA PARA EL MOTOR DE LA CENTRIFUGA……..... 53
2.9.2 CIRCUITO DE CONTROL DESDE EL PLC SIMATIC S7-200 PARA EL MANDO DEL MOTOR…….. 54
2.9.3 CONEXIÓN DE LAS ENTRADAS AL PLC SIMATIC S7-200 PARA EL CONTROL DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN……... 54
2.9.4 CONEXIÓN DE LAS SALIDAS DESDE EL PLC SIMATIC S7-200 PARA EL CONTROL DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN……..…. 56
2.10 DISEÑO Y ELABORACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL……. 58
2.10.1 DISEÑO DEL DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA EL TABLERO PRINCIPAL DE CONTROL…… 58
2.10.2 DISEÑO DEL DIAGRAMA DE CONEXIONES ELECTRONEUMÁTICO…… 60

CAPITULO III

DISEÑO Y DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CONTROL

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA CENTRIFUGA……... 62
3.1.1 CONTROL AUTOMÁTICO DE LA CENTRIFUGADORA..... 66
3.1.1.1 Puesta en marcha y arranque en baja velocidad……..... 70
3.1.1.2 Lavado de tela y descarga de la masa en la canasta……..... 71
3.1.1.3 Lavado del conducto de descarga de masa y cambio de velocidad…….…. 72
3.1.1.4 Lavado de masa y cambio de mieles……..… 73
3.1.1.5 Frenado, cambio de velocidad y descarga de azúcar……... 74

3.1.1.6 Alarma de estado del sensor de nivel o “Apalpador”…….....76
3.1.1.7 Asignación de localidades de memoria a los tiempos de funcionamiento editables desde el TD200…… 77
3.2 CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN PARA EL VISUALIZADOR DE TEXTOS TD200 A TRAVES DEL SOFTWARE STEP7- Micro/WIN…….. 79
3.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TD200…….....79
3.2.2 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DEL VISUALIZADOR DE TEXTOS TD200…….. 80
3.2.2.1 Procedimiento de configuración de parámetros……..... 80
3.2.2.2 Mensaje inicial y estado de funcionamiento de la centrifuga……. 85
3.2.2.3 Visualización de parámetros de funcionamiento……..… 87
3.2.2.4 Edición de los parámetros de funcionamiento……..… 87
3.3 CONFIGURACIÓN Y PARAMETRIZACIÓN PARA LA COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC Y SUS PERIFÉRICOS…….. 88
3.3.1 CONFIGURACIÓN DE LA COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC SIMATIC S7-200 Y LA PC DE PROGRAMACION……. 88
3.3.1.1 Velocidad de transferencia y Dirección de estación……. 88
3.3.1.2 Ajuste de velocidad de transferencia y dirección de estación en el STEP 7-Micro/WIN……. .. 89
3.3.1.3 Ajuste de velocidad de transferencia y la dirección de estación del S7-200……..... 90
3.3.2 COMUNICACIÓN ENTRE EL SIMATIC S7-200 Y EL VISUALIZADOR DE TEXTO TD 200……..… 91
3.3.2.1 Selección del protocolo de comunicación…….91
3.3.2.1.1 Protocolo PPI…….….. 92
3.3.2.1.2 Redes PPI monomaestro……. 92
3.4 FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DEL TD200 EN EL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN…… 93

3.4.1 FUNCIONES Y MODO DE OPERACIÓN DEL TD200…….. 93
3.4.1.1 Procedimiento de operación del TD200……..…. 93
3.4.1.1.1 Visualización del estado del proceso……... … 93
3.4.1.1.2 Visualización de parámetros de operación…..... 94
3.4.1.1.3 Ajuste o edición de los parámetros de operación……..….. 98
3.4.1.1.4 Forzar y desforzar entradas y salidas……..….. 98
3.5 COSTOS DE LOS EQUIPOS USADOS PARA EL PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA CENTRIFUGADORA……... 99

CAPITULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 OPERACIÓN DE LA MÁQUINA ANTES Y DESPÚES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO……..... 101
4.1.1 CAMBIOS REALIZADOS EN LA ESTRUCTURA DE LA CENTRIFUGA……... 101
4.1.1.1 Tablero de control eléctrico……... 101
4.1.1.2 Tablero de control neumático……..... 102
4.1.1.3 Emisión de agua para el lavado de tela y masa…….. 102
4.1.1.4 Compuerta de descarga de masa……..... 103
4.1.1.5 Emisión de agua para el lavado de la compuerta de descarga…..... 103
4.1.1.6 Sensado del nivel de carga de la canasta……. 104
4.1.1.7 Cambio de mieles…… 104
4.1.1.8 Descarga de azúcar……..... 105
4.2 PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DE PRUEBAS…….. 105
4.2.1 PRUEBA DE LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA..... 105
4.2.2 PRUEBA DE LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO……..… 106

4.2.3 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS NEUMÁTICOS…….. 106
4.2.4 PRUEBAS DE CABLEADO E INSTALACIÓN ELÉCTRICA……...… 106
4.2.4.1 Prueba del cableado e instalación del circuito de potencia…….. 107
4.2.4.2 Prueba del cableado e instalación del circuito de control……..... 107
4.2.5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA DE CONTROL UTILIZANDO EL SIMULADOR STEP 7 Y POSTERIORMENTE EL PLC SIMATIC S7 200…….…... 108
4.2.5.1 Pruebas del programa de control utilizando el simulador STEP 7…….…... 108
4.2.5.2 Pruebas del programa de control utilizando el PLC SIMATIC S7 200…….….. 108
4.2.6 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC SIMATIC S7 200 Y LA PC PORTADORA DEL PROGRAMA DE CONTROL……..…… 109
4.2.7 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC SIMATIC S7 200 Y EL VISUALIZADOR DE TEXTOS TD 200…….….. 109
4.2.8 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR…… 109
4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS……..... 110

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES……... 113
5.2 RECOMENDACIONES……..... 114

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS……... 116

RESUMEN

La industria azucarera en nuestro país ha ido creciendo a medida que el consumo se ha ido incrementando, de tal manera que ha sido necesario modernizar los procesos de producción del azúcar y de esta manera mejorar la calidad del producto y aumentar la producción.

Es importante señalar que el Ingenio Azucarero del Norte es el proveedor del 65% del azúcar que se consume en la región norte del país y del 10% a nivel nacional, por esta razón su producción debe ser en grandes cantidades con el fin de abastecer sin problemas el mercado de consumo.

Las centrifugadoras cumplen un papel muy importante dentro del proceso de producción, ya que son las encargadas de separar la miel presente en la masa de azúcar del grano mismo. Por esta razón se hace necesario buscar la manera de reducir los tiempos de producción, mejorar la calidad del producto y proporcionar una operación continua y periódica a la centrífuga.

En este proyecto se plantea como objetivo realizar la automatización de la centrifugadora encargada de separar la miel y el azúcar en el Ingenio Azucarero del Norte, para lo cual se han implementado sistemas eléctricos y neumáticos comandados por un PLC.

Se ha incorporado a la máquina un HMI adquirido por la fábrica, el cual consiste en un visualizador de textos TD 200 que permite al operador interactuar con el proceso, supervisando, adquiriendo y editando valores de los parámetros de operación para controlar el normal desarrollo del proceso y el buen funcionamiento de la máquina.

Las pruebas demuestran que la máquina se encuentra operando normalmente con el sistema automático y que la producción se ha incrementado y los tiempos muertos se han reducido.

PRESENTACIÓN

Los objetivos del proyecto “AUTOMATIZACIÓN DE UNA CENTRIFUGADORA PARA EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE AZÚCAR Y MIEL”, están estructurados en cinco capítulos, de los cuales se hace un breve resumen a continuación.

En el primer capítulo se ha realizado una investigación detallada del proceso de producción de azúcar en el Ingenio Azucarero del Norte, poniendo especial énfasis en el proceso de centrifugación, estudiando los tipos de centrifugas existentes, definiendo sus partes componentes, principios de operación, campos de aplicación y una breve descripción del proyecto a ser desarrollado

En el segundo capitulo se describe la centrifuga específica con la cual se va a trabajar; además de los elementos, accesorios y dispositivos utilizados, detallándolos cada uno de ellos; es decir, como se los ha utilizado, la función, aplicación, datos técnicos, etc. de tal forma que proporcionen al operador todas las garantías y cumplan los requerimientos necesarios para que el mismo funcione de acuerdo a los objetivos trazados inicialmente.

En el tercer capítulo se presenta una descripción detallada de la programación tanto para el PLC y el visualizador de textos conociendo el programa utilizado, diagramas de flujo y bloques de los programas implementados y en el caso del visualizador de textos, las pantallas creadas, de esta forma se da a conocer la lógica de control y monitoreo que se desarrolló para el proyecto.

En el cuarto capitulo se hace referencia a las pruebas realizadas en el sistema de automatización y los resultados obtenidos de las mismas con la máquina automatizada. Se identifican las ventajas, beneficios y limitantes que se obtuvieron al operar la máquina.

El quinto capitulo finaliza este proyecto con una serie de conclusiones y recomendaciones que deberán ser tomadas en cuenta para realizar futuros trabajos relacionados con este tema, y así conseguir una mejor operación de la máquina y por lo tanto la continuidad y sostenibilidad de este proyecto.

CAPITULO I

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL AZÚCAR DE CAÑA

1.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL AZÚCAR DE CAÑA EN EL INGENIO AZUCARERO DEL NORTE.

El proceso de producción del azúcar de caña es prácticamente el mismo para todas las industrias; su funcionamiento se basa en un ciclo de procesos que serán analizados a lo largo de este capítulo, no obstante el proceso de producción en algunas de estas industrias puede ser modificado con el fin de incrementar la producción y mejorar la calidad del producto, haciendo uso de la tecnología.

Para tener una idea general de la obtención del azúcar en el Ingenio Azucarero del Norte se hace necesario conocer el proceso de producción; de esta manera se puede comprender claramente las etapas involucradas en el mismo e identificar el área en donde será desarrollado e implementado el sistema de control en este proyecto.

Además, de esta forma será mas sencillo entender el alcance del proyecto en función de los requerimientos del proceso, la necesidad de realizar cambios de mejoramiento en el funcionamiento operacional de la máquina y los beneficios que se lograrán con estos cambios.

A continuación se presenta un diagrama de flujo generalizado que indica el proceso de producción del azúcar de caña.

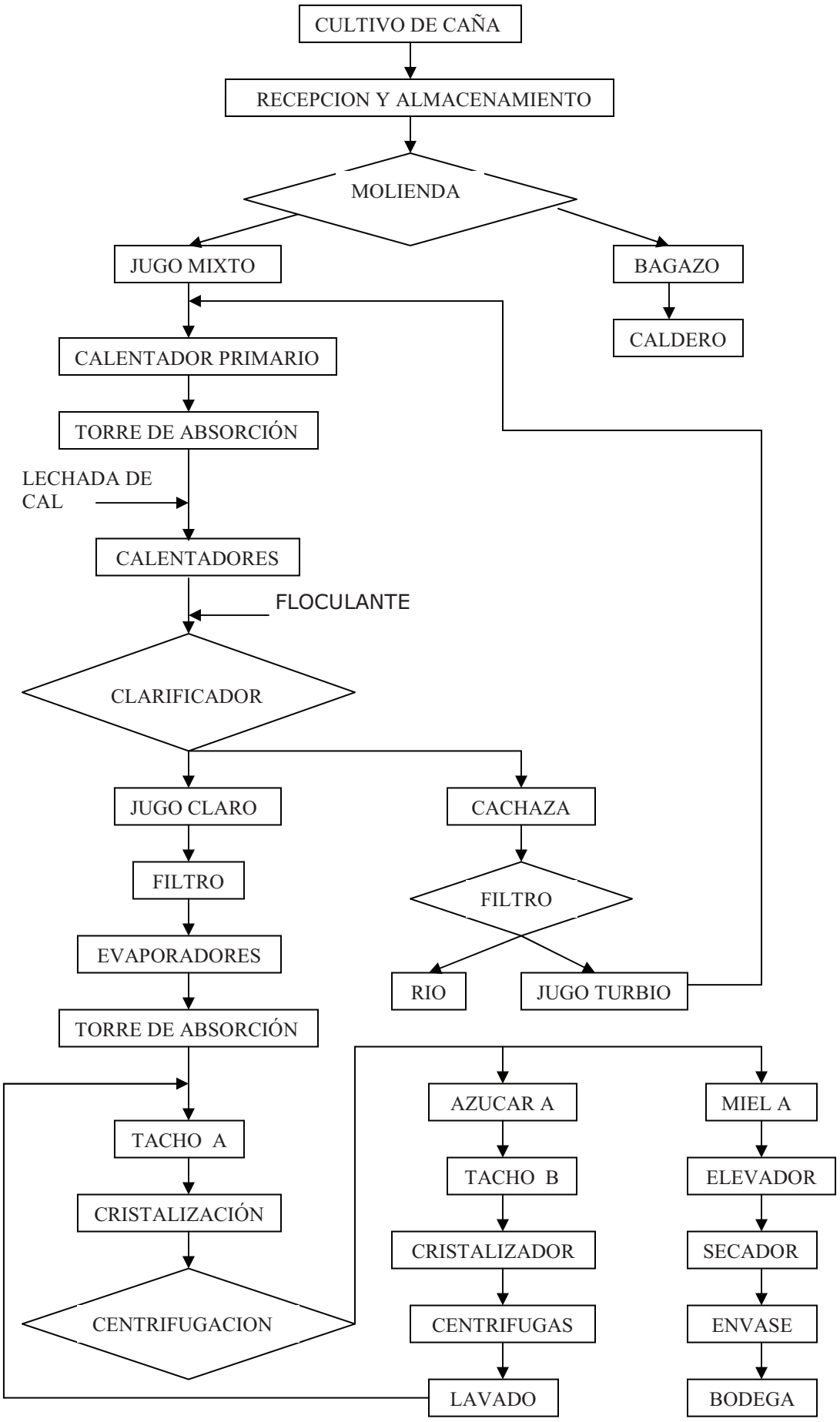


Figura 1-1: Diagrama General de Flujo del Proceso de Fabricación del Azúcar

1.2 CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

La cosecha de la caña de azúcar se la realiza cuando la caña alcanza su madurez correspondiente. Las proporciones de los componentes varían de acuerdo con la variedad de la caña que se caracteriza por parámetros como: edad, madurez, clima, suelo, método de cultivo, abonos, riegos, etc.

Glucosa	0,2 – 0,6%
Fructosa	0,4 – 0,6%
Sales	0,3 – 0,8%
Ácidos orgánicos	0,2 – 0,8%
Zumo	98,9 – 97,2%

Tabla 1-1: Componentes estructurales de la caña de azúcar

1.2.1 METODOLOGÍA DE CULTIVO

El método de cultivo no es tecnificado de manera que se lo realiza de forma manual y lo que se hace es utilizar los conocimientos de los técnicos agrícolas y profesionales conocedores de este tipo de cultivos y en base a su experiencia determinar factores como el tipo de suelo, semillas, fertilizantes, insecticidas, formas de riego, etc.

1.2.2 IMPACTO AMBIENTAL DEL CULTIVO

El Ingenio Azucarero del Norte productor de azúcar, en su extensión territorial de cultivo de caña y con el fin de obtener una mejor producción y calidad de su materia prima realiza auditorias ambientales una vez por año con el fin de proteger en forma integral su producción con variedades resistentes y conservación de su fauna biológica, para de esta manera establecer un equilibrio en el ecosistema apegándose al Plan de Manejo Ambiental.

Es importante señalar que el Ingenio Azucarero del Norte cuenta con la licencia de Cogenerador de Energía por lo que debe regirse al Reglamento Ambiental para Actividades Eléctricas estipulado por el CONELEC.

1.3 RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

1.3.1 CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

La etapa donde se inicia el proceso de fabricación del azúcar comienza en la recepción de la caña en el patio de almacenamiento, para lo cual previamente pasan por el control de peso en la báscula electrónica.
La caña recibida debe tener las siguientes características:

- Haber alcanzado un mínimo de madurez en el campo que son los 18 meses, fecha a partir de la cual la caña es apta para ser procesada en azúcar.
- Ser totalmente limpia de sus hojas, cortada su raíz y terminación del tallo.

1.3.1.1 Control de peso del producto ingresado

Este control es realizado en la balanza electrónica computarizada que se encuentra en el ingreso a la planta industrial, en ésta se registra el peso del equipo de transporte más la caña, de acuerdo al orden de llegada, luego de descargar y al momento de salir se pesa el equipo de transporte vacío y por diferencia se obtiene el peso de la materia prima ingresada.
La báscula electrónica, posee sensores que son galgas extensiométricas y un sistema de conversión analógico digital de rampa doble, que permite digitalizar los datos.

Figura 1-2: Registro de Peso vehicular con carga

Luego la caña es depositada en el patio de almacenamiento, donde se almacena la cantidad necesaria para la operación de la planta en horas de la noche.

La grúa es del tipo columna y tiene una capacidad de 7 TM, ésta descarga la caña de los camiones, la coloca en el patio de almacenamiento y la suministra a la mesa de alimentación.

Figura 1-3: Patio de Almacenamiento y Grúa

1.3.1.2 Control de calidad de la caña

Una vez que la caña es pesada pasa a la etapa de molienda donde el personal de laboratorio toma una muestra representativa de la caña que se está recibiendo, la misma que debe tener una pureza mínima del 75%; en esta etapa se realizan los siguientes análisis:

- Fibra
- Sólidos totales
- Contenidos de sacarosa
- Pureza
- PH

1.4 MOLIENDA

La caña es preparada por las picadoras y pasa por un alimentador antes de llegar a un tándem de 4 molinos. Los molinos son movidos por dos turbinas de vapor. Dos molinos por cada turbina. El bagazo que se extrae del último molino se conduce a la caldera para generar vapor y utilizar los sobrantes para poderlos comercializar.

El proceso de molienda se divide en dos partes:

a) Rompimiento de las estructuras duras
b) La molienda de la caña

La preparación de la caña se lleva a cabo mediante cuchillas giratorias que cortan la caña en trozos pero en donde no se extrae el jugo.

1.4.1 EXTRACCIÓN

La extracción del jugo se la realiza en la segunda parte del proceso de molienda de la caña, es decir después del rompimiento de la estructura.
La capacidad de un tándem de molienda se expresa por lo general en TCH (Toneladas por cada hora) o TCD (Toneladas por cada día).

1.4.2 LA IMBIBICIÓN

La imbibición consiste en añadir agua o jugo diluido al bagazo después de cada molino; de esta manera se diluye el jugo contenido y se aumenta la extracción del mismo a medida que se exprime el bagazo.

Su funcionamiento es el siguiente: Se aplica agua al bagazo que se dirige al último molino; el jugo extraído del último molino es devuelto al bagazo que se dirige al penúltimo molino; el jugo extraído en el penúltimo molino a su vez es devuelto al bagazo del molino anterior y así sucesivamente; esto se le conoce como imbibición compuesta.

El porcentaje de agua de imbibición varía según la capacidad de los molinos, en este caso se cuenta con un medidor que suministra el agua de imbibición de acuerdo al contenido de fibra de la caña.

1.4.2 EQUIPO UTILIZADO EN EL ROMPIMIENTO Y MOLIENDA DE LA CAÑA

Se inicia con la mesa de alimentación, cuya velocidad es controlada por un operador mediante un potenciómetro, éste ajusta la velocidad de la mesa para suministrar una cantidad adecuada de caña hacia el transportador de la misma.

El nivelador de caña se encuentra sobre la mesa alimentadora, éste gira sobre un eje motriz y cuenta con un motor con su reductor acoplado al eje.

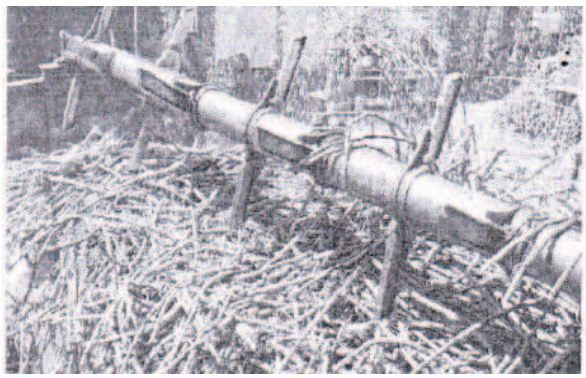


Figura 1-4: Nivelador de caña y duchas de lavado

También cuenta con dos juegos de cuchillas movidas por un motor eléctrico, y una estera elevadora de caña que es movida por un equipo motor-reductor.

Figura 1-5: Tándem de Molienda

El Equipo motriz del 1er, 2do, 3ro y 4to molino son del tipo turbina de vapor, existen también bombas de maceración y de Imbibición de tipo centrífuga.
Por último en esta etapa se tiene un colador vibratorio que separa el jugo diluido y el bagacillo.

1.5 CLARIFICACIÓN

Es el proceso en el cual se filtran todos los componentes adicionales que contiene el jugo mixto además del jugo de caña y el agua de imbibición, estos componentes pueden ser: lodos, ácidos, material orgánico, etc. que posteriormente serán eliminados en esta etapa.

1.5.1 SULFITACIÓN

El jugo mixto una vez que es cuantificado por el medidor de flujo es bombeado a un calentador primario que lo lleva a una temperatura entre 60 y 65℃ para luego pasar a una columna de sulfitación hasta conseguir un PH entre 4 y 4,6.

1.5.1.1 Calentamiento primario del jugo mixto

Para esto se debe verificar la correcta posición de las válvulas de condensados, incondensados, vapor, purgas y de ingreso y salida del jugo mixto.
Una vez cumplidas las condiciones anteriores, el calentador primario eleva la temperatura del jugo mixto entre 60 y 65ºC.

Figura 1-6: Calentadores

1.5.1.2 Sulfitación de jugo mixto

En esta etapa se produce una reacción de absorción de SO_2 con el jugo mixto hasta conseguir un PH entre 4 y 4,6.
Además es necesario tener en cuenta otros aspectos importantes como:

- Verificar la correcta posición de las válvulas para el ingreso y salida del jugo en la torre de sulfitación.
- Verificar el codo limpio y el tapón colocado en la bandeja.
- Verificar el correcto funcionamiento del circuito de refrigeración en el horno de azufre y tubería de gas.
- Constatar aporte y combustión continua de azufre en el horno.
- Controlar que el PH del jugo sulfatado este entre 4 y 4.6.

1.5.2 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE SULFITACIÓN

Se tiene una bomba de tipo centrífuga y un calentador vertical. Una vez que el jugo ha alcanzado la temperatura deseada, pasa a la columna de sulfitación de tipo vertical.

Figura 1-7: Columna de Sulfitación

1.5.3 ALCALIZACIÓN

Es el proceso en el cual se agrega lechada de cal al jugo proveniente de la columna de sulfitación para incrementar su PH, ésta lechada tiene una densidad entre 5 y 7°Be (cantidad de cal concentrada en una sustancia), y se la agrega hasta conseguir un PH entre 7.0 y 7.2.

1.5.3.1 Preparación de Lechada de Cal

La lechada de cal se prepara con agua condensada, y a su falta con agua clara, adicionándose los sacos de cal necesarios para mantener el baume de lechada entre 6 y 8.
La lechada de cal es bombeada hacia un tanque by-pass en el cual existe una derivación para dosificar manualmente, o por la válvula automática.

1.5.4 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE ALCALIZACIÓN

Figura 1-8: Tanque de Jugo Encalado

Un tanque receptor de jugo encalado de tipo cilíndrico vertical, un encalador cilíndrico vertical con agitador mecánico, un calentador de tipo vertical y una bomba centrífuga.

1.5.5 CLARIFICADOR GRAVER

En el clarificador GRAVER se completa la reacción con floculante, fosfatos y cal, formando un grumo que se precipita en las bandejas del clarificador, depositándose en el fondo los lodos y saliendo un jugo claro con un PH entre 6.6 y 7.

Por el fondo del equipo sale un lodo que aún tiene azúcar la cual se recupera a través de un filtro rotatorio, en donde por absorción de vacío se recupera un jugo que regresa al proceso y se desecha un lodo que se conoce como cachaza hacia el campo para ser usado como abono orgánico.

1.5.6 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE CLARIFICACIÓN

El equipo más significativo y de influencia en la etapa de clarificación es el clarificador Graver.

Figura 1-9: Clarificador Graver

El clarificador Graver es de tipo vertical, con un diámetro de 5,4 m., capacidad de 120m^3, con 4 bandejas para depósito de desechos y accionado por un motor de 3HP.

1.6 EVAPORACIÓN

Este proceso sirve para concentrar el jugo claro proveniente del clarificador. El proceso consiste en pasar el jugo por los tres cuerpos evaporadores de manera que se concentre más en cada etapa, sirviendo el vapor del uno al dos y del dos al tres.

1.6.1 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE EVAPORACIÓN

El tanque receptor de meladura es del tipo cilíndrico vertical y se comunica al tercer cuerpo de evaporación.

Figura 1-10: Evaporadores

Para el caso en que el jarabe proveniente del 3er evaporador no cumpla con un color adecuado se ingresa a la denominada torre de sulfitación para meladura.

1.7 CRISTALIZACIÓN

La cristalización consiste en concentrar el jarabe hasta el punto de saturación, en ese punto se introduce una cantidad de azúcar pulverizada en finos granos mezclada con alcohol etílico para que sirvan de núcleos para los cristales de azúcar; de esta manera se forma una mezcla de cristales y jarabe, que se le conoce como masa cocida.

Una vez terminada la masa cocida, se baja a unos recipientes agitadores que se les conoce con el nombre de cristalizadores y de aquí van a las centrífugas para la separación del grano y la miel.

1.7.1 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE CRISTALIZACIÓN

En esta etapa del proceso los equipos más importantes son los denominados tachos.

Estos tachos son los tanques dilutores de mieles A y B, que mediante agitadores que giran a baja velocidad cumplen la función de mezclar y mantener siempre una

homogeneidad en su contenido, ya que son sustancias líquidas con presencia abundante de sólidos en suspensión.

1.8 CENTRIFUGACIÓN

Es la separación del grano y la miel de las masas cocidas, se aprovecha de la fuerza centrífuga para eliminar la miel del azúcar de manera que el grano queda atrapado en las mallas localizadas en las paredes de las centrífugas. Durante el proceso de centrifugado, el azúcar se lava con agua caliente para eliminar la película de miel que recubre los cristales y se descarga para conducirla a la sección de secado.

La miel que sale de las centrífugas se bombea a tanques de almacenamiento para someterla a posteriores cristalizaciones, al cabo de tres cristalizaciones (A, B y C) se obtiene una miel de purga que se comercializa para alimentar ganado o como materia prima para la obtención de alcoholes.

1.8.1 TIPOS DE CENTRIFUGAS

Existen 2 grandes tipos de centrífugas:

1.8.1.1 Centrifugas de sedimentación

Esta contiene un cilindro o un cono de pared sólida que gira alrededor de un eje horizontal o vertical. Por fuerza centrífuga, una capa anular de líquido de espesor fijo se sostiene contra la pared. A causa de que esta fuerza es bastante grande comparada con la de la gravedad, la superficie del líquido se encuentra esencialmente paralela al eje de rotación, independientemente de la orientación de la unidad. Las partículas pesadas se acumulan sobre la pared y deben retirarse continua y periódicamente.

1.8.1.2 Centrifugas de filtro

Estas operan como el tambor de rotación de una lavadora doméstica. La pared de la canasta está perforada y cubierta con un medio filtrante, como una tela o una rejilla fina, el líquido pasa a través de la pared impelido por la fuerza centrífuga dejando una masa de sólidos sobre el medio filtrante. La rapidez de filtración se incrementa con esta fuerza y con la permeabilidad de la masa sólida. La cantidad de líquido que se adhiere a los sólidos después que éstos se han centrifugado depende también de la fuerza centrífuga aplicada; en general, el líquido retenido es considerablemente menor que el que queda en la masa que producen otros tipos de filtros.

Dentro de esta clasificación se hará mención a la centrífuga tipo canasta, ya que es del tipo con las que se cuenta en el Ingenio Azucarero del Norte, y una de las cuales se va a automatizar.

1.8.1.2.1 Centrífugas Tipo Canasta

Estas centrífugas son llamadas a menudo "centrífugas filtro o clarificadores". Estas centrífugas son empleadas en la manufactura de caña de azúcar, en el secado de ropa en lavadoras caseras y en el lavado y secado de diferentes tipos de cristales y materiales fibrosos.

En el Ingenio Azucarero del Norte la centrifugas son de Tipo Canasta y en especial la centrifuga A que es con la cual se va a trabajar para desarrollar este proyecto, sus partes se detallan a continuación como se puede ver en la figura y posee todas las características mencionadas anteriormente.

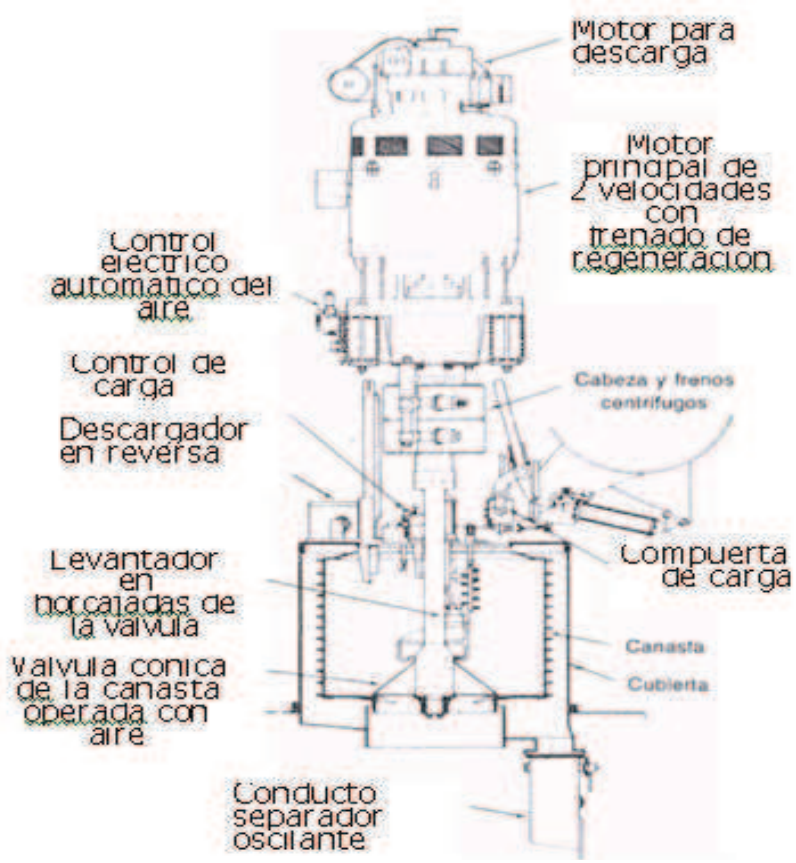


Figura 1-11: Esquema de la centrífuga suspendida tipo canasta

1.8.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN

Una vez que se ha obtenido un brix (porcentaje en peso de sólidos disueltos en una solución) adecuado en la cristalización (tachos) se procede a descargar los cristales de azúcar para su centrifugación y posteriormente su secado. Para ello es importante revisar el suministro de agua y comprobar que la temperatura de ésta sea superior a la ambiental, revisar el suministro de aire comprimido, revisar el estado de las mallas para prevenir posibles fugas.

La fuerza centrífuga relativa guarda relación con el número de revoluciones del rotor por minuto conforme a la fórmula:

FCR = 1,118 x 10-6 x r x n^2; en donde;

FCR = fuerza centrífuga relativa (g)

r = radio en milímetros desde el pivote de la centrifugadora hasta la punta de la canasta.

n = número de revoluciones por minuto

1.8.3 PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN

1.8.3.1 Encender el transportador y bombas de miel A y miel rica

Comprobar que estén encendidos el transportador de azúcar húmeda y las bombas de miel A y miel Rica.

1.8.3.2 Carga de la canasta

Presionar el botón de marcha. Bajar la bandeja y abrir la compuerta, se descarga la masa en la canasta, lavar la bandeja con agua caliente, una vez libre de masa subirla.

1.8.3.3 Lavado

El sistema automático de lavado dispersa agua en la masa, con el objetivo de lavar el grano. En las centrífugas que no dispongan de este aditamento se esparcirá agua con la ayuda de la manguera, hasta verificar que en la superficie no existan trazas de miel.

1.8.3.4 Descarga

Al terminar el ciclo y frenarse la rotación de la centrífuga se presionará el botón de parada. Una vez que se detenga totalmente se debe pulsar el botón para descarga. Con esto se eleva la campana, se baja el arado y rotando suavemente el tambor se cargará el azúcar al deslizador.

El proceso de centrifugación es controlado por cuatro operadores que se encargan de operar las centrífugas, dos de las cuales son manuales, una de ellas semiautomática y la otra que es automática, en cada una de ellas se vigila que su operación sea adecuada, siempre existe también el personal de producción que supervisa la operación del bloque de centrífugas y cualquier anomalía en una de

ellas es reportada en los informes de turno para pronosticar, y/o efectuar el mantenimiento o reparación según corresponda.

1.8.4 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE CENTRÍFUGACIÓN

El equipo con el que cuenta la etapa de centrifugación es el siguiente:

Tanques de mieles de las centrífugas.- Tipo: rectangulares. Características: Capacidad: 25 Hl c/u (1 miel A, 1 miel B, 1 miel rica)
Bombas para miel "A" y "B".- Tipo: Engrane; Capacidad: 15 m^3/hr.
Bomba miel rica.- Tipo: Centrífuga; Capacidad: 15m^3/hr.

Centrífugas para masa "A" Características: Diámetro del canasto: 1220mm a 1450 RPM; Altura del canasto: 760mm; Ciclos por hora: 25; Motor Asincrónico; Potencia: 90HP

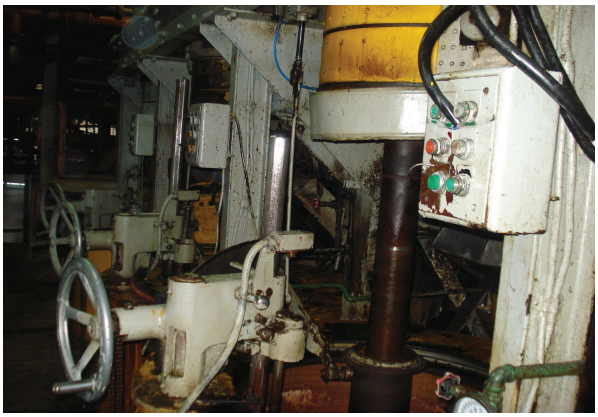


Figura 1-12: Centrífugas de masas A

1.9 SECADO

El secado se realiza mediante un secador rotatorio que es accionado manualmente por un operador, el cual controla el tiempo de secado y la humedad

que debe tener el azúcar; posteriormente pasa a otra sección del mismo equipo donde se produce un enfriado antes de enviarse el azúcar al silo de almacenamiento.

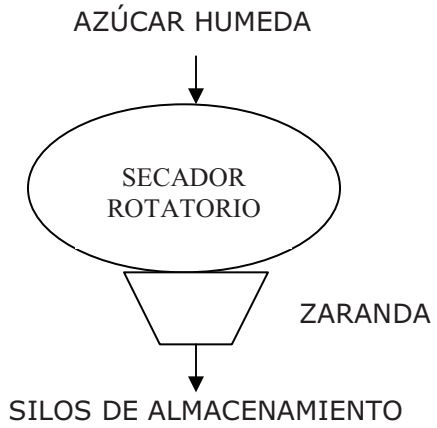


Figura 1-13: Esquema funcional de secado

1.9.1 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE SECADO

El procedimiento para el secado comienza por el elevador de azúcar húmedo tipo cangilones que lleva el azúcar proveniente de las centrífugas hacia el secador de tipo rotatorio.

Figura 1-14: Secador Rotatorio

Posteriormente se tiene el elevador de azúcar seca, el cual debe ser revisado para que no se encuentre obstruido por acumulación de azúcar y no presente algún daño mecánico.

1.10 EMPACADO

En esta etapa el azúcar es empacada desde la salida de los silos de almacenamiento, donde sale con la humedad y temperatura adecuada para ser envasada.

1.10.1 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE EMPACADO

1.10.1.1 Envasadora automática

Esta envasadora de alta precisión, utiliza fundas de papel con la debida rotulación según exige la norma INEN, dosifica los quintales de azúcar con 50Kg de contenido para su correspondiente distribución y comercialización.

1.10.1.2 Cosedora de Sacos

La cosedora de sacos de azúcar es de operación manual, de similar funcionamiento a las máquinas de coser domésticas.

1.10.1.3 Balanza

La capacidad de medición de la balanza es de 200kg, en esta balanza se controla el peso de los sacos periódicamente de manera que estos tengan el peso exacto de 50kg antes de ser enviados hasta la bodega para su posterior distribución y consumo.

1.10.1.4 Banda Transportadora

La banda transportadora que se mueve a una velocidad constante es la encargada de trasladar los sacos de azúcar desde la envasadora automática hacia la cosedora y luego hacia la bodega de almacenamiento.

Figura 1-15: Banda transportadora

1.10.2 ALMACENAMIENTO DEL PRODUCTO TERMINADO

Como la producción se expende a medida que se produce, el espacio de almacenamiento en bodega es limitado pero sin embargo suficiente.

Figura 1-16: Bodega de Almacenamiento

Luego de realizar el empacado del azúcar, los sacos son organizados en la bodega para finalmente ser distribuidos.

1.11 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El alcance de este proyecto está encaminado en función de la necesidad de la empresa por mejorar el desarrollo, funcionamiento y ejecución de algunos de los procesos de producción.

El proceso de centrifugación en el Ingenio Azucarero del Norte consiste en separar el azúcar de la miel, a cuya mezcla se conoce como “masa”. El proceso lo realiza manualmente un operador, por lo que existen ciertas alteraciones en el funcionamiento del proceso que lo hacen irregular y afectan a la calidad del producto final.

El proceso comienza con el lavado de la tela que recubre la canasta de la centrifugadora utilizando una manguera que es la misma que usa el operador para el lavado de la bandeja y de la masa; luego se procede a la descarga de la masa al interior de la centrifugadora, y se la realiza a través de un conducto conocido como carrete o bandeja, abriendo y cerrando una compuerta manualmente de acuerdo al nivel de llenado de la canasta de la centrifugadora, este control lo hace visualmente el operador; posteriormente se efectúa el lavado de la bandeja o carrete y cuando la centrifugadora a alcanzado su máxima velocidad se procede al lavado de la masa. Al mismo tiempo se realiza el cambio o separación de mieles mediante un mecanismo manual que separa el conducto de miel A del conducto de miel rica. Luego de transcurrir un tiempo de secado el operador aplica el freno de zapatas para reducir la velocidad de giro y poder ingresar el arado al interior de la centrifugadora; el arado es un componente mecánico que se encarga de desprender el azúcar de las paredes de la canasta para la descarga de azúcar. Al mismo tiempo se sube la campana o cono, que es la base de la centrifugadora, dejando así el espacio por donde se descargará el azúcar hacia un tornillo sin fin.

Finalmente cuando se ha vaciado la canasta se baja la campana o cono cubriendo la base de la centrifugadora para de esta manera dar inicio a otro ciclo de trabajo.

El proyecto consiste en automatizar el sistema, escogiendo, instalando y controlando accionamientos eléctricos o neumáticos para el lavado de la tela, la bandeja y la masa, la apertura y cierre de la compuerta de descarga de masa y de separación de mieles, la subida y bajada de la campana, la entrada y salida del arado; el encendido, cambio de velocidad y freno de la centrifugadora;

controlando los tiempos para las diferentes etapas del proceso, y midiendo el nivel del producto en el interior de la centrifugadora con un sensor que se seleccionará, instalará y acondicionará.
Los datos serán enviados a un PLC que manejará el proceso mediante un programa diseñado e implementado en el mismo.

Además se seleccionará, instalará, programará y realizará la comunicación con un HMI montado en el campo; en el cual se puedan visualizar los datos concernientes al proceso de centrifugación, para de esta manera monitorear el correcto funcionamiento del mismo.

1.12 TÉRMINOS USADOS EN LA FABRICACIÓN DEL AZÚCAR

BRIX.- Porcentaje en peso de sólidos disueltos en una solución.

Baume (Be).- Mide la cantidad de cal concentrada en una sustancia.

Bagazo.- Residuo que se obtiene después de moler la caña.

Bagacillo.- Es la fracción de partículas finas que son separadas del bagazo por una malla en el elevador inclinado de bagazo.

Cachaza.- Es el material, lodo o residuo que sale del clarificador y que es eliminado por el proceso de filtración.

Jugo Encalado.- Es el jugo que se obtiene después de la respectiva mezcla con la lechada de cal.

Jarabe.- Es el jugo clarificado que es concentrado en los cuerpos de evaporación.

Melaza.- Es el residuo líquido del cual no se extrae azúcar.

Pureza.- Es el porcentaje de sacarosa contenido en una muestra.

Miel.- Líquido madre que se separa de una masa cocida por medio de la centrifugación

CAPITULO II

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN

2.1 LA CENTRIFUGA EN LA INDUSTRIA DEL INGENIO AZUCARERO DEL NORTE

Las centrífugas se caracterizan por dos medidas principales:

1. El diámetro interior de la canasta.
2. La altura interior de la canasta.

La centrífuga utilizada en la industria azucarera tiene una canasta cilíndrica y mallas. El canasto cilíndrico de la centrífuga, que está suspendido de una flecha o "huso" tiene sus costados perforados y forrados de tela metálica; entre el forro y el costado hay láminas de metal que contienen de 62 a 93 perforaciones por cm^2.

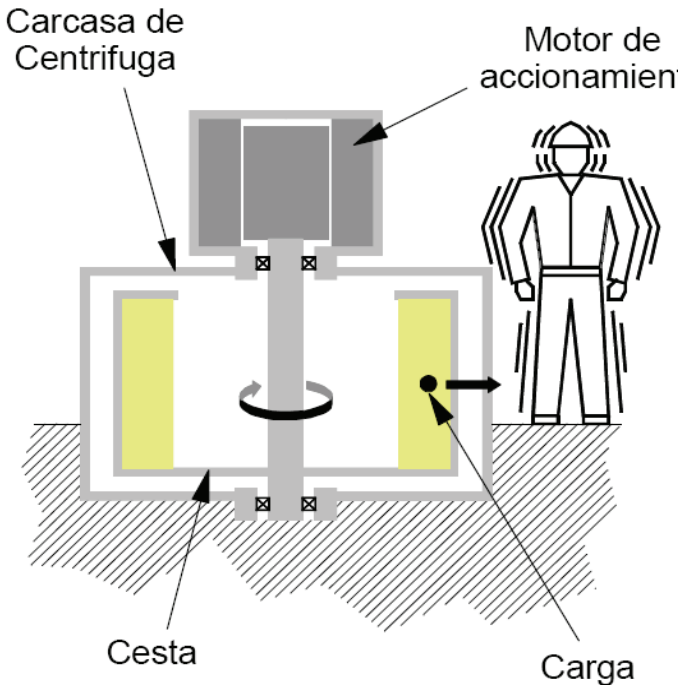


Figura 2-1: Esquema General de una Centrífuga

2.1.1 PARTES COMPONENTES DE LA CENTRIFUGA

2.1.1.1 La Canasta

Está diseñada para recibir la masa cocida por tratar y colocada en un eje vertical en cuyo extremo superior se encuentra el motor o la toma de fuerza que mueve a la máquina.

La canasta está perforada con numerosos orificios que permiten el paso de las mieles, los cuales son de 7mm de diámetro y están separados aproximadamente 22mm entre centros; además está provista de anillos circulares que resisten la fuerza centrífuga; la canasta está guarnecida con una malla de metal que retiene el azúcar y deja pasar las mieles.

Las canastas se construyen de mayor o menor grueso, de acuerdo con la fuerza centrífuga a la que estarán sujetas. Las que recibirán las tensiones mayores se fabrican de acero al Cr-Cu y los aros algunas veces de acero niquelado.

Figura 2-2: Canasta

La canasta está abierta en su parte superior para permitir la alimentación de la masa cocida y en el fondo para descargar el azúcar cuando la máquina se detiene.

La canasta está rodeada por una envoltura para recibir las mieles y para proteger al operador de las partes móviles. Esta envoltura tiene una abertura en la parte

superior que corresponde con la de la canasta y que puede cerrarse por medio de dos medias tapas provistas con una perforación a través de la cual pasa el eje.

2.1.1.2 La Campana

Cuando la máquina esta trabajando, es decir, durante la carga y secado, esta última salida permanece cerrada por un cono de lámina delgada llamada campana. La canasta está fija al eje por un cubo que ocupa la abertura del fondo, pero que deja espacio suficiente para la descarga del azúcar.

Figura 2-3: Campana

2.1.1.3 Las Mallas

La amplitud del esparcimiento no permite que la canasta esté guarnecida por una simple lámina perforada o una simple malla perforada: la mayor parte de las perforaciones caerían sobre la pared lisa de la canasta y no dejarían escapar las mieles. Por esta razón la canasta generalmente se provee de dos guarniciones diferentes:

a. Una malla de sostén que es una tela metálica ordinaria de alambre de bronce o de cobre de 1 a 1.5mm de diámetro, con aberturas de 5 a 10mm que sirve para separar la malla propiamente dicha de la pared de la canasta.
b. La malla propiamente dicha, diseñada para retener los cristales.

2.1.1.4 El Arado

En el Ingenio Azucarero del Norte la descarga del azúcar es realizada por un dispositivo mecánico llamado "arado", que es el que se ingresa al interior de la canasta para retirar el azúcar de las paredes de la misma.

Figura 2-4: Arado

2.1.2 TAMAÑO Y CAPACIDAD

Las canastas de las centrífugas modernas son de 48pulg (122cm) de diámetro y una altura de 30 ó 36pulg (76 ó 91cm), o bien de 54pulg (137cm) de diámetro y una altura de 40pulg (102cm). Las canastas de las máquinas modernas de alta velocidad giran a 1200, 1400 y aun a 2000rpm.

La introducción de las centrífugas con sistemas de descarga automático aumentan la producción, ya que tienen una capacidad de alrededor de 130 toneladas por máquina cada 24 h.

Las centrífugas de alta velocidad con control totalmente automático, dan un 50% de capacidad adicional y producen una mejor azúcar.

La centrifuga del Ingenio Azucarero del Norte que va a ser automatizada tiene un diámetro de 148 cm. y una altura de 76cm, una capacidad de 350 kg., y su canasta gira a una velocidad de hasta 1200rpm.

2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

Al iniciarse el movimiento de la centrífuga se lava la tela que recubre la canasta, luego cuando la velocidad se estabiliza se añade inmediatamente la masa (mezcla de azúcar con miel) abriendo la compuerta del mezclador, y la masa cocida se levanta dentro de la canasta debido a la fuerza centrífuga generada por la rotación de la misma. De este modo, la masa cocida se distribuye sobre el revestimiento perforado, las mieles son despedidas hacia la caja y los cristales son retenidos.

La centrifugación o purgado continúa hasta que los cristales de azúcar o grano queden lo más libre posible de mieles, después de lo cual los cristales pueden continuar siendo purgados de mieles mediante el rociado de la pared de azúcar con una cantidad conocida de agua.

Además del llenado, purgado y lavado, el ciclo incluye la descarga del azúcar, que se hace abriendo la base de descarga en el fondo de la centrífuga. Enseguida, el descargador, manual o automático, baja mientras la canasta gira lentamente y el azúcar cae en un transportador helicoidal situado en la parte inferior de las centrífugas.
El lavado no siempre se practica en la fabricación de azúcar crudo, pero en la producción de azúcares blancos es esencial.

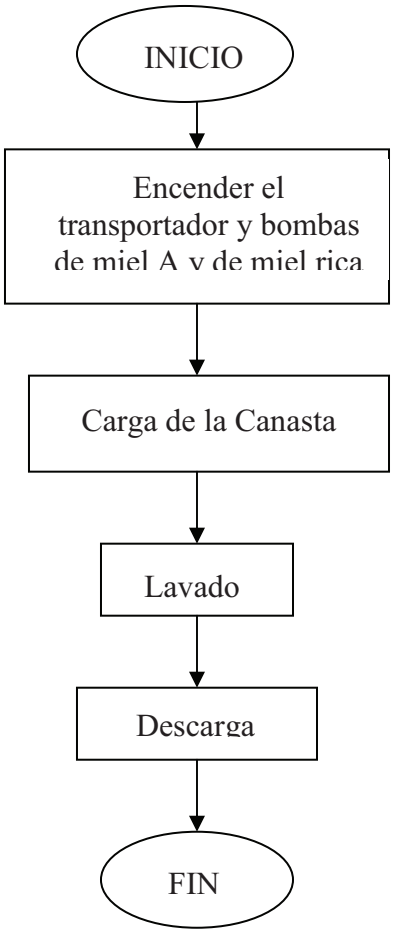


Figura 2-5: Diagrama de flujo del proceso de centrifugación

2.2.1 ALIMENTACION DE LA MASA COCIDA

Existen dos sistemas de alimentación: la alimentación lateral y la central. Las máquinas de alimentación central aumentan la capacidad y facilitan el manejo de masas cocidas frías, lo que permite concluir que el rendimiento de las centrífugas de alimentación central es cuando menos igual al de las de alimentación lateral, e incluso pueden manejar una mayor alimentación. La eliminación del anillo de abrazadera y la extensión de la campana de aceleración mejoran notablemente la distribución de la masa cocida.

La alimentación de la masa cocida en las centrifugas con las que se cuenta en el Ingenio Azucarero del Norte, es lateral, además no cuentan con el anillo de abrazadera lo que permite aumentar la capacidad de alimentación y mejorar la distribución de la masa dentro de la canasta.

2.2.2 PROCEDIMIENTOS DE LAVADO

La aplicación manual de agua se hace por medio de mangueras o con un tubo rociador fijo localizado dentro de la canasta., mismo que, con una operación cuidadosa, es aplicado uniformemente sobre el azúcar. Así mismo, han entrado en uso varios dispositivos de medida, algunos operados directamente por la presión de la tubería de agua. Algunos rociadores son oscilantes o móviles para evitar un lavado irregular y erosión en la pared de azúcar. La adición de agua en dos posiciones separadas con un intervalo de algunos segundos entre las aplicaciones fue una práctica bastante usual. Las instalaciones automáticas o semiautomáticas controlan la cantidad y los períodos de aplicación del agua determinando en forma precisa tanto el tiempo como la dirección de la aplicación de modo que el lavado sea uniforme. El lavado con agua caliente (82℃ o más) o sobrecalentada (110℃) a una presión de 50 lb/pulg^2 man., es común en el caso de las máquinas de alta velocidad. El lavado con agua sobrecalentada se recomienda para azúcares de baja pureza.

En el Ingenio Azucarero del Norte el lavado se lo realiza con agua caliente a 70ºC y a una presión aproximada de 20 psi.

2.2.3 LAVADO CON VAPOR

El lavado mediante la emisión de vapor saturado a la canasta consiste en agua y vapor combinados que son expulsados periódicamente a través de una tubería instalada en el interior de la canasta para el lavado de la mezcla.

En el Ingenio Azucarero del Norte, el lavado con vapor no se realiza debido a que no se cuenta con vapor seco, sino que este se condensa en la tubería en un corto intervalo de tiempo y es expulsado en forma de agua.

2.3 PROBLEMAS ACTUALES DE FUNCIONAMIENTO EN LA CENTRIFUGA

Es importante tener en cuenta que los problemas de funcionamiento de una máquina afectan directamente al rendimiento del proceso en el que ésta interviene, y consecuentemente a la producción; en este caso el azúcar de caña.
Debido a que la operación de la centrifuga se realiza en forma manual, existen ciertos desfases entre los ciclos de trabajo en las diferentes etapas del proceso; además de algunos defectos de funcionamiento en ciertos dispositivos de operación.
A continuación se mencionan los problemas más relevantes en el funcionamiento actual de la centrifuga:

- Existe una caída de masa en los tanques de miel rica y miel A a través de sus conductos cuando se levanta la bandeja de descarga de masa una vez terminada la misma; esto produce un deterioro en la calidad del azúcar.

- El tiempo de duración de cada etapa del proceso cambia en cada ciclo de trabajo, por lo que el proceso se vuelve irregular; en unos casos excediendo el período de trabajo diminuyendo la producción, y en otros casos acortando el período afectando a la calidad del producto.

- El lavado de la masa es irregular así como el secado del azúcar, esto provoca una variación en la uniformidad del grano de azúcar alterando su calidad.

- No existe un cambio de mieles, por lo que no se realiza una distribución estricta de las mismas en sus respectivos tanques receptores, afectando directamente a la pureza del azúcar producido.

Por estas razones se decidió automatizar la centrifugadora, con el fin de solucionar y superar los inconvenientes de operación y los problemas de funcionamiento, logrando de esta manera mejorar la producción.

2.3.1 MODIFICACIONES Y ADAPTACIONES MECÁNICAS REALIZADAS EN LA CENTRIFUGA

Debido a que el estado en el que se encontraba la centrifugadora no era el apropiado para implementar la automatización, fue necesario realizar algunos cambios en la estructura mecánica de la misma, estos cambios se traducen en modificaciones que colaboran con el propósito de automatizar el equipo.
A continuación se citan las diferentes adecuaciones que se desarrollaron:

- Se construyó e instaló el conducto para la descarga de la masa de azúcar.
- Se instalaron las tuberías para el lavado de la tela, la masa y el conducto de descarga de la masa de azúcar.
- Se construyó el apalpador o sensor de nivel de carga utilizando los elementos disponibles en la empresa.
- Se hicieron adecuaciones en la estructura de la centrifugadora para el montaje del arado y sus elementos de accionamiento.
- Se realizaron adaptaciones a la estructura de la centrifugadora para el montaje del apalpador, los aspersores de agua, los accionamientos neumáticos y los diferentes sensores de control del proceso.

2.4 SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE LA CENTRIFUGA

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

2.4.1 ANÁLISIS Y ESTUDIO DEL PROCEDIMIENTO DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN

Consiste en determinar los mecanismos que se van a utilizar para que el equipo que es operado manualmente, opere automáticamente; es decir, bajo que

condiciones de trabajo y de que manera se va a realizar el control de los parámetros y variables que intervienen en este proceso.

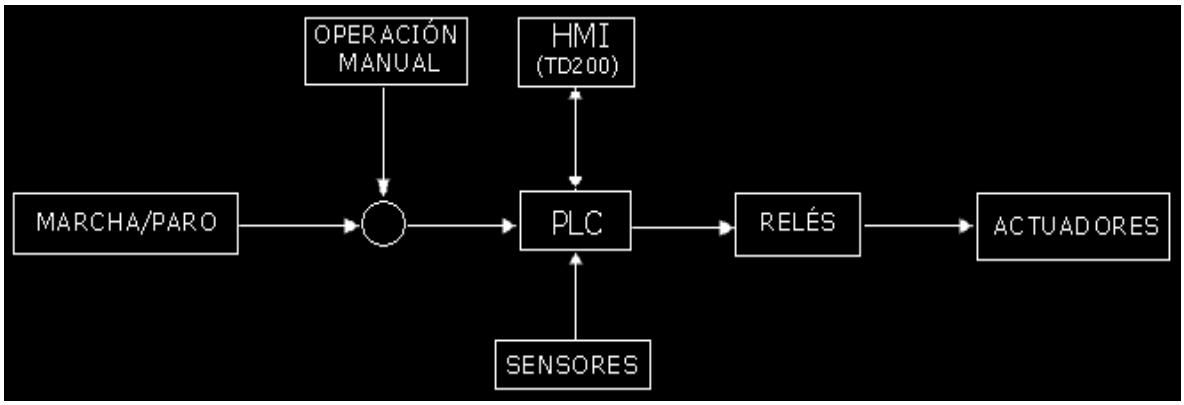


Figura 2-6: Diagrama de bloques del modelo de funcionamiento del sistema.

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

2.4.1.2 Encendido de la centrifuga y lavado de la tela.

Para el encendido de la centrifuga se da un pulso inicial a través del cual se acciona un contactor ya existente, el mismo que energiza el motor para iniciar su movimiento.

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

2.4.1.3 Descargado de la masa y lavado de la bandeja.

El descargado de la masa en el interior de la centrifuga se lo realizará a través de un conducto llamado carrete o bandeja de descarga, utilizando un actuador neumático y un actuador neumático, el mismo que realizará la apertura y cierre de la compuerta que permite el paso de la masa.

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

2.4.1.4 Lavado de la masa y cambio de mieles

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

También se requerirá de una electroválvula y un cilindro neumático para accionamiento de la compuerta de separación de fluidos para poder realizar el cambio de mieles.
Es importante aclarar también que en esta etapa del proceso antes de realizar el lavado de la masa, se realiza un cambio de velocidad en el giro de la centrifuga; éste cambio se efectúa utilizando contactores de accionamiento, sistema que fue modificado debido a las características del motor utilizado.

2.4.1.5 Frenado de la centrifuga y descarga del azúcar.

El frenado de la centrifuga se lo realiza magnéticamente, primero desconectando el contactor de máxima velocidad y posteriormente conectando el de velocidad reversa. Además cuenta con un frenado neumático mediante zapatas, el cual es

activado manualmente a través de una electroválvula que acciona un cilindro neumático en casos emergentes.

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

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

2.5 VARIABLES FÍSICAS DE CONTROL DEL EQUIPO

2.5.1 LA VELOCIDAD

La velocidad y el diámetro son los factores que determinan la fuerza centrífuga, es decir, la fuerza necesaria para eliminar las mieles durante la centrifugación. Si una centrífuga trabaja a una velocidad más alta que otra, ambas idénticas y centrifugando la misma masa cocida, la máquina que trabaja a una velocidad mayor terminará su secado antes que la otra, sin embargo la velocidad de operación no es el único factor importante en el curso de la centrifugación.
Las otras fases del proceso ocupan una parte sustancial del ciclo de operación.

2.5.2 EL TIEMPO

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

- La viscosidad de las mieles, es decir, de su temperatura, densidad y pureza.
- El tamaño y la regularidad de los cristales.
- La rapidez de aceleración de la máquina, es decir, el tiempo necesario para alcanzar la velocidad de operación.
- La fuerza centrífuga desarrollada a la velocidad de operación, y en menor medida:
- La rapidez de freno y de descarga.

2.5.3 EL NIVEL

La capacidad de trabajo o la producción de azúcar de una centrífuga, depende también del contenido de la canasta en volumen de masa cocida; la cual puede expresarse en volumen de masa cocida o en peso de azúcar.
El volumen de masa cocida depende principalmente del: área de la tela de la centrífuga y del grueso de la capa de masa cocida, es decir del nivel de masa que se encuentra en la canasta de la centrifuga.

2.5.4 LA POTENCIA

En las centrífugas hay dos potencias que deben considerarse:

a. La potencia del arranque o potencia necesaria durante el período de aceleración.
b. Potencia durante la operación.

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

Las telas de la centrífuga deben limpiarse con vapor, por lo menos una vez al día, para remover los cristales que se alojan en las perforaciones. Algunas veces la tela de las centrífugas se rompe o se desgarra, por lo que debe revisarse frecuentemente, para ser reparada o reemplazada inmediatamente, la fuga de cristales puede deberse también a un espacio excesivo entre la tela y la parte superior de la canasta, o a defectos en la canasta o en la tela, para evitar este accidente se fabrican anillos "retenedores" o “bandas".

2.6 INSTRUMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL

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

2.6.1 SENSORES

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

2.6.1.1 Sensor Inductivo

Los sensores inductivos son aquellos que sirven para detectar materiales metálicos ferrosos y contienen bobinas enrolladas en núcleo de ferrita, estas

pueden ser blindadas y la distancia de sensado es menor que los sensores con bobinas no blindadas.

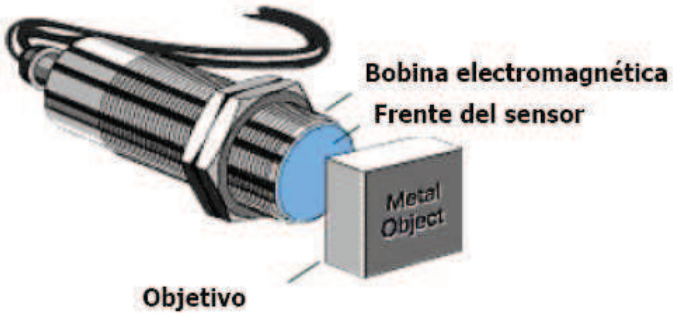


Figura 2-7: Sensor inductivo y objetivo metálico

2.6.1.1.1 Partes componentes

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

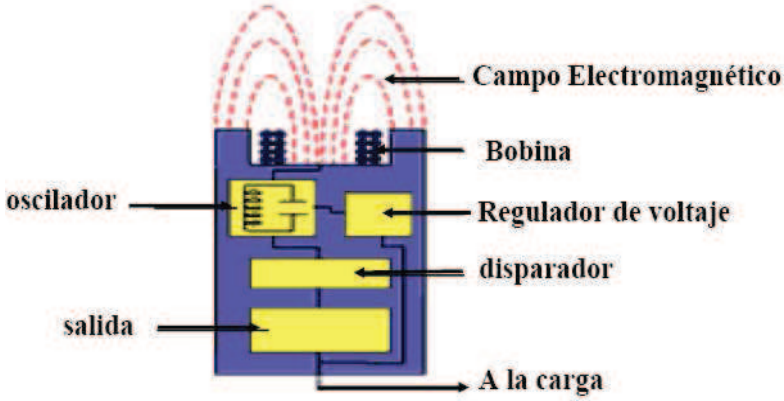


Figura 2-8: Partes componentes del sensor inductivo

2.6.1.1.2 Principio de funcionamiento

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

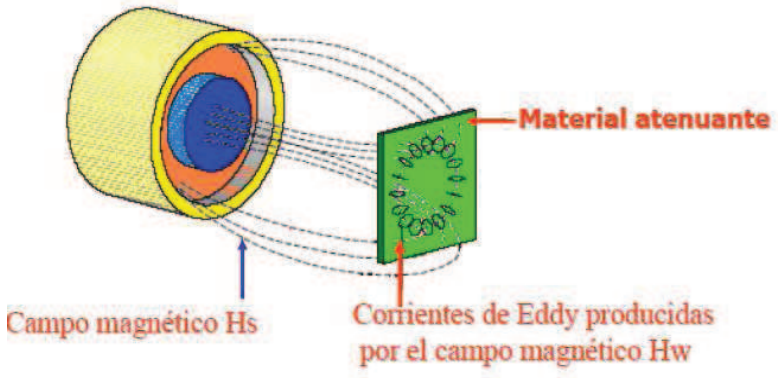


Figura 2-9: Principio de funcionamiento del sensor inductivo

2.6.1.2 Apalpador

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

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

Figura 2-10: Apalpador o sensor de nivel de carga

2.6.2 PLC SIMATIC S7-200

Este PLC es el SIMATIC S7-200, el mismo que presenta las siguientes características:

- CPU 224 con memoria de programa de 12288 bytes.
- 14 Entradas y 10 Salidas integradas Digitales Analógicas.
- Entradas a 24 Vdc y Salidas a relé.
- Puertos de comunicación RS-485.
- Capacidad de ampliación hasta 7 módulos.

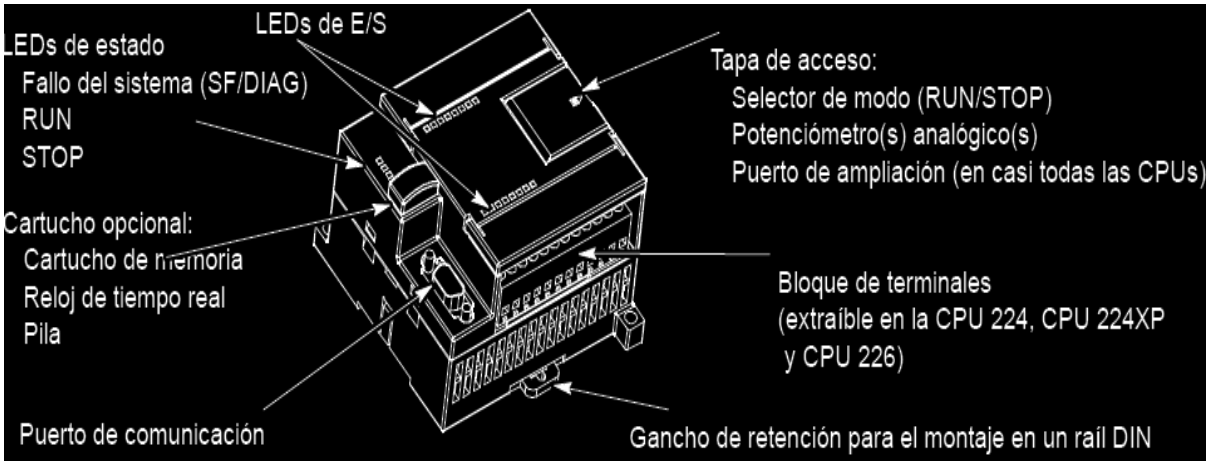


Figura 2-11: Micro-PLC S7-200

2.6.2.1 Características generales de la CPU 224

La CPU 224 posee muchas funciones de las cuales se mencionan algunas de las más importantes como: edición en modo RUN, panel de autosintonización PID, asistente de registro de datos, temporizadores de intervalos (BITIM, CITIM), direccionamiento indirecto soportado en más tipos de memoria, incremento automático del bloque de datos, entradas y salidas analógicas integradas y dos puertos de comunicación.

Función	CPU 224
Memoria del programa con edición en runtime sin edición en runtime	8192 bytes 12288 bytes
Memoria de datos	8192 bytes
E/S integradas Digitales Analógicas	14 E/10 S
Contadores rápidos Fase simple Dos fases	6 a 30 kHz 4 a 20 kHz
Salidas de impulsos (c.c.)	2 a 20 kHz
Reloj de tiempo real	Incorporado
Puertos de comunicación	1 RS-485
Dimensiones físicas (mm)	120,5 x 80 x 62

Tabla 2-1: Características de la CPU 224

2.6.2.2 Módulo de ampliación de salidas digitales

Para contar con las salidas requeridas en este proyecto fue necesario utilizar el módulo EM 222 que es un módulo de ampliación de 8 salidas digitales a relé.

Figura 2-12: Modulo de ampliación EM222

2.6.2.3 Especificaciones técnicas del módulo de ampliación

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

Nombre y descripción de la CPU	Nº de referencia	Salidas digitales	Disipación
EM 222 8 salidas digitales x relé.	6ES7 222-1HF22-0XA0	8 x relé-10A	2 W

Tabla 2-2: Especificaciones técnicas del módulo de ampliación EM 222

2.6.3 VISUALIZADOR DE TEXTOS TD200

El visualizador de textos TD200 tiene un panel de control que consta de algunos componentes que se muestran en la siguiente figura.

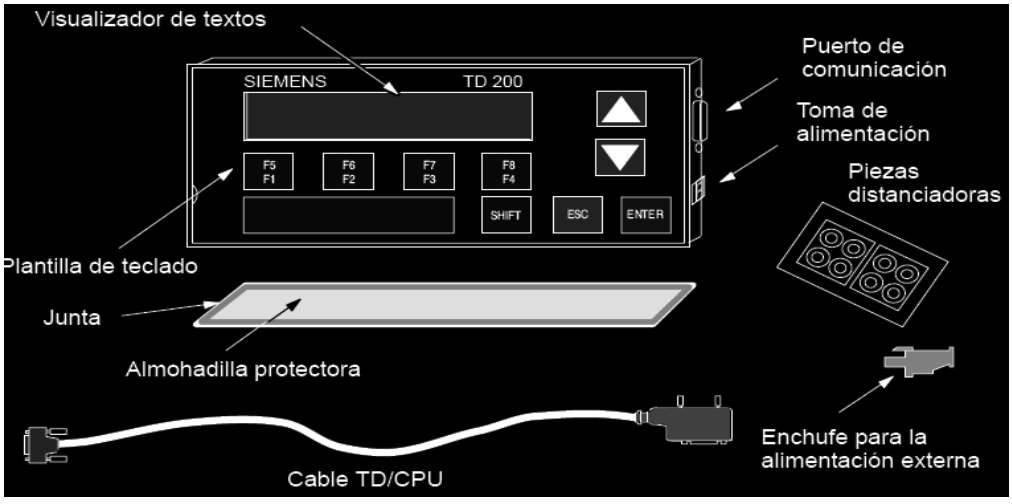


Figura 2-13: Principales componentes del TD200

A continuación se muestran las funciones de cada una de las nueve teclas, cinco de las cuales son teclas de comando estándar y las restantes cuatro teclas pueden ser definidas por el usuario.

Teclas de comando	Descripción
ENTER	Para escribir datos nuevos o confirmar los mensajes.
ESC	Para conmutar entre el modo de visualización de mensajes y el modo de menú, o bien para cancelar una edición.
FLECHA ARRIBA	Para incrementar datos y desplazar el cursor al siguiente mensaje de prioridad superior.
FLECHA ABAJO	Para decrementar datos y desplazar el cursor al siguiente mensaje de prioridad inferior.
SHIFT	Para modular el valor de todas las teclas de función. Cuando se pulsa la tecla SHIFT aparece una “S” parpadeante en la esquina derecha inferior del display.

Tabla 2-3: Descripción de las teclas de comando

Teclas de función	Descripción
F1	La tecla de función F1 activa la marca Mx.0. Si pulsa la tecla SHIFT antes o al mismo tiempo de pulsar la tecla F1, se activa la marca Mx.4.
F2	La tecla de función F2 activa la marca Mx.1. Si pulsa la tecla SHIFT antes o al mismo tiempo de pulsar la tecla F2, se activa la marca Mx.5.
F3	La tecla de función F3 activa la marca Mx.2. Si pulsa la tecla SHIFT antes o al mismo tiempo de pulsar la tecla F3, se activa la marca Mx.6.
F4	La tecla de función F4 activa la marca Mx.3. Si pulsa la tecla SHIFT antes o al mismo tiempo de pulsar la tecla F4, se activa la marca Mx.7.

Tabla 2-4: Descripción de las teclas de función

2.7 SELECCIÓN E INSTALACIÓN DE LOS ACTUADORES

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

2.7.1 CILINDROS NEUMATICOS

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

En el Ingenio Azucarero del Norte se trabaja con cilindros neumáticos cuyas características varían según la aplicación; para este proyecto se trabajará con cilindros neumáticos de las siguientes características:

- Ranuras dobles para la detección de posiciones en 3 lados del cilindro.
- Anillos elásticos en las posiciones finales para absorber la energía residual en caso de movimientos muy rápidos y ciclos muy cortos.

Figura 2-14: Cilindro Neumático DNC-32-125-PPV-A

2.7.2 ELECTROVÁLVULAS

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

En el Ingenio Azucarero del Norte se trabaja con electroválvulas cuyas características varían según la aplicación; para este proyecto se trabajará con electro válvulas de las siguientes características:

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

Figura 2-15: Electroválvula CPE18-M1H-5L-1/4”

2.7.3 ELECTROVÁVULAS SOLENOIDES

Las electroválvulas de solenoide se utilizarán dentro del proceso de centrifugación para activar y desactivar la emisión de agua para el lavado de la bandeja por donde se descarga la masa, activar y desactivar la emisión de agua para el lavado de la tela que recubre la canasta y activar y desactivar la emisión de agua para el lavado de la masa.

Las electroválvulas de solenoide por lo general se utilizan en casos en donde la válvula se mantiene cerrada por la acción de un muelle y en donde el solenoide la abre venciendo la fuerza del muelle.
En algunas electroválvulas el solenoide actúa directamente sobre la válvula proporcionando toda la energía necesaria para su movimiento.
Es común seleccionar las electroválvulas dependiendo de los requerimientos de la aplicación tomando en cuenta las siguientes características:

- La fuente de alimentación eléctrica.
- La magnitud de la presión a la cual va a trabajar.
- El diámetro de la salida de aire para el accionamiento neumático.
- El tipo de substancia con la que se va a trabajar.

Figura 2-16: Electroválvula Solenoide.

2.7.4 ACTUADOR NEUMÁTICO

Los actuadores neumáticos pueden clasificarse en diferentes tipos dependiendo de su principio de funcionamiento y son empleados para múltiples aplicaciones en diversas industrias.

El actuador que se empleará en este proceso específicamente para habilitar y bloquear el paso de la masa de azúcar, es decir como compuerta de descarga es tipo mariposa con tapa giratoria a 90º o de de ½ vuelta, de 8” de diámetro.

Figura 2-17: Actuador neumático tipo mariposa

2.7.5 MOTOR DE ACCIONAMIENTO

En las fábricas modernas, generalmente se instalan centrífugas con motores eléctricos individuales, debido a que son menos susceptibles a la pérdida de tiempo, ya que en caso de descompostura, sólo una unidad queda fuera de servicio.

La mano de obra, el mantenimiento y ciertos materiales tales como bandas se reducen. Las máquinas de impulsión directa por motor eléctrico permiten el control manual, semiautomático o totalmente automático, dependiendo de las condiciones locales de la fuerza de trabajo.

Las instalaciones modernas totalmente automáticas no requieren personal para operación sino solamente de supervisión y están reemplazando rápidamente a los antiguos métodos en las modernas fábricas, refinerías y procesadoras de azúcar.

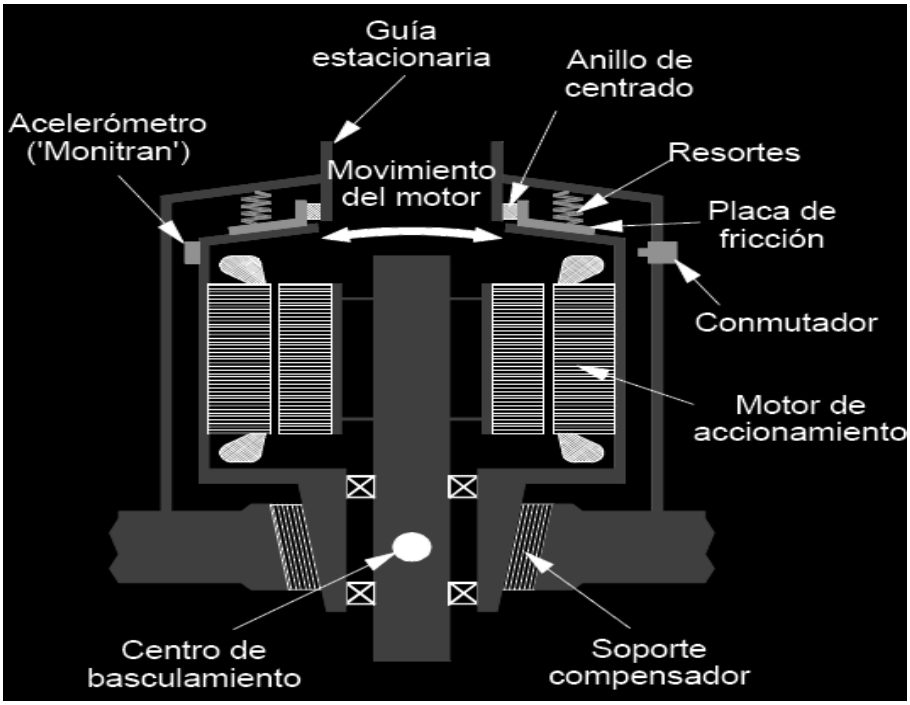


Figura 2-18: Estructura de un Motor Eléctrico usado en Centrifugas.

2.7.5.1 Especificaciones técnicas del motor

El motor utilizado para la centrifuga A en el Ingenio Azucarero del Norte es un motor de cuatro velocidades y para poder realizar la automatización del sistema es necesario hacer uso de estas en diferentes tiempos y etapas del proceso.

Figura 2-19: Motor de accionamiento

Las especificaciones técnicas del motor son las siguientes:

Marca del Motor	Potencia [HP]	Voltaje [V]	Frecuencia [Hz]	Velocidad [RPM]
MAUSA	90	380	60	60/600/1200/reversa

Tabla 2-5: Especificaciones técnicas del motor

2.7.5.2 Arranque y cambio de velocidad

El arranque de este motor es directo y se lo realiza a través de un contactor al igual que cada cambio de velocidad, incluso la velocidad reversa que actúa como freno magnético. Para esto se cuenta con elementos de protección que impiden que el calor producido por los transitorios de corriente produzca daños en el motor o deterioro de sus componentes.

2.8 DISPOSITIVOS DE CONEXIÓN PARA LA COMUNICACIÓN

2.8.1 SELECCIÓN DEL CABLE DE RED

Existen dos tipos de cable de red:

a) Cable de comunicación sin alimentación.
b) Cable de comunicación con alimentación.

Para nuestra aplicación es necesario utilizar el cable de comunicación con alimentación, debido a que no se cuenta con una fuente de 24Vdc independiente para energizar al TD200.

2.8.1.1 Cable de comunicación con alimentación

El TD 200 se comunica con la CPU S7-200 a través del cable TD/CPU y se alimenta desde la CPU a través del mismo cable cuando la distancia entre el TD 200 y la CPU S7-200 es inferior a 2,5 metros.
Debido a que se necesita conectar el TD 200 a la CPU con un cable de longitud mayor a 2,5 m, se debe utilizar componentes PROFIBUS.
El puerto de comunicación de la CPU S7-200 es compatible con el estándar RS-485 vía un conector D de 9 pines, conforme al estándar PROFIBUS definido en la norma europea EN 50170.

Por esta razón se utilizará cable de par trenzado con los siguientes datos técnicos.

Datos técnicos	Descripción
Tipo de cable	Apantallado, con par trenzado
Resistencia de bucle	$\leq$115 Ω/km
Capacidad efectiva	30 pF/m
Impedancia nominal	135 Ω a 160 Ω (frecuencia = 3 MHz a 20 MHz)
Atenuación	0,9 dB/100 m (frecuencia = 200 kHz)
Sección del alma del cable	0,3 mm^2 a 0,5mm^2
Diámetro del cable	8 mm±0,5 mm

Tabla 2-6: Datos técnicos de un cable de comunicación con alimentación

2.8.2 CONECTOR DE ENLACE FÍSICO

Debido a que se desea que el TD 200 sea alimentado desde una CPU S7-200, es necesario utilizar el conector que ofrece el enlace físico para el puerto de comunicación.

A continuación se indican las asignaciones de pines del cable TD/CPU de alimentación para el TD 200.

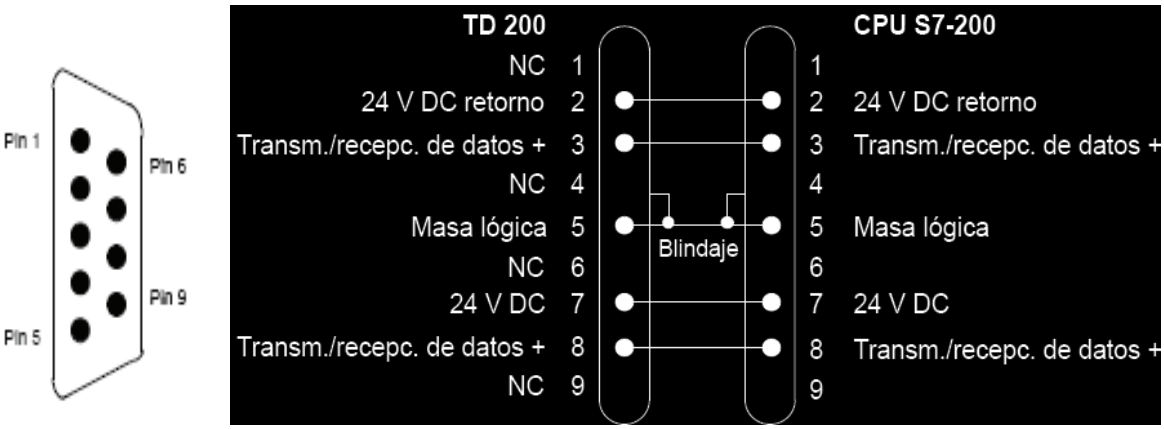


Figura 2-20: Asignación de pines del puerto de comunicación con alimentación del S7-200 y el TD 200

2.9 CIRCUITOS DE CONTROL Y FUERZA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA.

Una parte fundamental de la automatización es la implementación del hardware, ésta es la parte física del diseño o la parte ejecutora del cerebro que es el programa de control. Para esto es necesario determinar que elementos se requieren y como estos deben conectarse entre si para lograr el correcto funcionamiento del sistema.

2.9.1 CIRCUITO DE FUERZA PARA EL MOTOR DE LA CENTRIFUGA

Las conexiones que energizan al motor desde las líneas de alimentación ya se encontraban realizadas, incluidas sus protecciones.

- L1, L2, L3: Líneas de alimentación al motor (línea trifásica).
- CB: Contactor de seccionamiento.
- Contactor 1200rpm, Contactor 600rpm, Contactor 60rpm, Contactor reversa: Protecciones térmicas a sobrecargas.

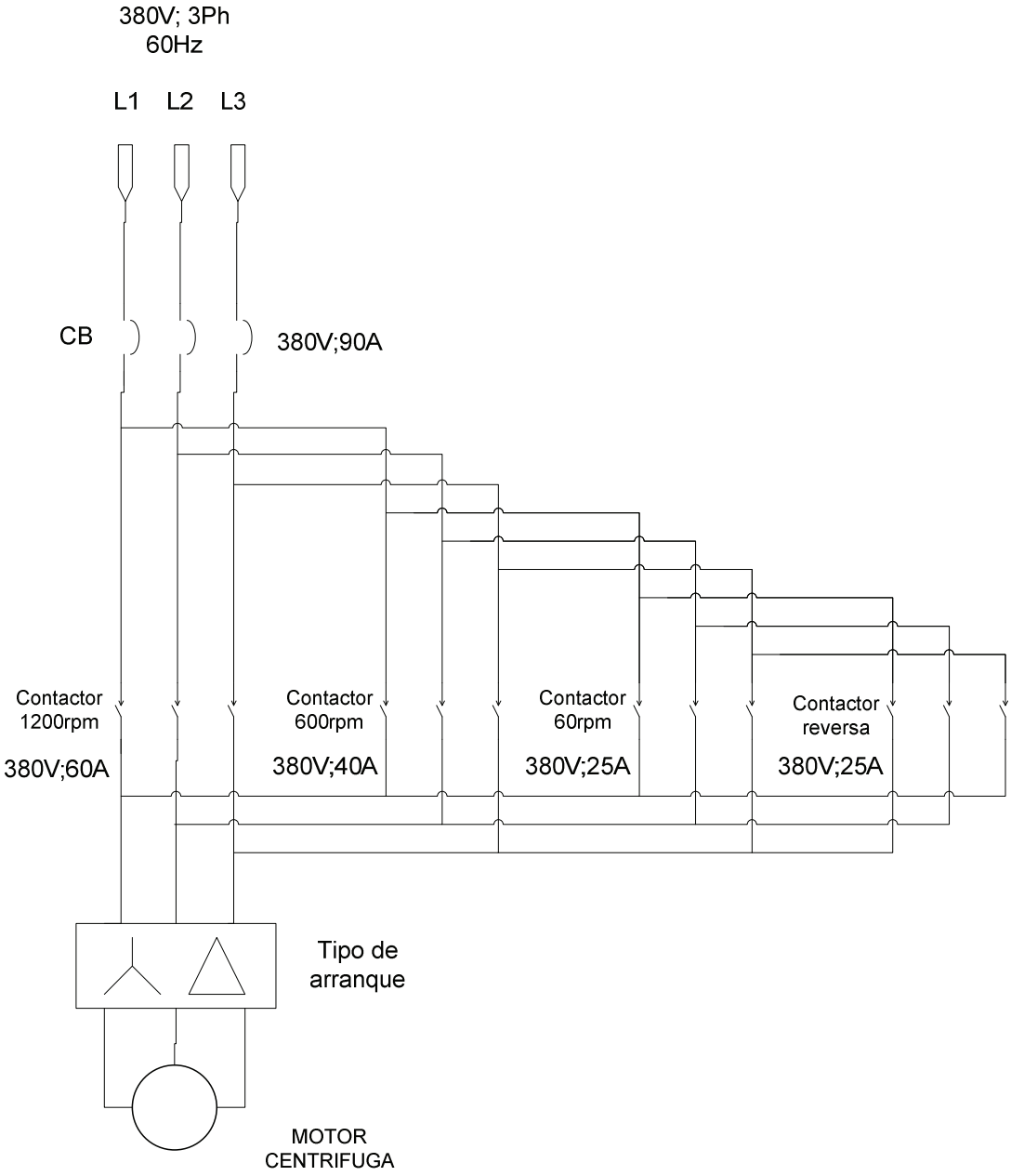


Figura 2-21: Diagrama de fuerza.

2.9.2 CIRCUITO DE CONTROL DESDE EL PLC SIMATIC S7-200 PARA EL MANDO DEL MOTOR

Tomando en cuenta que todas las salidas desde el PLC son a relé, el motor debe ser accionado a través de uno de 24Vdc a 110Vac, tanto para baja velocidad (60rpm), media (600rpm), alta (1200rpm) y velocidad reversa.

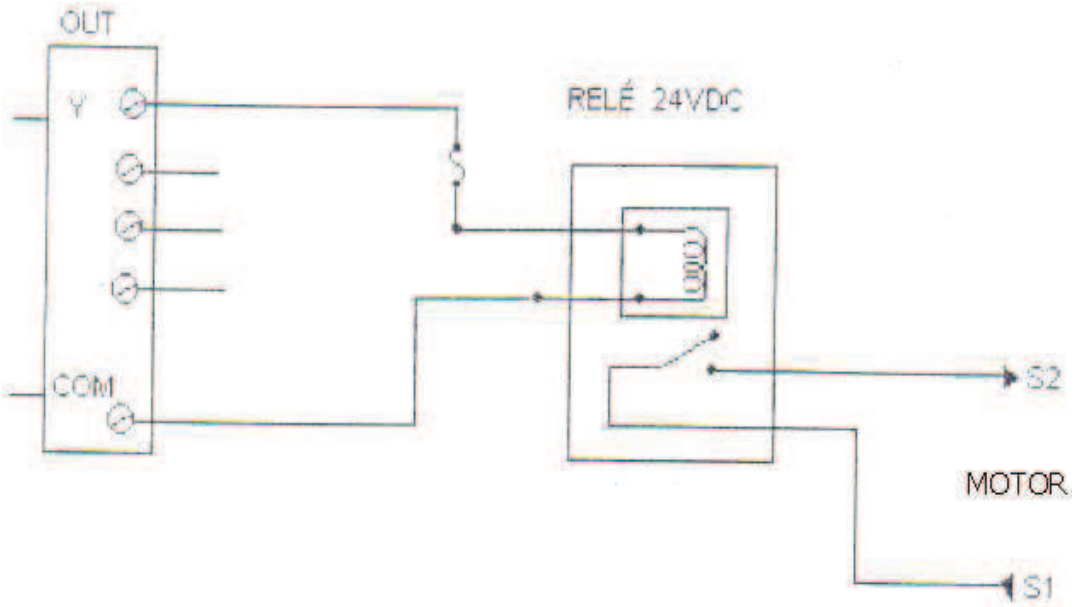


Figura 2-22: Diagrama de control desde el PLC.

2.9.3 CONEXIÓN DE LAS ENTRADAS AL PLC SIMATIC S7-200 PARA EL CONTROL DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.

Estas conexiones son de mucha importancia para alcanzar el óptimo funcionamiento del sistema, ya que las entradas son las portadoras de la señal que permite al PLC tomar las acciones correspondientes activando o desactivando las salidas según el programa de control.

El SIMATIC S7-200 posee 14 entradas digitales y cuya distribución se muestra a continuación en la figura.

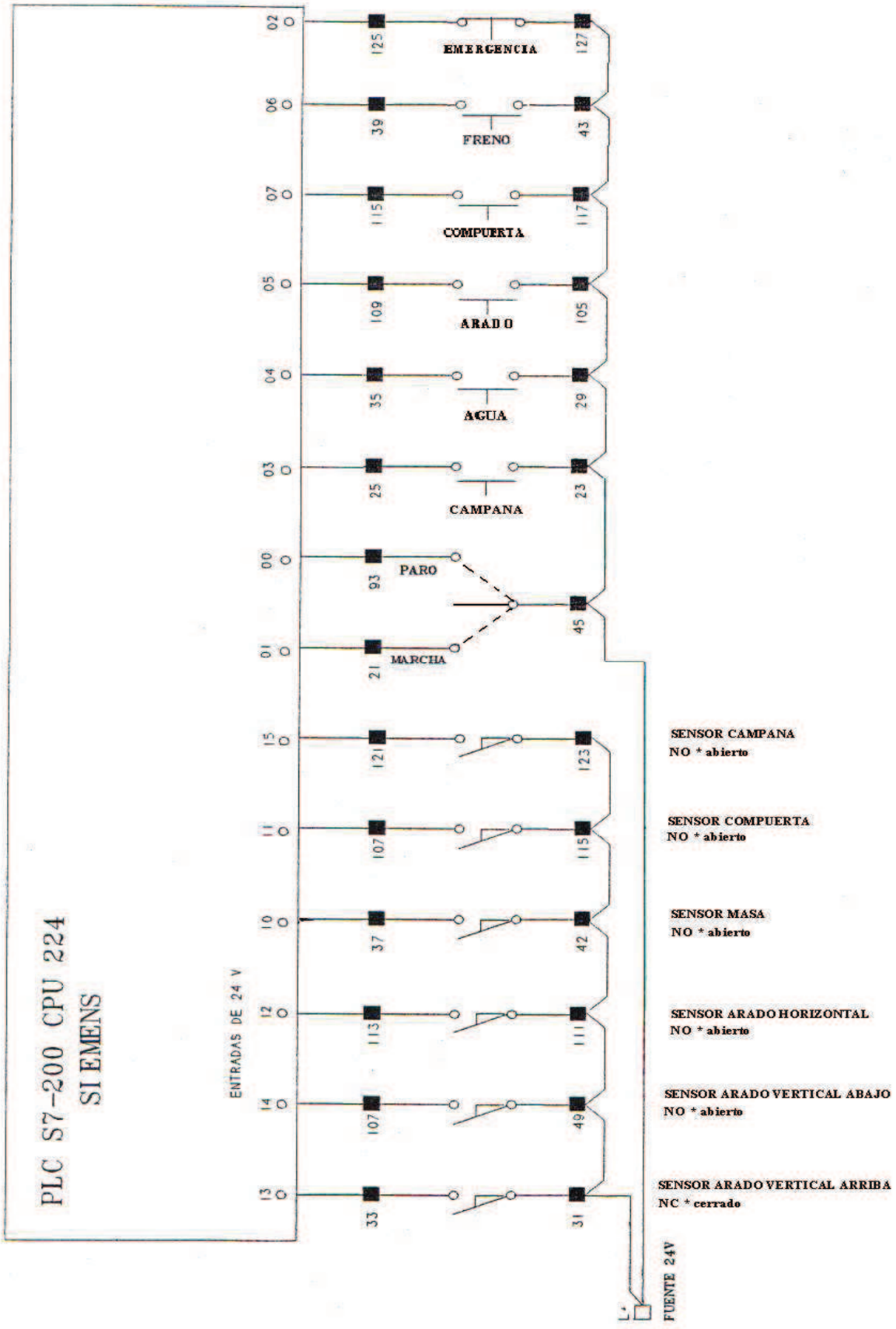


Figura 2-23: Conexión de entradas al PLC S7-200

2.9.4 CONEXIÓN DE LAS SALIDAS DESDE EL PLC SIMATIC S7-200 PARA EL CONTROL DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.

La conexión de las salidas desde el PLC hacia los elementos finales de control es decisiva al momento de automatizar un proceso, ya que la activación de cada una de las estas implica el accionamiento de un actuador, el mismo que desempeña una función especifica dentro del proceso y en este proyecto en particular; ya sea abriendo o cerrando una válvula, activando o desactivando un cilindro neumático, etc.

Es importante tomar en cuenta que el PLC SIMATIC S7-200 posee salidas digitales a relé, lo que significa que el accionamiento de los elementos de control se efectúa a través de estos, y en algunos casos es necesario contar con otros dispositivos de accionamientos como por ejemplo dispositivos electroneumáticos.

El SIMATIC S7-200 cuenta con 10 salidas digitales a relé, sin embargo para conseguir la automatización de este sistema de centrifugación se requieren 12 salidas digitales a relé, por lo que fue necesario incrementar un modulo de ampliación de salidas al PLC ya existente.
A continuación se muestra en la figura la conexión de las salidas y su distribución.

- CPT 380/120V: Transformador reductor de voltaje.
- CB1: Contactor de seccionamiento 1.
- CB2: Contactor de seccionamiento 2.
- CB3: Contactor de seccionamiento 3.
- CB4: Contactor de seccionamiento 4.

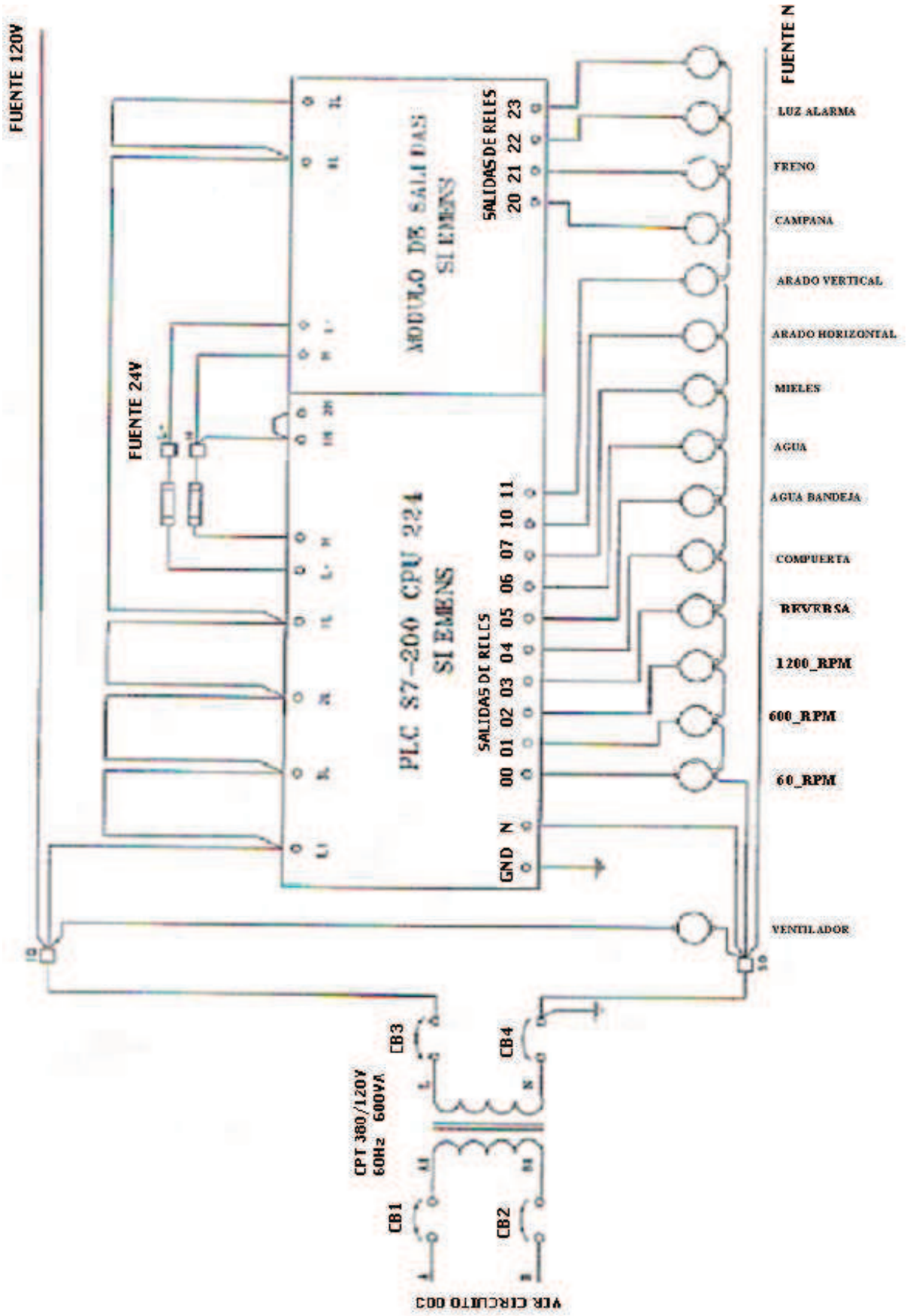


Figura 2-24: Conexión de salidas desde el PLC S7-200

2.10 DISEÑO Y ELABORACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL

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

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

2.10.1 DISEÑO DEL DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA EL TABLERO PRINCIPAL DE CONTROL

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

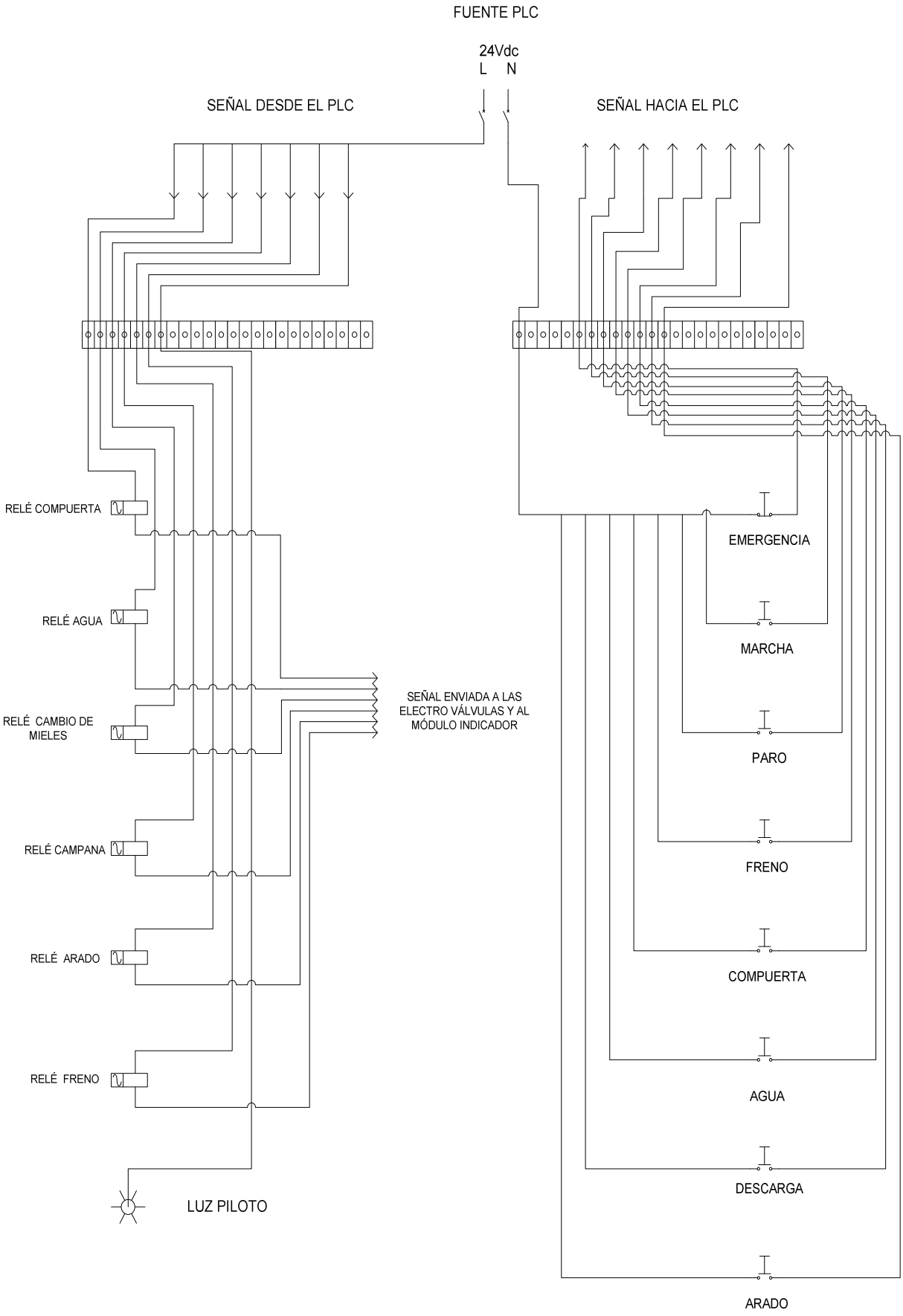
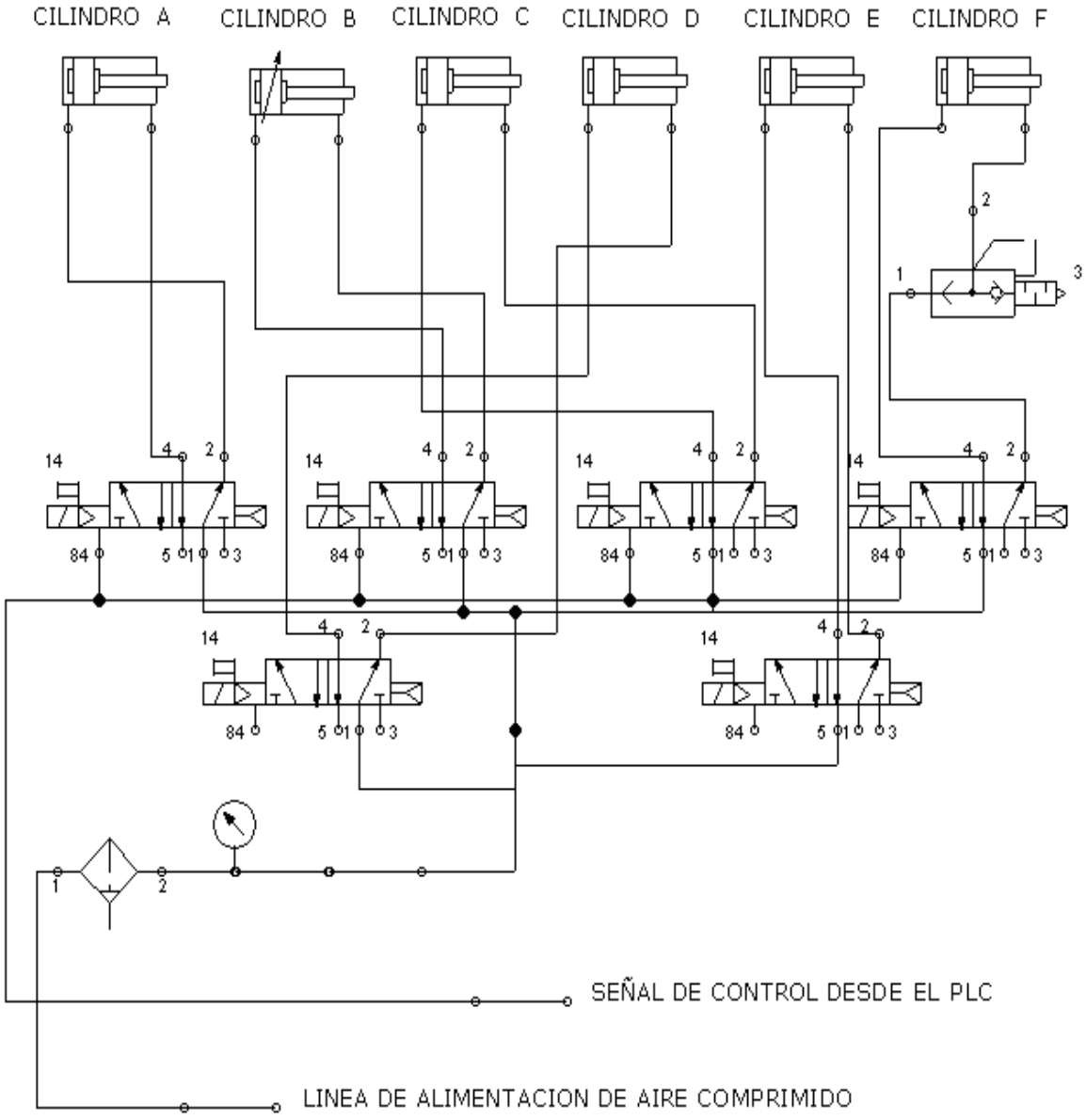


Figura 2-25: Diagrama de conexiones para el tablero principal

2.10.2 DISEÑO DEL DIAGRAMA DE CONEXIONES ELECTRONEUMÁTICO

Para accionar algunos de los actuadores que intervienen en el proceso se hace uso de la energía neumática, por esta razón será necesario construir un módulo de accionamiento neumático.

En este caso, se contará con seis electroválvulas de dos posiciones-cinco vías, una unidad de mantenimiento y una línea de alimentación neumática.



CILINDRO A : Acciona la descarga de masa

CILINDRO B : Acciona el retorno del apalpador o sensor de carga

CILINDRO C : Acciona el freno de zapatas

CILINDRO D : Acciona el arado horizontal

CILINDRO E : Acciona el arado vertical

CILINDRO F : Acciona la campana o cono

Figura 2-26: Diagrama de conexiones del circuito electroneumático.

CAPITULO III

DISEÑO Y DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CONTROL

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA CENTRIFUGA

El programa desarrollado en el PLC cumplirá las siguientes funciones:

- Se manejará la apertura y cierre de la compuerta, que permite la descarga del producto (azúcar y miel) a la canasta de la centrifugadora, mediante un accionamiento neumático.

- Se controlará la velocidad de la centrifugadora por tiempo para permitir la separación del azúcar y la miel.

- Se manejará automáticamente la emisión de agua al interior de la canasta, para el lavado del producto (azúcar y miel), permitiendo el paso del agua mediante una electroválvula que será seleccionada e instalada; controlando tiempos de activación.

- Se controlará el tiempo de funcionamiento de la centrifugadora para permitir el secado del azúcar.

- Se activará el freno a la centrifugadora, accionado de manera eléctrica para bajar paulatinamente la velocidad, para lo cual se manejarán tiempos. Una vez que la velocidad se ha reducido, después de un tiempo establecido, se activará otro mecanismo neumático, con el fin de subir la campana para permitir la caída del azúcar.

- Se controlará un mecanismo neumático para meter el arado durante un tiempo establecido, con el fin de separar el azúcar de las paredes de la canasta. Una vez vaciada la canasta se activará el mismo mecanismo utilizado para meter el arado, con el fin de sacar el mismo.

Cuando haya transcurrido el tiempo de vaciado de la canasta, se activará el mecanismo neumático implementado para la subida de la campana, con el fin de bajar la misma para tapar la base de la canasta.

- Se manejará la emisión de agua al interior de la canasta, para el lavado de la tela que recubre la canasta, controlando tiempos de activación.

- Se manejará la emisión de agua para el lavado del conducto llamado carrete por donde se descarga el producto a la canasta de la centrifugadora, controlando tiempos de activación.

- Se manejará la apertura y cierre de otra compuerta, que realiza la separación de las mieles obtenidas antes y después del lavado, mediante un accionamiento neumático.

- Se configurarán los parámetros para la comunicación del PLC con un HMI desarrollado.
  Se enviarán los datos de diferentes etapas del proceso, magnitudes, tiempos, estados, desde el PLC hacia el HMI seleccionado.

El programa de control fue desarrollado utilizando el software STEP 7-Micro/WIN, el mismo que sirve para configurar los parámetros del visualizador de textos TD200 y para desarrollar su programa de control.

El programa principal contiene a su vez un programa para el visualizador de textos TD200; en la primera parte se realiza el control de funcionamiento del proceso y en la siguiente el control de funcionamiento del visualizador; pero previamente es necesario configurar parámetros como el idioma, el juego de caracteres, etc. Estos parámetros se los configura desde el “Asistente del TD200”, el mismo que se encuentra dentro del software STEP 7-Micro/WIN.

Para entender con claridad la configuración de los parámetros para el visualizador de textos se estudiarán detalladamente los pasos a seguir en el desarrollo de esta capitulo.

Para describir el desarrollo y elaboración del programa de control es necesario construir un diagrama de flujo en el cual se expliquen en forma general los pasos y la secuencia seguida, con el fin de comprender la lógica utilizada y tener una idea global del programa.

A continuación se muestra el diagrama de flujo mencionado, con el procedimiento a seguir para establecer las condiciones de operación.

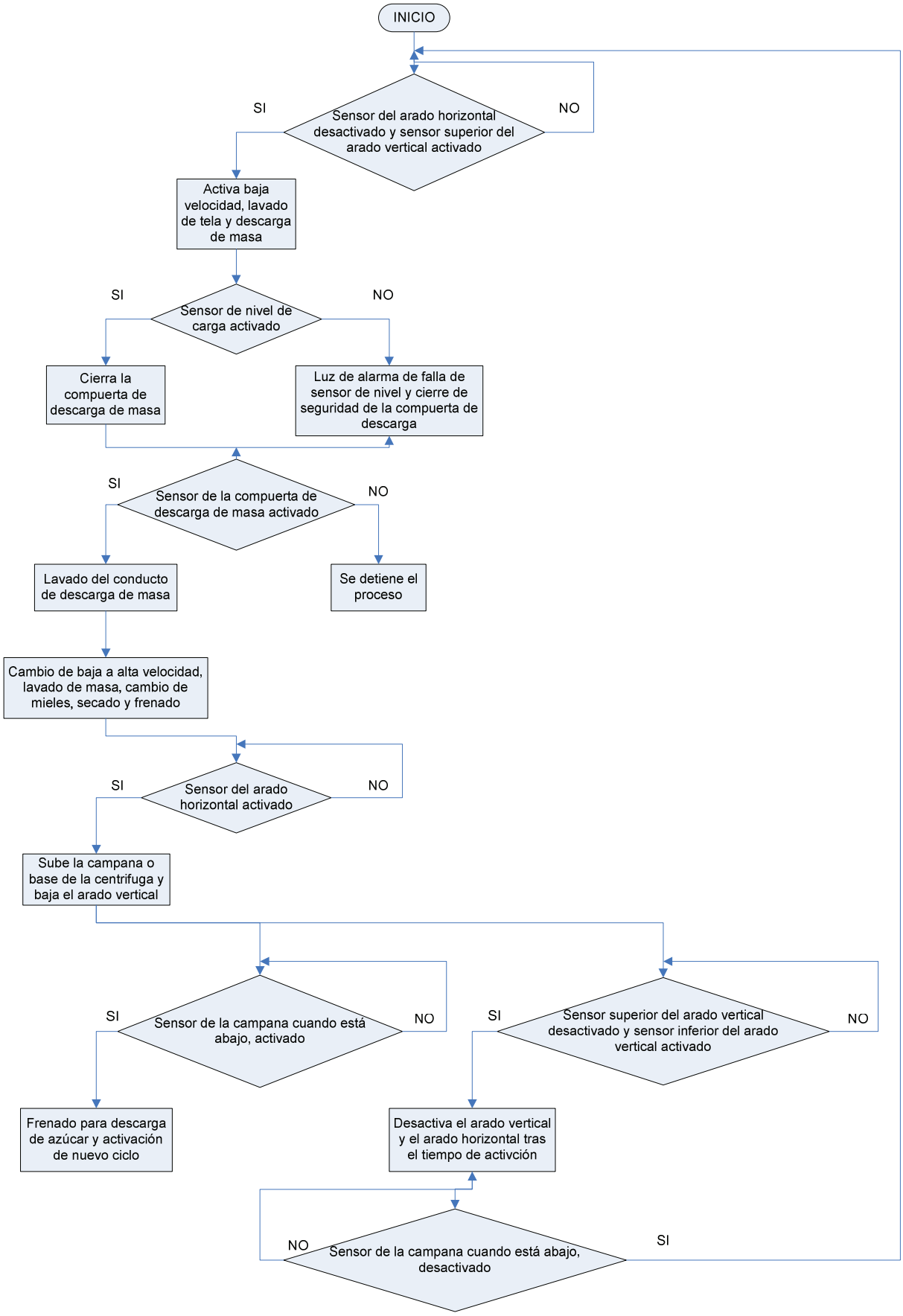


Figura 3-1: Diagrama de flujo del programa de control

3.1.1 CONTROL AUTOMÁTICO DE LA CENTRIFUGADORA

El tipo de control implementado es un control automático con corrección manual de fallas, es decir que si alguno de los subprocesos presentara algún defecto cuando el proceso está en marcha, estos podrán ser manejados por el operador sin alterar la continuidad de operación de la máquina y el funcionamiento de los demás subprocesos.

Al arrancar la centrifuga se acciona por defecto el control automático; de manera que el accionamiento manual de los actuadores será solamente en casos de acción correctiva o emergente. Esto se realiza con el fin de evitar al máximo la intervención de los operadores en el desarrollo del proceso, conservando así el concepto de automatización y logrando el objetivo de automatizar la centrifuga.

A continuación se muestran las líneas más importantes del programa de control, con el fin de explicar la lógica del programa y el orden en el que se desarrolla el proceso en la forma más concreta y clara posible.

Las líneas de programa que se citan en esta parte, son aquellas en las que se activan las salidas que accionan a los elementos finales de control, y para entender la nomenclatura o simbología utilizada en los contactos auxiliares, temporizadores, entradas y salidas se muestra a continuación el listado de sus significados:

Símbolo	Dirección	Comentario
PBparo	I0.0	Pulsador para detener la centrifuga
PBmarcha	I0.1	Pulsador para iniciar ciclo
PBemergencia	I0.2	Pulsador de paro de emergencia
PBcompuerta	I0.7	Pulsador para abrir/cerrar compuerta
PBagua	I0.4	Pulsador para abrir/cerrar agua de lavado de tela
PBarado	I0.5	Pulsador para activar/desac. arado
PBcampana	I0.3	Pulsador para abrir/cerrar campana
LSmasa	I1.0	Sensor apalpador
ZScompuerta	I1.1	Sensor compuerta cerrada
ZSarado_horiz	I1.2	Sensor arado horizontal activado
ZSarado_vert_arriba	I1.3	Sensor arado vertical arriba
ZSarado_vert_abajo	I1.4	Sensor arado vertical abajo
ZScampana	I1.5	Sensor campana cerrada

Símbolo	Dirección	Comentario
C_60	Q0.0	Contactor 60rpm
C_600	Q0.2	Contactor 600rpm
C_1200	Q0.3	Contactor 1200rpm
C_rev	Q0.1	Contactor reversa
EVcompuerta	Q0.4	Electrovalvula para la compuerta
EVagua_bandeja	Q0.5	Electrovalvula para el agua de bandeja
EVagua	Q0.6	Electrovalvula para el agua de tela
EVmieles	Q0.7	Electrovalvula para el cambio de mieles
EVarado_horiz	Q1.0	Electrovalvula para el arado horizontal
EVarado_vert	Q1.1	Electrovalvula para el arado vertical
EVcampana	Q2.0	Electrovalvula para la campana
EVfreno	Q2.1	Electrovalvula para el freno mecanico
Luz_piloto	Q2.2	Activa luz de alerta del estado del apalpador
Liberado	M1.0	Marca de condiciones de los sensores
Arranque	M1.1	Marca de condicions de arranque
Fcambio	M1.2	Marca para cambio de velocidad
Fdescarga	M1.3	Marca para activar la descarga de azucar
Fsobrecarga	M1.4	Marca para viso de sobrecarga
Fnuevo	M1.5	Marca para activar un nuevo ciclo
Flavado	M1.6	Marca para el lavado de tela
Fcerrar	M1.7	Marca para terminar el lavado de la bandeja
Fciclo	M2.0	Marca de inicio de ciclo
Apalpador	M2.1	Marca de señal del apalpador
Nivel	M2.2	Marca auxiliar del apalpador
Alarma	M2.3	Marca que avisa fallo de apalpador
Fstandby	M2.4	Marca de apertura de la compuerta
Fact_cambio	M2.5	Marca que activa el cambio de velocidad
Fcampana	M2.6	Marca de descarga de azucar
Fin_arado	M2.7	Marca que desactiva la electrovalvula para meter el arado
Farado_abajo	M3.0	Marca que avisa que el arado vertical ha bajado
Llenado	M3.1	Marca auxiliar del apalpador
Factiva_60	M3.2	Marca que activa el contacto de 60rpm

Símbolo	Dirección	Comentario
Fabre_rev	M3.3	Marca que desactiva la velocidad en reversa
Fsube_arado	M3.4	Marca que desactiva el arado vertical
Aux_led	M3.5	Marca auxiliar del led intermitente
Abre_mensaje	M3.6	Desconecta la señal para el mensaje
TDapagada	M3.7	Muestra en el TD apagada
Alerta_1	M4.0	Apaga la maquina ante falla de sensor de compuerta y nivel
Alerta_2	M4.1	Apaga la maquina ante falla de sensor de compuerta
Alerta_3	M4.2	Apaga la maquina cuando el sensor de nivel no entra
Fabre_60	M4.3	Marca que desactiva la velocidad en 60rpm
Factiva_rev	M4.4	Marca que activa la velocidad reversa
Fdesc_600	M4.5	Marca que activa la velocidad de 600 para descarga
Fin_campana	M4.7	Marca que desactiva la campana para que baje
Fpulso_3	M4.6	Marca que activa el pulso de 600rpm
Fpulso_2	M5.0	Marca que activa el pulso de 600rpm
Fpulso_4	M5.1	Marca que activa el pulso de 600rpm
Fpulso_5	M5.2	Marca que activa el pulso de 600rpm
Alerta	M5.3	Marca que se activa ante las alarmas
Tcambio	T101	Tiempo para cambiar la velocidad
Ttela_on	T102	Tiempo de espera para empezar el lavado de la tela
Ttela_off	T103	Tiempo de lavado de la tela
Tcerrar1	T110	Tiempo de seguridad para cerrar el carrete
Tcerrar2	T111	Tiempo maximo despues de abrir la compuerta totalmente
Tfin_ciclo	T112	Tiempo de fin de ciclo
Tagua_on	T107	Tiempo de inicio de inyeccion de agua
Tagua_off	T108	Tiempo de fin de inyeccion de agua
T_600rpm	T109	Tiempo de seguridad para 600rpm
Tbandeja_off	T104	Tiempo de lavado de la bandeja
T_1200rpm	T105	Tiempo de seguridad para 1200rpm
Tact_mieles	T106	Tiempo de cambio de mieles de rica a tipo A
Tmieles	T113	Tiempo para separacion de mieles luego de inyectar agua
Tsobrecarga	T114	Tiempo de proteccion cuando la compuerta no se cierra
Tfreno_e	T115	Tiempo de inicio de frenado electrico

		Tfreno_mag	T116	Tiempo de frenado magnetico
		Tpv	T117	Tiempo de inicio de poca velocidad
		Trev	T118	Tiempo para activar velocidad reversa
		Tdescarga	T119	Tiempo de espera para activar la descarga
		T_60rpm	T120	Tiempo de seguridad para 60rpm
		Tarado_vert	T121	Tiempo que permanece abajo el arado vertical
		Tespera	T122	Tiempo de espera para que el sensor de nivel se apague
		Tabre_rev	T123	Tiempo de aplicacion de la velocidad reversa
		Tabre_60	T124	Tiempo de activacion de 60rpm
		Tpulso_1	T125	Tiempo que activa pulso de 600rpm
		Tpulso_2	T126	Tiempo que activa pulso de 600rpm
		Tfin_pulso_2	T127	Tiempo que desactiva pulso de 600rpm
		Tact_compuerta	T128	Tiempo de seguridad para abrir la compuerta
		Tpulso_3	T129	Tiempo que activa pulso de 600rpm
		Tfin_pulso_3	T130	Tiempo que desactiva pulso de 600rpm
		Tpulso_4	T131	Tiempo que activa pulso de 600rpm
		Tfin_pulso_4	T132	Tiempo que desactiva pulso de 600rpm
		Tpulso_5	T133	Tiempo que activa pulso de 600rpm
		Tfin_pulso_5	T134	Tiempo que desactiva pulso de 600rpm
		Led	SM0.5	Luz intermitente

Figura 3-2: Tabla de símbolos del programa de control

3.1.1.1 Puesta en marcha y arranque en baja velocidad.

La centrifugadora arranca cuando el operador coloca el selector en la posición “marcha”, de esta manera se acciona la salida para baja velocidad y así el motor empieza a girar a 600rpm; esto para el primer ciclo de trabajo. A partir del segundo ciclo el sistema funciona automáticamente y no es necesaria la intervención del operador.

Para que esta acción se ejecute es necesario cumplir con ciertas condiciones de funcionamiento como: el arado horizontal debe estar afuera y el arado vertical arriba, además el proceso de descarga debe haber concluido en su totalidad.

Además el proceso puede ser detenido al presionar paro o emergencia o bien tener alarma de sobrecarga.

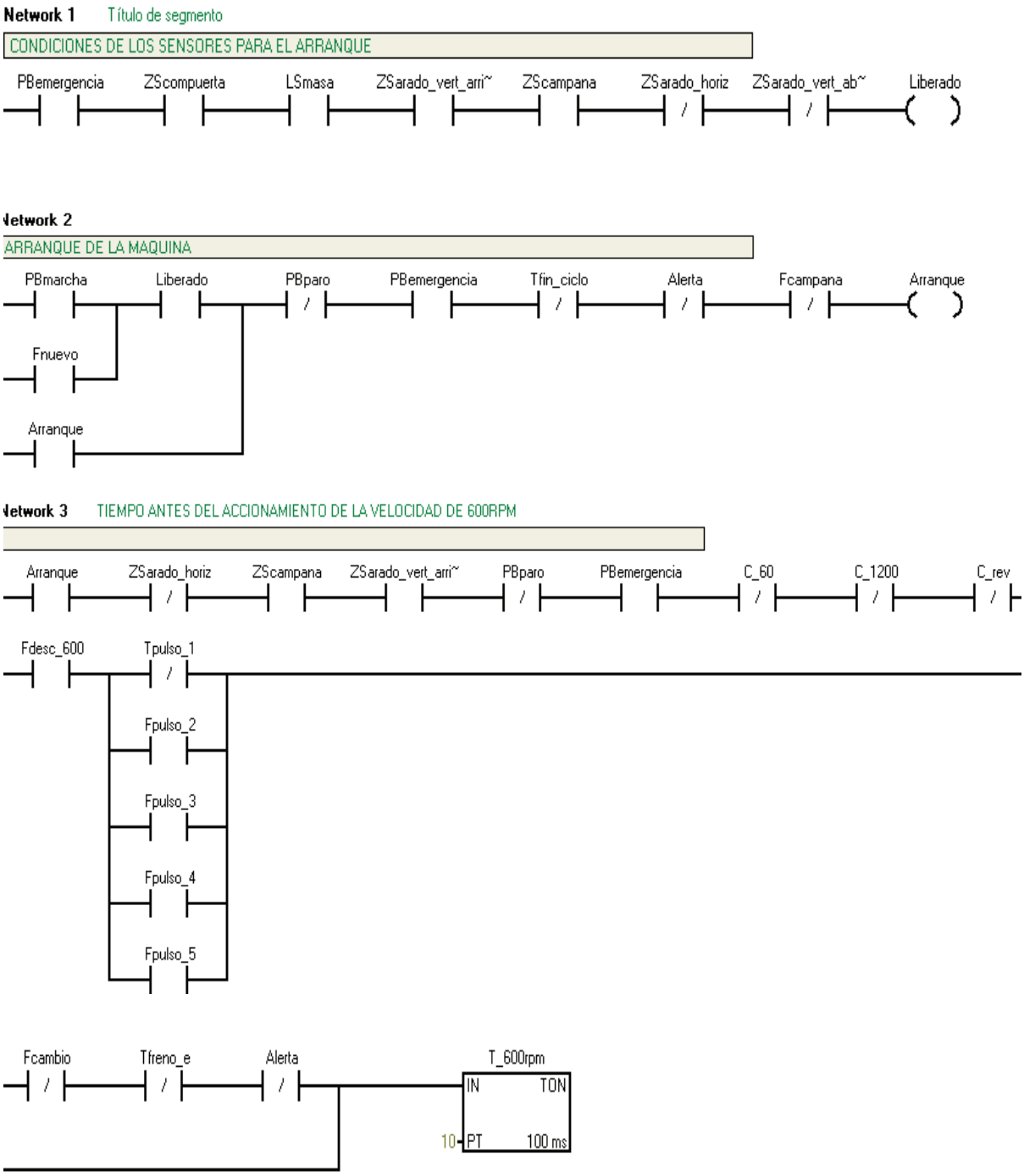


Figura 3-3: Puesta en marcha y arranque en baja velocidad

3.1.1.2 Lavado de tela y descarga de la masa en la canasta.

El lavado de la tela se lo realiza cuando se inicia el ciclo de trabajo y a baja velocidad. Una vez concluido el lavado se procede a cargar la canasta de la centrifuga con la masa que va a ser procesada.

Es necesario aclarar que la electroválvula que se activa para el lavado de la tela es la misma que se activa para el lavado de la masa, ya que se comparte la misma instalación para los dos objetivos.

Estas acciones se ejecutan bajo las siguientes condiciones de funcionamiento; para el lavado de la tela: La centrifuga debe estar girando a baja velocidad, con la canasta vacía y la campana abajo o con la base tapada; para la descarga de la masa en la canasta: debe haber concluido el lavado de tela además de las condiciones anteriores. Además de la opción de activarlo manualmente cuando el operador considere necesario.

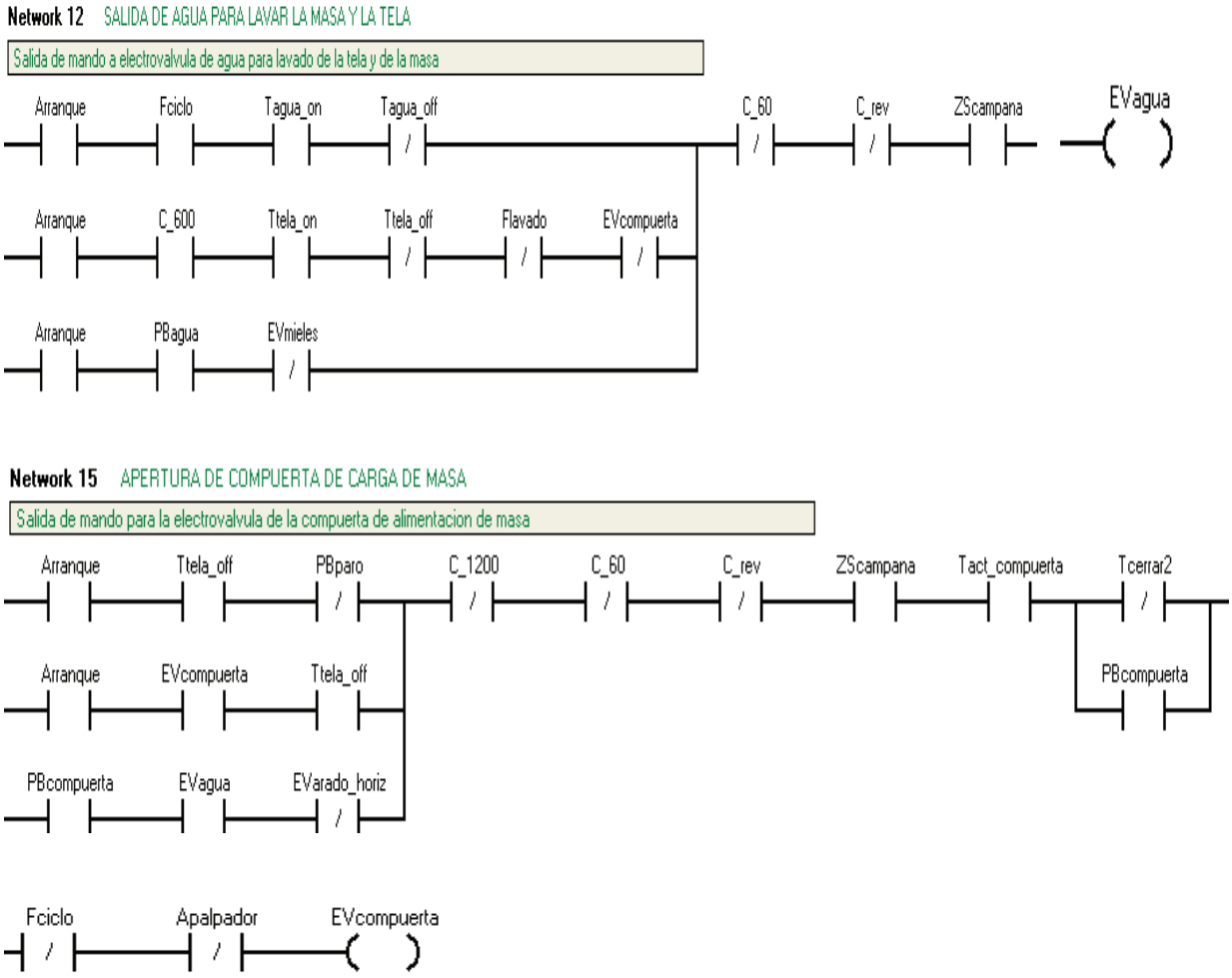


Figura 3-4: Activación de lavado de tela y de la compuerta de carga de masa.

3.1.1.3 Lavado del conducto de descarga de masa y cambio de velocidad.

El lavado del conducto se realiza una vez terminada la descarga de masa cuando la centrifuga gira a baja velocidad, concluido este lavado se realiza el cambio de velocidad de baja a alta, es decir de 600rpm a 1200rpm.

Para la activación de estas salidas es necesario cumplir con las siguientes condiciones de operación; para el lavado del conducto de descarga: es necesario que la descarga de masa haya terminado, en caso de ocurrir una sobrecarga el proceso se detendrá inmediatamente; para el cambio de velocidad: es necesario que la descarga de masa haya concluido al igual que el lavado del conducto de descarga.

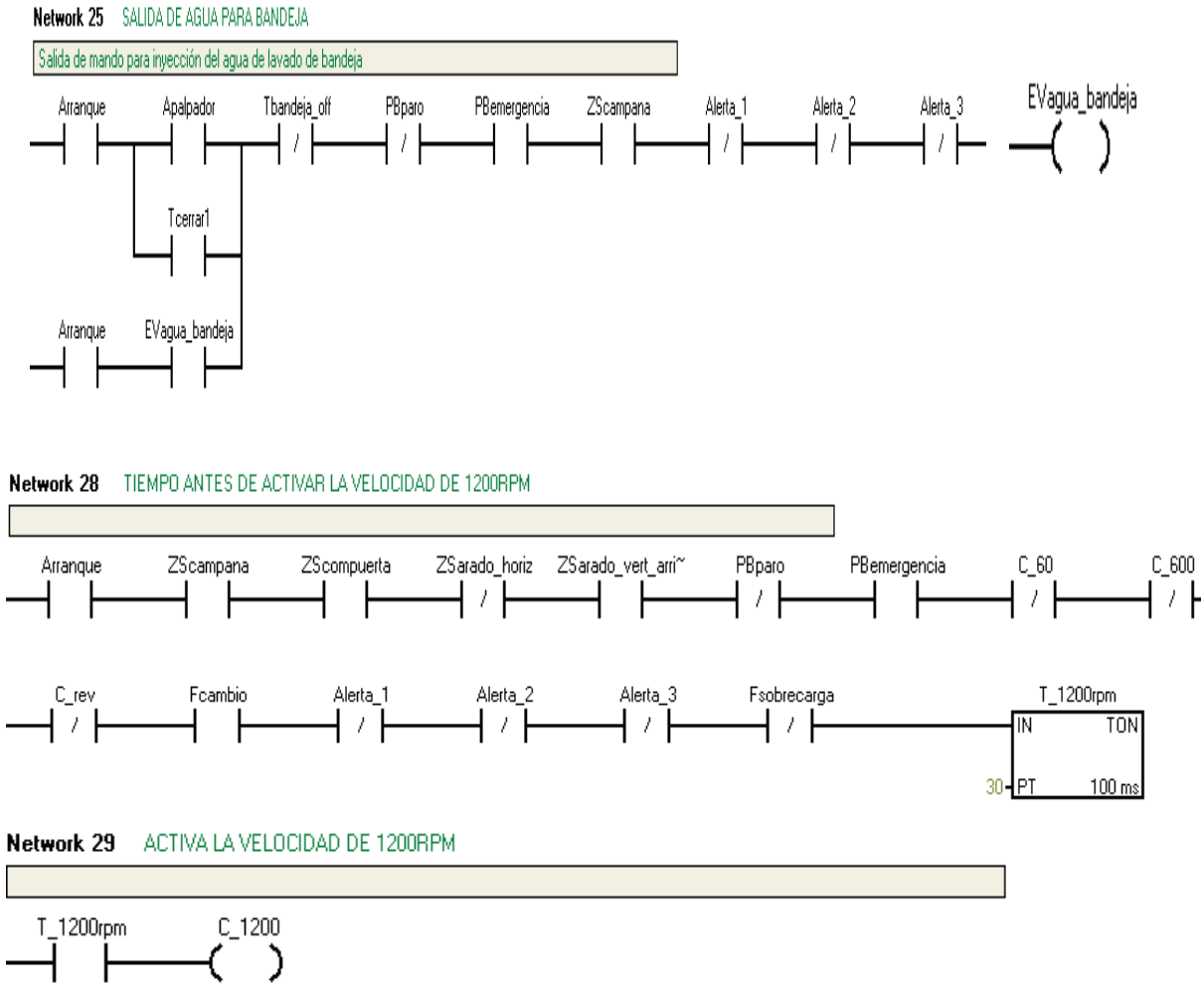


Figura 3-5: Activación del lavado de bandeja y del accionamiento para alta velocidad

3.1.1.4 Lavado de masa y cambio de mieles.

El lavado de la masa se realiza cuando le centrifuga esta girando en alta velocidad, el cambio de mieles se efectúa segundos después de haber iniciado el lavado, de esta manera se logra separar la miel que contiene una gran cantidad de agua, de la que no contiene.

Para cumplir con estas acciones se deben presentar las siguientes condiciones; para el lavado de la masa: la centrifuga debe haber alcanzado su máxima velocidad además de haber transcurrido un tiempo de purgado de la miel. Además de la opción de activarlo manualmente cuando el operador considere necesario.

Para el cambio de mieles: la centrifuga aún debe estar girando en alta velocidad y una vez iniciado el lavado de la masa debe transcurrir un tiempo corto antes del cambio para que toda la miel que no contiene agua termine de drenar.

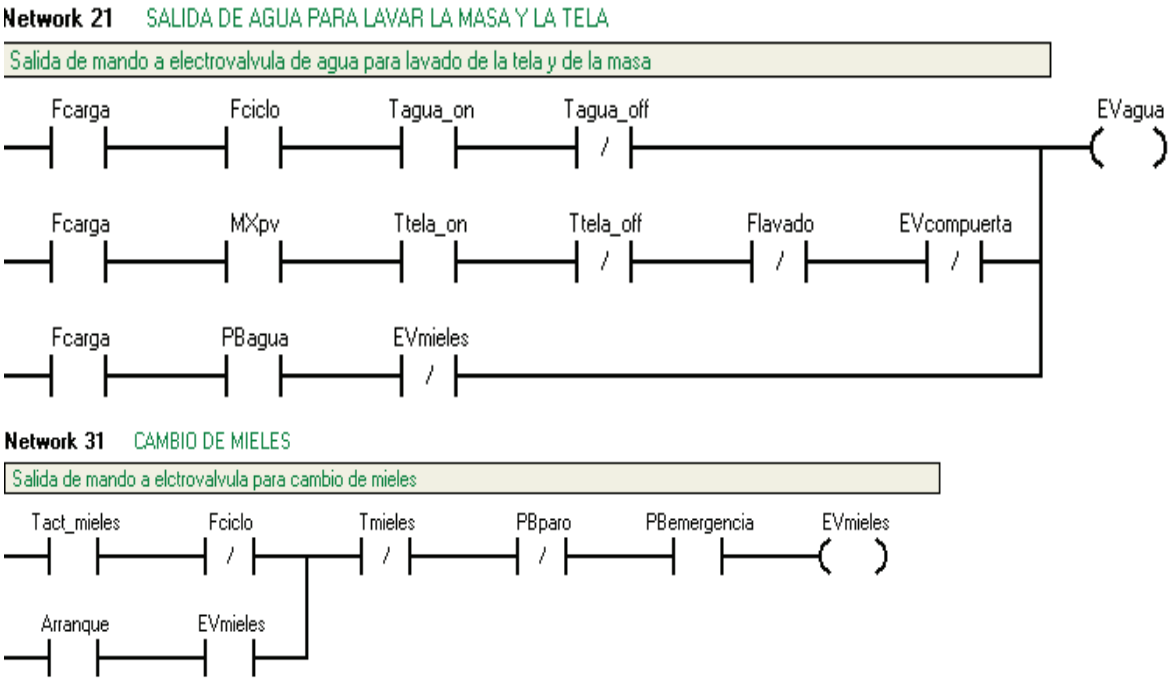


Figura 3-6: Activación del lavado de masa y del cambio de mieles.

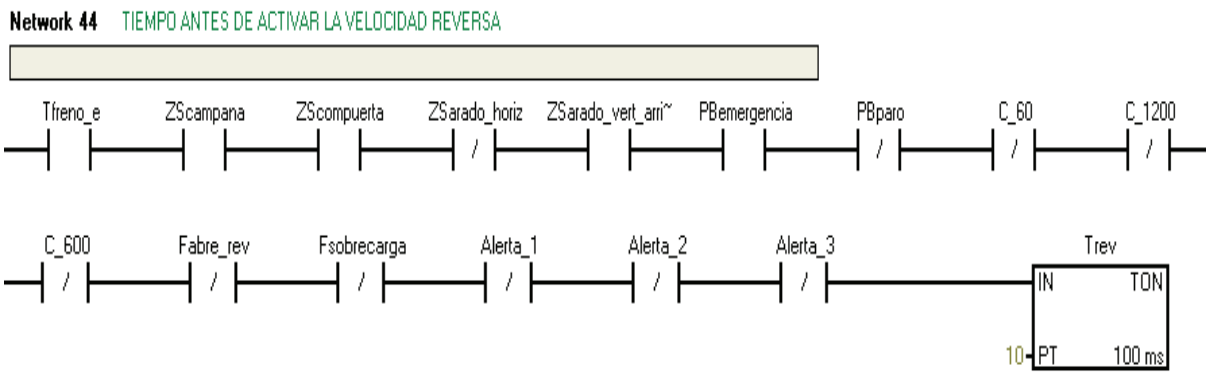
3.1.1.5 Frenado, cambio de velocidad y descarga de azúcar.

El frenado se efectúa una vez concluido el tiempo de secado de la masa, entonces se realiza el cambio de alta a baja velocidad para de esta manera disminuir el trabajo de frenado, que se realiza usando la velocidad reversa del motor. Cuando la centrifuga a llegado una velocidad adecuada, se realiza la subida de la campana para permitir la descarga del azúcar utilizando el arado, que es el que se encarga de despegar el azúcar de las paredes de la canasta; primero se introduce el arado horizontal y posteriormente el arado vertical, para así lograr la caída del azúcar hacia la base de la centrifuga.

De este modo se finaliza el ciclo y tomando en cuenta todos los parámetros de funcionamiento la centrifuga está lista para iniciar un nuevo ciclo de trabajo.

Para cumplir con estas acciones se deben presentar las siguientes condiciones; para el frenado: debido a que el frenado se realiza en dos etapas diferentes del proceso, este se activa por primera vez cuando ha transcurrido un tiempo de secado después de haber lavado la masa y por segunda ocasión cuando empieza la descarga de azúcar. Además de la opción de activarlo manualmente cuando el operador considere necesario.

La descarga de azúcar se realiza cuando transcurrido el tiempo de frenado y la velocidad de la centrifuga ha bajado al mínimo, luego de esto el arado horizontal entra mientras la campana sube y el freno disminuye aún más la velocidad, entonces el arado vertical baja y se produce la descarga. Además existe la posibilidad de operar el arado manualmente cuando el operador considere necesario.



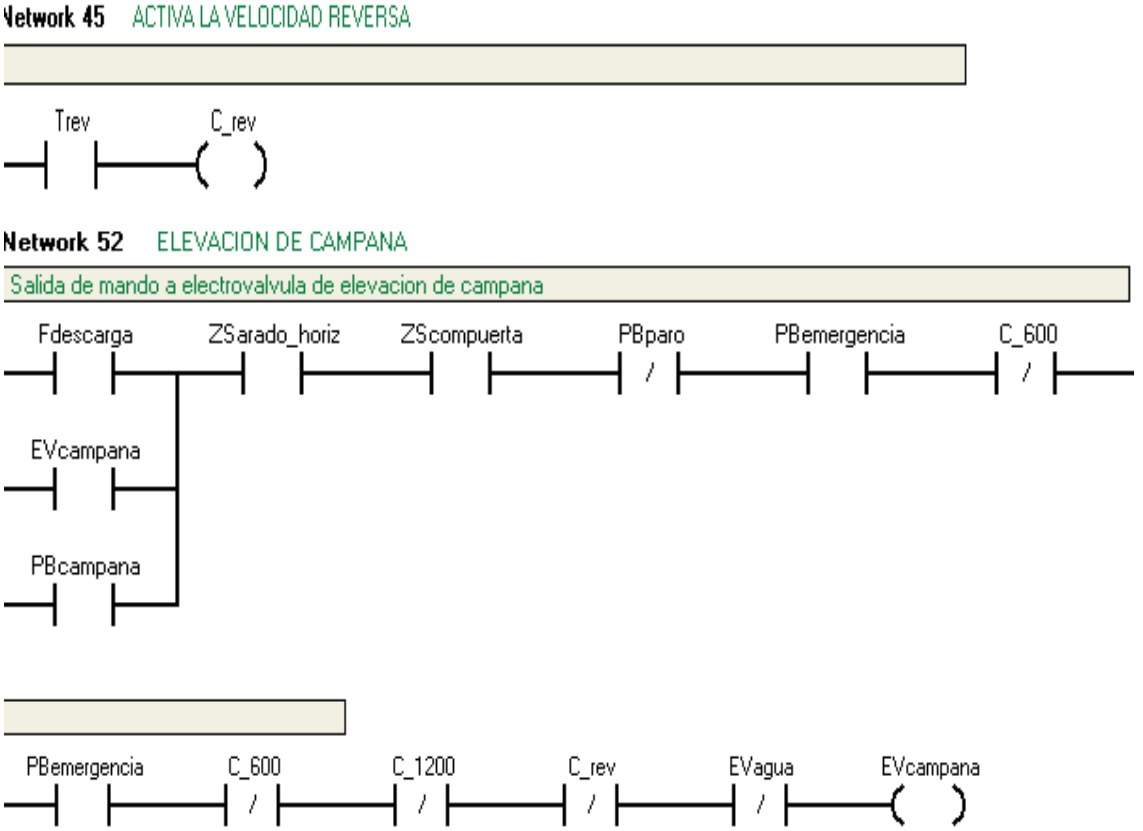
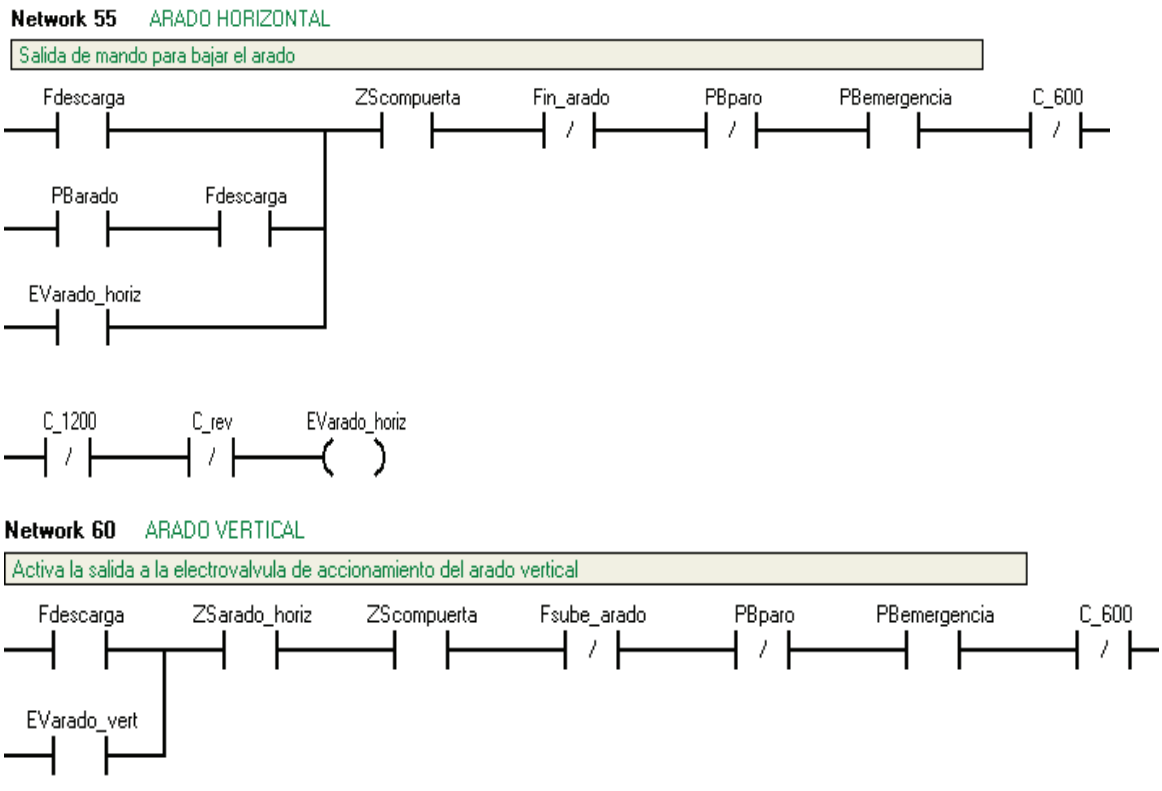


Figura 3-7: Activación del freno y de la campana.



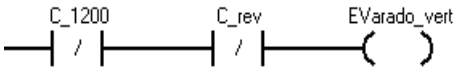
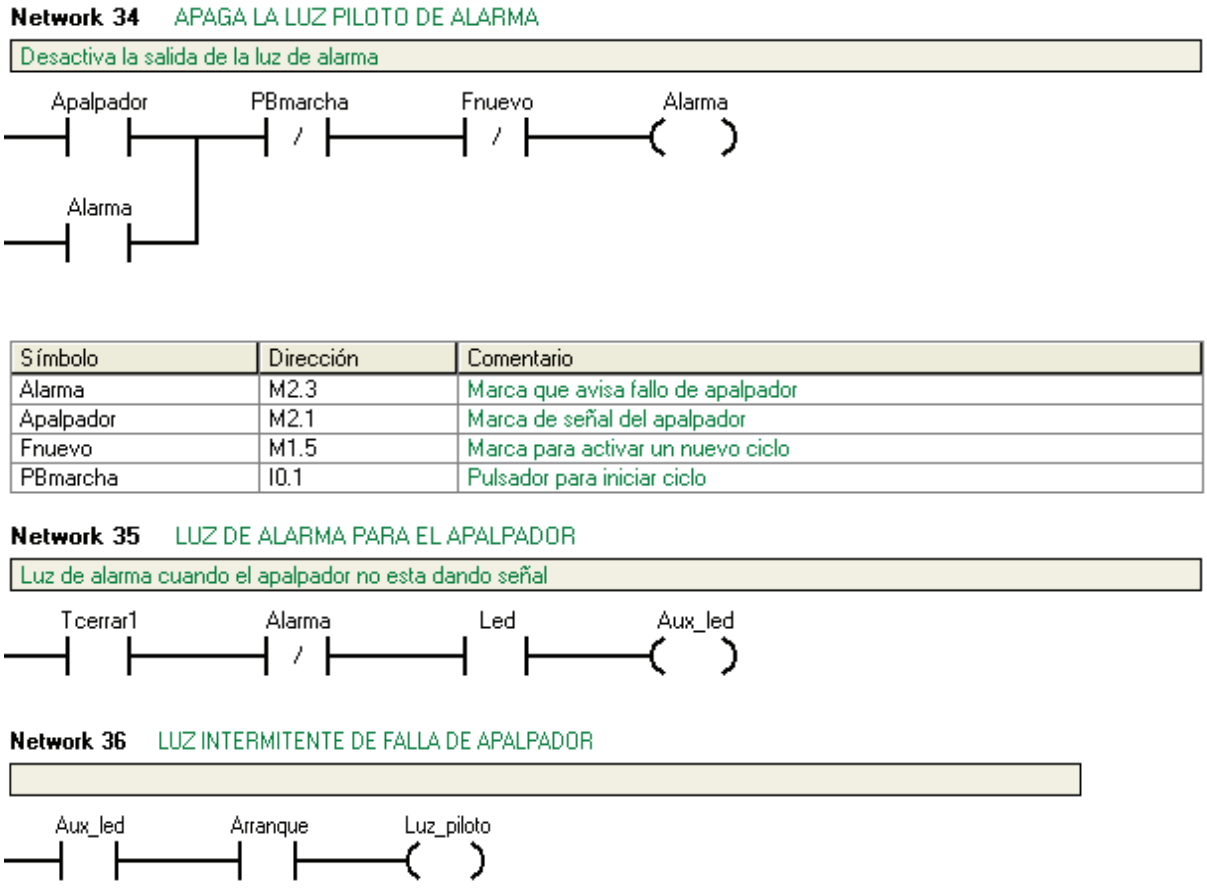


Figura 3-8: Activación del arado horizontal y vertical para la descarga de azúcar.

3.1.1.6 Alarma de estado del sensor de nivel o "Apalpador".

El objetivo de determinar el estado del sensor es preventivo, ya que de este depende la cantidad de masa que se va a procesar en cada ciclo de trabajo y para esto se cuenta con una alarma luminosa, la misma que se encenderá cuando el apalpador no entregue señal al momento de llenado de la canasta.



Símbolo	Dirección	Comentario
Alarma	M2.3	Marca que avisa fallo de apalpador
Apalpador	M2.1	Marca de señal del apalpador
Fnuevo	M1.5	Marca para activar un nuevo ciclo
PBmarcha	I0.1	Pulsador para iniciar ciclo

Figura 3-9: Activación de la alarma luminosa.

3.1.1.7 Asignación de localidades de memoria a los tiempos de funcionamiento editables desde el TD200.

Los tiempos de operación de cada etapa del proceso que posteriormente pueden ser editados mediante el HMI, deben ser guardados en la memoria V del PLC para que de este modo se puedan direccionar los cambios de valor en los tiempos.

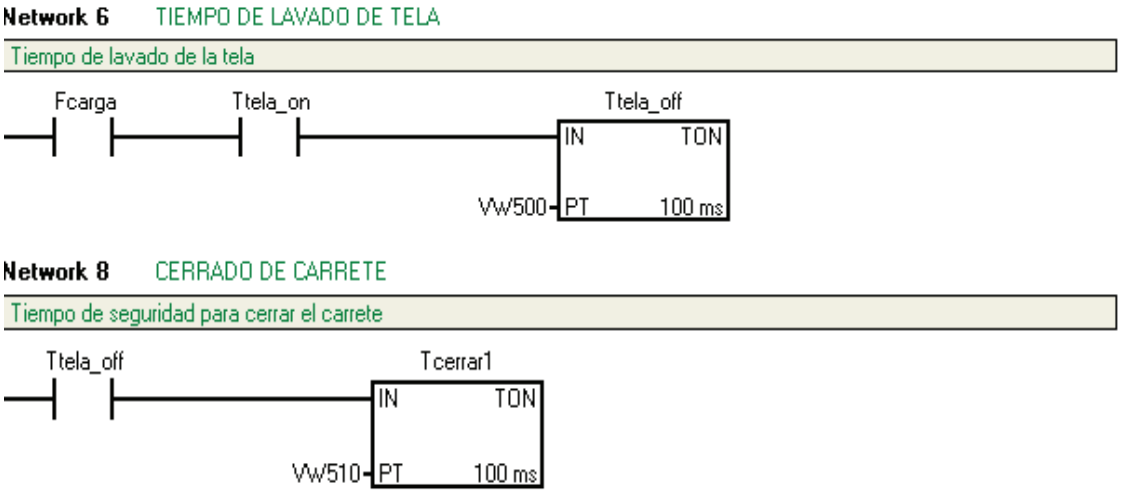


Figura 3-10: Tiempos de funcionamiento cargados en localidades de memoria.

Para poder modificar algunos de los tiempos de funcionamiento a través del HMI, el visualizador de textos TD200; es necesario asignar localidades de memoria específicos a estos tiempos, como se puede ver a continuación; con respecto a los tiempos de la figura anterior.

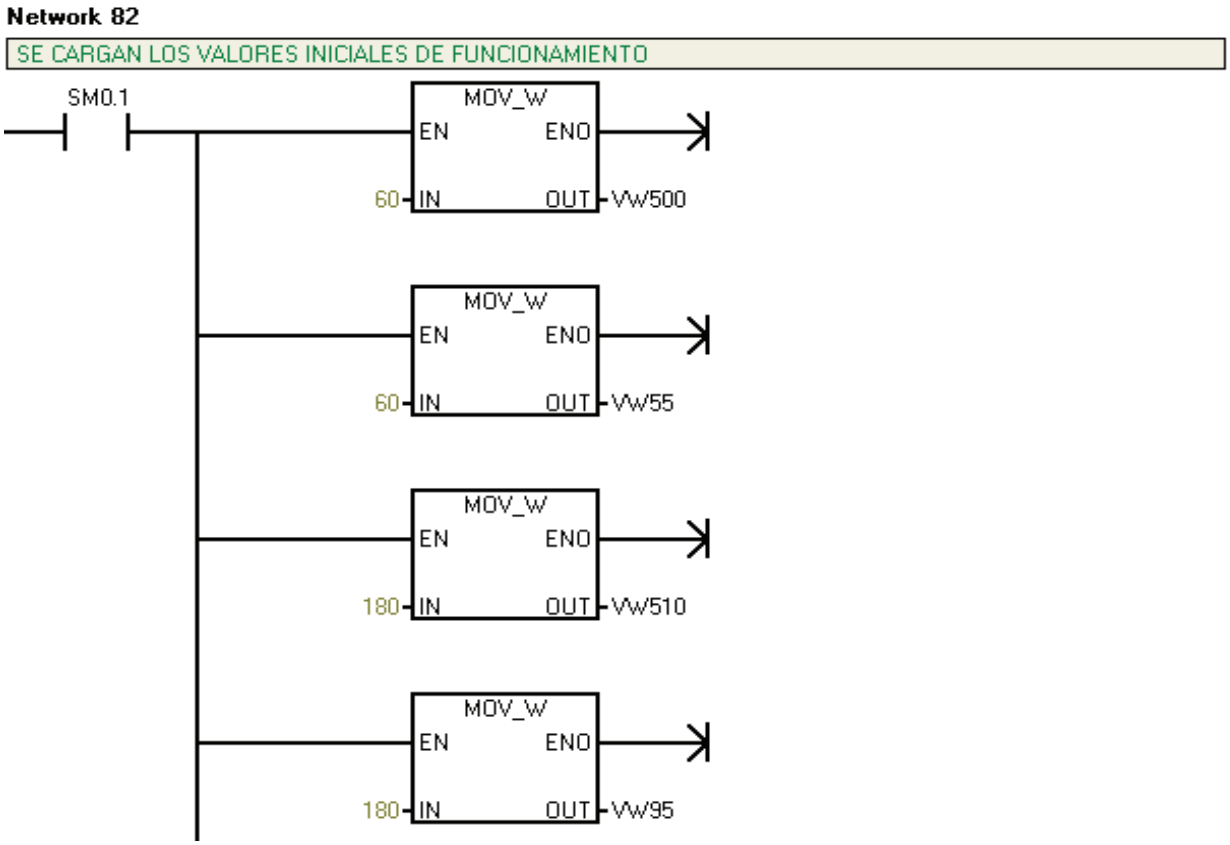


Figura 3-11: Asignación de localidades de memoria para tiempos editables desde el TD200.

3.2 CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN PARA EL VISUALIZADOR DE TEXTOS TD200 A TRAVES DEL SOFTWARE STEP7- Micro/WIN.

Para hacer uso del TD200 es necesario configurar previamente los parámetros a utilizar en la programación.

La parte del programa de control referente al visualizador de textos se encuentra dentro del programa principal, el mismo que permitirá observar el estado de funcionamiento de la centrifuga, los parámetros de funcionamiento, sus valores y además se podrá editar estos de acuerdo a las necesidades de producción.

3.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TD200

El TD 200 es un visualizador de textos y un interfaz de operador para la gama de sistemas de automatización S7-200.

Con el TD 200 se pueden ejecutar las siguientes funciones:

- Visualizar mensajes leídos de la CPU S7-200.
- Ajustar determinadas variables de programa.
- Forzar/desforzar entradas y salidas (E/S).
- Ajustar la hora y la fecha de las CPUs que incorporen un reloj de tiempo real.
- Utilizar menús e indicadores en seis idiomas (inglés, alemán, francés, español, italiano y chino).
- Utilizar diversos juegos de caracteres que soportan los idiomas de Europa occidental, eslavos y Chino.

El TD 200 es alimentado desde la CPU S7-200 a través del cable TD/CPU o desde una fuente de alimentación independiente, funciona como un maestro de red cuando se conecta a una o más CPUs S7-200.

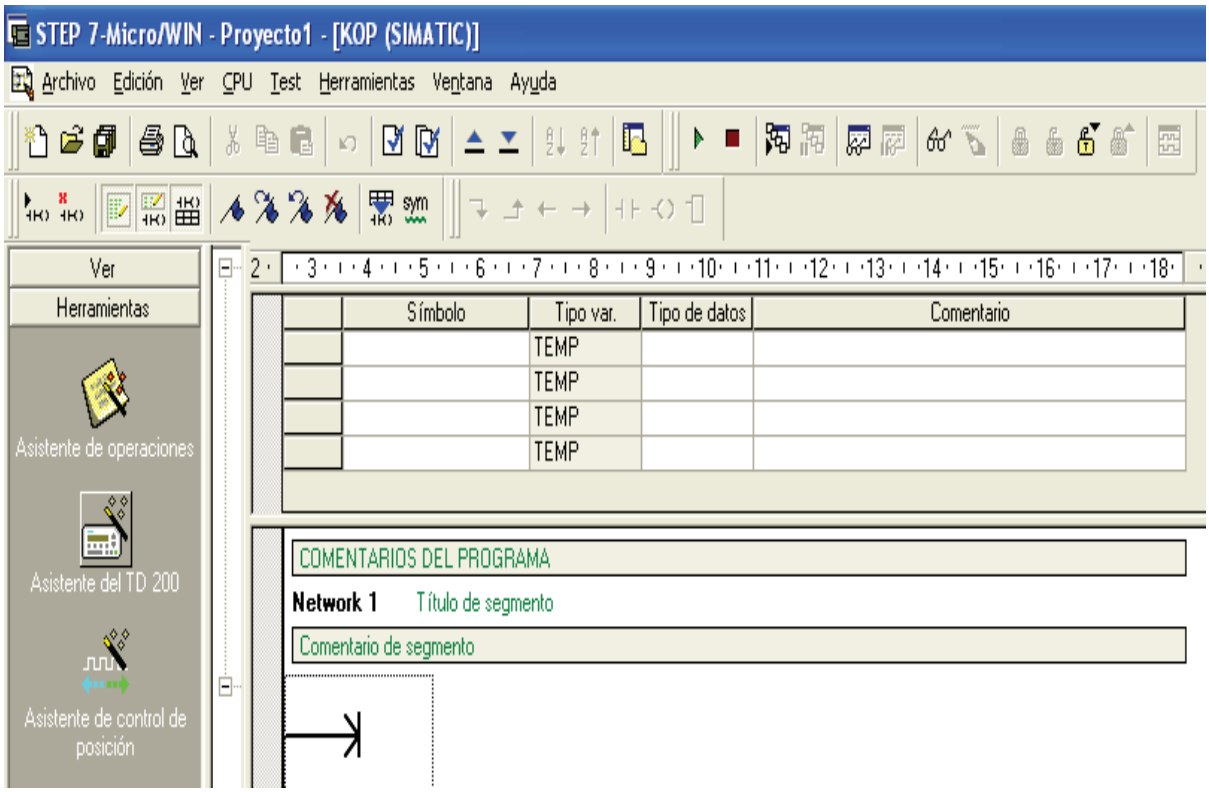
3.2.2 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DEL VISUALIZADOR DE TEXTOS TD200

La configuración de estos parámetros permite construir una estructura o base sobre la cual se ejecutarán ciertas líneas de programa, cuyo conjunto permitirá la interacción entre el operador y la máquina, obteniendo así un HMI como interfaz de comunicación.

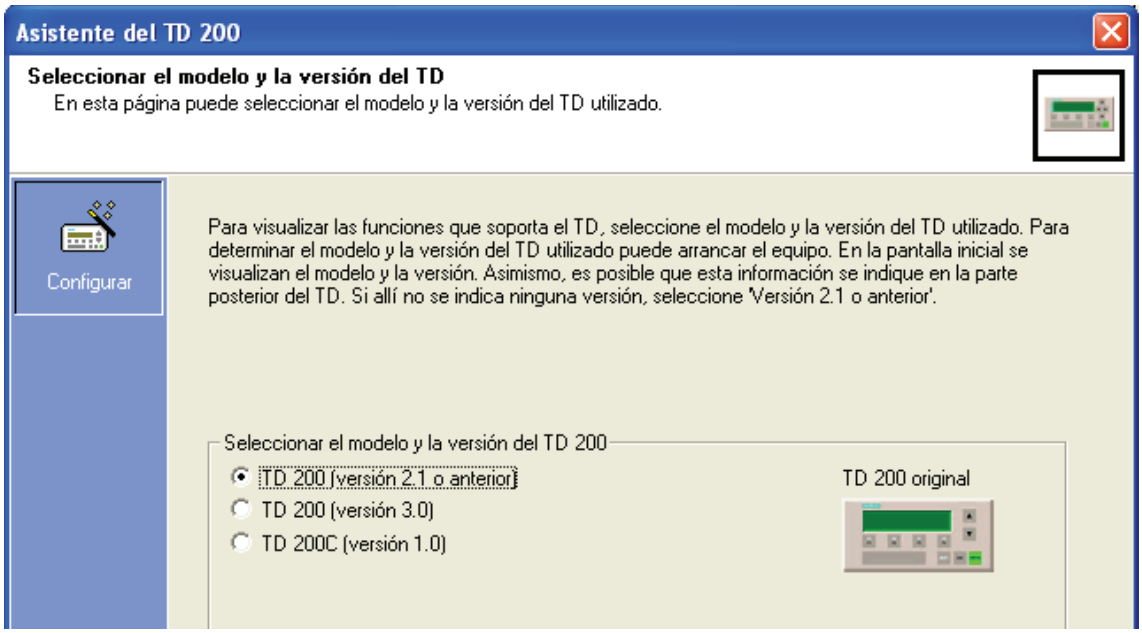
3.2.2.1 Procedimiento de configuración de parámetros.

Estos parámetros se configuran utilizando el Asistente TD200, el mismo que se encuentra dentro del software STEP7 como una opción de la barra de herramientas.

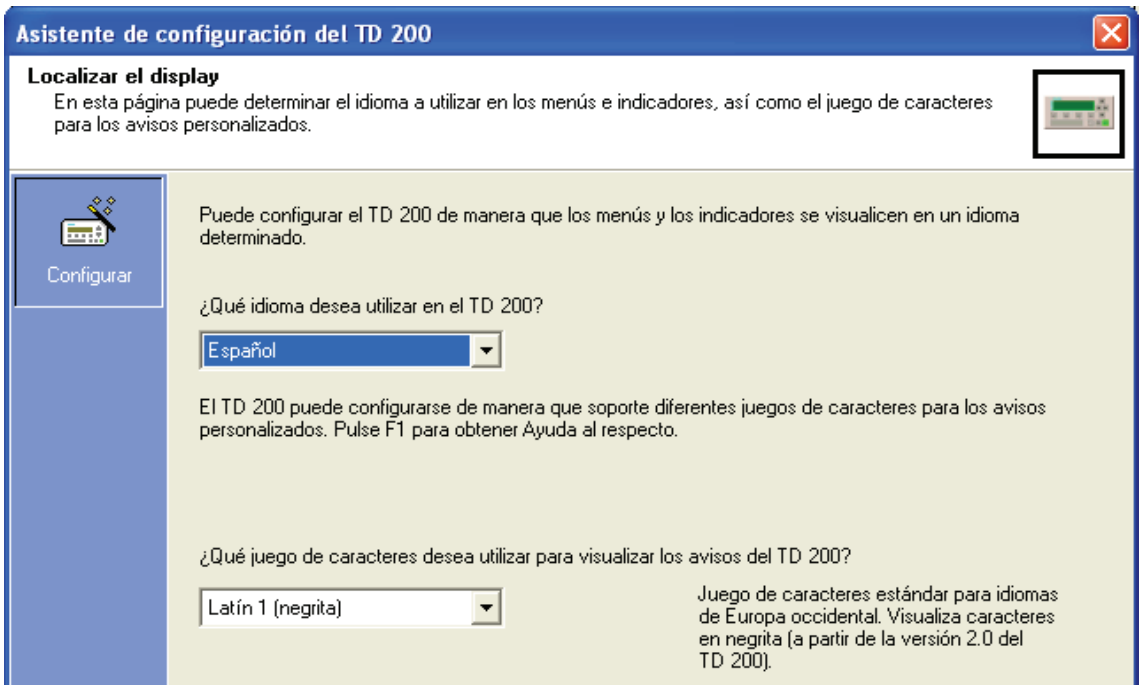
Al ingresar al asistente se despliega una nueva ventana dentro de la cual se va a llevar a cabo paso a paso la configuración del TD200.



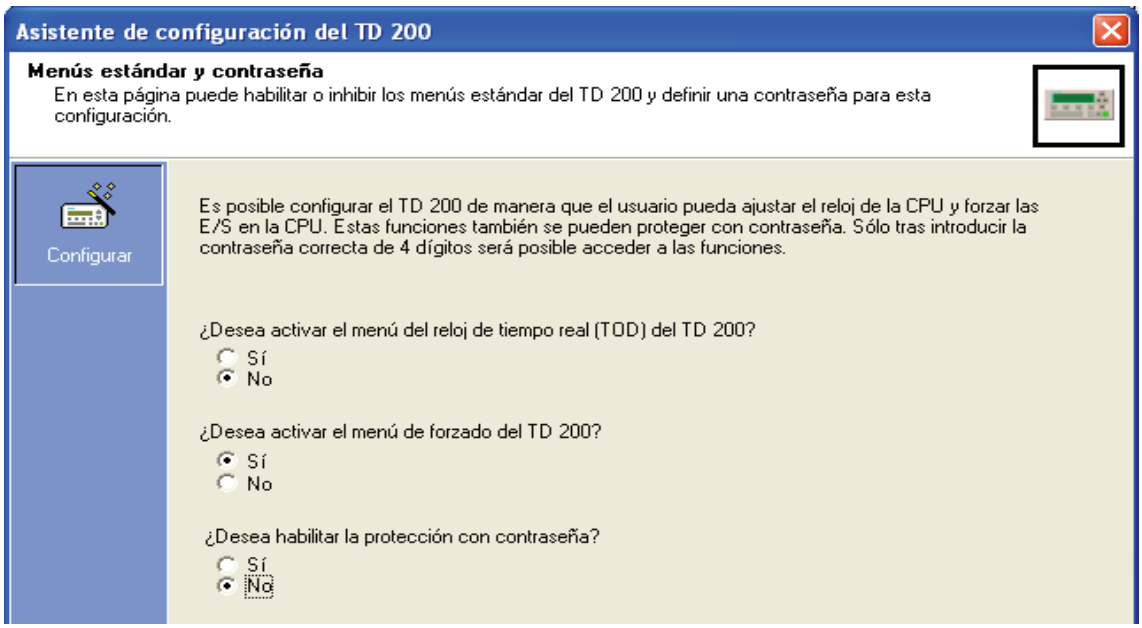
1) La primera ventana muestra las diferentes versiones del TD200 y de entre las cuales debemos seleccionar aquella con la que se trabajará.



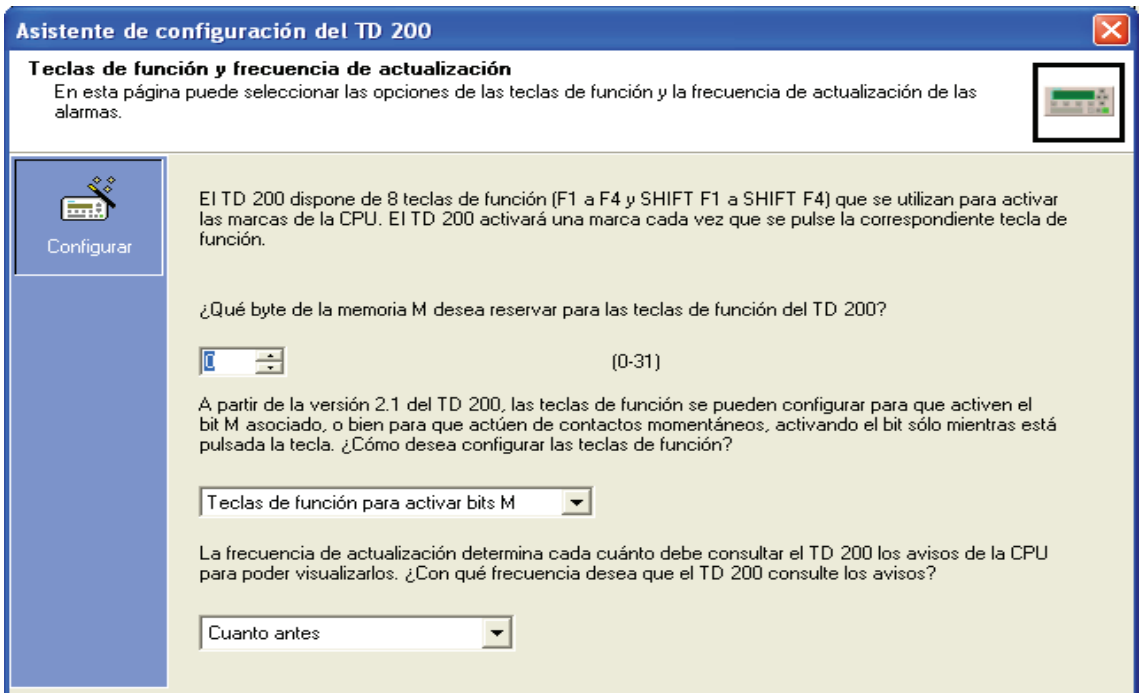
2) En esta ventana se puede seleccionar el idioma y el juego de caracteres con los que el TD200 desplegará los mensajes que posteriormente se crearán.



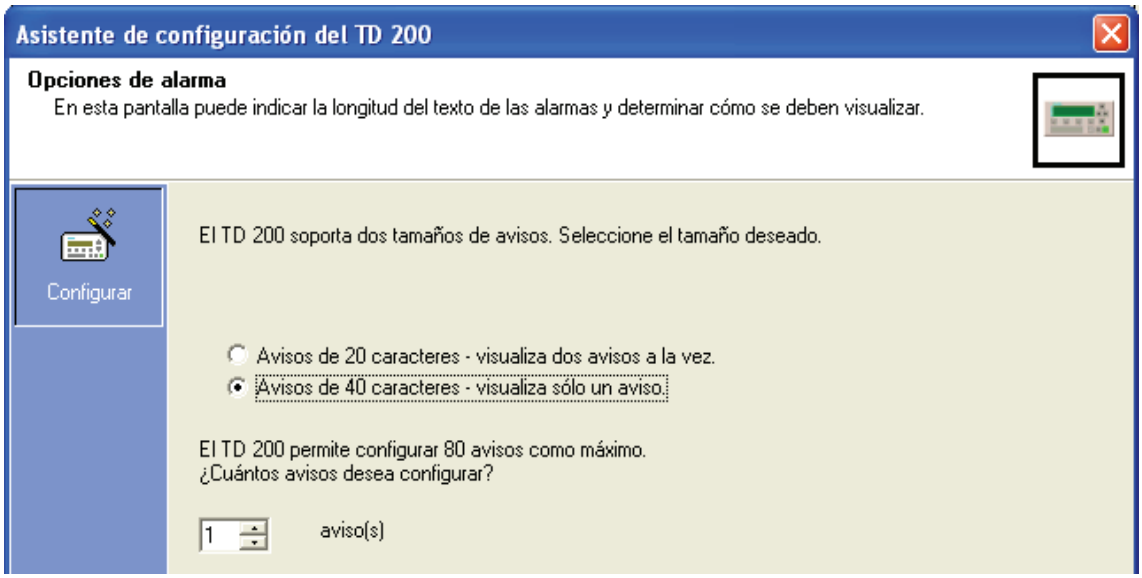
3) En esta ventana se elige las funciones que se desean activar en el TD200, como: Reloj de tiempo real, menú de forzado de E/S y protección de contraseña.



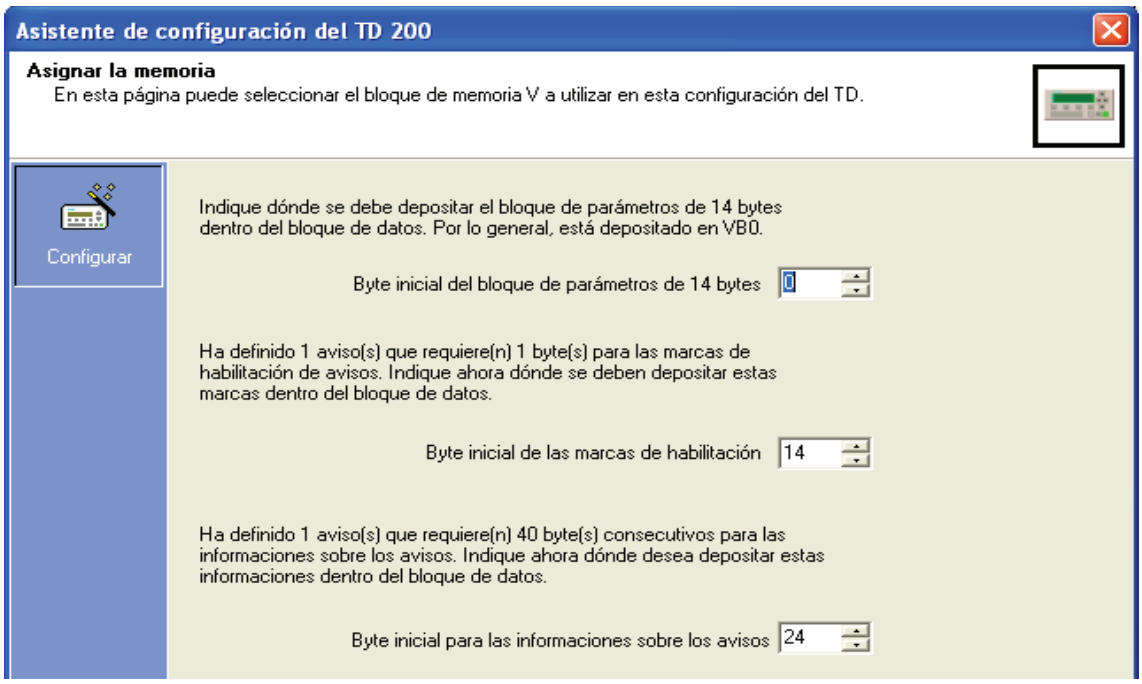
4) La siguiente ventana permite seleccionar la ubicación dentro de la memoria del PLC que ocuparán los mensajes creados, además permite configurar las teclas de función y la frecuencia de chequeo de los avisos o mensajes.



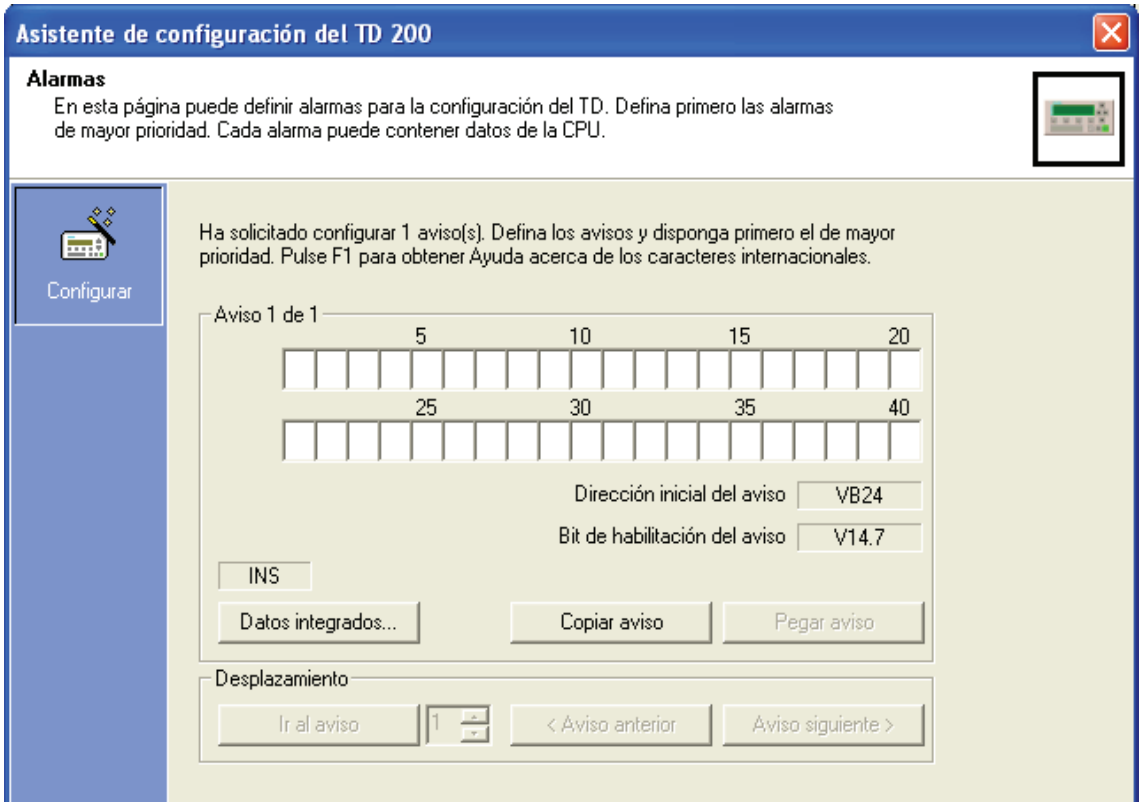
5) En la siguiente ventana se selecciona el tamaño que se desea para los avisos o mensajes en función del número de caracteres y el número de mensajes que se mostrarán en el visualizador TD200.

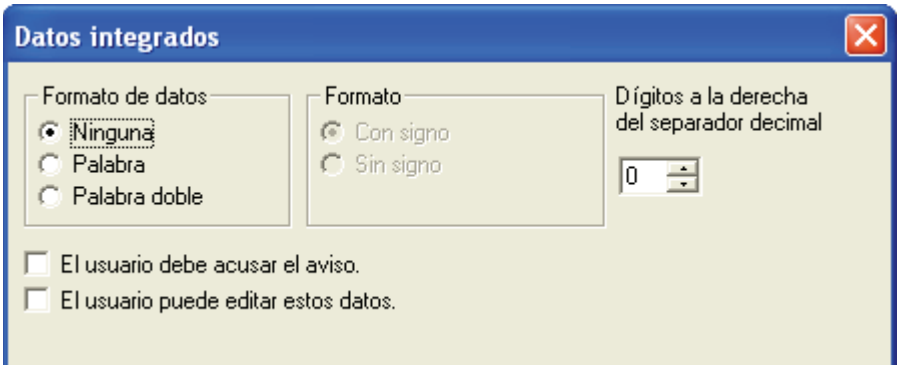


6) En esta ventana se puede seleccionar la ubicación dentro del bloque de datos que ocuparan los mensajes o bloque de parámetros, además permite seleccionar el byte de inicio para la habilitación de avisos y para la información de éstos.

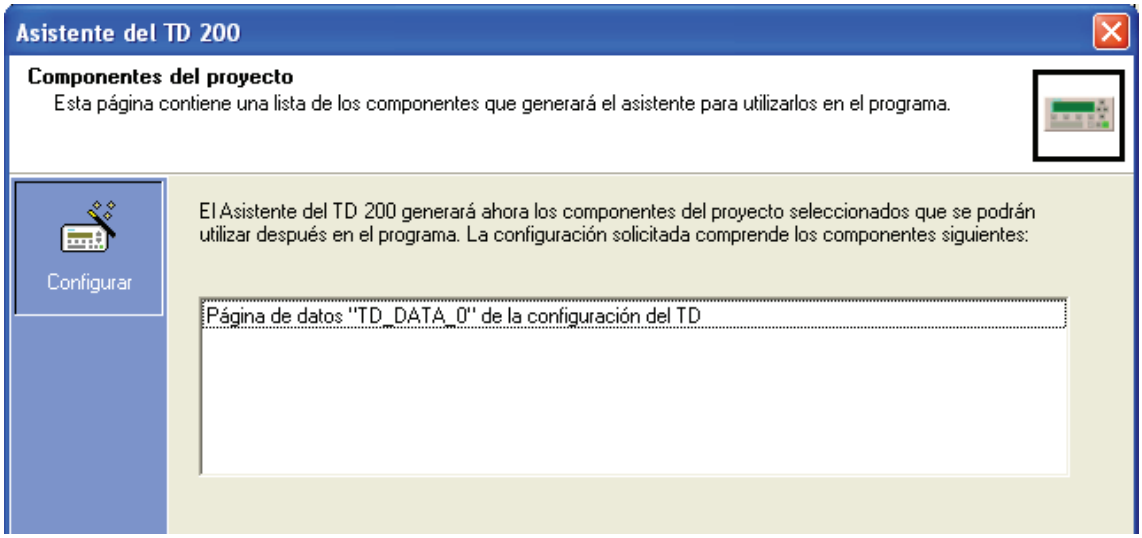


7) La ventana que sigue a continuación permite crear los mensajes que serán mostrados en el TD200, esto se hace escribiendo sobre los espacios en blanco caracter por caracter, además presionando la pestaña “Datos integrados” es posible acceder a una nueva pantalla en la que se puede asignar características especificas al mensaje creado, con las opciones que se puede ver en la pantalla inferior





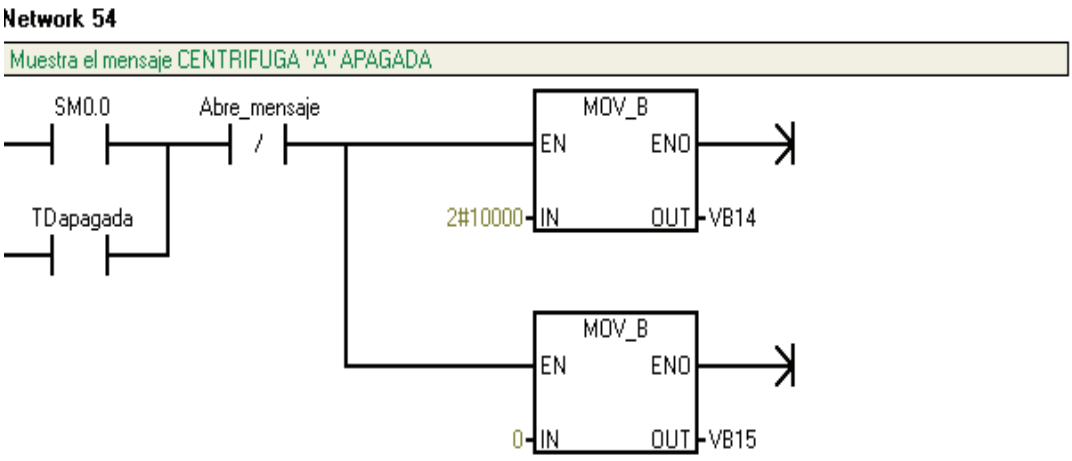
8) Ésta ventana es la última en el proceso de configuración del TD200 y es en la cual se generan los componentes del proyecto que podrán ser usados en el programa, finalizando así la configuración.



3.2.2.2 Mensaje inicial y estado de funcionamiento de la centrifuga.

El mensaje que aparecerá por defecto al encenderse el visualizador será el de "CENTRIFUGA "A" APAGADA" y volverá aparecer cuando se apague la misma; este mensaje cambiará cuando se ponga en marcha la centrifuga y aparecerá el mensaje "CENTRIFUGA "A" ENCENDIDA".

Estos mensajes al igual que los demás cuentan con una dirección de memoria específica asignada al configurar inicialmente el TD200 en el "Asistente del TD200", explicado anteriormente.



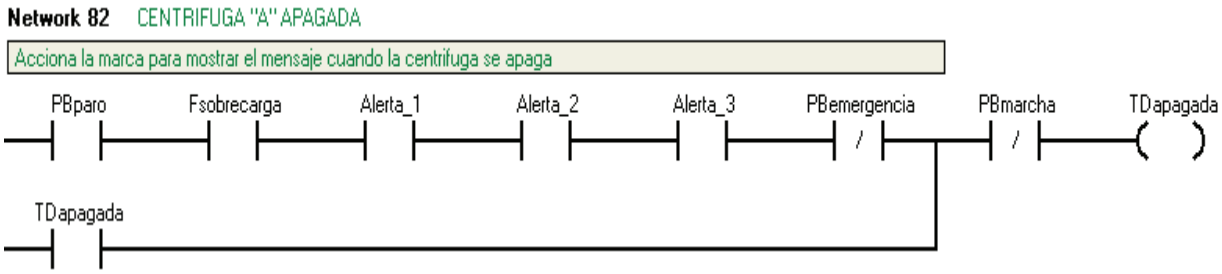


Figura 3-12: Activación del mensaje “CENTRIFUGA “A” APAGADA”

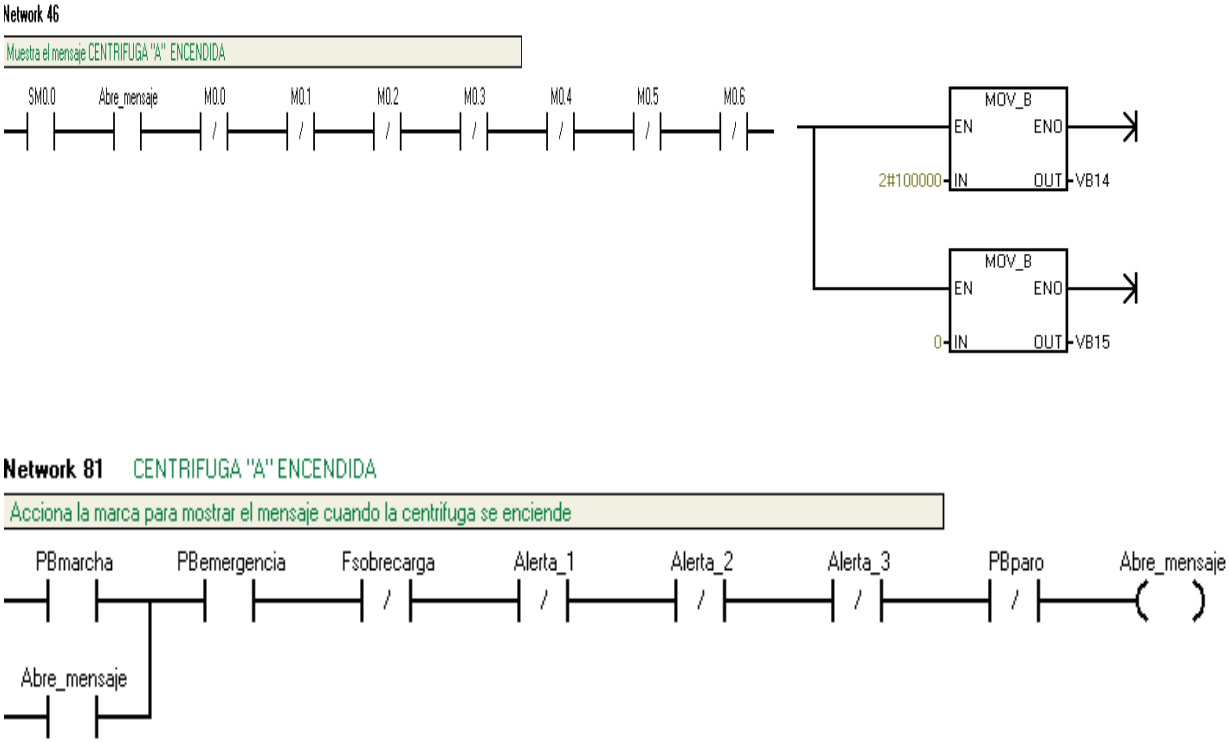


Figura 3-13: Activación del mensaje “CENTRIFUGA “A” ENCENDIDA”

3.2.2.3 Visualización de parámetros de funcionamiento.

Los parámetros en los que se basa el funcionamiento de la centrifuga son los tiempos de operación para cada etapa del proceso, y para poder observar estos parámetros en el TD200 es necesario desarrollar las siguientes líneas de programación, en las que se utilizan las direcciones de memoria previamente asignadas. Se tomará como ejemplo un mensaje que nos dará una idea clara de su estructura.

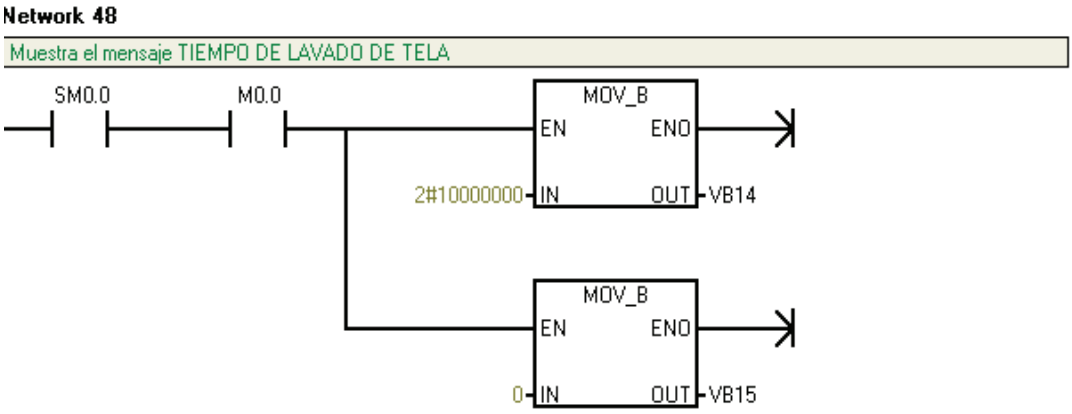


Figura 3-14: Muestra el mensaje “TIEMPO DE LAVADO DE TELA”.

En la figura anterior se puede ver que el mensaje posee la dirección de memoria VB14.7 que es el bit asignado para habilitar el aviso del mensaje.

3.2.2.4 Edición de los parámetros de funcionamiento.

Como ya se menciono, los parámetros en los que se basa el funcionamiento de la centrifuga son los tiempos y estos podrán ser editados desde el TD200 que será el HMI del sistema.

Para esto se utilizarán las direcciones de memoria previamente asignadas en la configuración del TD200.

Se tomará como ejemplo el valor de un parámetro a editar (por facilidad el del ejemplo anterior) que nos dará una idea clara de su estructura.

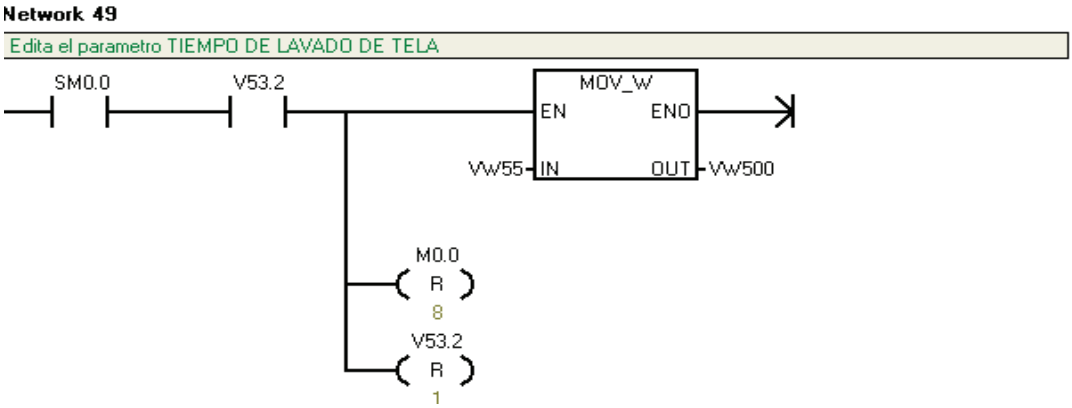


Figura 3-15: Muestra el valor del parámetro “TIEMPO DE LAVADO DE TELA”.

Como se puede observar se direcciona el valor de “TIEMPO DE LAVADO DE TELA” a la localidad de memoria VW55, que es la dirección asignada a la que se debe transferir los datos a visualizar, y mediante la localidad de memoria V53.2 se produce la edición de este valor.

3.3 CONFIGURACIÓN Y PARAMETRIZACIÓN PARA LA COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC Y SUS PERIFÉRICOS.

El STEP 7-Micro/WIN es un paquete de software de programación para el S7-200, el mismo que se utilizará para elaborar el programa de control, y a su vez para configurar la comunicación entre el PLC SIMATIC S7-200 y el visualizador de texto TD200.

3.3.1 CONFIGURACIÓN DE LA COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC SIMATIC S7-200 Y LA PC DE PROGRAMACION.

3.3.1.1 Velocidad de transferencia y Dirección de estación.

La velocidad de transferencia mide cuántos datos se pueden transmitir en un determinado período, estos datos se indican por lo general, en (kbit/s) o (Mbit/s).
Todos los aparatos que conforman la red se deben configurar de manera que transfieran datos a una misma velocidad. Por tanto, el aparato más lento de la red determina la velocidad de transferencia máxima. En la tabla 4-2 figuran las velocidades estándar (de fábrica) de los equipos S7-200.

Red	Velocidad de transferencia
Red estándar	9,6 kbit/s a 187,5 kbit/s
Utilizando un EM 277	9,6 kbit/s a 12 Mbit/s
Modo Freeport	1200 bit/s a 115,2 kbit/s

Tabla 3-2: Velocidades de transferencia de los equipos S7-200

La dirección de estación es un número unívoco que se asigna a cada aparato de la red. La dirección de estación unívoca garantiza que los datos sean enviados al o recibidos del aparato correcto. El S7-200 soporta direcciones de estación

comprendidas entre 0 y 126 y dispone de dos puertos, cada uno de ellos tiene su propia dirección de estación. En la tabla 4-3 figuran los ajustes estándar (de fábrica) de los equipos S7-200.

Equipo S7-200	Dirección estándar
STEP 7-Micro/WIN	0
HMI (TD 200, TP u OP)	1
CPU S7-200	2

Tabla 3-3: Direcciones estándar de los equipos S7-200

3.3.1.2 Ajuste de velocidad de transferencia y dirección de estación en el STEP 7-Micro/WIN

La velocidad de transferencia debe ser igual a la de los demás equipos que conforman la red, en tanto que la dirección de estación deberá ser unívoca.
Por lo general no es necesario cambiar la dirección de estación (0) de STEP 7-Micro/WIN, a menos que se incorpore un paquete de programación diferente.

Para configurar la velocidad de transferencia y la dirección de estación de STEP 7-Micro/WIN debemos hacer clic en el icono “Comunicación” en la barra de navegación, y a continuación:

1. En la ventana “Configurar la comunicación”, haga doble clic en el icono superior.
2. Haga clic en el botón “Propiedades” del cuadro de diálogo “Ajustar interfaz PG/PC”.
3. Seleccione la dirección de estación de STEP 7-Micro/WIN.
4. Seleccione la velocidad de transferencia de STEP 7-Micro/WIN.

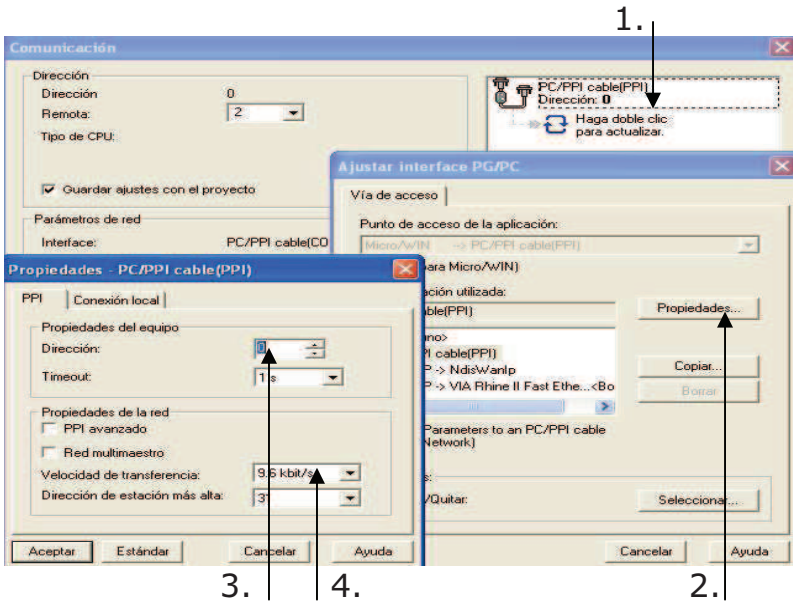


Figura 3-16: Ajuste de parámetros de STEP 7-Micro/WIN

3.3.1.3 Ajuste de velocidad de transferencia y la dirección de estación del S7-200

La velocidad de transferencia y la dirección de estación del S7-200, se almacenan en el bloque de sistema del S7-200; estos dos parámetros deben ser configurados y después de haber sido ajustados, es necesario cargar el bloque de sistema en el S7-200. La velocidad de transferencia estándar de los puertos del S7-200 es de 9,6 kbit/s y la dirección de dirección estándar es “2”.

Para ajustar la velocidad de transferencia y la dirección de estación del S7-200 se debe utilizar STEP 7-Micro/WIN; en donde, hacemos clic en el icono “Bloque de sistema” en la barra de navegación, y procedemos de la manera siguiente:

1. Seleccione la dirección de estación del S7-200.
2. Seleccione la velocidad de transferencia del S7-200.
3. Cargue el bloque de sistema en el S7-200.

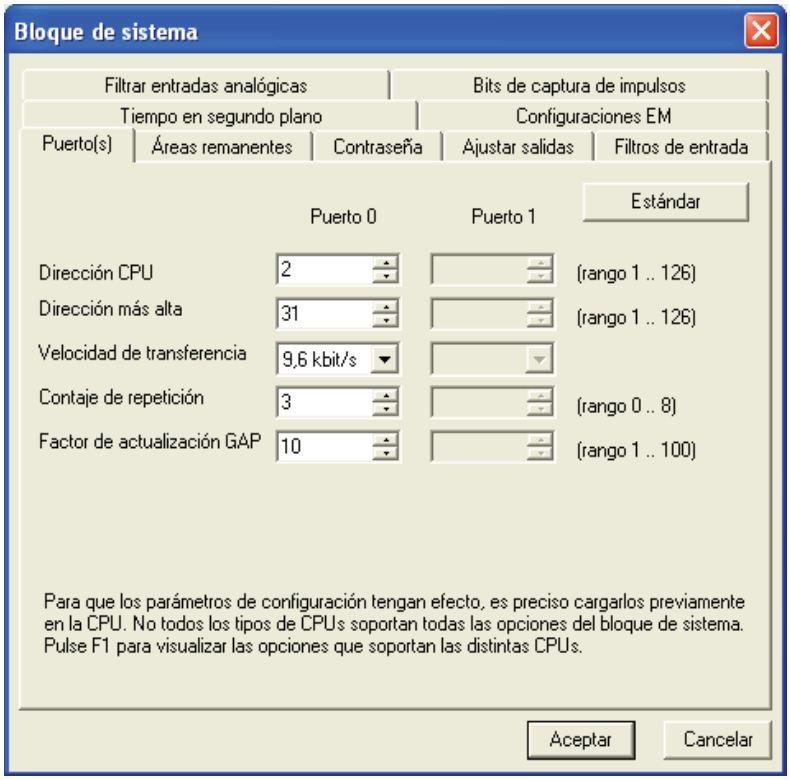


Figura 3-17: Ajuste de parámetros de S7-200.

3.3.2 COMUNICACIÓN ENTRE EL SIMATIC S7-200 Y EL VISUALIZADOR DE TEXTO TD 200

3.3.2.1 Selección del protocolo de comunicación

Los protocolos soportados por las CPUs S7-200 son los siguientes:

- Interfaz punto a punto (PPI)
- Interfaz multipunto (MPI)
- PROFIBUS

Estos protocolos utilizan un bit de inicio, ocho bits de datos, un bit de paridad par y un bit de parada. Para garantizar la integridad de los datos, los bloques de comunicación dependen de los caracteres especiales de inicio y de parada, de las direcciones de estación de fuente y de destino, de la longitud de los bloques y de la suma de verificación.

Estos protocolos se implementan en una red “token ring” (red anillo) conforme al estándar PROFIBUS, definido en la norma europea EN 50170, y se pueden utilizar simultáneamente en una red sin que interfieran entre sí, con la condición de que usen una misma velocidad de transferencia.

Para nuestro caso en particular utilizaremos la configuración punto a punto (PPI), ya que se va a conectar sólo una CPU S7-200 a un TD 200.

3.3.2.1.1 Protocolo PPI

El protocolo PPI es un protocolo maestro-esclavo, en donde los maestros envían peticiones a los esclavos y éstos responden mediante un enlace compartido que es gestionado por el protocolo punto a punto.
En esta configuración los esclavos no inician mensajes, sino que esperan a que un maestro les envíe una petición o solicite una respuesta.

3.3.2.1.2 Redes PPI monomaestro

En una red monomaestro, el PC o HMI y la CPU S7-200 se interconectan mediante un cable multimaestro PPI.
En la red que se implementará; la interfaz hombre-máquina, que en nuestro caso será un TD 200 es el maestro de la red, y la CPU S7-200 será el esclavo.

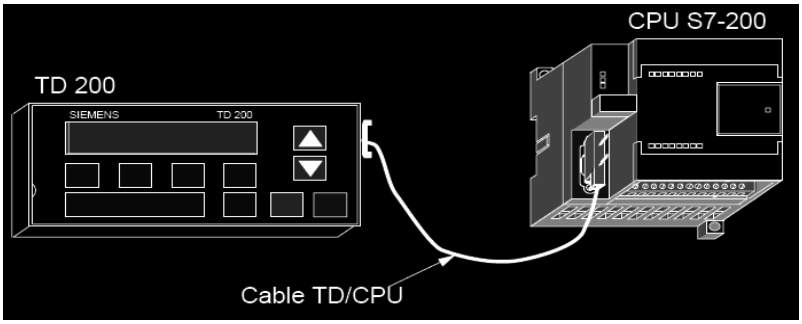


Figura 3-18: Configuración PPI monomaestro.

3.4 FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DEL TD200 EN EL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN

El manejo del TD200 como interfaz hombre máquina dentro del proceso es muy sencillo, debido al papel que desempeña y el modo en que lo hace.

3.4.1 FUNCIONES Y MODO DE OPERACIÓN DEL TD200.

La función que cumple un HMI dentro de un proceso es la de lograr la interacción entre el operador y la máquina. Para este caso en particular el TD200 además de la interacción cumple con otras funciones como:

- Visualización del estado del proceso
- Visualización de parámetros de operación
- Forzar y desforzar entradas y salidas
- Ajuste o edición de los parámetros de operación

3.4.1.1 Procedimiento de operación del TD200

La operación del TD200 se realiza a través del teclado, usando tanto las teclas de comando (ENTER, ESC, FLECHA ARRIBA, FLECHA ABAJO, SHIFT), como con las de función (F1, F2, F3, F4).
Para este proyecto, el TD200 fue programado y configurado con el fin de establecer un procedimiento para su operación que tenga la siguiente estructura:

3.4.1.1.1 Visualización del estado del proceso

El estado de funcionamiento del proceso se refiere al encendido o apagado de la centrifuga. Los mensajes que muestran estos estados se encuentran configurados como pantalla principal; lo que significa que en todo momento se mostrará el estado de funcionamiento, a menos que se desee observar o editar los parámetros de operación.

Cuando la centrifuga se ponga en modo MARCHA en el TD200 aparecerá el mensaje “CENTRIFUGA A ENCENDIDA” como se muestra en la figura.

Figura 3-19: Mensaje mostrado al accionar MARCHA

Cuando la centrifuga se ponga en modo PARO en el TD200 aparecerá el mensaje “CENTRIFUGA A APAGADA” como se muestra en la figura.

Figura 3-20: Mensaje mostrado al accionar PARO

3.4.1.1.2 Visualización de parámetros de operación

Los parámetros de operación se refieren a los tiempos de funcionamiento de las diferentes etapas del proceso, y estos se pueden visualizar a través de mensajes presionando las diferentes teclas de función en donde cada una de estas, posee un parámetro para mostrar.

Es importante mencionar que presionando la tecla SHIFT más una tecla de función (F1, F2, F3, F4) se puede acceder a cuatro teclas más que son (F5, F6, F7, F8) respectivamente.

A continuación se especifican los parámetros de operación que se mostrarán al presionar cada una de las teclas de función:
Al presionar la tecla F1 se mostrará en el TD200 el mensaje "TIEMPO DE LAVADO DE TELA" con su respectivo valor de parámetro.

Figura 3-21: Mensaje mostrado al presionar F1

Al presionar la tecla F2 se mostrará en el TD200 el mensaje "TIEMPO DE DESCARGA DE MASA" con su respectivo valor de parámetro.

Figura 3-22: Mensaje mostrado al presionar F2

Al presionar la tecla F3 se mostrará en el TD200 el mensaje "TIEMPO DE LAVADO DE BANDEJA" con su respectivo valor de parámetro.

Figura 3-23: Mensaje mostrado al presionar F3

Al presionar la tecla F4 se mostrará en el TD200 el mensaje “TIEMPO INICIO LAVADO DE TELA” con su respectivo valor de parámetro.

Figura 3-24: Mensaje mostrado al presionar F4

Al presionar la tecla F5 se mostrará en el TD200 el mensaje “TIEMPO INICIO LAVADO DE MASA” con su respectivo valor de parámetro.

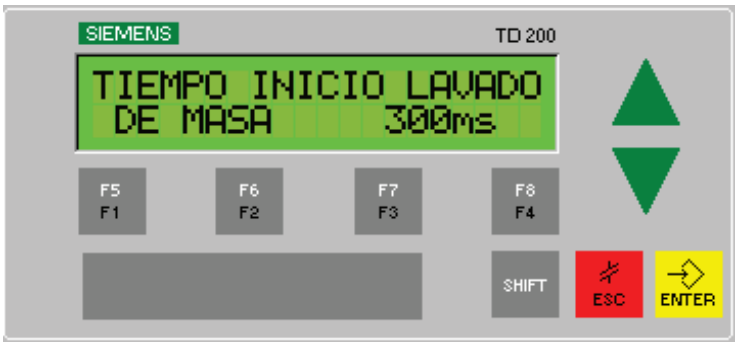


Figura 3-25: Mensaje mostrado al presionar F5

Al presionar la tecla F6 se mostrará en el TD200 el mensaje “TIEMPO DE LAVADO DE MASA” con su respectivo valor de parámetro.

Figura 3-26: Mensaje mostrado al presionar F6

Al presionar la tecla F7 se mostrará en el TD200 el mensaje “TIEMPO FRENADO PARA DESC. AZUCAR” con su respectivo valor de parámetro.

Figura 3-27: Mensaje mostrado al presionar F7

Es posible observar estos mensajes independientemente del estado de funcionamiento de la centrifuga, ya sea que ésta se encuentre encendida o apagada.

Además, al presionar la tecla F8 se vuelve a la pantalla principal, es decir se vuelve a mostrar el estado de funcionamiento de la centrifuga (encendida o apagada).

Otro de los aspectos importantes a mencionar es el orden en que se muestran los mensajes, estos indican los parámetros de operación del proceso y se los puede

observar avanzando en modo ascendente, es decir presionando F1, F2, F3, etc. Con el fin de conservar el orden en que se desarrollan las etapas del proceso.

3.4.1.1.3 Ajuste o edición de los parámetros de operación

Todos los parámetros de operación que se muestran en el TD200 son editables y su edición se logra con la ayuda de las teclas de comando.
Esta edición puede efectuarse cuando la centrifuga se encuentra encendida o apagada.

En caso de que la centrifuga esté apagada al momento de realizar el ajuste de parámetros, los cambios efectuados se ejecutarán al encender la centrifuga.
En caso de que la centrifuga este encendida al momento de realizar el ajuste de parámetros, los cambios efectuados se ejecutarán a partir del siguiente ciclo de trabajo de la centrifuga.

Para editar los parámetros de operación se deben seguir los siguientes pasos:

1. Presionar la tecla de función que contiene el parámetro que se desea editar.
2. Presionar la tecla de comando ENTER
3. Presionar las teclas de comando FLECHA ARRIBA o FLECHA ABAJO, según la necesidad para incrementar o decrementar el valor del parámetro.
4. Presionar nuevamente ENTER para terminar la edición del parámetro.

3.4.1.1.4 Forzar y desforzar entradas y salidas

Esta función fue configurada debido a su gran utilidad en el campo de prueba, ya que en muchos de los casos al conectar e instalar los equipos ocurren fallas al momento de su operación y la mejor manera de verificar las mismas es forzando las entradas y salidas para de ésta manera descartar errores de conexión.

Para forzar y desforzar las entradas y salidas desde el TD200 se debe acceder al menú siguiendo este procedimiento:

1. Presionar la tecla de comando ESC.
2. Buscar la opción Forzar o Desforzar E/S con la ayuda de las teclas de comando FLECHA ARRIBA o FLECHA ABAJO.
3. Presionar la tecla de comando ENTER para seleccionar la opción.
4. Con las teclas FLECHA ARRIBA o FLECHA ABAJO buscar las opciones Forzar entradas? o Forzar salidas?.
5. Presionar ENTER para seleccionar cualquiera de las opciones.
6. Con las teclas FLECHA ARRIBA o FLECHA ABAJO buscar la entrada o salida que se desea forzar.
7. Presionar ENTER para seleccionar la entrada o salida escogida.
8. Con las teclas FLECHA ARRIBA o FLECHA ABAJO buscar las opciones: No forzar, Activar forzado, Desactivar forzado.
9. Presionar ENTER para seleccionar la opción deseada.
10. Para volver al menú o retroceder en el campo seleccionado presionar ESC.

3.5 COSTOS DE LOS EQUIPOS USADOS PARA EL PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA CENTRIFUGADORA.

El tiempo empleado en la elaboración de este proyecto fue superior al tiempo programado inicialmente debido a inconvenientes técnicos dentro de la empresa; por esta razón se empleó todo el tiempo disponible según el reglamento que rige en la Escuela Politécnica Nacional.

Los costos que demandó este proyecto fueron cubiertos en su totalidad por el Ingenio Azucarero del Norte, tomando en cuenta que estos no incluyen costos de diseño, montaje de equipos, ni participación de los operadores.

A continuación se muestra una tabla que contiene los costos de los equipos utilizados para la realización del presente proyecto:

	LISTA DE EQUIPOS PARA AUTOMATIZACION DE CENTRIFUGA A		
CANT	DESCRIPCION	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	Pistón DNC-32-125-PPV-A	93,56	93,56
1	Pistón DNC-32-100-PPV	93,44	93,44
1	Pistón DNCB-63-320-PPV-A	123,45	123,45
6	Electro válvula CPE18-M1H-5L-1/4"	75,5	453
2	Electro válvula Solenoide ¾, 120V	276,3	552,6
6	Sensor Inductivo SME-8-S-LED-230	32,26	193,56
1	Gabinete Metálico 30x40 cm	22,82	22,82
4	Selectores ON-OFF sin retorno	5,75	23
13	Reles 115V	17,69	229,97
4	Selectores ON-OFF con retorno	12,47	49,88
2	Selectores 3 posiciones con retorno	22,34	89,36
50m	Cable # 16 AWG	0,31	15,5
50m	Manguera 8mm, 150psi	1,72	76,02
1	Apalpador Neumático ON-OFF	300	300
1	HMI TD-400C	470	470
1	Actuador neumático tipo mariposa	270	270
1	Modulo de ampliación de 8 salidas digitales para el PL	143,37	143,37
1	PLC SIMATIC S7200 CPU224	453	453
1	Luz Piloto	28,56	28,56
20m	Manguera de funda sellada 1/2"	1,84	36,8
10m	Manguera de funda sellada 2"	12,61	126,1
10	Conector manguera sellada 1/2"	1,65	16,5
6	Conector manguera sellada 2"	7,66	45,96
1	Fuente de poder SIEMENS 24Vdc	311,83	311,83
200	Amarras plasticas de 30 cm	0,03	6
	TOTAL		**4224,28**

Tabla 3-4: Lista de precios de los equipos utilizados en el proyecto.

CAPITULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 OPERACIÓN DE LA MÁQUINA ANTES Y DESPÚES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Todas las operaciones se las realizaba anteriormente en forma manual, es decir el operador se encargaba desde el encendido de la centrifuga hasta el último paso en el proceso de centrifugación. La centrifuga estaba compuesta por partes no aptas para realizar una operación automática y con ciertas limitaciones para alcanzar una mayor y mejor producción.

4.1.1 CAMBIOS REALIZADOS EN LA ESTRUCTURA DE LA CENTRIFUGA

Se realizaron ciertos cambios en la estructura de la máquina, necesarios para lograr el objetivo del proyecto, y para poder evidenciar estos cambios se muestra a continuación un análisis de lo realizado y de los resultados obtenidos.

4.1.1.1 Tablero de control eléctrico

El tablero de control es una parte importante de la máquina ya que desde éste se controla el funcionamiento de la misma, permitiendo al operador maniobrar de acuerdo a las necesidades del proceso y tomando las acciones correctivas en el momento adecuado.

Figura 4-1: Tablero de control antiguo (izquierda) vs. Tablero de control actual (derecha)

4.1.1.2 Tablero de control neumático

El tablero de control neumático es una parte importante del sistema de automatización ya que desde éste se controla el funcionamiento de las electroválvulas que accionan los cilindros neumáticos. Anteriormente no se contaba con este tablero y su implementación permitió mejorar las condiciones de operación de la centrifuga y consecuentemente del proceso.

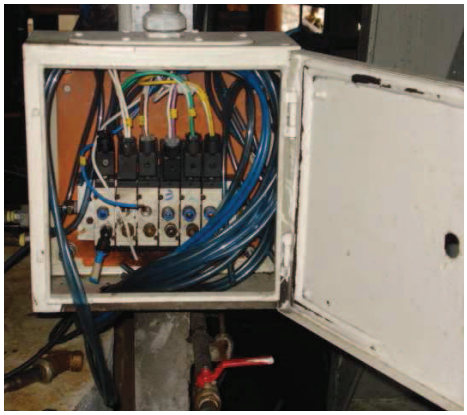


Figura 4-2: Tablero de control neumático actualmente implementado

4.1.1.3 Emisión de agua para el lavado de tela y masa

El lavado tanto de la masa de azúcar como de la tela que recubre la canasta es clave dentro del proceso de centrifugación ya que determina la pureza de la miel obtenida y la calidad del azúcar producida. Anteriormente el lavado se realizaba con una manguera controlada por el operador y actualmente se lo hace con un aspersor tipo flauta controlado automáticamente.

Figura 4-3: Aspersor de agua tipo flauta actualmente implementado

4.1.1.4 Compuerta de descarga de masa

Esta compuerta permite el paso de la masa de azúcar desde el tanque malaxador hacia la canasta de la centrifuga, por lo que representa una parte importante dentro del funcionamiento del proceso y debido a esto su construcción y montaje significo uno de los cambios mas delicados del proyecto. Anteriormente la descarga se realizaba por un carrete manejado por el operador y actualmente se lo hace a través de un conducto cerrado operado automáticamente.

Figura 4-4: Compuerta de descarga de masa antigua (izquierda) vs. Compuerta de descarga de masa actual (derecha).

4.1.1.5 Emisión de agua para el lavado de la compuerta de descarga

Este lavado se realiza después de cada descarga de masa y sirve para limpiar el conducto de modo que no queden restos de masa que obstruyan la normal circulación de la misma. Anteriormente el lavado se realizaba con una manguera controlada por el operador y actualmente se lo hace con un aspersor tipo ducha controlado automáticamente.

Figura 4-5: Conexión de agua para el lavado de la compuerta actualmente implementada

4.1.1.6 Sensado del nivel de carga de la canasta

El sensado del nivel de carga es la etapa más crítica del proceso debido a que si este sensado falla se puede sobrecargar a la centrifuga produciendo alteraciones en el proceso o daños considerables en la máquina. Anteriormente el sensado lo realizaba visualmente el operador y actualmente se lo hace utilizando un apalpador o sensor de nivel de carga.

Figura 4-6: Apalpador o sensor de nivel de carga.

4.1.1.7 Cambio de mieles

El cambio de mieles es un subproceso complementario de la centrifugación y consiste en clasificar las mieles resultantes de este proceso, de esta forma se mejora la calidad del producto final ya que estas mieles son luego procesadas nuevamente para convertirse en azúcar. Anteriormente la centrifuga no contaba con este proceso, pero actualmente la separación de mieles se realiza automáticamente mediante un sistema neumático.

Figura 4-7: Compuerta de cambio de mieles actualmente implementada

4.1.1.8 Descarga de azúcar

La descarga de azúcar se realiza con la ayuda del arado, que es la herramienta encargada de separar el azúcar de las paredes de la canasta. Anteriormente el arado era un sistema mecánico manejado por el operador pero actualmente se lo hace utilizando un arado automatizado mediante un sistema neumático.

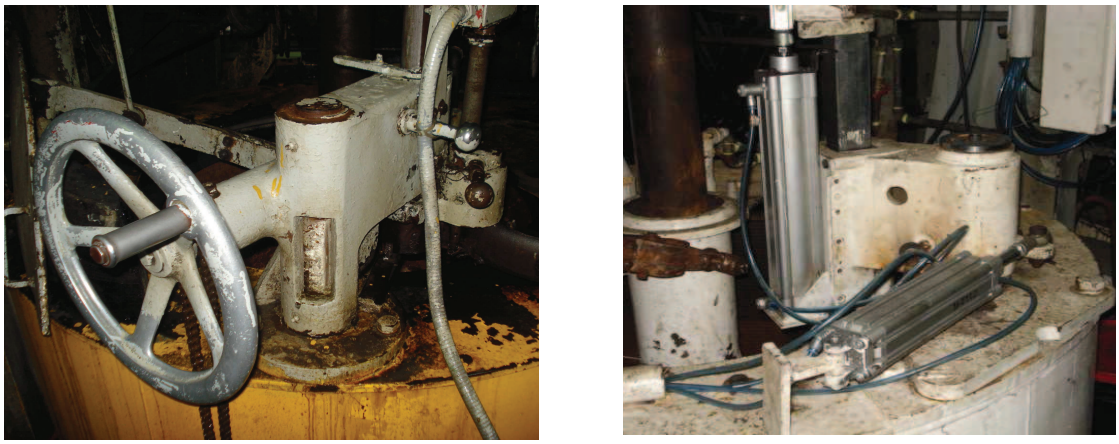


Figura 4-8: Arado antiguo (izquierda) vs. Arado actual (derecha).

4.2 PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DE PRUEBAS

La planificación de las pruebas para este proyecto consiste en realizarlas sistemática y cronológicamente de acuerdo a como avanza el proyecto, es decir que a medida que se van completando las fases de implementación se van realizando las pruebas pertinentes.

4.2.1 PRUEBA DE LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Una vez terminada la instalación de las tuberías que conducirán el agua hasta las distintas partes de la máquina, se realizaron las pruebas para detectar posibles fugas u obstrucciones haciendo circular agua por cada una de estas hasta sus respectivas salidas, al mismo tiempo que se probaron las diferentes llaves de paso instaladas.

4.2.2 PRUEBA DE LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

Al finalizar la instalación de las tuberías de aire comprimido hasta el armario de control neumático de la máquina, se realizaron las pruebas para detectar posibles fugas u obstrucciones haciendo circular aire comprimido por la tubería principal hasta el punto de distribución, al mismo tiempo que se probaron las diferentes llaves de paso y los puntos de purga instalados.

4.2.3 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS NEUMÁTICOS

Una vez ubicados los distintos equipos en la centrifuga se procedió a realizar las pruebas, para así asegurarnos de su óptimo funcionamiento dentro del proceso. Estas pruebas se ejecutaron de la siguiente manera:

- Se conectan a los actuadores neumáticos dispositivos y accesorios complementarios necesarios para lograr ciertas aplicaciones, estos dispositivos pueden ser:

    - Válvulas antiretorno
    - Válvulas reguladoras

- Se conectan los actuadores neumáticos a las electroválvulas mediante las mangueras de alimentación.
- Se habilita la unidad de mantenimiento antes de dar paso al aire comprimido hasta el punto de distribución.
- Se abre la llave de alimentación de aire comprimido
- Finalmente se accionan manualmente las electroválvulas una a una para probar el funcionamiento de cada cilindro o actuador neumático.

4.2.4 PRUEBAS DE CABLEADO E INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Estas pruebas se realizaron en dos partes:

- Prueba del cableado e instalación del circuito de potencia
- Prueba del cableado e instalación del circuito de control

4.2.4.1 Prueba del cableado e instalación del circuito de potencia

Para esta prueba se utiliza un multímetro digital que permite comprobar tanto la continuidad en los cables como en la conexión de los mismos dentro del circuito. Dentro de esta prueba también se comprobó el correcto funcionamiento de los elementos de maniobra o dispositivos de accionamiento eléctrico; una vez comprobados se procedió a medir los niveles de voltaje requeridos en partes específicas del circuito.
Es importante revisar que los cables estén fijamente conectados a los dispositivos de accionamiento ya que al aflojarse cualquier contacto puede causar graves accidentes y ocasionar daños tanto en el circuito como en el personal operativo sobretodo cuando se trabaja con voltajes elevados.

4.2.4.2 Prueba del cableado e instalación del circuito de control

Se vuelve a utilizar el multímetro digital para comprobar tanto la continuidad en los cables como en la conexión de los mismos dentro del circuito. Una parte importante de esta prueba es asegurarse de los valores de voltaje que se suministran a los diferentes dispositivos de accionamiento, además de las polaridades de los mismos ya que en los circuitos de control generalmente se manejan diferentes niveles de voltaje.

4.2.5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA DE CONTROL UTILIZANDO EL SIMULADOR STEP 7 Y POSTERIORMENTE EL PLC SIMATIC S7 200

4.2.5.1 Pruebas del programa de control utilizando el simulador STEP 7

Una vez concluido el programa de control se realizaron una serie de pruebas utilizando el simulador STEP 7 que permitió corregir ciertos errores de funcionamiento y afinar algunos detalles importantes antes de cargarlo al PLC.
Para poder simular el programa es necesario seguir los siguientes pasos:

- Guardar el programa principal dentro de una carpeta ubicada en uno de los discos locales del computador.
- Compilar el programa hasta que no presente errores
- Exportar el programa compilado y guardarlo en la misma carpeta donde está ubicado el programa principal.
- Ejecutar el programa del simulador
- Cargar el programa exportado
- Ejecutar el programa cargado para iniciar la simulación.

4.2.5.2 Pruebas del programa de control utilizando el PLC SIMATIC S7 200

Después de haber concluido las pruebas con el simulador se procedió a realizar las pruebas con el PLC, las mismas que presentaron ciertas dificultades al momento de ejecutar el programa debido a cambios repentinos en su funcionamiento, estas dificultades fueron superadas oportunamente solucionando los defectos experimentados al inicio.

4.2.6 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC SIMATIC S7 200 Y LA PC PORTADORA DEL PROGRAMA DE CONTROL.

Una vez terminada la configuración de parámetros para la comunicación, se conectó el PLC a la PC utilizando el cable apropiado asegurándose de que el PLC esté encendido y el selector se encuentre en modo STOP. Finalmente se envió los datos del programa contenidos en la PC hacia el CPU del PLC y una vez que estos fueron transferidos, se descargaron los datos contenidos en la CPU del PLC hacia la PC.

4.2.7 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC SIMATIC S7 200 Y EL VISUALIZADOR DE TEXTOS TD 200

Una vez que el programa de control se encuentra en la CPU del PLC, se conectó el PLC al TD 200 usando un cable TD/CPU construido y finalmente se colocó el selector del PLC en modo RUN para que los datos ubicados en el CPU del PLC sean transferidos hacia el visualizador de textos TD 200.

4.2.8 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR

La prueba del motor consiste en accionar eléctricamente los contactores instalados para cada velocidad. Primero se energizó el contactor de 60rpm y después de accionarlo se contabilizó el tiempo que tarda el motor en estabilizarse a esta velocidad, una vez que el motor alcanzó los 60rpm y se mantuvo constante a esta velocidad, se desconectó el contactor para luego energizar el contactor de velocidad reversa y al igual que en la velocidad anterior se contabilizó el tiempo que tarda el motor en detenerse.

Este procedimiento se repite para cada una de las velocidades restantes; estas son:

- 600rpm
- 1200rpm

Los datos obtenidos en estas pruebas se muestran a continuación en la siguiente tabla:

VELOCIDAD	TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN (s)	TIEMPO DE FRENADO (s)
60rpm	8	12
600rpm	20	38
1200rpm	32	75

Tabla 4-1: Tiempo de estabilización y frenado del motor para cada velocidad

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las pruebas realizadas en cada una de las etapas del sistema arrojaron diferentes resultados que a continuación se analizaran detalladamente:

- El sistema de alimentación y distribución de agua funcionó de forma eficiente sin la presencia de fugas o taponamientos en las tuberías que representen caídas en la presión de salida del agua.

- El sistema de distribución de aire comprimido presentó ciertos problemas de fuga que se debieron al mal ajuste de acoples y otras al mal estado de algunas piezas, esto se solucionó eficiente y oportunamente; lo que garantizó el flujo de aire comprimido necesario para obtener un sistema neumático confiable.

- En la prueba de los equipos neumáticos se experimentaron ciertos inconvenientes de tipo logístico ya que el recorrido del émbolo de algunos cilindros neumáticos no coincidieron con las bases colocadas para los mismos, y por esta razón no se lograba el funcionamiento deseado; de tal manera que fue necesario modificar las instalaciones permitiendo así alcanzar un funcionamiento óptimo del sistema neumático.

- En las pruebas de cableado e instalación eléctrica no hubieron mayores inconvenientes, no obstante fue necesario buscar otras rutas para tender el cableado desde el tablero principal hasta el tablero de control, con el fin de evitar problemas en la conducción debido a las altas temperaturas de tuberías cercanas a las canaletas de llevar tanto los cables de energía eléctrica como el cable blindado de comunicación entre el PLC el visualizador de textos TD 200.

- Las pruebas realizadas con el programa de control utilizando el simulador STEP 7 y el PLC SIMATIC S7 200 arrojaron resultados muy útiles para mejorar el funcionamiento del proceso, además que ayudaron a corregir algunos errores de programación para finalmente obtener un programa confiable y eficiente.

- Las pruebas de comunicación entre el PLC y la PC así como la prueba entre el PLC y el TD200 fueron superadas sin inconvenientes, sin embargo es imprescindible asegurarse de que los cables utilizados para la comunicación estén en perfecto estado de funcionamiento, y de esta forma garantizar una buena comunicación entre los equipos.

- Las pruebas realizadas al motor de la centrifuga se desarrollaron sin problemas, tomando las precauciones necesarias para trabajar con voltajes elevados. Los datos obtenidos en estas pruebas fueron de mucha utilidad para obtener un mejor rendimiento de la máquina y consecuentemente una optimización de recursos en el proceso de centrifugación.

- Finalmente con el sistema de centrifugación automatizado se pudieron evidenciar los resultados obtenidos, dentro de los cuales se muestran plasmados los objetivos planteados inicialmente y como consecuencia un mejoramiento en la producción, logrando una periodicidad en los ciclos de trabajo, un purgado más eficiente, una mejora considerable en las purezas tanto de la miel rica (miel sin agua) y de la miel A (con agua).

Además se eliminó el error humano en la descarga y lavado de masa, en la descarga de azúcar; con el tiempo de secado establecido se evitó enviar el azúcar con exceso de humedad hacia el secador.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- De las pruebas realizadas se puede concluir que con la automatización del proceso de centrifugación de la masa de azúcar se aportó positivamente a la fiabilidad del proceso, ya que se obtuvo un sistema más seguro, confiable, versátil y menos sensible a cambios externos que pueden afectar al producto final.

- Debido a que el control automático del proceso de centrifugación se realizó en base a tiempos de funcionamiento, fue posible optimizar las etapas del mismo acortando los tiempos de activación en cada subproceso, sin afectar la calidad del producto final y logrando así, mayor producción y una mejor utilidad.

- Debido a que el PLC es un controlador programable robusto insensible a ciertas perturbaciones eléctricas; representa una garantía para el correcto desempeño de la máquina de acuerdo a las condiciones y principios de funcionamiento del proceso, y su utilización dentro del sistema de automatización asegura la óptima ejecución del programa de control.

- Un aspecto crítico del proceso es determinar el nivel de carga de la canasta, debido a que una sobrecarga podría ocasionar daños representativos en el proceso, es por eso que el apalpador o sensor de nivel de carga que fue construido toma gran importancia, más aún cuando su funcionamiento fue óptimo y se consiguió el resultado esperado.

- La utilización de actuadores neumáticos dentro del sistema de automatización fue acertada ya que se logró un eficiente desarrollo del proceso cumpliendo los requerimientos del mismo; además de

representar un significativo ahorro de energía utilizando en lugar de motores eléctricos, cilindros neumáticos.

- Otra de las partes importantes del sistema, es el HMI utilizado ya que permite al operador interactuar con el proceso o la máquina que interviene en él. En este caso se utilizó un visualizador de texto, el mismo que permite acceder al programa de control guardado en el PLC, para poder editar algunos de los parámetros de funcionamiento si fuera necesario, además permite visualizar el valor de los mismos y conocer el estado de funcionamiento de la máquina.

- La realización de este proyecto ha sido de mucha importancia para mi formación profesional, porque ha permitido aplicar conocimientos adquiridos durante la toda la carrera, y aprender cómo debe llevarse a cabo un proyecto dentro de la industria.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para diseñar y desarrollar el programa de control del sistema automático es necesario conocer a fondo el proceso al que se va a implementar la automatización, para de esta manera poder tomar los correctivos necesarios o conservar los procedimientos acertados dentro del proceso.

- Es muy importante dialogar constantemente con la persona encargada del área donde se va a desarrollar el proyecto dentro de la empresa y especialmente con los operadores de la máquina en cuestión, con el fin de consultar e intercambiar criterios y sugerencias a cerca del nuevo funcionamiento que tendrá el equipo dentro del proceso.

- Es recomendable revisar periódicamente el estado de los actuadores y elementos de control de sistema, además de las conexiones tanto eléctricas como neumáticas para de esta forma garantizar el normal y correcto desarrollo del proceso.

- El diseño del sistema de control para una máquina debe ser lo suficientemente flexible, de manera que sea posible realizar cambios que permitan mejorar el funcionamiento del proceso, incluso luego de que la máquina haya entrado en operación.

- Cuando se cuenta con un HMI dentro de un sistema es muy importante seleccionar un adecuado protocolo de comunicación, y una vez seleccionado éste, cerciorarse de que no existan interferencias que puedan causar la pérdida o distorsión de los datos.

- Es necesario capacitar a los operadores una vez concluido un proyecto, esto permitirá evitar que se cometan errores y que al momento de evidenciar cualquier anomalía en el funcionamiento de la máquina sepan como reaccionar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Direcciones electrónicas

- **RAMIREZ, Ingrid**; Tipos de centrifugas; http://www.monografias.com/trabajos7/centri/centri.shtml

Libros y Manuales

- **SIEMENS**; Manual del sistema de automatización S7 200; Número de referencia del manual: 6ES7298-8FA24-8DH0; 6º Edición; 2004.

- **SIEMENS**; Manual del visualizador de textos TD 200; Número de referencia del manual: 6ES7272-0AA20-8DA0; 1º Edición; 2000.

- **HUGOT, E**.; Manual para Ingenieros Azucareros; 7º Edición; Editorial Continental S.A.; México, 1984.

- **MEADE, George**; Manual del Azúcar de Caña; 9º Edición; Editorial Montaner y Simón S.A.; Barcelona; 1967.

ANEXO A

MANUAL DE OPERACIÓN DEL VISUALIZADOR DE TEXTOS TD200

Desplazarse por los mensajes

Para visualizar los mensajes:

1. Pulse la tecla de flecha ABAJO. El TD 200 visualiza el (los) mensaje(s) de prioridad inmediatamente inferior.

2. Pulse la tecla de flecha ARRIBA. El TD 200 visualiza el (los) mensaje(s) de prioridad inmediatamente superior.

3. Pulse una tecla cualquiera (excepto las teclas con flecha). El TD 200 sale del modo de Desplazamiento.

Editar un valor

Para editar una variable:

1. Seleccione un mensaje pulsando una de las teclas con flecha (ARRIBA o ABAJO) para situar el cursor en el primer carácter del mensaje deseado.

2. Pulse la tecla ENTER para desplazar el cursor hacia el carácter menos significativo (situado en el extremo derecho) de la primera variable editable del mensaje.

3. Si la variable está protegida con contraseña, introduzca en el indicador la contraseña de 4 dígitos y pulse ENTER.

4. Pulse la tecla con flecha ARRIBA o ABAJO para incrementar o decrementar la variable. (Si pulsa y mantiene oprimida una de dichas teclas, se acelerará la operación de incrementar o decrementar, respectivamente.)

– Para desplazar el cursor al dígito contiguo, pulse las teclas SHIFT y ARRIBA (a la izquierda) o SHIFT y ABAJO (a la derecha).

– Para poner la variable a ”0”, pulse las teclas SHIFT y ENTER.

5. Pulse la tecla ENTER para escribir la variable actualizada en la CPU.

Mientras que el valor actualizado se escribe en la CPU, el correspondiente bit de aviso de edición se pone a ”1”.

Para confirmar un mensaje, sitúe el cursor en el primer carácter del mismo y pulse la tecla ENTER.

ANEXO B

Datos técnicos del PLC SIMATIC S7200 (CPU224)

Tabla A-2 Números de referencia de las CPUs

Nº de referencia	Modelo de CPU	Alimentación (nominal)	Entradas digitales	Salidas digitales	Puertos COM	Entradas analógicas	Salidas analógicas	Bloque de terminales extraíble
6ES7 211-0AA23-0XB0	CPU 221	24 V c.c.	6 x 24 V c.c.	4 x 24 V c.c.	1	No	No	No
6ES7 211-0BA23-0XB0	CPU 221	120 a 240 V c.a.	6 x 24 V c.c.	4 salidas de relé	1	No	No	No
6ES7 212-1AB23-0XB0	CPU 222	24 V c.c.	8 x 24 V c.c.	6 x 24 V c.c.	1	No	No	No
6ES7 212-1BB23-0XB0	CPU 222	120 a 240 V c.a.	8 x 24 V c.c.	6 salidas de relé	1	No	No	No
6ES7 214-1AD23-0XB0	CPU 224	24 V c.c.	14 x 24 V c.c.	10 x 24 V c.c.	1	No	No	Sí
6ES7 214-1BD23-0XB0	CPU 224	120 a 240 V c.a.	14 x 24 V c.c.	10 salidas de relé	1	No	No	Sí
6ES7 214-2AD23-0XB0	CPU 224XP	24 V c.c.	14 x 24 V c.c.	10 x 24 V c.c.	2	2	1	Sí
6ES7 214-2BD23-0XB0	CPU 224XP	120 a 240 V c.a.	14 x 24 V c.c.	10 salidas de relé	2	2	1	Sí
6ES7 216-2AD23-0XB0	CPU 226	24 V c.c.	24 x 24 V c.c.	16 x 24 V c.c.	2	No	No	Sí
6ES7 216-2BD23-0XB0	CPU 226	120 a 240 V c.a.	24 x 24 V c.c.	16 salidas de relé	2	No	No	Sí

Tabla A-4 Datos técnicos de las CPUs

	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP	CPU 226
Memoria					
Tamaño del programa de usuario (EEPROM) con edición en modo RUN sin edición en modo RUN	 4096 bytes 4096 bytes		 8192 bytes 12288 bytes	 12288 bytes 16384 bytes	 16384 bytes 24576 bytes
Datos de usuario (EEPROM)	2048 bytes (remanentes)		8192 bytes (remanentes)	10240 bytes (remanentes)	10240 bytes (remanentes)
Respaldo (condensador de alto rendimiento) (pila opcional)	Típ. 50 h (mín. 8 h a 40°C) Típ. 200 días		Típ. 100 h (mín. 70 h a 40° C) Típ. 200 días	Típ. 100 horas (mín. 70 horas a 40°C) Típ. 200 días	
Entradas y salidas (E/S)					
E/S de ampliación	6 E/4 S	8 E/8 S	14 E/10 S	14 E/10 S	24 E/16 S
E/S analógicas	Ninguna			2 E/1 S	Ninguna
Tamaño de la imagen de E/S digitales	256 (128 E/128 S)				
Tamaño de la imagen de E/S analógicas	Ninguno	32 (16 E/16 S)	64 (32 E/32 S)		
Nº máx. de módulos de ampliación	Ninguno	2 módulos[1]	7 módulos[1]		
Nº máx. de módulos inteligentes	Ninguno	2 módulos[1]	7 módulos[1]		
Entradas de captura de impulsos	6	8	14		24
Contadores rápidos Fase simple Dos fases	4 contadores (total) 4 a 30 kHz 2 a 20 kHz		6 contadores (total) 6 a 30 kHz 4 a 20 kHz	6 contadores (total) 4 a 30 kHz 2 a 200 kHz 3 a 20 kHz 1 a 100 kHz	6 contadores (total) 6 a 30 kHz 4 a 20 kHz
Salidas de impulsos	2 a 20 kHz (sólo en salidas c.c.)			2 a 100 kHz (sólo en salidas c.c.)	2 a 20 kHz (sólo en salidas c.c.)

Datos generales			
Temporizadores	256 temporizadores en total: 4 temporizadores de 1 ms, 16 temporizadores de 10 ms y 236 temporizadores de 100 ms		
Contadores	256 (respaldo por condensador de alto rendimiento o pila)		
Marcas internas almacenadas al desconectar la CPU	256 (respaldo por condensador de alto rendimiento o pila) 112 (almacenamiento en EEPROM)		
Interrupciones temporizadas	2 con resolución de 1 ms		
Interrupciones de flanco	4 flancos positivos y/o 4 flancos negativos		
Potenciómetros analógicos	1 con resolución de 8 bits	2 con resolución de 8 bits	
Velocidad de ejecución booleana	0,22 µs por operación		
Reloj de tiempo real	Cartucho opcional	Incorporado	
Cartuchos opcionales	Memoria, pila y reloj de tiempo real	Memoria y pila	
Comunicación integrada			
Puertos (potencia limitada)	1 puerto RS-485		2 puertos RS-485
Velocidades de transferencia PPI, DP/T	9,6, 19,2 y 187,5 kbit/s		
Velocidades de transferencia Freeport	1.2 kbit/s a 115.2 kbit/s		
Longitud máx. del cable por segmento	Con repetidor aislado: 1000 m hasta 187,5 kbit/s, 1200 m hasta 38,4 kbit/s Sin repetidor aislado: 50 m		
Nº máximo de estaciones	32 por segmento, 126 por red		
Nº máximo de maestros	32		
Punto a punto (modo maestro PPI)	Sí (NETR/NETW)		
Enlaces MPI	4 en total, 2 reservados (1 para una PG y 1 para un OP)		

ANEXO C

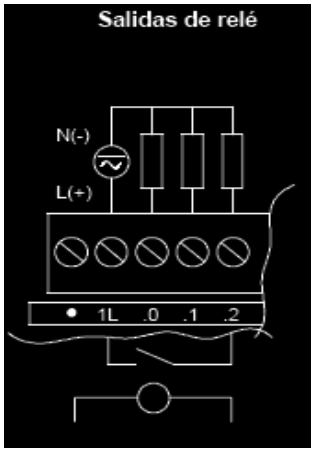
Datos técnicos del TD200 (Visualizador de textos)

Tabla A-1 Datos técnicos del TD 200

Descripción	Datos técnicos
TD 200	
Nº de referencia	6ES7 272-0AA20-0YA0
Dimensiones (a x l x p)	76 x 148 x 28 mm
Peso	aprox. 0,19 kg (sin accesorios)
Display	Display gráfico STN con una resolución de 181 x 33 píxels Retroiluminación LED
Teclado	Teclado de membrana / 9 teclas / Plantillas personalizables
Interface PG - CPU	RS 485 (PPI); 9,6 / 19,2 / 187,5 Kbits/s
Tensión de alimentación (U_N)	DC 24V, (DC 15V...DC 30V, pequeña tensión de seguridad (SELV), suministrada por la CPU, adaptador de red o fuente de alimentación externa de DC 24V). El TD 200 no dispone de un dispositivo integrado de protección contra interferencias fuertes en el margen de µs (sobretensión). Si la fuente de alimentación no dispone de la protección adecuada, es preciso preconectar un dispositivo protector contra sobretensiones.
Consumo de corriente (I_N)	típ. 70 mA, (resistores terminales desconectados), máx. 120 mA a U_N 24V (fusible de 2A en el TD 200).
Extra-corriente de cierre	máx. 0,6 A / 15 ms
Clase de protección	IP 65 (montado delante del panel) IP 20 (montado en la carcasa)
Seguridad	
Normas VDE	VDE 0805, EN 60950, IEC 950
Emisión de interferencias	<45dB(A) según DIN 45635 (sin ventilador)
Compatibilidad electromagnética (EMC)	
Interferencias emitidas Clase límite	B según EN 55022 = CISPR 22
Inmunidad a interferencias en líneas de señal	± 2kV (según IEC 1000-4-4; ráfaga de señales)
Inmunidad a interferencias debidas a descargas de electricidad estática	± 6 kV Descarga de contacto (según IEC 1000-4-2; ESD) ± 8kV Descarga de aire (según IEC 1000-4-2; ESD)
Interferencias conducidas en líneas de alimentación DC	± 2kV (según IEC 1000-4-4; ráfaga de señales) ± 1kV[1] (según IEC 1000-4-5; impulso µs (sobretensión); (línea contra línea)) ± 2kV[1] (según IEC 1000-4-5; impulso µs (sobretensión); (línea contra tierra)) [1] Las fuentes de alimentación de igual tensión sólo se pueden utilizar con dispositivos de protección adicionales. Por ejemplo, la empresa Dehn ofrece un protector contra sobretensiones, tipo RZ/E 24 V-, nº de pedido 917 204

ANEXO D

Datos técnicos del módulo de ampliación de salidas digitales a relé (EM222)



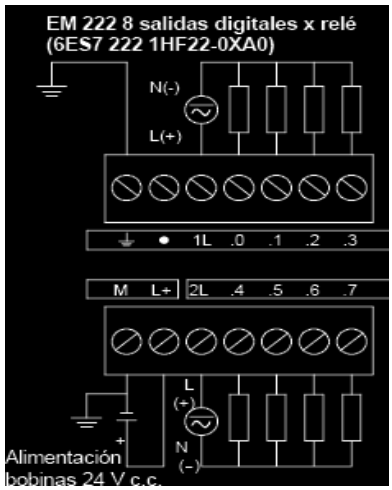


Tabla A-11 Números de referencia de los módulos de ampliación digitales

Nº de referencia	Módulo de ampliación	Entradas digitales	Salidas digitales	Bloque de terminales extraíble
6ES7221-1BF22-0XA0	EM 221 8 entradas digitales x 24 V c.c.	8 x 24 V c.c.	-	Sí
6ES7 221-1EF22-0XA0	EM 221 8 entradas digitales x 120/230 V c.a.	8 x 120/230 V c.a.	-	Sí
6ES7221-1BH22-0XA0	EM 221 16 entradas digitales x 24 V c.c.	16 x 24 V c.c.	-	Sí
6ES7 222-1BD22-0XA0	EM 222 4 salidas digitales x 24 V c.c.-5A	-	4 x 24 V c.c.-5A	Sí
6ES7 222-1HD22-0XA0	EM 222 4 salidas digitales x relé-10A	-	4 x relé-10A	Sí
6ES7 222-1BF22-0XA0	EM 222 8 salidas digitales x 24 V c.c.	-	8 x 24 V c.c.-0,75A	Sí
6ES7 222-1HF22-0XA0	EM 222 8 salidas digitales x relé	-	8 x relé-10A	Sí
6ES7 222-1EF22-0XA0	EM 222 8 salidas digitales x 120/230 V c.a.	-	8 x 120/230 V c.a.	Sí
6ES7223-1BF22-0XA0	EM 223 4 entradas digitales/4 salidas digitales x 24 V c.c.	4 x 24 V c.c.	4 x 24 V c.c.-0,75A	Sí
6ES7 223-1HF22-0XA0	EM 223 4 entradas digitales/4 salidas de relé x 24 V c.c.	4 x 24 V c.c.	4 x relé-2A	Sí
6ES7 223-1BH22-0XA0	EM 223 8 entradas digitales/8 salidas digitales x 24 V c.c.	8 x 24 V c.c.	8 x 24 V c.c.-0,75A	Sí
6ES7 223-1PH22-0XA0	EM 223 8 entradas digitales/8 salidas de relé x 24 V c.c.	8 x 24 V c.c.	8 x relé-2A	Sí
6ES7 223-1BL22-0XA0	EM 223 16 entradas digitales/16 salidas digitales x 24 V c.c.	16 x 24 V c.c.	16 x 24 V c.c.-0,75A	Sí
6ES7 223-1PL22-0XA0	EM 223 16 entradas digitales/16 salidas de relé x 24 V c.c.	16 x 24 V c.c.	16 x relé-2A	Sí

ANEXO E

Datos técnicas de los cilindros neumáticos utilizados

1. DNC-32-100-PPV (Pmáx-8bar)

N° de artículo	Referencia 1	Forma de funcionamient	Diámetro del émbolo	Fuerza teórica con 6 bar, avance	Carrera	Amortiguación
163323	DNC-32-100-PPV	De efecto doble	32 mm	483 N	100 mm	Amortiguación neumática regulable a ambos lados

2. DNC-50-200-PPV (Pmáx =12bar)

N° de artículo	Referencia 1	Forma de funcionamient	Diámetro del émbolo	Fuerza teórica con 6 bar, avance	Carrera	Amortiguación
163390	DNC-50-200-PPV	De efecto doble	50 mm	1178 N	200 mm	Amortiguación neumática regulable a ambos lados

3. DNCB-63-320-PPV-A (Pmáx-12baf)

N° de artículo	Referencia 1	Forma de funcionamient	Diámetro del émbolo	Fuerza teórica con 6 bar, avance	Carrera	Amortiguación
532772	DNCB-63-320-PPV-A	De efecto doble	63 mm	1870 N	320 mm	Amortiguación neumática regulable a ambos lados

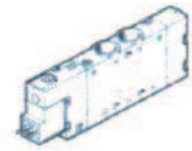
4. DNC-32-125-PPV-A (Pmáx=12bar)

N° de artículo	Referencia 1	Forma de funcionamient	Diámetro del émbolo	Fuerza teórica con 6 bar, avance	Carrera	Amortiguación
163310	DNC-32-125-PPV-A	De efecto doble	32 mm	483 N	125 mm	Amortiguación neumática regulable a ambos lados

ANEXO F

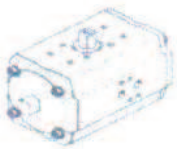
Datos técnicos de las electroválvulas y actuadores neumáticos utilizados

1. CPE18-M1H-5L



N° de artículo	Referencia 1	Función de las válvulas	Caudal nominal normal	Conexión neumática 1	Tipo de accionamiento
163142	CPE18-M1H-5L-1/4	5/2 monoestable	1300 l/min	G1/4	eléctrico

2. DFPB-65-090-F05



Datos técnicos generales								
Tamaño	10	20	30	45	65	80	120	170
Patrón de taladros	F03	F04		F05			F0507	F0710
Conexión neumática	G⅛							
Construcción	Piñón y cremallera							
Funcionamiento	Doble efecto							
Posición de montaje	Indistinta							
Ángulo de giro [°]	90							
Margen de ajuste de las posiciones finales [°]	-4 ... +4							
Sentido de cierre	Indistinta							
Detección de posiciones	No incluido							
Amortiguación	No incluido							