



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

" E SCIENTIA HOMINIS SALUS "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**AUTOMATIZACIÓN DEL APILADOR RADIAL DE CALIZA DE
“LAFARGE CEMENTOS ECUADOR” A TRAVÉS DE UN
CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE**

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

**NELSON RICARDO URRUTIA ACOSTA
rickynel_u@yahoo.com**

**DIRECTOR: NELSON GONZALO SOTOMAYOR OROZCO, MSc.
nelson.sotomayor@epn.edu.ec**

Quito, Septiembre de 2012

DECLARACIÓN

Yo, Nelson Ricardo Urrutia Acosta, 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.

Nelson Ricardo Urrutia Acosta

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Nelson Ricardo Urrutia Acosta, bajo mi supervisión.

NELSON SOTOMAYOR, MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios por acompañarme y guiarme durante toda mi carrera universitaria.

A mis Padres por brindarme todo su apoyo, esfuerzo, sacrificio y ayuda incondicional para cumplir este objetivo.

A mi Familia por acompañarme en todo momento.

A mis profesores por transmitirme sus conocimientos.

Al Ingeniero Nelson Sotomayor por su ayuda fundamental y desinteresada para cumplir con esta meta.

A mis compañeros de Instrumentación, Eléctricos y Métodos del GRUPO LAFARGE CEMENTOS – ECUADOR por su apoyo y guía para el desarrollo del presente proyecto.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme cumplir esta meta.

A mis Padres que con su inmenso amor me han enseñado el camino del bien y me han compartido sus sabios consejos.

A mis Hermanos por estar siempre cerca de mí.

A mis amigos por estar conmigo en los buenos y malos momentos.

A todos los que de alguna manera han influido en mi vida para sacar adelante este objetivo.

CONTENIDO

Contenido	i
RESUMEN.....	viii
PRESENTACIÓN.....	x

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	1
1.1 TERMINOLOGÍA EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO.....	1
1.1.1 APILADOR	1
1.1.2 TOLVA.....	1
1.1.3 RECUPERADOR	2
1.1.4 BÁSCULA DE DOSIFICACIÓN.....	2
1.1.5 CRUDO.....	2
1.1.6 VENTILADOR EXHAUSTOR.....	2
1.1.7 DESHIDRATACIÓN	2
1.1.8 DESCARBONATACIÓN.....	2
1.1.9 CLINQUERIZACIÓN	2
1.1.10 CLINKER	3
1.1.11 SILOS.....	3
1.1.12 ELEVADOR DE CANGILÓN.....	3
1.1.13 AERODESLIZADOR.....	3
1.1.14 BUNKER	3
1.1.15 FILTRO DE MANGAS	3
1.1.16 PUZOLANA	3
1.1.17 FILTRO ELECTROSTÁTICO.....	4
1.1.18 SHOCK BLOWERS	4
1.1.19 CRIBA	4
1.1.20 VIBRADOR.....	4
1.1.21 TRANSPORTADOR DE PLACAS	4
1.2 FABRICACIÓN DE CEMENTO EN PLANTA LAFARGE CEMENTOS ECUADOR.....	4
1.2.1 ALMACENAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS.....	5
1.2.2 MOLINO DE CRUDO	7
1.2.3 FILTRO ELECTROSTÁTICO.....	8

1.2.4	TRANSPORTACIÓN DE CRUDO	8
1.2.5	ALIMENTACIÓN DE CRUDO AL PRECALENTADOR	9
1.2.6	EL PRECALENTADOR	10
1.2.7	CALCINACIÓN	12
1.2.8	ENFRIADORA	13
1.2.9	TRATAMIENTO DEL CLINKER.....	13
1.2.10	ALIMENTACIÓN AL MOLINO DE CEMENTO	14
1.2.11	MOLIENDA Y ALMACENAMIENTO DE CEMENTO.....	16
1.2.12	ENVASADO DE CEMENTO	17
1.3	APILADOR DE CALIZA.....	18
1.3.1	PROCESO DE ALMACENAMIENTO Y HOMOGENIZACIÓN DE CALIZA.....	18
1.3.2	APILADOR DE LA PLANTA DE CEMENTO LAFARGE OTAVALO (VÍA SELVA ALEGRE) – ECUADOR	19
1.3.2.1	Tolva de Recepción de Caliza y Vibrador.....	20
1.3.2.2	Banda Transportadora	20
1.3.2.3	Apilador o Stacker.....	21
1.4	EQUIPOS QUE INTERVIENEN EN EL APILADOR DE CALIZA	22
1.4.1	AUTÓMATA PROGRAMABLE SIMATIC S7 – 300	22
1.4.2	PANEL SIMATIC HMI.....	23
1.4.3	BÁSCULA DE CINTA TIPO BEMP DE SCHENCK.....	23
1.4.4	SENSOR DE NIVEL DE SÓLIDOS	24
1.4.4.1	Palpador.....	25
1.4.4.2	Paletas Rotativas	25
1.4.4.3	Vibratorio	26
1.4.4.4	Membrana Sensitiva.....	27
1.4.4.5	Peso	27
1.4.4.6	Ultrasonidos	27
1.4.4.7	Radar	29
1.4.4.8	Radar Guiado.....	30
1.4.5	VARIADOR DE FRECUENCIA	31
1.4.6	SENSORES DE INTERRUPCIÓN	31
1.4.6.1	Switch de Velocidad.....	31
1.4.6.2	Switch de Mano.....	32
1.4.6.3	Switch de Alineamiento	32
1.4.6.4	Fines de Carrera	32

1.4.6.5	Switch de Proximidad	33
---------	----------------------------	----

CAPÍTULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	34
2.1 VIBRADOR DE CALIZA	35
2.1.1 VARIABLES A CONTROLAR EN EL VIBRADOR DE CALIZA	35
2.1.2 VARIABLES A MEDIR O MONITOREAR EN EL VIBRADOR DE CALIZA	37
2.1.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS PRINCIPALES	37
2.1.4 DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL	38
2.1.4.1 Protección del Circuito.....	39
2.1.4.2 Falla de Sobrecarga del Motor	39
2.1.4.3 Paro de Emergencia.....	39
2.1.4.4 Botonera Local del Equipo.....	39
2.1.4.5 Comando Automático	40
2.1.4.6 Relé Final de Control	41
2.1.5 DISEÑO CIRCUITO DE FUERZA Y CIRCUITO DE CONTROL DEL VARIADOR DE FRECUENCIA	41
2.1.6 ESQUEMA UNIFILAR DEL CIRCUITO DE CONTROL Y FUERZA.....	42
2.1.7 ESQUEMA DE CABLEADO Y CONEXIÓN DEL CIRCUITO	45
2.2 CINTAS TRANSPORTADORAS.....	47
2.2.1 VARIABLES A CONTROLAR EN LAS CINTAS TRANSPORTADORAS	47
2.2.2 VARIABLES A MEDIR O MONITOREAR EN LAS CINTAS.....	47
2.2.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS PRINCIPALES	48
2.2.4 ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LA BÁSCULA	49
2.2.5 DISEÑO CIRCUITO DE CONTROL.....	52
2.2.5.1 Fusible de protección y Falla de Sobrecarga del motor	52
2.2.5.2 Speed Switch.....	52
2.2.5.3 Switch de Alineamiento	53
2.2.5.4 Switch de Nivel	53
2.2.5.5 Protección Automata	53
2.2.5.6 Hand Switch.....	54
2.2.6 ESQUEMA CIRCUITO DE FUERZA.....	54
2.2.7 ESQUEMA UNIFILAR DEL CIRCUITO DE CONTROL Y FUERZA.....	54
2.2.8 ESQUEMA DE CABLEADO Y CONEXIÓN DEL CIRCUITO	57
2.3 APILADOR RADIAL DE CALIZA.....	60

2.3.1	VARIABLE A CONTROLAR EN EL APILADOR RADIAL	60
2.3.1.1	Inclinación.....	60
2.3.1.2	Posición Radial.....	61
2.3.2	VARIABLES A MEDIR Y MANIPULAR EN EL APILADOR RADIAL.....	61
2.3.2.1	Inclinación.....	61
2.3.2.2	Posición Radial.....	62
2.3.3	SELECCIÓN DE EQUIPOS PRINCIPALES	63
2.3.3.1	Sensor de Nivel	63
2.3.3.2	Variador de Frecuencia	64
2.3.3.3	Sensor Inductivo de Proximidad	65
2.3.4	ESQUEMA DE CONEXIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA Y DEL SENSOR DE NIVEL	65
2.3.5	DISEÑO CIRCUITO DE CONTROL	67
2.3.5.1	Fines de Carrera	67
2.3.5.2	Sensores de Posición.....	67
2.3.5.3	Relés Finales de Control.....	68
2.3.6	ESQUEMA CIRCUITO DE FUERZA.....	68
2.3.7	ESQUEMA UNIFILAR DEL CIRCUITO DE CONTROL Y FUERZA.....	68
2.3.8	ESQUEMA DEL CABLEADO Y CONEXIÓN DEL CIRCUITO.....	71
2.4	SISTEMA DE PARADA DE EMERGENCIA Y ALARMA PREVENTIVA	74
2.4.1	DISEÑO DEL SISTEMA DE PARO DE EMERGENCIA.....	74
2.4.1.1	Circuito de Control del Sistema de Paro de Emergencia	74
2.4.1.2	Esquema de Cableado del Sistema de Parada de Emergencia.....	75
2.4.2	DISEÑO DEL SISTEMA DE ALARMAS PREVENTIVAS	78
2.4.2.1	Circuito de Control del Sistema de Alarmas Preventivas	78
2.4.2.2	Esquema de Cableado del Sistema de Alarmas Preventivas	78
2.5	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) E INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA (HMI)	81
2.5.1	VARIABLES A MONITOREAR.....	81
2.5.2	VARIABLES A CONTROLAR.....	82
2.5.3	SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL PLC	83
2.5.3.1	Dimensionamiento de la CPU	83
2.5.3.2	Dimensionamiento del Número de Entradas y Salidas	84
2.5.4	DIAGRAMA DE CONEXION DEL PLC.....	84
2.5.5	SELECCIÓN DE LA INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA.....	85

2.6	DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL.....	91
2.6.1	DISTRIBUCIÓN INTERNA DEL TABLERO.....	91
2.6.2	UBICACIÓN FÍSICA DEL TABLERO.....	93
2.7	DIAGRAMA DE PROCESO E INSTRUMENTACIÓN PI&D	95
CAPÍTULO 3		
DISEÑO DEL PROGRAMA DE CONTROL.....		
3.1	SIMATIC	98
3.1.1	ADMINISTRADOR SIMATIC.....	98
3.1.1.1	Objeto “Proyecto”	99
3.1.1.2	Objeto “Equipo”	99
3.1.1.3	Objeto “Módulo Programable”	100
3.1.1.4	Objeto “Programa S7”	100
3.1.1.5	Objeto “Carpeta de Fuentes” y “ Carpeta de Bloques”	100
3.1.2	CONFIGURADOR DEL HARDWARE	102
3.1.3	CONFIGURACIÓN DE LA RED DESDE EL NET PRO.....	103
3.1.4	EDITOR DE SÍMBOLOS.....	104
3.1.5	PROGRAMACIÓN LAD/STL/FBD.....	105
3.1.6	SIMULADOR DEL PLC CON S7 PLC SIM.....	107
3.1.7	PROGRAMACIÓN DEL HMI DESDE WINCC FLEXIBLE.....	108
3.1.8	SIMULADOR DEL HMI CON WINCC FLEXIBLE RUNTIME.....	109
3.1.9	AUTOMATION LICENSE MANAGER	110
3.2	DESARROLLO DEL PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DEL APILADOR RADIAL DE CALIZA DE “LAFARGE CEMENTOS ECUADOR” A TRAVÉS DE UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.....	111
3.2.1	CREACIÓN DEL PROYECTO EN EL ADMINISTRADOR SIMATIC	111
3.2.2	ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	118
3.2.3	PROGRAMACIÓN DE LA LÓGICA LADDER	120
3.2.3.1	Bloque del Estado de Motores.....	120
3.2.3.2	Bloque de Transporte de Caliza	122
3.2.3.3	Bloque de Posicionamiento Apilador.....	122
3.2.3.4	Bloques de Adquisición de Datos	123
3.2.3.5	Bloque de Comunicación con el Panel Táctil, Avisos y Alarmas.....	124
3.2.3.6	Bloque de Operación Manual.....	125
3.2.3.7	Bloques Propios del Sistema	125
3.2.4	PROGRAMACIÓN DEL HMI.....	126

3.2.4.1	Parametrización del Panel Táctil desde WinCC Flexible.....	126
3.2.4.2	Desarrollo del Menú de Operación	129
3.2.4.3	Desarrollo del Menú de Calibraciones	131
3.2.4.4	Desarrollo del Menú de Ajustes	133
3.2.5	ALMACENAMIENTO Y RESPALDO DEL PROYECTO	134
3.3	OTROS SOFTWARES UTILIZADOS	136
3.3.1	EASY SERVER DE SCHENCK PROCESS PARA BÁSCULAS EN CINTA TRANSPORTADORA	136
3.3.2	PACT WARE DE VEGA PARA SENSORES DE NIVEL.....	138

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS	142
4.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN DEL PLC Y EL HMI DE SIEMENS	142
4.1.1 HARDWARE DEL PLC.....	143
4.1.1.1 Estado de la CPU.....	143
4.1.1.2 Variables de la periferia del PLC	144
4.1.2 PROGRAMA LADDER.....	145
4.1.3 PROGRAMA HMI	147
4.1.4 MANEJO DE VARIABLES ENTRE EL PLC Y EL HMI	149
4.1.5 USO DE RESPALDOS DEL PROYECTO.....	150
4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PLC Y EL HMI EN EL LUGAR DE OPERACIÓN.....	151
4.2.1 ARMADO Y CONEXIONADO TABLERO DE CONTROL	151
4.2.2 VERIFICACIÓN DE LA PERIFERIA DEL PLC.....	153
4.2.3 FUNCIONAMIENTO DEL HMI EN MODO MANUAL	154
4.3 PRUEBAS DE SECUENCIAS DE ARRANQUE	156
4.3.1 TRANSPORTE DE CALIZA.....	156
4.3.1.1 Condiciones de Arranque	156
4.3.1.2 Señales de Confirmación.....	158
4.3.2 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO APILADOR	158
4.3.2.1 Condiciones de Arranque	159
4.3.2.2 Señales de Confirmación.....	160
4.3.2.3 Operación en Modo Automático de Solo Apilado	161
4.3.2.4 Operación en Modo Automático de Apilado y Homogenizado	162
4.4 PRUEBAS DE SECUENCIAS DE PARO	163

4.4.1	SECUENCIA DE PARO EN CONDICIONES NORMALES	163
4.4.2	SECUENCIA DE PARO EN CONDICIONES DE PROTECCIÓN.....	164
4.4.2.1	Paro de Secuencia vía Software por Activación de Protecciones	164
4.4.2.2	Paro de Secuencia vía Hardware por Activación de Protecciones	165
4.4.3	SECUENCIA DE PARO EN CONDICIONES DE EMERGENCIA.....	166
4.4.4	MENSAJES DEL HMI.....	167
4.5	PRUEBAS DE LA INSTRUMENTACIÓN INSTALADA	168
4.5.1	BÁSCULA DE CINTA TRANSPORTADORA	169
4.5.1.1	Instalación en Campo	169
4.5.1.2	Parametrización y Calibración del Equipo.....	171
4.5.2	SENSOR DE NIVEL TIPO RADAR	173
4.5.2.1	Instalación en Campo	174
4.5.2.2	Medición de Nivel.....	175
CAPÍTULO 5		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
		176
5.1	CONCLUSIONES	176
5.2	RECOMENDACIONES	180
5.2.1	RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO DEL SISTEMA.....	180
5.2.2	RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN SIMILAR.....	181
	BIBLIOGRAFÍA.....	184
	ANEXOS.....	187

RESUMEN

El proyecto tiene como objetivo Optimizar y Modernizar el control de la Apiladora de Caliza en la Planta Industrial “LAFARGE CEMENTOS ECUADOR” mediante la Automatización del Sistema de Control por medio de un Controlador Lógico Programable que garantice el funcionamiento de manera autónoma y eficiente.

Para cumplir con el objetivo se realizaron los siguientes pasos: diseño de ingeniería; programación del sistema de control en un PLC y de la interfaz hombre máquina en un panel táctil; montaje, parametrización e instalación de la instrumentación; y, la dirección y supervisión para el cambio, cableado y montaje del tablero de control, junto con toda la periferia.

El diseño de ingeniería comprende la correcta elección de los equipos, manteniendo el estándar de planta, sin sobrepasar el costo total de la inversión designada para el proyecto, el cambio de control electromecánico a uno centralizado, controlado por un PLC, el rediseño de los planos eléctricos manteniendo los esquemas originales, el diseño del tablero de control y la planificación para la implementación, puesta en marcha y pruebas sin interferir con la producción normal de planta y cumpliendo con todas las normas de seguridad, debido a que la política del Grupo LAFARGE en cuanto a este tema es: *“La seguridad es nuestro principal valor”*.

Siguiendo el estándar de planta se consideró que la adquisición del PLC y HMI deben ser de la familia de Siemens, ahorrando de esta manera la compra de licencias y repuestos. Por tanto la programación del sistema de control se realizó mediante lenguaje ladder, utilizando como software STEP7 para PLCs 300, mientras que WinCC Flexible se utilizó para la programación de la interfaz hombre máquina, ambos softwares de Siemens. Además por medio de la interfaz Profibus DP se integró el panel táctil al PLC.

En cuanto a la instrumentación se escogieron equipos similares a los que posee la planta y se manejó el software de cada fabricante para su parametrización, de esta manera se utilizó PACTware para el sensor de nivel, marca VEGA y el software Easy Server de Schenck Process para la parametrización de la báscula de cinta transportadora. Adicional se cambiaron dos variadores de velocidad y se integraron al equipo sensores tipo encoder que tienen la función de dar un posicionamiento real del apilador tanto en su eje radial como vertical.

Para finalizar se realizó pruebas en el sistema, desde el punto de vista eléctrico, en lo que se refiere a energización de los equipos, respuesta en caso de emergencias, alarmas, entre otras; desde el punto de vista mecánico, en cuanto a límites del apilador, tanto en su movimiento radial como en su movimiento vertical; desde el punto de vista de proceso, que se refiere a velocidades de la homogenización; desde el punto de vista de seguridad, en cuando a alarmas sonoras y paros de emergencia; y, desde el punto de vista de operación, que tiene que ver con el manejo automático del equipo, manejo manual, respuesta en caso de emergencias, operaciones en caso de contingencias y modos de operación para agilizar la apilación, además de incluir un sistema de receta para que personal calificado pueda cambiar la parametrización de variables importantes desde el panel táctil, para que no haya la necesidad de alterar el programa del PLC, dejando a LAFARGE CEMENTOS ECUADOR un proyecto confiable, seguro, versátil y perdurable en el tiempo.

PRESENTACIÓN

El cemento es un aglomerante hidráulico y el principal ingrediente para la fabricación de los distintos tipos de hormigones y morteros, que funciona como si fuera un pegamento que uniera la arena y los áridos que lo componen. Un complejo proceso de elaboración desde la extracción de las diferentes materias primas de las canteras hasta su entrega como producto final constituye la fabricación y producción de cemento.

Dentro del proceso se halla el Proceso de Almacenamiento y Homogenización de Piedra Caliza, componente más importante que conforma la elaboración del cemento, debido a que es el de mayor proporción en la mezcla, por tanto mantener un buen stock de material es primordial para garantizar una producción continua de la fábrica. El almacenamiento se lo hace en siete pilas o montañas de grandes proporciones ubicada una a continuación de la otra, formando una semicircunferencia de alrededor de 160°. El proceso se lo realiza de manera manual empezando desde una tolva donde las volquetas depositan la caliza que se extrae de la cantera, este material es recuperado por medio de un vibrador que lo lleva hacia una cinta transportadora que traslada el material hasta el apilador, el cual se encarga de almacenar y homogenizar la caliza en forma de montañas de material, mismo que posteriormente será recuperado según las necesidades de la planta por medio de vibradores situados debajo de cada montaña de material.

Debido a lo extenso del proceso de fabricación de cemento, el Capítulo 1 se enfoca a una breve, pero detallada descripción del proceso de fabricación de la Planta Lafarge Cemento Ecuador ubicada en la ciudad de Otavalo, para lo cual previamente se describe la terminología utilizada en esta industria para la mejor comprensión del lector; además se detallan los componentes que intervienen en el apilador radial de caliza, junto con la instrumentación necesaria que intervendrá y facilitará el proceso de automatización.

Con un enfoque más claro del proyecto, en el Capítulo 2 se analiza la implementación del hardware, que tiene que ver con los circuitos de control, señales necesarias para la automatización, la integración de los variadores e instrumentos hacia el PLC, el dimensionamiento del PLC junto con sus módulos de entrada y salidas, la integración del HMI hacia el PLC y finalmente se diseñará un tablero en el que se centralice todas las variables a manejar.

Una vez conocidos todas las variables físicas que intervienen en el proceso el Capítulo 3 se enfoca en el desarrollo de software tanto para el PLC como para el HMI, revisando la secuencia del proceso, definiendo las diferentes formas de operación del sistema y todas las alarmas importantes que se generen en el proceso.

En el Capítulo 4 se trata sobre las pruebas realizadas de los instrumentos en campo, la parametrización de los mismos, las pruebas realizadas a los diferentes modos de operación, las calibraciones de los equipos, incluyendo la calibración de posicionamiento del apilador y los ajustes que se realizó en el sistema para su óptimo funcionamiento.

Finalmente las conclusiones y recomendaciones que se generan del presente proyecto y que constituyen la experiencia profesional adquirida al ser responsables directos de la implementación de un proyecto se detallan en el Capítulo 5.

Para concluir se adjunta las Referencias Bibliográficas, el Manual de Usuario y otros anexos, que fundamentan lo escrito en este trabajo y que sirven como textos de consulta para la profundización de temas que puedan generar dudas.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El cemento es un polvo gris, que junto con agua, arena y pequeñas piedras forman una pasta llamada hormigón o concreto, a esta mezcla se le puede dar la forma que se quiera y a medida que se fragua se endurece progresivamente hasta quedar tan resistente como una piedra, de esta manera el cemento es utilizado para la construcción moderna de distintas edificaciones. Su elaboración es bastante extensa, de ahí viene la importancia del estudio del presente capítulo que tiene como finalidad dar a conocer la terminología usada en este tipo de industria, su proceso de fabricación que va desde la recepción y almacenamiento de las materias primas hasta el envase y despacho del cemento, finalmente con mayor detenimiento se analizará el proceso de almacenamiento y homogenización de la piedra caliza que es en lo que consiste este proyecto de automatización.

1.1 TERMINOLOGÍA EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO [1]

Para facilitar la comprensión del proceso de elaboración de cemento es importante conocer algunos de los términos usados en este tipo de industria.

1.1.1 APILADOR

Maquinaria utilizada para almacenar y homogenizar la materia prima formando montañas o pilas grandes del material.

1.1.2 TOLVA

Lugar destinado al depósito y canalización de materiales granulares o pulverulentos.

1.1.3 RECUPERADOR

Maquinaria que se encarga de recuperar el material de la montaña que forma el apilador.

1.1.4 BÁSCULA DE DOSIFICACIÓN

Son básculas colocadas en cintas transportadoras cuya medición se la realiza por medio de células de carga. A dicha cinta se alimenta el material desde la tolva y se controla la velocidad de la banda para regular el paso del material.

1.1.5 CRUDO

Es el producto de la molienda de piedra caliza, arcilla, óxido de hierro y sílice, a esta mezcla se la reduce a polvo para luego ser transformada en clinker.

1.1.6 VENTILADOR EXHAUSTOR

Ventilador que funciona en sentido inverso para la extracción o absorción del flujo de aire o gas.

1.1.7 DESHIDRATACIÓN

Etapa que sufre el crudo al entrar en el precalentador a una temperatura entre 250° a 450° Celsius en la que el agua (H₂O) combinada en el crudo se separa de la mezcla [2].

1.1.8 DESCARBONATACIÓN

Etapa que sufre el crudo al pasar por el precalentador a una temperatura entre 450° a 900° Celsius en el que el CO₂ se separa de la Caliza (CaCO₃), dejando solo al CaO [2].

1.1.9 CLINKERIZACIÓN

Es la etapa que sufre el Crudo cuando llega a su fase líquida alrededor los 1338° a 1420° Celsius, donde toda la Cal disponible se combina para formar C₃S [2].

1.1.10 CLINKER

Material de consistencia negra en forma de piedras pequeñas que es el resultado de la cocción del Crudo a una temperatura mayor a los 1400° Celsius.

1.1.11 SILOS

Estructura diseñada para acumular y ventilar el material ya tratado o elaborado, en el cual se almacena y conserva el producto en óptimas condiciones para el proceso.

1.1.12 ELEVADOR DE CANGILÓN

El cangilón es un balde construido en chapa de acero o aluminios unidos a una cadena, la unión de estos cangilones se encarga de transportar el material en forma vertical u diagonal.

1.1.13 AERODESLIZADOR

Base metálica instalada en forma inclinada por el cual se resbala el material que es empujado por medio de ventiladores.

1.1.14 BUNKER

Es un Petróleo combustible para buques en general, en este caso se lo utiliza en los quemadores del horno rotativo, pre calcinador y secadores.

1.1.15 FILTRO DE MANGAS

Estructura utilizada para la separación de partículas sólidas en suspensión de una corriente gaseosa.

1.1.16 PUZOLANA

Material silíceo el cual por sí solo posee valor cementante, este al estar en presencia de agua reacciona químicamente a temperatura ambiente para formar compuestos duros.

1.1.17 FILTRO ELECTROSTÁTICO

Filtros que crean un campo magnético ionizando al material para luego ser atraído y agarrado por su carga opuesta en las paredes del filtro, este campo se crea con una carga de alrededor de los 50 Kilovoltios, utilizados para atraer al polvo con gran facilidad [3].

1.1.18 SHOCK BLOWERS

Sopladores de aire comprimido generado por dispositivos de presión, se utilizan para que el material no se pegue a las paredes del precalentador.

1.1.19 CRIBA

Especie de cernidor que separa el material grueso del fino, su funcionamiento centrifugo permite tal separación.

1.1.20 VIBRADOR

Mesa pivotante que se encuentra acoplado por medio de resortes a un motor con pesas desbalanceadas que dan el movimiento vibratorio a la mesa con el fin de recuperar el material de la tolva.

1.1.21 TRANSPORTADOR DE PLACAS

Placas metálicas en forma de cajones que se conectadas entre sí para dar apariencia de una cinta transportadora, se utiliza para transportar el material incandescente o lodoso.

1.2 FABRICACIÓN DE CEMENTO EN PLANTA LAFARGE CEMENTOS ECUADOR

El proceso de fabricación de cemento en la Planta Lafarge Cementos Otavalo – Ecuador donde se desarrolla el presente proyecto consta de varios subprocesos los mismos que se detallan a continuación:

1.2.1 ALMACENAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS [2]

Esta es la etapa inicial del proceso que se encarga de almacenar, organizar y en algunos casos homogenizar las materias primas que provienen desde la mina. Los componentes que intervienen en el proceso son: sílice, óxido de hierro, caliza y arcilla en el caso de los dos primeros solo se almacenan y organizan en depósitos para luego ser utilizados según los requerimientos del proceso mientras que los dos últimos adicionalmente se homogenizan por medio de apiladoras.

La Piedra Caliza es deposita por medio de volquetas en una tolva la cual en su extremo inferior posee un vibrador con el cual se realiza una caída moderada de la roca a una banda transportadora que lleva el material a un brazo apilador con dos grados de libertad uno para movimiento radial y otro para vertical con la finalidad de almacenar, organizar y homogenizar la Caliza en varias pilas grandes. Debajo de esta montaña se ubican siete vibradores que recuperan el material y lo trasladan por medio de cintas transportadoras hasta la tolva de dosificación de caliza (Figura 1.1).

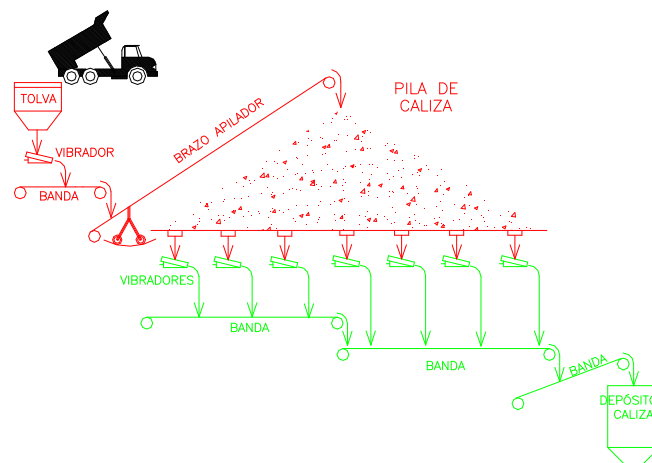


Figura 1.1 Proceso de Almacenamiento y Recuperación de Caliza

La Arcilla es depositada en dos tolvas de recepción, luego por medio de transportadores de placas el material es llevado hasta el brazo apilador el cual tiene tres grados de libertad para su movimiento en las direcciones “X”, “Y” y “Z”, este apilador está facultado para realizar dos montañas grandes de arcilla, en donde en la mitad se encuentra un recuperador que se encarga de recoger el

material y enviarlo a una banda transportadora para almacenarlo en una tolva de dosificación de arcilla (Figura 1.2).

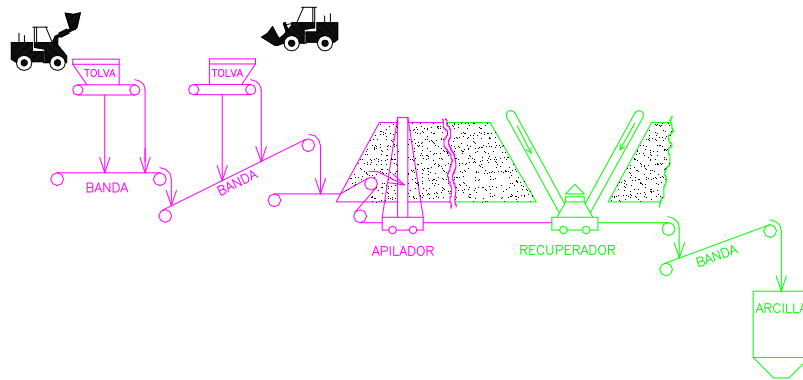


Figura 1.2 Proceso de Homogenización de la Arcilla

Para el caso del Oxido de Hierro y Sílice la materia prima se introduce en una misma tolva y es transportada por una banda una a la vez sin dejar que se mezclen hasta llegar a tolvas de dosificación independientes para cada una (Figura 1.3).

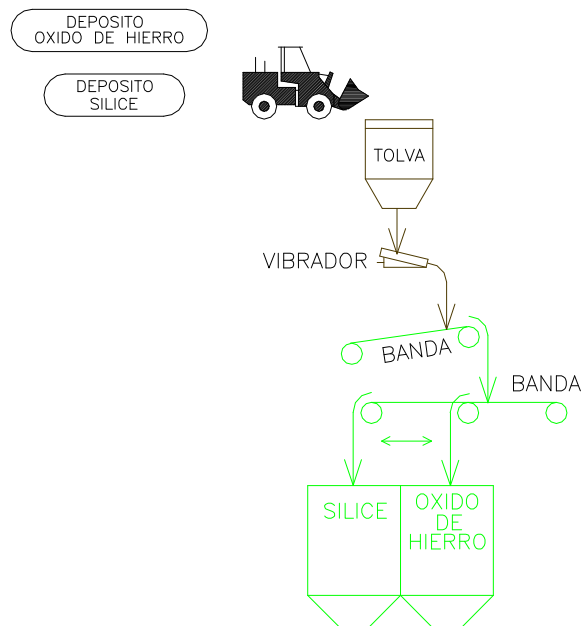


Figura 1.3 Proceso de Almacenamiento del Oxido de Hierro y Sílice

Finalmente todas las materia primas pasan por básculas dosificadoras que regulan el paso de material de cada una de ellas en una cierta proporción según la fórmula que se utiliza en la planta, para tener una idea de estas proporciones

se utiliza alrededor del 75% de Caliza, 23% de Arcilla y el 2% entre Oxido de Hierro y Sílice. Todas las materias primas se unen en una misma banda y se transportan hacia el molino de crudo donde se muelen y se homogenizan.

1.2.2 MOLINO DE CRUDO

A este proceso llega la Caliza, Sílice, Oxido de Hierro y Arcilla, todas estas materias primas entran al molino vertical con la finalidad de ser molidas y homogenizadas hasta reducirle a polvo, al mismo que se lo conoce como Harina o Crudo, de ahí proviene su nombre de Molino de Crudo, este proceso se realiza a una temperatura aproximada de 120°C con la finalidad de eliminar la humedad de la mezcla. El control de temperatura se realiza por medio de gases calientes y agua, el primero proviene desde el horno rotativo mientras que el segundo de un spray de agua instalado cerca del molino. Cabe señalar que es importante mantener la temperatura del molino constante para que al término del proceso el producto tenga las características requeridas (Figura 1.4) [2].

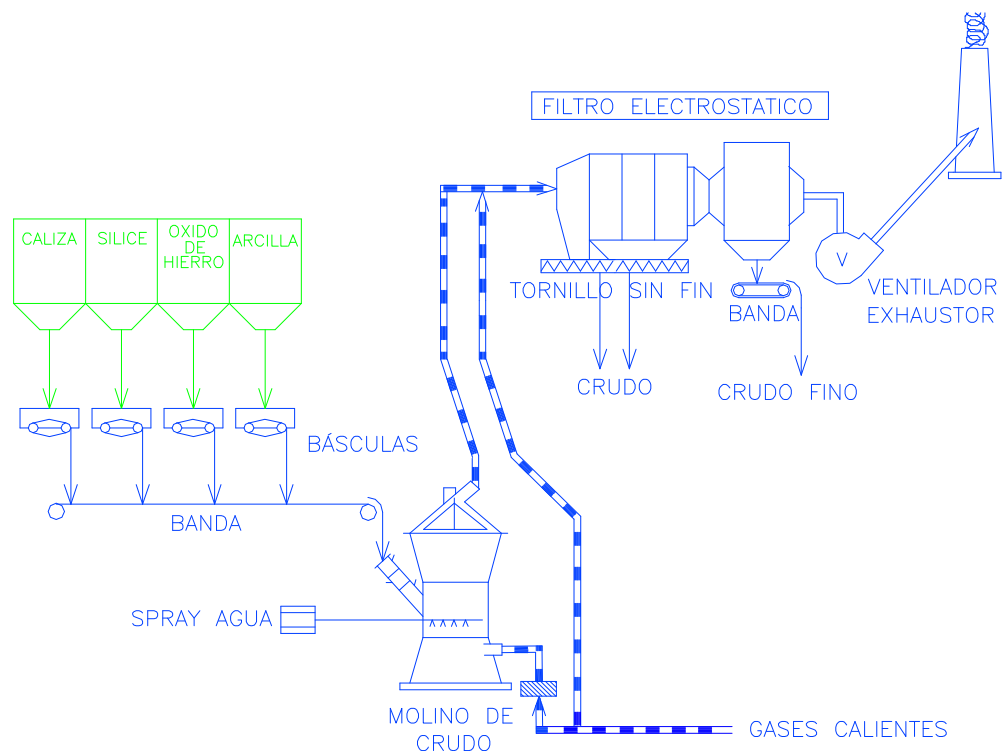


Figura 1.4 Proceso de Molienda y Extracción del Crudo

1.2.3 FILTRO ELECTROSTÁTICO

La extracción del material del molino se lo realiza con un ventilador exhaustor que absorbe el polvo y lo lleva a dos filtros electrostáticos el primero tiene la función de capturar el crudo más grueso en sus paredes y enviar los gases y el crudo más fino hacia el siguiente filtro que se encarga de capturar el crudo fino y expulsar al medio ambiente los gases. Todo este proceso en los filtros se lo realiza a una temperatura alrededor de los 100°C, ya que hay una entrada auxiliar de gases calientes provenientes del horno.

Usando el principio de la física, que dos cargas con diferente polaridad se atraen, el polvo que llega a los filtros es capturado por medio placas polarizadas que manejan voltajes continuos de alrededor de los 50000 voltios, luego por medio de golpeadores se recupera el material adherido a las paredes de las placas haciendo caer al Crudo a un tornillo sin fin para ser recopilado y transportado hacia la siguiente etapa del proceso de elaboración de clinker (Figura 1.4) [3].

1.2.4 TRANSPORTACIÓN DE CRUDO

Por condiciones de seguridad y fiabilidad del proceso la transportación de crudo hacia los silos de almacenamiento pueden ser por tres caminos diferentes (Figura 1.5). El primero se lo realiza por medio de dos elevadores que suben el material de un nivel bajo a un alto y varios aerodeslizadores que permiten que el elemento se transporte por deslizamiento de esta manera se hace llegar el crudo hacia dos silos de almacenamiento, la segunda forma es utilizando aerodeslizadores que llevan el material hacia una bomba neumática que se encarga de enviar el crudo por ductos hacia los silos o inclusive si requiere el proceso puede enviar el producto directamente hasta el Precaentador del horno, finalmente la tercera forma es utilizando combinaciones de las dos anteriores. Al interior de los silos de almacenamiento se encuentran sopladores que inyectan

fuerres flujos de aire al crudo con la finalidad de que el material tenga una mayor homogenización y evitar que en algún momento se humedezca, se fragüe y se estanque en los silos (Figura 1.5) [2].

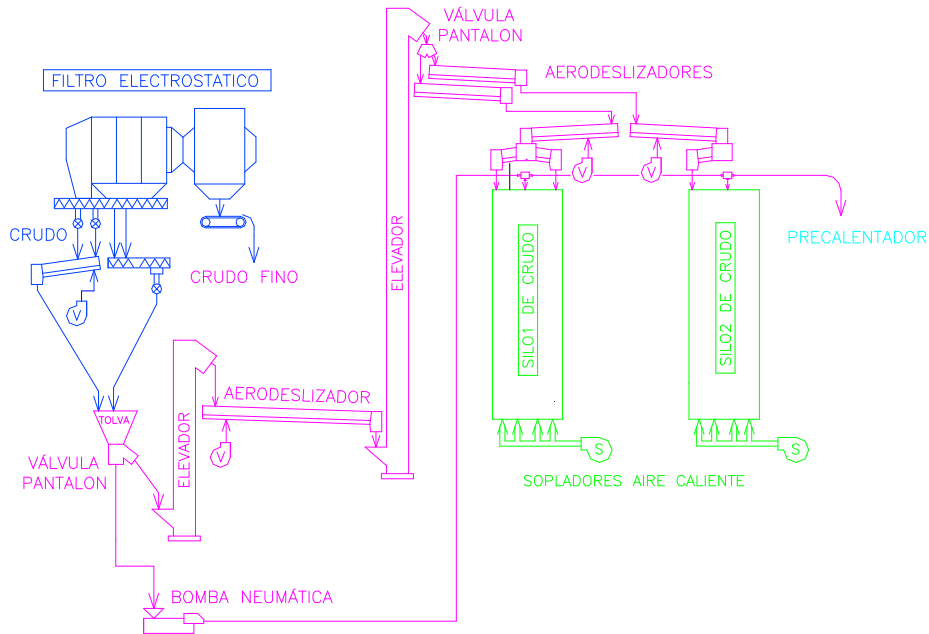


Figura 1.5 Proceso de Transporte de Crudo hacia los Silos de Almacenamiento

1.2.5 ALIMENTACIÓN DE CRUDO AL PRECALENTADOR

La función de esta parte del proceso consiste en llevar el crudo desde los silos de almacenamiento hasta la boca del precalentador que se encuentra alrededor de los 60 metros de altura (Figura 1.6). De igual manera que en el transporte del crudo la alimentación de este al horno se lo hace por varias rutas en este caso se utilizan dos vías principales, en la primera se utiliza aerodeslizadores y un elevador para almacenar el material en un silo auxiliar del cual se extrae el producto por medio de una dosificadora que regula el paso del material, luego lo envía a un elevador que lleva el producto al precalentador, mientras que en la segunda ruta se utiliza aerodeslizadores que guían el material hasta una báscula dosificadora, esta se encarga de regular el paso de material hasta una bomba neumática que lleva el material directamente hasta el

precalentador, también como en el caso anterior la combinación de estas rutas es factible, dependiendo de las condiciones del proceso.

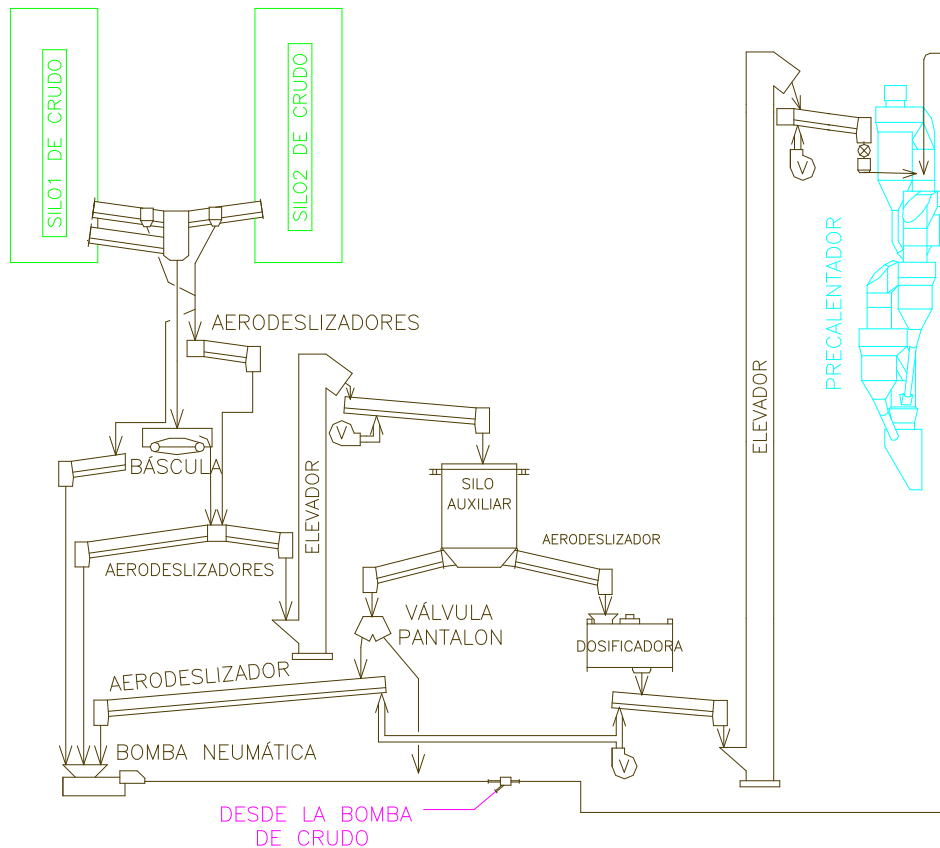


Figura 1.6 Proceso de Alimentación de Crudo al Precalentador

1.2.6 EL PRECALENTADOR

Esta etapa de proceso que precede al horno tiene la función de calentar el crudo aproximadamente desde los 250°C al inicio (boca de entrada del precalentador) hasta unos 1000°C al final del proceso (boca de salida del precalentador y entrada al horno rotativo), consiste en una serie de ductos en forma de tolvas, conocidos como ciclones que permiten el intercambio de calor entre los gases calientes y el crudo, los gases calientes que deja el horno transfieren su energía calorífica logrando de esta manera la deshidratación del crudo que se la consigue entre los 80°C y los 450°C, después en la siguiente etapa que se da entre los 450°C a los 900°C aproximadamente (ciclones más

cercanos al horno) el crudo se descarbonata hasta el alrededor del 90% y queda listo para entrar al horno. Los gases calientes a altas temperaturas son extraídos del horno por medio de un ventilador exhaustor, mientras que el crudo cae por su gravedad hasta llegar al horno rotativo, finalmente los aires calientes no se desperdician y son reutilizados para otros procesos como el molino de crudo y electro filtro para finalmente enviarlos al medio ambiente (Figura 1.7).

Al interior de los ductos los gases forman remolinos que giran en los alrededores de los ductos y van ascendiendo hasta la parte más alta del precalentador, el crudo en sentido inverso a los gases cae desde la boca del precalentador hasta la boca del horno ayudado por shock blowers para evitar que el material se estanque en los ductos, mientras más contacto tengan los gases calientes y el crudo, más óptimo será para el proceso de precalentamiento, es por esta razón que en la parte inferior del precalentador se encuentra instalado un quemador auxiliar que funciona con bunker con la finalidad de aumentar la temperatura del sistema y conseguir una mayor producción [2].

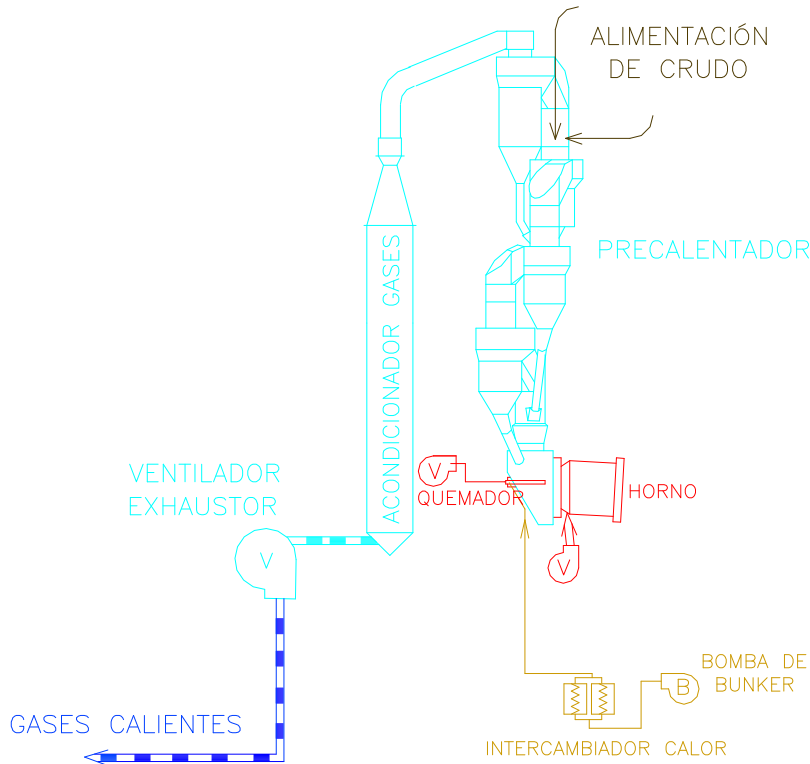


Figura 1.7 Proceso de Precalentamiento del Crudo

1.2.7 CALCINACIÓN

El proceso de calcinación se lo realiza por medio de un horno rotativo que tiene la función principal de recibir el crudo alrededor de los 1000°C y elevarlo a una temperatura aproximada de los 1420°C este polvo sufre una reacción química conocida con el nombre de clinkerización. Otra función del horno es transportar el material del precalentador para lo cual este presenta una leve inclinación alrededor de los 4° que junto con la rotación permite que el material circule hacia la siguiente etapa (Figura 1.8).

El horno rotatorio como el precalentador se encuentra cubierto interiormente por ladrillos refractarios que protegen la estructura metálica de las altas temperaturas, en el extremo final se encuentra el quemador principal que funciona como un mechero de grandes proporciones utilizando como combustible bunker y por medio de un soplador envía una llama al interior del horno, posteriormente los gases calientes como son el Dióxido de Azufre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO), Monóxido de Nitrógeno (NO) y Oxígeno (O₂) entre los principales son extraídos hacia el precalentador por medio de un ventilador exhaustor como ya se había mencionado anteriormente [2].

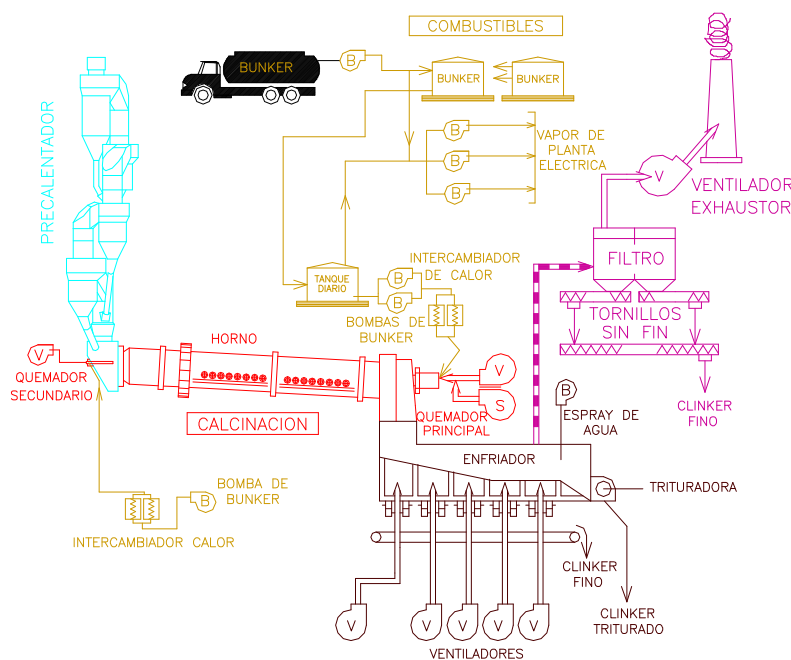


Figura 1.8 Proceso de Calcinación del Crudo en Enfriamiento del Clinker

El bunker es almacenado en tanques que conservan la temperatura del mismo, para ello utiliza bombas que traen vapor desde los generadores de energía de la planta (Figura 1.8) y mantienen al combustible a una temperatura aproximada de 70°C a 80°C, luego este pasa a un tanque diario que es de donde se alimenta al quemador para pasarlo al intercambiador de calor que eleva la temperatura del combustible hasta los 110°C, este proceso se repite en el quemador secundario que se ubica en la parte inferior del precalentador.

1.2.8 ENFRIADORA

Con la finalidad de estabilizar los minerales y asegurar las propiedades hidráulicas es necesario enfriar rápidamente el clinker de 1500° a 100° Celsius. Este proceso consta de placas metálicas móviles ubicadas horizontalmente, las cuales poseen orificios pequeños donde el clinker más fino cae a un transportador de cangilones que lleva al producto y lo amontona en cuatro diferentes pilas, mientras el resto de material se sigue trasladando de placa a placa hasta llegar a una trituradora que demuele el clinker grueso y lo envía al elevador de cangilones para su almacenamiento. La manera de enfriar el clinker es por medio de ventiladores ubicados a lo largo del sistema y por medio de un spray de agua (Figura 1.8) que se encarga de refrigerar las paredes de la enfriadora. Los ventiladores envían aire del medio ambiente hacia las placas metálicas, luego ese aire es absorbido gran parte para el horno rotatorio y otra parte por un ventilador exhaustor que lleva el aire hacia un filtro de mangas que atrapa al clinker fino y envía los gases al medio ambiente, el material atrapado va hacia tornillos sin fin que recoge el clinker y lo lleva hacia su posterior almacenamiento.

1.2.9 TRATAMIENTO DEL CLINKER

Después del almacenamiento de Clinker, este sufre un proceso de pre - trituración con la finalidad de disminuir el trabajo del molino de cemento y aumentar la producción.

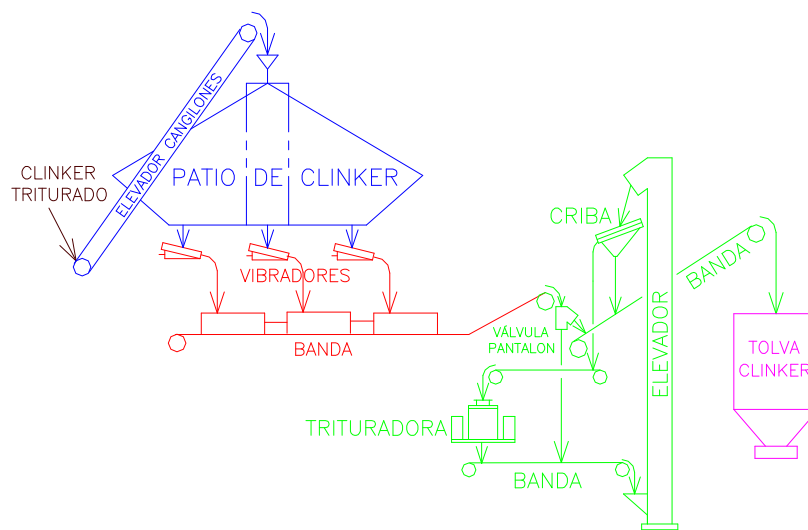


Figura 1.9 Proceso de Almacenamiento y tratamiento del Clinker

El material se recupera del coliseo de clinker por medio de vibradores que envían el producto por una banda transportadora hacia la trituradora, luego de la cual el material es elevado a una criba que tiene la función de separar el clinker grueso del fino, al primero se lo vuelve a re-circular por la trituradora mientras al segundo se lo transporta en una banda hacia la tolva de almacenamiento y dosificación de clinker (Figura 1.9), todo este proceso de pre-trituración se lo puede prescindir y enviar el material directamente a la tolva de almacenamiento, pero la desventaja es que en el molino de cemento tiene que realizar un mayor trabajo en la molienda y homogenización del producto.

1.2.10 ALIMENTACIÓN AL MOLINO DE CEMENTO

Para la elaboración del Cemento se necesitan tres componentes principales, estos son Clinker, Puzolana y Yeso, además se utiliza aditivos líquidos que se ponen a la mezcla para mejorar las características del cemento. Como en el caso del Clinker, la Puzolana y el Yeso también se almacenan en tolvas de dosificación para ello las materias primas se depositan en una misma tolva de recepción una a la vez, sin ser mezcladas, luego por medio de un vibrador los componentes caen a una trituradora para posteriormente ser transportadas en una banda, elevadas y depositadas en las diferentes tolvas de dosificación de cada componente.

Una vez almacenados los componentes en sus respectivas tolvas por medio de básculas dosificadoras se regula el paso de material de cada una de ellas de acuerdo a la formula de la planta, el clinker y yeso caen a una misma banda para luego unirse a la puzolana y ser transportadas hasta el molino de cemento, en el transcurso del camino se añaden aditivos líquidos encima de la combinación que provienen desde tanques de almacenamiento por medio de bombas (Figura 1.10).

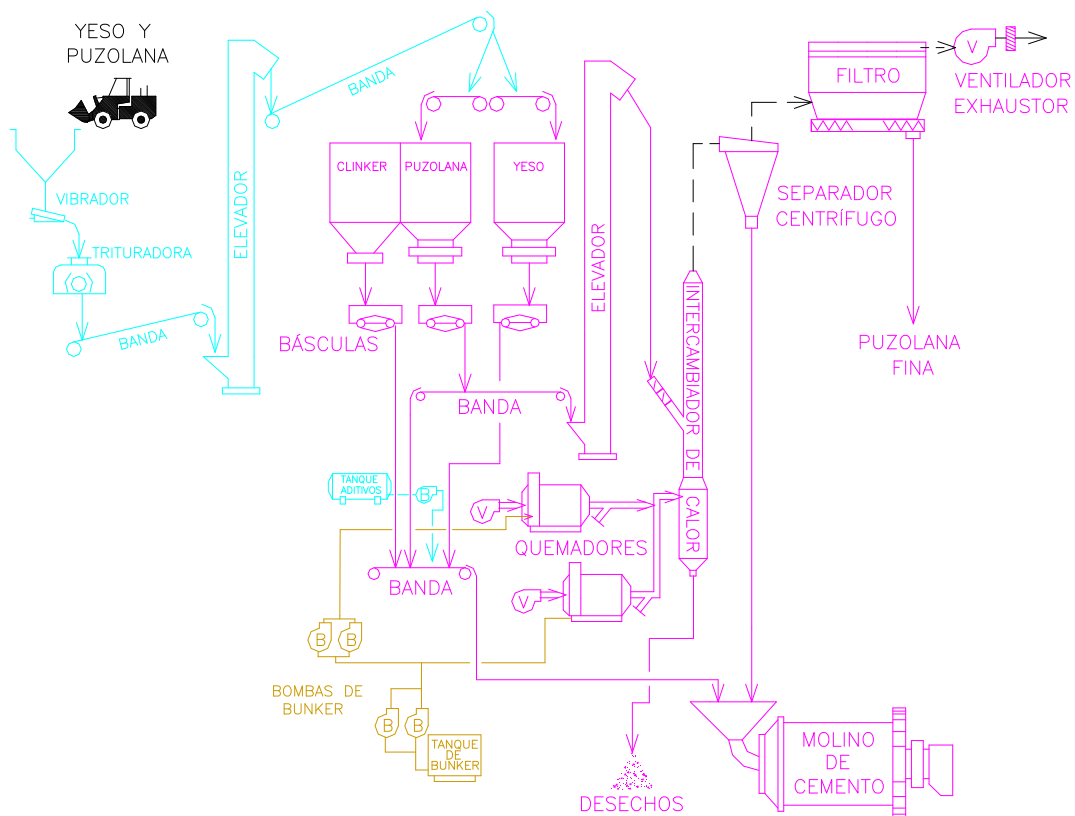


Figura 1.10 Proceso de Alimentación de Materias Primas al Molino de Cemento

Para el caso de la Puzolana es necesario pasarla primero por un precalentador, para ello el material se extrae de la tolva por medio de una báscula dosificadora, luego se transporta y se eleva hasta un intercambiador de calor el mismo que se calienta por medio de uno de los dos quemadores con la finalidad de eliminar la humedad y dar mejores características al material, en el intercambiador de calor el material pesado es desechado mientras el liviano es absorbido por un ventilador exhaustor que lleva la puzolana hasta un separador centrífugo que se encarga de separar el material y el polvo, al primero se lo envía

al molino de cemento y al segundo a un filtro para aislar a los gases de la puzolana fina para que esta última se la mezcle directamente con el cemento.

1.2.11 MOLIENDA Y ALMACENAMIENTO DE CEMENTO

El molino de cemento tiene la función de moler y homogenizar al Clinker, Puzolana y Yeso, al producto de esta homogenización es lo que se conoce como cemento. Este es un molino rotatorio que posee en su interior bolas metálicas, las mismas que al estar en movimiento rotatorio machacan el material hasta reducirlo a polvo (Figura 1.11).

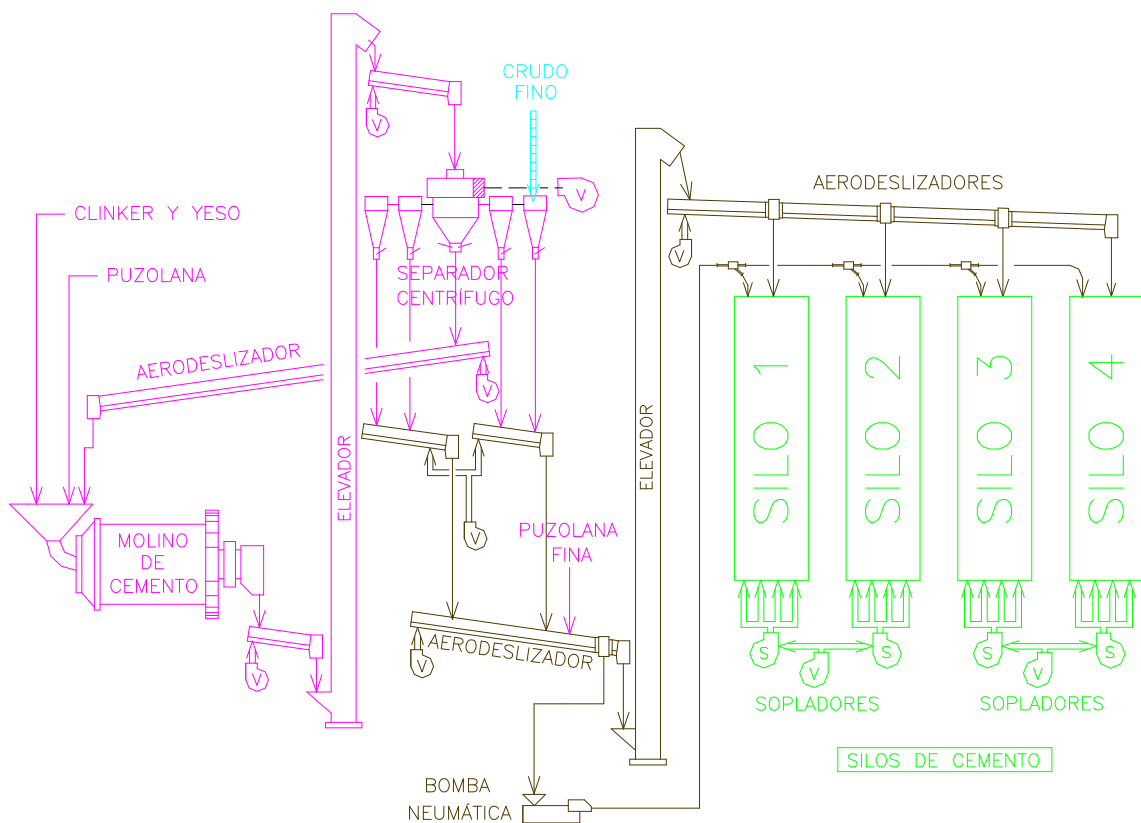


Figura 1.11 Proceso de Molienda y Almacenamiento de Cemento

Luego del molino el material se transporta y se eleva hasta un separador centrífugo que aparta el cemento fino del grueso, al primero lo transporta y eleva hacia los silos de almacenamiento y al segundo se lo vuelve a enviar al molino para su molienda.

Al igual que en los casos anteriores el material es transportado por varias rutas, la vía principal es por medio de aerodeslizadores y elevadores que llevan el producto hasta los silos de almacenamiento, mientras que en la vía secundaria aerodeslizadores guían el material hasta una bomba neumática que lleva el material directamente hasta los silos. Hay cuatro silos para almacenar el cemento, los mismos que cuentan con sopladores de aire caliente para mantener en movimiento al material hasta su envase con la finalidad de que el cemento no se endurezca.

1.2.12 ENVASADO DE CEMENTO

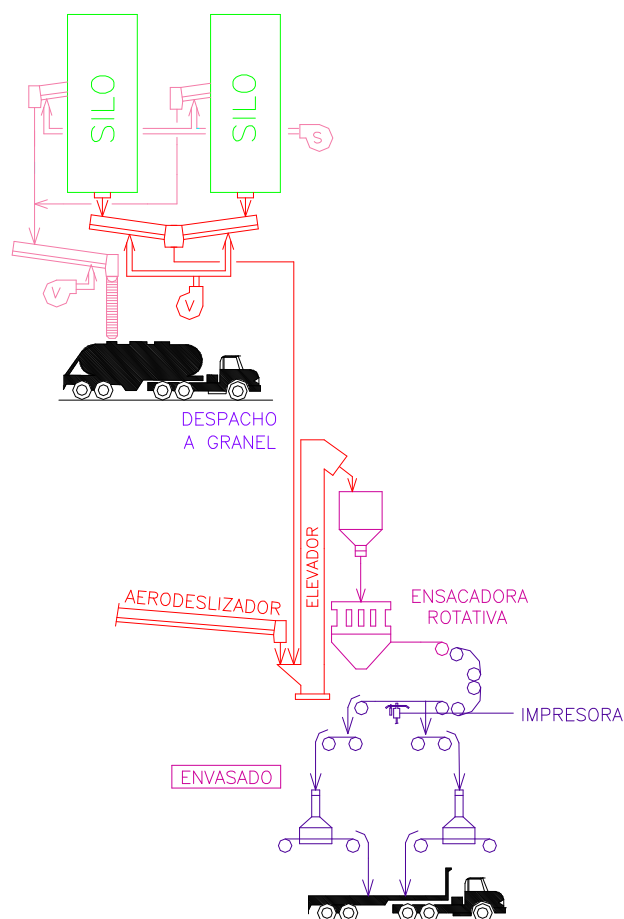


Figura 1.12 Proceso de Envase y Despacho del Cemento

Finalmente el cemento almacenado en los silos puede ser despachado de dos maneras una es a granel, en donde se extrae directamente el cemento de los

silos hacia los camiones, para luego ser pesados y contabilizados, la otra manera es por medio del envase del material en sacos de cemento para lo cual se extrae el material de los silos y es transportado y elevado hacia tolvas.

En esta planta existen dos ensacadoras rotativas automáticas de cemento, cada una cuenta con una tolva de alimentación, la primera empaca alrededor de los 2500 quintales por hora y la segunda alrededor de 3500 quintales por hora, una vez empacados los sacos son etiquetados con su fecha de elaboración y caducidad por medio de impresoras láser y son transportados por cinco caminos diferentes hasta las mulas o tráileres de despacho (Figura 1.12).

1.3 APILADOR DE CALIZA

Siendo la Caliza el principal componente para la fabricación del Cemento y considerando los estándares internacionales de Seguridad del Grupo LAFARGE es sumamente importante la recepción y almacenamiento de la materia prima por medio de la maquinaria apropiada evitando de esta manera el ingreso de las volquetas a los depósitos de Caliza; precisamente es aquí donde se desarrolla el presente proyecto del cual a continuación se detalla desde su ubicación hasta los principales componentes y proceso de la Apilación de Caliza.

1.3.1 PROCESO DE ALMACENAMIENTO Y HOMOGENIZACIÓN DE CALIZA

El proceso de Almacenamiento y Homogenización de Piedra Caliza empieza desde una tolva de recepción de material donde las volquetas depositan la roca, en el extremo inferior de esta tolva se encuentra una mesa con un pequeño movimiento, la misma que se encuentra acoplada por medio de resortes a un motor, que posee en sus ejes discos desbalanceados con la finalidad de dar movimiento vibratorio a la mesa y provocar la caída del material hacia la primera cinta transportadora cuyo largo es de 74 metros, la cual lleva la piedra hasta el apilador de caliza el mismo que consta de una banda inclinada de

aproximadamente 50 metros de longitud, esta cinta transportadora se sitúa sobre una estructura metálica diseñada de tal forma que le permite tener dos movimientos o grados de libertad a la banda, el primero es el cambio de su inclinación de 4 a 18 grados por medio de un sistema de poleas que ayudadas por un motor permiten tal movimiento, mientras el segundo es el cambio de su posición radial de 0 a 130 grados dirigido por un sistema de tracción comandado por un motor eléctrico dando la apariencia de un carro, de esta manera se puede apilar y homogenizar el material en 7 montañas diferentes de alrededor de los 15 metros de altura cada una (Figura 1.13).

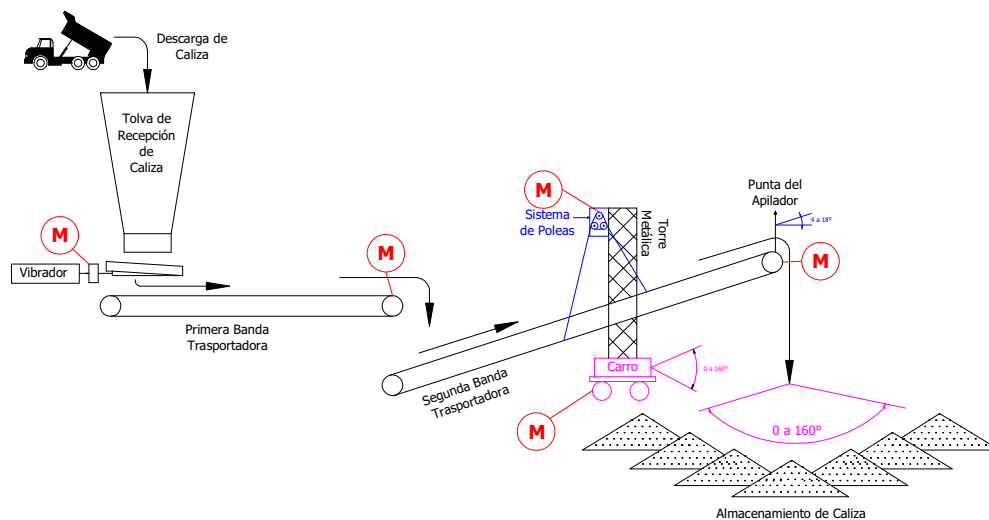


Figura 1.13 Proceso de Almacenamiento y Homogenización de Piedra Caliza

Debajo de cada montaña se encuentran 7 tolvas con sus respectivos vibradores cada una, con el mismo principio de funcionamiento que la primera tolva de recepción de la piedra caliza, estos vibradores permiten la extracción del material de cada pila hacia una cinta transportadora pero este proceso de recuperación de caliza no interviene en el proyecto (Figura 1.1).

1.3.2 APILADOR DE LA PLANTA DE CEMENTO LAFARGE OTAVALO (VÍA SELVA ALEGRE) – ECUADOR

El apilador o STACKER como el resto de la Línea 1 de la planta de Cemento está diseñado por la compañía canadiense Allis Chalmers, este apilador está compuesto de:

1.3.2.1 Tolva de Recepción de Caliza y Vibrador

La tolva de recepción de Caliza o Limestone Receiving Hopper tiene las siguientes características:

- Elaborado por Stephenson Adamson, en 1978.
- Altura de la Tolva de 4,4 metros.
- Área de la base 1 m².
- Área de la superficie 24,51 m².
- Capacidad de almacenamiento aproximadamente 75 toneladas.

El vibrador también conocido por su nombre en inglés como vibrating feeder posee las siguientes particularidades:

- Elaborado por Stephenson Adamson, en 1978.
- Motor de 1,5 HP / Trifásico / 460 V / 60 Hz / 900 RPM / 2,8 A / Sin Ventilación / Conexión en Y.

1.3.2.2 Banda Transportadora

La banda transportadora o belt conveyor tiene las siguientes características:

- Elaborado por Willis & Paul Co., Ltd Engineers Constructors, en 1978.
- Longitud de la banda transportadora 75 m.
- Ancho de la cinta transportadora 0,8 m.
- Velocidad de la Cinta de 1,73 m/s.
- Capacidad de transporte 300 t/h
- Modelo de los rodillos MD – IDL – 45 – 03.
- Espacio entre rodillos 1,19 m.
- Ángulo de los Rodillos 35°.
- Diámetro de los Rodillos 0,12 m.

- Motor de la Banda 15 HP / Trifásico / 460 V / 60 Hz / 1765 RPM / 18,1 A / fp 0,84 / Factor de Servicio 1,15 / Autoventilado / Conexión en Y.

1.3.2.3 Apilador o Stacker

El apilador está compuesto principalmente por una cinta transportadora, un winche o sistema de elevación de poleas que por medio de un motor permite el cambio de inclinación de la banda y un sistema de tracción eléctrico que permite el movimiento de toda la estructura (Figura 1.14).



Figura 1.14 Apilador de Caliza

Este apilador tiene las siguientes características:

- Elaborado por Willis & Paul Co., Ltd Engineers Constructors, en 1978.
- Longitud de la banda transportadora 48,87 m.
- Ancho de la cinta transportadora 0,8 m.
- Velocidad de la Cinta de 1,73 m/s.
- Capacidad de transporte 300 t/h
- Modelo de los rodillos MD – IDL – 45 – 03.
- Espacio entre rodillos 1,19 m.
- Ángulo de los Rodillos 35°.
- Diámetro de los Rodillos 0,12 m.

- Motor de la Cinta 40 HP / Trifásico / 460 V / 60 Hz / 1775 RPM / 47,7 A / fp 0,84 / Factor de Servicio 1,15 / Autoventilado / Conexión en Y.
- Inclinación mínima de la banda 4° 38' 32".
- Inclinación máxima de la banda 18° 0' 0".
- Altura de la torre 21,11 m.
- Motor del Elevador o winche 7,5 HP / Trifásico / 460 V / 60 Hz / 1620 RPM / Autoventilado / Conexión en Y.
- Radio estructura o Sistema de Tracción del Apilador 22,25 m.
- Radio base de la estructura del apilador al centro de la montaña de caliza 45,7 m.
- Movimiento del Sistema de Tracción de 0 a 130°.
- Motor Radial o del Sistema de Tracción 3 HP / Trifásico / 460 V / 60 Hz / 1620 RPM / 4,1 A / Factor de Servicio 1,0 / Autoventilado / Conexión en Y.
- Altura de la pila de Caliza 15 m.
- Diámetro aproximado de la Pila 38 m.
- Número de Pilas 7.

1.4 EQUIPOS QUE INTERVIENEN EN EL APILADOR DE CALIZA

El apilador de caliza posee una serie de dispositivos electrónicos que ayudan a la maquinaria para realizar la operación automática o manual del proceso de apilación, se tiene desde sensores analógicos, discretos hasta controladores y un HMI que ayuda a la fácil manipulación y programación de la maquinaria, todos estos equipos serán detallados a continuación.

1.4.1 AUTÓMATA PROGRAMABLE SIMATIC S7 – 300

El autómata programable Simatic S7 – 300 es un controlador lógico programable (PLC) de la familia de Siemens, este computador industrial dedicado

controla elementos de salidas basados en su estado de las entradas y un programa desarrollado por el usuario, comúnmente utilizado para aplicaciones de las gamas baja y media, ya que posee un amplio abanico de módulos para una adaptación óptima a cualquier tarea de automatización, además tiene la posibilidad de realizar estructuras descentralizadas e interconexiones de red por lo que se lo puede catalogar como un equipo de aplicación flexible y potente debido a su gran cantidad de funciones integradas.

1.4.2 PANEL SIMATIC HMI

El Panel Simatic HMI es un panel táctil (Figura 1.18) que hace la función de un interfaz hombre – máquina, entre el operador y el apilador, este permite controlar y programar el funcionamiento de la maquinaria con la finalidad de que el proceso se realice de manera automática y a necesidad del operario, además posee mensajes de proceso y alarmas que indican de una manera sencilla y rápida el estado de los equipos. Otra función del panel táctil es el de indicar de manera gráfica el estado de los equipos que intervienen en el sistema y las posiciones en las que se encuentra el sistema.



Figura 1.18 Touch Panel 177B Color, tomado de [4]

1.4.3 BÁSCULA DE CINTA TIPO BEMP DE SCHENCK

Las básculas de cinta tipo BEMP (Figura 1.19) de la familia de SCHENCK PROCESS (Figura 1.19) son componentes previstos para ser incorporados en bandas transportadoras y se utilizan como medidores de flujo de material. Está

prevista por células de carga que mide el peso del material y un captador de velocidad que consiste en una rueda con ventanas internas que por medio de un sensor inductivo de proximidad cuenta el número de impulsos por cada metro de movimiento de la cinta transportadora. Estas dos medidas son adquiridas por un integrador electrónico (Intecont Plus) que devuelve como resultado el flujo de material que pasa en ese instante por la banda.



Figura 1.19 Báscula de Cinta tipo BEMP (Celdas de Pesaje, Sensor de Velocidad y Electrónica), tomado de [5]

1.4.4 SENSOR DE NIVEL DE SÓLIDOS

En la Industria hay una variedad muy amplia de sensores para realizar la medición de nivel de sólidos, dependiendo del tipo de material a medir y las condiciones del proceso se puede escoger entre varios principios de medición los mismos que se detalla a continuación.

- Palpador
- Paletas Rotativas
- Vibratorio
- Membrana Sensitiva
- Peso
- Ultrasonidos
- Radar
- Radar Guiado

Cabe resaltar que el comportamiento de nivel de sólidos es muy diferente al de los líquidos ya que estos últimos generalmente se distribuyen uniformemente en todo su depósito formando una superficie horizontal, mientras que en los depósitos de sólidos depende de la forma como se acumule el material.

1.4.4.1 Palpador

Su medición es análoga, al sondeo, por medio de un motor se mueve un cable con peso en su extremo, el mismo que desciende hasta chocar su peso con la superficie del sólido conmutando al motor para que el movimiento cambie de sentido y el peso ascienda, el nivel del depósito es igual a la longitud del cable desenrollado, debido a que su funcionamiento es mecánico está sometido a desgaste por lo tanto su vida útil es limitada. Se lo puede utilizar en procesos donde no se necesite una medición constante de nivel y además que la granulometría del sólido sea menor a 3mm ya que en sólidos mayores el peso del sensor puede sufrir golpaduras y mayor desgaste.

1.4.4.2 Paletas Rotativas

Por medio de un motor sincrónico se da movimiento a una paleta, la misma que al entrar en contacto con el material se detiene, y obliga al motor a vencer la fuerza de un resorte y presionar un contacto eléctrico que indicará nivel del depósito. Cuando disminuye el nivel, el resorte recupera su posición cambiando de estado su contacto eléctrico y recuperando el movimiento de su paleta. Se recomienda para sólidos de granulometría pequeña. Algunos de estos equipos que se pueden obtener en el mercado se muestran en la Figura 1.20.



Figura 1.20 Variedades de Switch de Nivel tipo Paleta, tomado de [6]

1.4.4.3 Vibratorio

Su medición es discreta por lo tanto es catalogado como un switch de nivel, su sensor en forma de diapasón se hace vibrar a su frecuencia de resonancia (Amplitud A) la misma que al sumergirse en material sólido modifica la amplitud de su frecuencia (Figura 1.21), este cambio es detectado por el sistema electrónico del sensor accionando un contacto eléctrico.

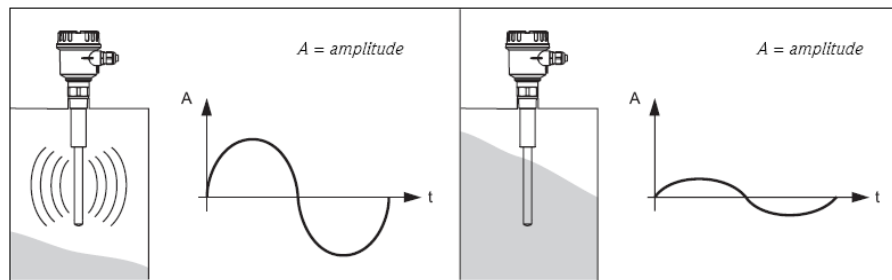


Figura 1.21 Principio de Medición Sensor de Nivel Vibratorio, tomado de [6]

Dependiendo de las necesidades se puede escoger entre dos tipos de este sensor vibratorio en el mercado, la varilla vibrante y la horquilla vibrante (Figura 1.22). Además este tipo de sensor es recomendado para sólidos de granulometría pequeña.



Figura 1.22 Variedades de Switch de Nivel Vibratorio, tomado de [6]

1.4.4.4 Membrana Sensitiva

Este tipo de sensor discreto consta de una membrana acoplada a la pared del recipiente en el punto en el que se quiere detectar el nivel, cuando el material llega a la altura de la membrana esta presiona un interruptor dando indicación de nivel. Esta forma de medición se puede utilizar para sólidos de granulometría pequeña y media.

1.4.4.5 Peso

El principio de medición de este tipo de sensor es análogo ya que por medio de células de carga se registra el peso contenido en el recipiente a medida que cambia el nivel del depósito, siendo la altura de llenado proporcional a la fuerza que ejerce el peso del depósito sobre las celdas de carga. De igual manera que en una báscula es necesario tarar la medición de las células de pesaje con la finalidad de que registre el peso del depósito sin material como peso inicial del sistema. La ventaja de este tipo de medición con los anteriores mencionados es que no hay contacto físico entre el sensor y el material que desea ser medido.

1.4.4.6 Ultrasonidos

Este tipo de sensor diseñado para la medición de sólidos sin contacto con el material utiliza el método de tiempo de retorno para lo cual el sensor transmite pulsos ultrasónicos hacia la superficie del producto, al incidir sobre la superficie, se reflejan y vuelven al sensor que los capta. El sensor mide el tiempo transcurrido entre la transmisión y recepción de un impulso. El instrumento utiliza este tiempo t y la velocidad del sonido c para calcular la distancia D (Figura 1.23), entre la membrana del sensor y la superficie del producto:

$$D = c \cdot \frac{t}{2}$$

Donde:

D es la distancia de la membrana del sensor a la superficie del producto.

c es Velocidad de la Luz que es igual a 3×10^9 m/s.

t es el tiempo que se demora en ir y venir la señal de ultrasonido.

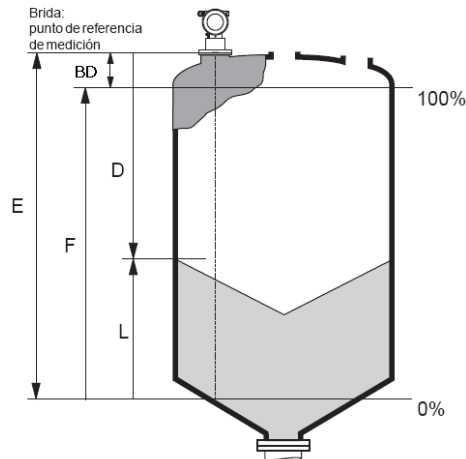


Figura 1.23 Principio de Medición Sensor Ultrasonido

Donde:

E es la distancia de Vacío.

F es el Span o distancia de llenado.

D es la distancia de la membrana del sensor a la superficie del producto.

L es el Nivel.

BD es la distancia de bloqueo.

Dado que el instrumento conoce la distancia de vacío E (proporcionada por el usuario) puede proceder a calcular el nivel a partir de: $L = E - D$.

Las ondas sonoras en este tipo de sensor se propagan a una frecuencia alrededor de 10 a 30 KHz, además este instrumento se encuentra previsto por un sensor de temperatura que permite tener en cuenta los cambios que sufre la velocidad del sonido debido a las variaciones de temperatura. Sirve para sólidos de cualquier granulometría y dependiendo del rango de medición (hasta 70m) que se necesite, en el mercado se puede encontrar algunos tipos (Figura 1.24).



Figura 1.24 Variedades Sensores Ultrasonido, tomado de [7]

1.4.4.7 Radar

De igual manera que en el caso anterior su principio de medición se basa en el método de tiempo de retorno, la antena del sensor se encarga de emitir impulsos de microondas que se propagan a la velocidad de la luz, las cuales al chocar con la superficie del material se refleja y regresan al sensor donde son captadas por la antena, el tiempo desde la transmisión hasta la recepción de la señal es proporcional al nivel del depósito, distancia D (Figura 1.25).

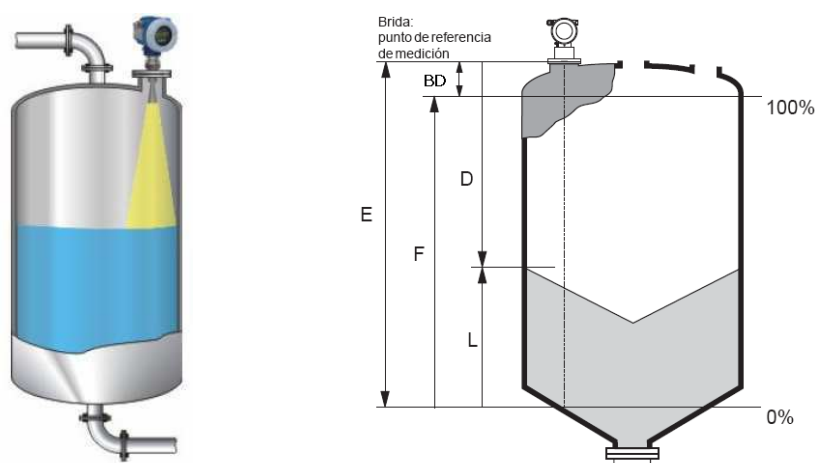


Figura 1.25 Principio de Medición Sensor Radar

El sensor radar trabaja con poca potencia de transmisión en la gama de las frecuencias de las bandas C y K, puede trabajar con sólidos de cualquier granulometría ya que su medición es sin contacto con el material, además como su funcionamiento es electrónico presenta una larga vida útil porque no presenta desgastes mecánicos. Dependiendo de las distancias que se desee medir (hasta

70 metros de longitud) estos sensores pueden venir en varias presentaciones (Figura 1.26).



Figura 1.26 Variedades Sensores Radar, tomado de [6]

1.4.4.8 Radar Guiado

Este consta de una sonda donde se generan impulsos de alta frecuencia que son guiados y se reflejan en la superficie del producto. La longitud de la sonda depende de la altura del depósito a medir con un límite máximo de medición de 35 metros para su sonda tipo cable la misma que es utilizada para materiales pulverulentos y sólidos áridos granulares, también vienen en dos presentaciones más con sonda tipo varilla y con sonda tipo coaxial pero estos dos últimos son utilizados para la medición de líquidos (Figura 1.27).

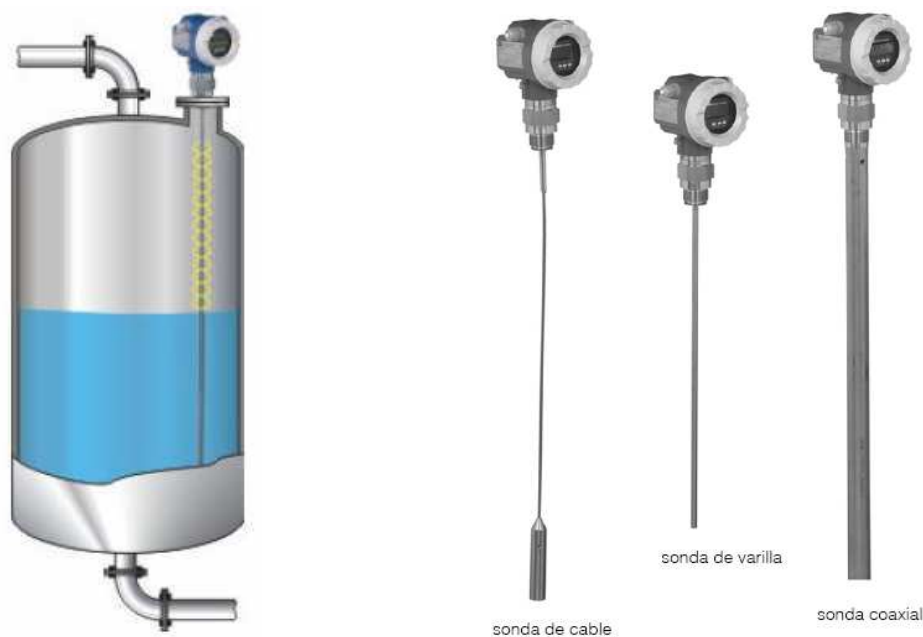


Figura 1.27 Variedades Sensores Radar Guiado, tomado de [6]

1.4.5 VARIADOR DE FRECUENCIA

Un variador de frecuencia es un equipo electrónico diseñado para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna por medio de la variación de frecuencia de alimentación suministrada al motor, de tal manera que es posible variar la velocidad de trabajo de la maquinaria a la que se encuentre acoplada el motor de inducción.

1.4.6 SENSORES DE INTERRUPCIÓN

Los sensores de interruptor como su nombre lo dice, interrumpe o permite el paso de la corriente, es un sensor pasivo de funcionamiento sencillo, donde la única función eléctrica que posee es cerrar un contacto normalmente abierto y dar paso a la corriente o caso contrario abrir un contacto normalmente cerrado e interrumpir el paso de corriente, intervienen en varias partes del proceso entre las cuales se destacan:

- Switch de Velocidad.
- Switch de Mano.
- Switch de Alineamiento.
- Fines de Carrera.
- Switch de Proximidad.

1.4.6.1 Switch de Velocidad

Este sensor interruptor se encuentra acoplado al eje opuesto del motor de la cinta transportadora, su contacto es normalmente abierto y en el momento en la banda está en funcionamiento cierra el contacto, indicando que la cinta está en movimiento, sirve como protección de la cinta en caso de que esta se rompa o que el eje acoplado al motor empiece a patinar y no de movimiento a la banda, en cualquiera de los dos casos es importante su confirmación de movimiento para detener en ese instante la alimentación al transportador.

1.4.6.2 Switch de Mano

Este dispositivo es utilizado como medida de seguridad en caso de emergencias, consta de un interruptor normalmente cerrado acoplado a una línea o cuerda de seguridad que se encuentra a lo largo de toda la cinta transportadora, su funcionamiento es de vital importancia en caso de emergencias como aplastamiento, atrapadura, entre otros ya que tiene la función de detener inmediatamente el transportador en caso de que se haya tirado la cuerda de seguridad.

1.4.6.3 Switch de Alineamiento

El switch de alineamiento es un contacto normalmente cerrado que tiene la función de detectar la alineación de la cinta transportadora y protegerla en caso de desalineamientos, este sensor discreto se encuentra acoplado a dos rodillos que se ubican a los lados de la cinta, al momento de estar desalineado el transportador, la cinta topa a uno de los rodillos y los empujan cambiando su ángulo de aplicación normal y abriendo un contacto físico, indicando que la banda está desalineada.

1.4.6.4 Fines de Carrera

Los fines de carrera como su nombre lo indican sirven para indicar la posición final o máxima al que puede llegar un elemento, generalmente al llegar a su posición máxima o recomendada abren un contacto interrumpiendo la corriente del circuito de control que está realizando el movimiento del equipo finalizando su movimiento inmediatamente.

1.4.6.5 Switch de Proximidad

A diferencia de todos los sensores anteriores que presentan desgaste mecánico los switch de proximidad cumplen la misma función pero no presentan desgaste mecánico porque no tienen partes físicas en movimiento, sus principios de funcionamiento son variados entre los que se destacan los fotoeléctricos, inductivos, capacitivos y ultrasónicos.

CAPÍTULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Relacionados con el ámbito de trabajo en la industria cementera, este capítulo se enfoca al diseño del hardware de control y a la correcta elección de los equipos para llevar a cabo la automatización del apilador radial de caliza, cumpliendo las especificaciones y requerimientos internos de la planta orientados al buen funcionamiento de los equipos, confiabilidad del sistema de control y seguridad tanto de las máquinas como de las personas que manipulan diariamente los mecanismos.

El esquema a automatizar (Figura 2.1) consta de cinco máquinas, cada una independiente, razón por la cual su circuito de control debe ser único e individual, además debe poseer todos los componentes necesarios para cumplir con todos los requerimientos de seguridad y funcionamiento de la maquinaria.

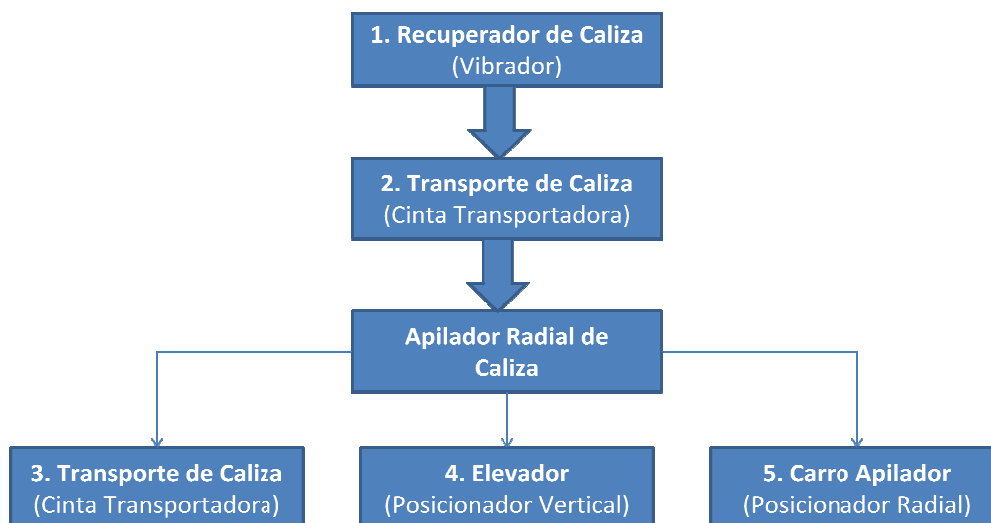


Figura 2.1 Esquema del Sistema

La primera máquina (1. Vibrador) se encarga de recuperar la piedra caliza de la tolva, para luego transportarla por la segunda máquina (2. Cinta Transportadora) hacia el apilador radial de caliza, el mismo que se encuentra formada por tres máquinas, la primera (3. Cinta Transportadora) para transportar la caliza desde la recepción del material hasta la pila de almacenamiento, la segunda (4. Elevador) para cambiar el ángulo de elevación de la estructura de la cinta transportadora y la tercera (5. Carro Apilador) para cambiar su posición radial intercambiando la selección de las montañas de almacenamiento.

2.1 VIBRADOR DE CALIZA

El Vibrador de Caliza es un equipo que tiene la función de recuperar o extraer la piedra caliza depositada en la tolva de recepción de material, consta de una mesa pivotante inclinada ubicada debajo de la tolva, y se encarga de interconectar a la tolva con la cinta transportadora. Para lograr el deslizamiento de material por la mesa inclinada, a esta estructura se le debe dar un movimiento de vibración, que se lo consigue por medio de resortes ubicados en un extremo de la mesa, los mismos que se acoplan a un motor que posee en sus ejes pesas desbalanceadas que le dan el movimiento vibratorio a toda la estructura.

2.1.1 VARIABLES A CONTROLAR EN EL VIBRADOR DE CALIZA

La principal variable a controlar es la caída de material desde la tolva hasta la cinta transportadora con el fin de no sobrecargar la cinta transportadora y mantener un flujo de material constante. Debido a que el sistema se encuentra formado por una mesa pivotante inclinada una manera para regular el paso de piedra caliza es controlando la vibración de la mesa, la misma que es provocada por un motor con pesas desbalanceadas en sus ejes que se acoplan a la mesa por medio de resortes (Figura 2.2); por lo tanto una opción de control de movimiento es por medio de un variador de frecuencia que maneje directamente el motor.



Figura 2.2 Vibrador de Caliza

Otra manera de regular el paso o caída de material al transportador es abriendo o cerrando una compuerta que se encuentra en la parte final de la mesa pivotante y manteniendo al motor girando a su velocidad nominal. Para ello se puede instalar un servo motor acoplado a la compuerta que regule su apertura o cierre, de esta manera se podría eliminar el uso del variador de frecuencia para el motor.

Lo mejor para el sistema sería tener el control de la vibración por medio del variador de frecuencia y el control de la apertura de la compuerta por medio del servo motor pero la inversión limita la adquisición de ambos equipos por lo tanto se debe escoger el de mejores resultados. Para ello se hace referencia a las características de la piedra caliza, que es un material que tiende a atorarse fácilmente, por lo tanto sí se escoge el servo motor cuando la compuerta este muy baja aumentará el riesgo de atasco, mientras que sí se trabaja con el variador se puede controlar el paso de material evitando los atoramientos, en cambio cuando la piedra viene lodosa tiende a resbalarse por la estructura fácilmente y sin control como si fuese agua, para estos casos es necesario bajar la compuerta, o disminuir la velocidad de vibración

Teniendo en cuenta las características del material la mejor opción es la de regular el deslizamiento del mismo por medio del variador de frecuencia y dejar el control de apertura de la compuerta en manos del operador de la maquinaria que deberá fijarse en que días llega el material lodoso o no.

2.1.2 VARIABLES A MEDIR O MONITOREAR EN EL VIBRADOR DE CALIZA

Ya que uno de los objetivos del proyecto es garantizar el flujo de material constante, la principal variable a medir en el Vibrador de Caliza es el flujo que pasa de piedra caliza hacia la cinta transportadora, pero colocar un sistema de medición de flujo en un equipo que se encuentra todo el tiempo en vibración no es recomendable por su desgaste, razón por la cual se deja esta medición pendiente para la siguiente etapa.

Otra variable a medir es la vibración de la mesa pivotante con la cual se podría sacar una relación de cuanto flujo pasa de caliza a determinada vibración, pero sabiendo que el material tiende a atorarse o quedarse pegado en las paredes internas de la estructura, esto cambiará el grado de vibración y la relación ya no será la misma por lo tanto se descarta la medición de esta variable.

Es importante también monitorear la corriente que toma el motor en funcionamiento con la finalidad de evitar sobrecargas, recalentamientos del motor, posibles corto circuitos que se pueden provocar al romperse o aflojarse cables que se encuentran en constante vibración, para ello se utiliza el variador de frecuencia que permite monitorear esta y otras variables más que estarán programadas en el equipo.

2.1.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS PRINCIPALES

El principal equipo a seleccionar para el vibrador de caliza es el variador de frecuencia. Para dimensionar este equipo se toma como referencia al motor a utilizar y a su tipo de carga, para este caso el motor es trifásico de 1.5 HP, 460 VAC, 2.8 A, 900 RPM, 60 Hz, factor de servicio 1.00. En el área industrial el variador más pequeño es el Power Flex 4 de 5 HP de la familia de Allen Bradley (Figura 2.3), 480 V alternos y 8.7 A, por lo se utilizará este equipo. Además cabe indicar que el equipo está sobre dimensionado, lo que garantiza un mejor funcionamiento ya que sus IGBT están dimensionados para 8.7 A y ya que la

carga consume 2.8 A, se evita sobre calentamientos del equipo y posibles daños por sobre carga.



Figura 2.3 Variador de Frecuencia Power Flex 4 de la Familia de Allen Bradley

Los demás dispositivos eléctricos se utilizará serán los mismos que ya están instalados en la maquinaria debido a que están en buen estado y se necesita reducir gastos de inversión.

2.1.4 DISEÑO CIRCUITO DE CONTROL

El diseño del circuito de control para el vibrador de caliza parte desde su seccionador trifásico de 480 V (ubicado en el cuarto eléctrico), voltaje con el cual funciona el motor, de esta red se deriva la alimentación para el circuito de control por medio de un transformador ubicado en campo que reduce el voltaje de 480 V a 120 V. En el circuito de control se interrelacionan todos los dispositivos de protección y maniobra que necesita el vibrador de caliza para su funcionamiento, los mismos se detallan a continuación.

2.1.4.1 Protección del Circuito

En primera instancia se tiene un breaker que alimenta a todo el circuito de control y protege al sistema contra un corto circuito. Este se alimenta directamente de la salida del transformador y se conecta en serie a la siguiente protección. Debido a que la única carga en el circuito es un relé el breaker a utilizarse será de 2 A.

2.1.4.2 Falla de Sobrecarga del motor

A continuación se conecta un contacto normalmente cerrado del variador de frecuencia el mismo que tendrá la función de abrir el circuito en caso de que el variador detecte alguna falla en el funcionamiento del motor, desenergizando de esta manera el relé que le da condición para que el variador arranque. Además será necesario que el autómatas programable detecte esta falla para su historial y para que el operador sepa que ha ocurrido con la maquinaria razón por la cual desde ese punto de conexión se deriva un cable hacia el tablero principal de control.

2.1.4.3 Paro de Emergencia

El paro de emergencia es un contacto normalmente abierto de un relé ubicado en el cuarto eléctrico, el mismo que es energizado por otro circuito independiente que se detallará más adelante, este se conecta en serie al contacto del variador de velocidad razón por la cual se necesita dos cables desde el cubículo donde se encuentra el variador de velocidad hasta el cuarto eléctrico, uno de entrada del contacto y otro de salida del mismo.

2.1.4.4 Botonera Local del Equipo

La botonera local consta de tres elementos, el primero es un pulsador normalmente cerrado que cumple la función de Stop, este se encuentra en serie con el contacto de paro de emergencia y cumple la función de interrumpir el paso

de corriente en caso de que sea presionado y parar inmediatamente el equipo. El segundo elemento es un selector de tres posiciones que divide al circuito en dos partes, uno para operación automática (Control desde el PLC) y el otro para operación manual (Control por el Operador), finalmente el tercer elemento es un pulsador normalmente abierto el mismo que es activado por el operador para encender manualmente al vibrador siempre y cuando el selector se encuentra en posición manual y tiene la función de bypass para sistema automático y arrancar directamente. Cabe resaltar que la botonera local debe ser ubicada frente a la maquinaria para garantizar que el funcionamiento manual sea realizado siempre con la supervisión visual del operador.

2.1.4.5 Comando Automático

El comando automático solo se realizará cuando el selector se encuentre en posición automática, para ello es preciso que el PLC sepa la posición del selector razón por la cual se enviará esta información a una entrada digital del PLC. Además es necesario que esta señal del selector en automático llegue también al cuarto eléctrico para que en caso de problemas el personal de mantenimiento eléctrico pueda verificar la posición del selector. Por esto se envía un cable desde el cubículo de control de la máquina hasta el cuarto eléctrico y de ahí regresa hasta el gabinete principal donde se encuentra el autómeta.

En el tablero principal, del cable que llega directamente del cuarto eléctrico se deriva una conexión hacia un foco pequeño que sirve para indicar que el sistema se encuentra sin fallas y listo para ser arrancado, caso contrario de no encenderse significará que alguna de las protecciones del sistema esta accionada.

Finalmente se conecta en serie con el selector automático un contacto abierto de un relé que es comandado directamente desde PLC y le da la marcha o paro al sistema cuando se encuentra en automático. De igual manera que en el caso anterior el personal de turno podrá medir desde el cuarto eléctrico si el equipo está en marcha por ello se envía un cable desde el tablero principal hasta

el cuarto eléctrico para luego retornarlo hasta el cubículo ubicado cerca de la máquina.

2.1.4.6 Relé Final de Control

El relé final de control es el último elemento del circuito que tiene la función de activar al variador de frecuencia para que ponga en marcha al motor. Este relé se encuentra ubicado en el cubículo situado al frente de la maquinaria, y su bobina se encuentra conectada en serie con todos los contactos del circuito de control y con el neutro del transformador, cerrando de esta manera al circuito. De este relé se utilizan dos contactos normalmente abiertos uno es para arrancar el variador y otro es para dar confirmación tanto al cuarto eléctrico como al autómata de que el equipo está en marcha.

2.1.5 DISEÑO CIRCUITO DE FUERZA Y CIRCUITO DE CONTROL DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

El diseño del circuito de fuerza empieza desde su seccionador trifásico que energiza a todo el equipo, a continuación se colocan tres fusibles de 4 A para cada una de las fases, esto se ubica en el cuarto eléctrico y de ahí va la alimentación hacia el cubículo de control en donde se ubica un breaker de tres polos de 4 A que alimenta las tres fases al variador de frecuencia, para luego alimentar voltaje de frecuencia variable al motor trifásico. De las tres fases que llegan al cubículo se escogen dos fases para enviarla al transformador de 480 V a 120 V y de esta manera tener la alimentación para todo el circuito de control. Cuando se desea trabajar en la maquinaria por mantenimiento por requerimientos de seguridad de la planta se debe eliminar toda fuente de energía razón por la cual se baja el seccionador y se pone candado evitando de esta manera un posible accionamiento inesperado.

En lo que respecta a la conexión de fuerza del motor y el variador de frecuencia la recomendación dada por los fabricantes para el equipo se observa en la Figura 2.4, circuito que sirve de guía para realizar la instalación.

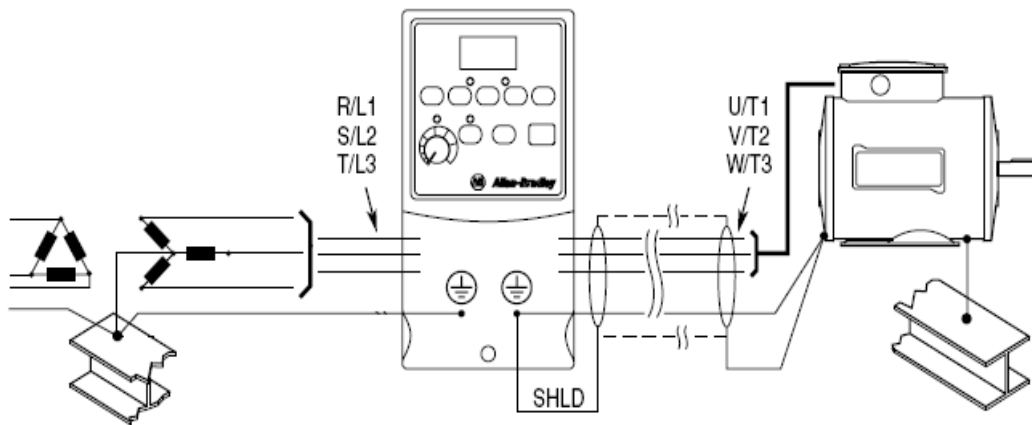
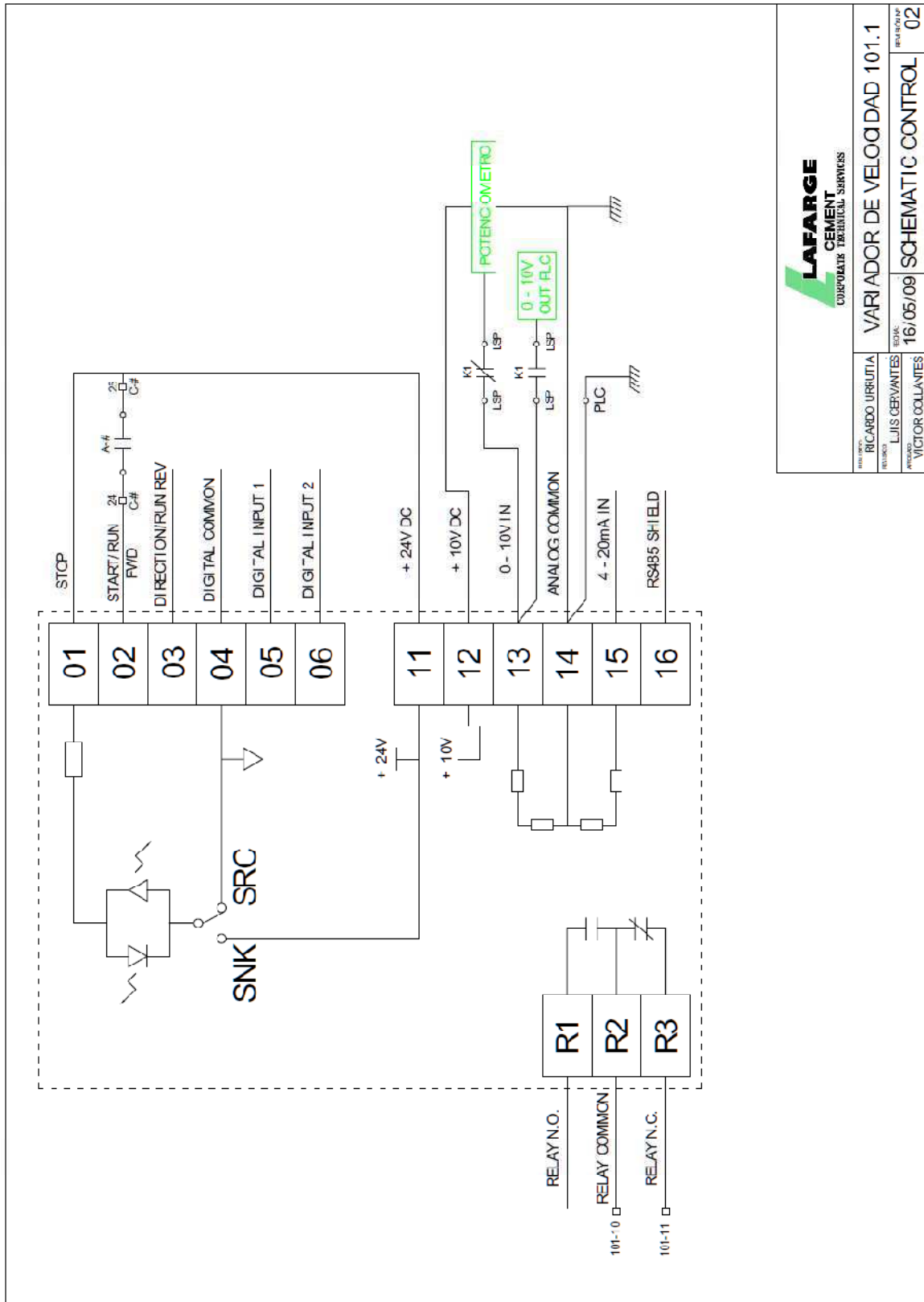


Figura 2.4 Conexión de Fuerza Variador de Frecuencia, tomado de [8]

Por otra parte la variación de frecuencia puede realizarse utilizando control de corriente de 4 a 20 mA o control de voltaje de 0 a 10 VDC. Lo mejor para el PLC es utilizar corriente debido a que la distancia al variador es de aproximadamente 100 metros, sin embargo cuando el selector se encuentra en local el equipo debe tener la posibilidad de variar la frecuencia manualmente por medio de un potenciómetro, para ello se ha escogido el control por voltaje, tanto, para el modo automático como para el manual. El circuito que se empleará para el control del variador de frecuencia se observa en la Figura 2.5.

2.1.6 ESQUEMA UNIFILAR DEL CIRCUITO DE CONTROL Y FUERZA

El esquema unifilar (Figura 2.6) consta de las conexiones punto a punto tanto de fuerza como de control, el diseño es basado en los planos que se utilizan en planta en la línea uno, con los que el personal de mantenimiento eléctrico se encuentra relacionado.



REVISOR:	RICARDO URRUTIA	TOTAL:	16/05/09	REVISION:	02
REVISOR:	LUIS CERVANTES	VARIADOR DE VELOCIDAD 101.1		REVISOR:	
APROBADO:	VICTOR COLLANTES	SCHEMATIC CONTROL		REVISOR:	

Figura 2.5 Circuito de Control del Variador de Frecuencia

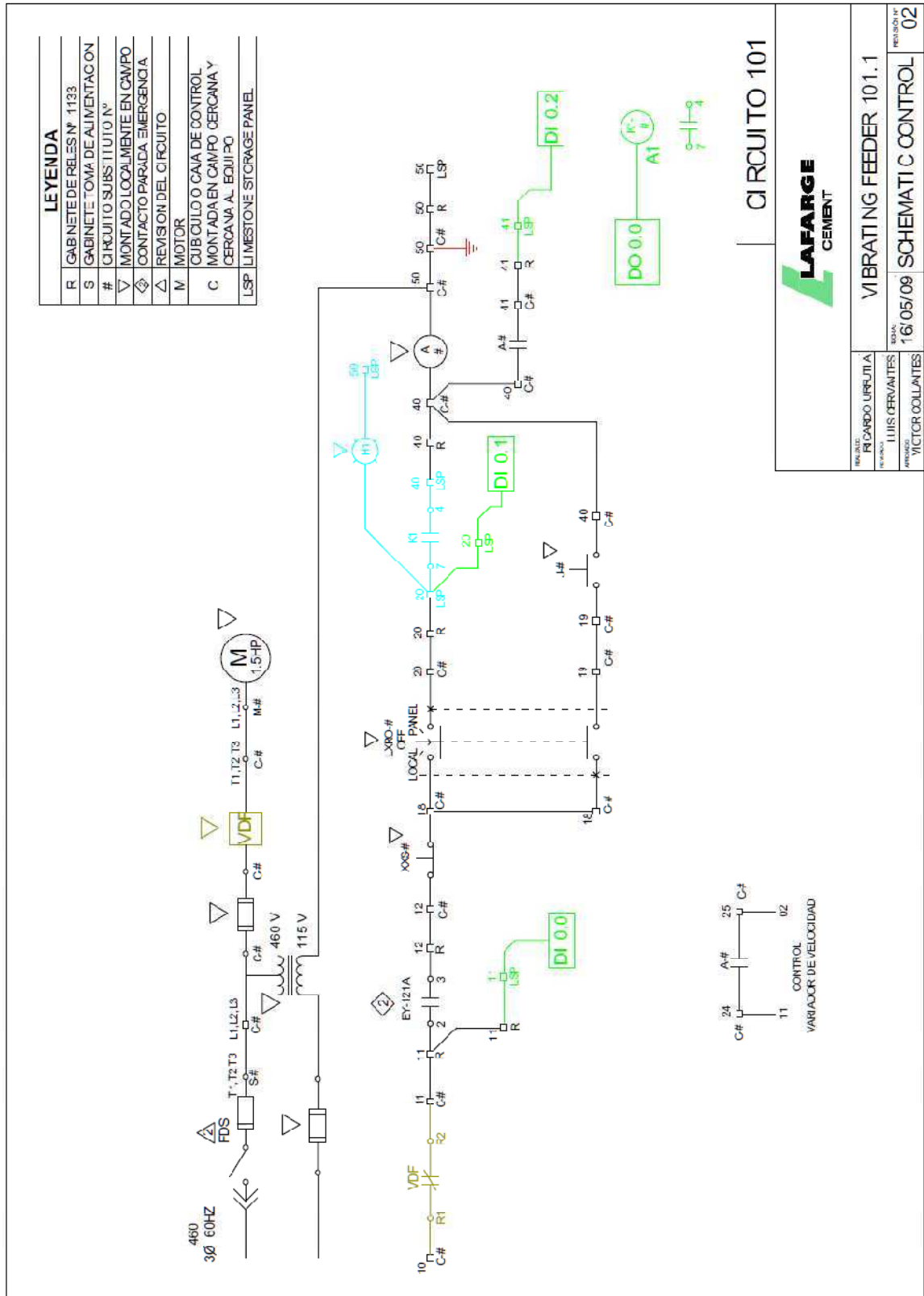


Figura 2.6 Circuito Unifilar Vibrador de Caliza

2.1.7 ESQUEMA DE CABLEADO Y CONEXIÓN DEL CIRCUITO

El esquema de cableado y conexión del circuito de control del Vibrador de Caliza parte desde el diseño unifilar para ello es importante que se conozca bien cada símbolo del circuito. Básicamente se tiene dos símbolos que entender, el primero es un cuadrado que significa que ese punto de conexión se encuentra en bornera y el segundo es un círculo que significa que ese punto de conexión va directo al dispositivo eléctrico que se está utilizando.

La alimentación de energía parte desde el gabinete ubicado en el cuarto eléctrico al cual se le denomina “Starter”, representado como “S-#” (Figura 2.6) de ahí salen las tres fases para alimentar al motor que llegan hasta el cubículo de control situado en campo que se lo representa como “C-#”, luego pasan por el breaker y el variador de velocidad para finalmente ir al motor. Por tanto el tipo de cable que se utiliza es no apantallado de 600 V, 75 °C, 3 conductores número 12 AWG más tierra.

Por otra parte en lo que se refiere al control del circuito se necesita cables para comunicar al cubículo (C-#) con el tablero de relés denominado “R” ubicado en el cuarto eléctrico y a este último con el tablero principal de control al que se denomina “LSP” (Limestone Storage Panel). De esta manera y siguiendo el circuito de la Figura 2.6 se necesita 6 conductores entre el cubículo y el tablero de relés y 5 conductores entre el tablero de relés y el tablero principal de control LSP. Estos cables son número 14 AWG, el uno de 6 conductores y el otro de 7 conductores, respectivamente, por lo tanto quedan dos cables disponibles entre el cuarto eléctrico y el tablero principal de control.

Finalmente faltan solo los cables de señal con los que se comandará el set del variador de frecuencia para ello haciendo referencia al circuito de la Figura 2.5 en el cual se puede ver que se necesitan cuatro cables de señal para alimentar de 0 a 10 V continuos al set del variador. Por lo tanto se escoge un cable de 4 conductores apantallados número 18 AWG.

El esquema de cableado y conexión del circuito del vibrador de caliza se puede observar a continuación en la Figura 2.7.

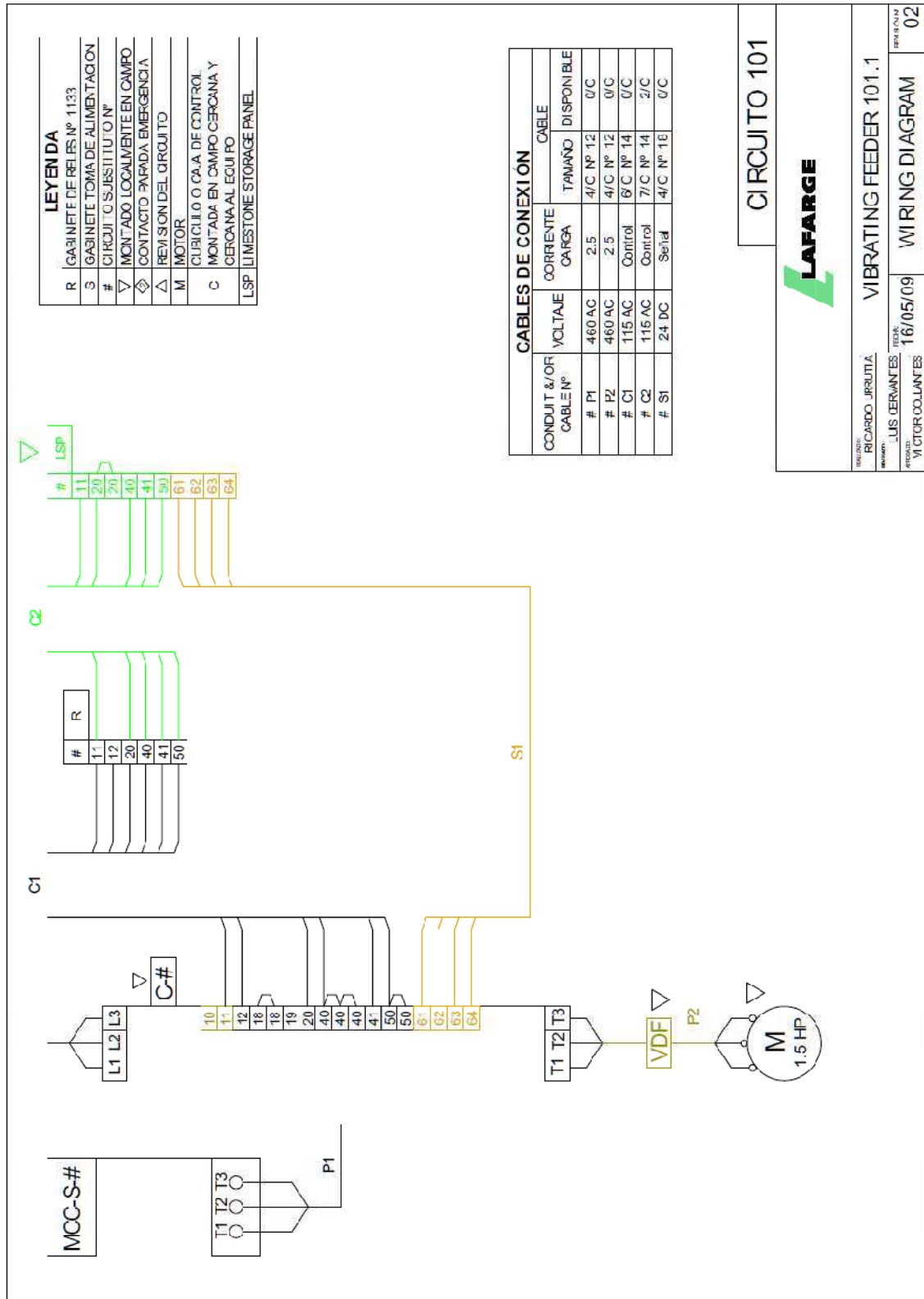


Figura 2.7 Esquema de Cableado Vibrador Caliza

2.2 CINTAS TRANSPORTADORAS

Las Cintas Transportadoras son maquinarias utilizadas como su nombre lo indica para transportar el material, en este proyecto se utiliza dos bandas, la primera de aproximadamente 75 metros de longitud que lleva la piedra desde el Vibrador de Caliza hasta el apilador radial y la segunda de aproximadamente 50 metros de largo que se sitúa sobre la estructura del apilador y tiene la función de trasladar la caliza desde la primera banda transportadora hasta la pila o montaña de material. El movimiento de ambas cintas es provocado por motores que se encuentran acoplados a reductores y su configuración es tal que la segunda cinta gira ligeramente más rápido que la primera cinta transportadora, evitando de esta manera sobrecargas.

2.2.1 VARIABLE A CONTROLAR EN LAS CINTAS TRANSPORTADORAS

La única variable a controlar en las cintas transportadoras es la velocidad de las mismas y la mejor manera de hacerlo es por medio de variadores de frecuencia, pero esto solo es necesario en sistemas de dosificación que necesitan regular el flujo de alimentación de material. Para el presente proyecto se necesita mantener el flujo de piedra caliza constante pero esta variable es más económico controlarla desde el vibrador de caliza, debido a que el variador de frecuencia debe ser dimensionado para un motor pequeño de 1.5 HP y no para el motor de la cinta transportadora que es de 15 HP.

2.2.2 VARIABLES A MEDIR O MONITOREAR EN LAS CINTAS

Cuando se habla de variable a medir o monitorear se hace referencia a la medición continua de la variable, por lo tanto este es un dato análogo. Como uno de los objetivos es garantizar el flujo de material constante y en el vibrador de caliza se decidió no realizar esta medición, queda de responsabilidad del transportador devolver este valor para ello es necesario instalar una báscula en la cinta transportadora que indique el flujo de material que pasa por la misma. La

báscula debe estar conformada por tres componentes importantes, la primera es la celda de pesaje que mide el peso de material sobre la cinta, la segunda es el captador de velocidad que indica la velocidad de la banda y finalmente el controlador electrónico que integre el valor de peso y velocidad del transportador y entregue la señal de flujo de piedra caliza de manera constante. La instalación de la báscula se realiza en la primera cinta transportadora y lo más cercano al vibrador de caliza con la finalidad de crear un lazo de control que regule la velocidad de vibración en función del flujo de material que pasa de piedra caliza.

Otra variable a medir puede ser la corriente del motor de la cinta transportadora con el fin de no sobrecargar a la banda pero esta variable no es tan importante debido a que al garantizar un flujo de material constante se considera que el mismo no sobrecargue al sistema y como la segunda cinta gira ligeramente más rápida que la primera no habría problemas de sobrecargas a ninguno de los motores.

2.2.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS PRINCIPALES

El principal equipo a seleccionar para el transportador es su báscula, para ello en primer lugar se hace referencia a la precisión de medición que se necesita. Como se debe garantizar un flujo de material constante, más no una totalización de piedra caliza que ingresa a planta, se optó por un sistema de pesaje diseñado para una sola estación de rodillos al cual referiremos en adelante como puente de pesaje, que consiste en dos celdas de pesaje, un captador de velocidad y un controlador electrónico. El puente de pesaje debe estar suspendido en sus extremos sobre celdas de carga que medirán el peso de los rodillos, la fuerza que ejerce la cinta sobre los rodillos y el peso del material que pasa por su puente de pesaje. El captador de velocidad debe estar situado sobre la cinta de retorno y finalmente el controlador electrónico que integre ambos valores.

En el mercado se puede encontrar sistemas de pesaje completos de cada fabricante que proveen los tres componentes que se necesita, sin embargo se

puede adquirir cada componente de distinta marca pero los fabricantes no garantizan su precisión razón por la cual se utilizará un solo fabricante.

Haciendo referencia a los equipos ya instalados en planta se destacan principalmente dos fabricantes, por un lado Siemens con su sistema de pesaje Compu – M y por otro lado Schenck Process con su sistema de pesaje Intecon Plus, de los dos la mejor oferta en cuanto a precio y tiempo de entrega es la de Schenck Process, para tener una idea clara de los tiempos de entrega con respecto a los equipos de importación son de 6 semanas para Schenck con proveedor desde Colombia y de 8 a 10 semanas para Siemens con proveedor local en Quito.

Partiendo desde las características de la cinta transportadora citadas en el primer capítulo se escoge una báscula de cinta tipo BEMP para una capacidad de transporte de hasta 400 t/h con una precisión de +/- 1%, la misma que se encuentra dentro de nuestras especificaciones ya que la máxima cantidad de transporte es de 350 t/h.

Los demás elementos eléctricos que se utiliza para el circuito de control ya se encuentran instalados, sin embargo el diseño del circuito de control variará respecto al original para cumplir con las especificaciones del proyecto.

2.2.4 ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LA BÁSCULA

Una vez seleccionada la báscula a utilizar y los equipos que intervienen en ella se toman en cuenta las recomendaciones de fábrica para realizar su instalación. En la Figura 2.8 se observa el esquema de conexión de las celdas de carga y del sensor de velocidad en la caja de paso, en donde se observa que las celdas de tipo Schenck PWS se conectan en paralelo, por lo tanto se puede definir que se necesitan 9 cables desde la báscula hasta el tablero principal que es en donde se va a instalar al controlador.

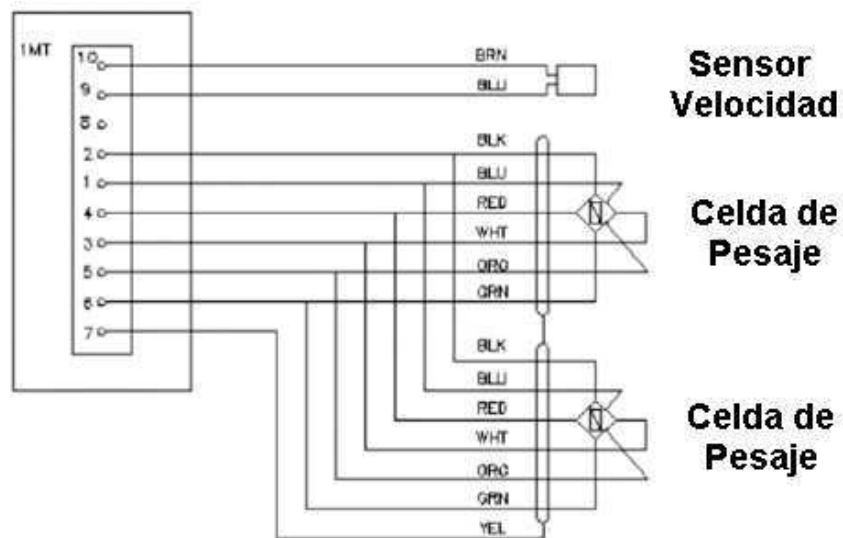


Figura 2.8 Cableado de la Caja de Paso Celdas de Carga y Sensor de Velocidad

Por otro lado se necesita controlar ciertos parámetros desde el PLC hacia el controlador electrónico Intecont Plus, como también se necesita saber los mensajes del controlador, el totalizador del equipo y lo más importante el flujo de material que pasa por la cinta hacia el PLC. Como primer punto se tiene una salida análoga del controlador electrónico hacia el PLC que no indicará de forma continua el flujo de material o rendimiento, luego se tiene el totalizador que dará un pulso por cada 10 toneladas que pase de material, las salidas digitales servirán como aviso de que el controlador está encendido, alarmado o de que no hay material sobre la cinta transportadora. Finalmente las entradas digitales del controlador valdrán para dar marcha a la medición de la báscula, para reconocer los eventos que hayan ocurrido en el equipo con el fin de tener siempre operativa la medición de flujo y para el sensor de velocidad que da una entrada de pulsos.

Definidas las variables a utilizar para que el controlador electrónico Intecont Plus interactúe de manera automática con el PLC, se toma como guía las especificaciones de fábrica del equipo para realizar la conexión, las mismas que se pueden observar en el esquema de la Figura 2.9.

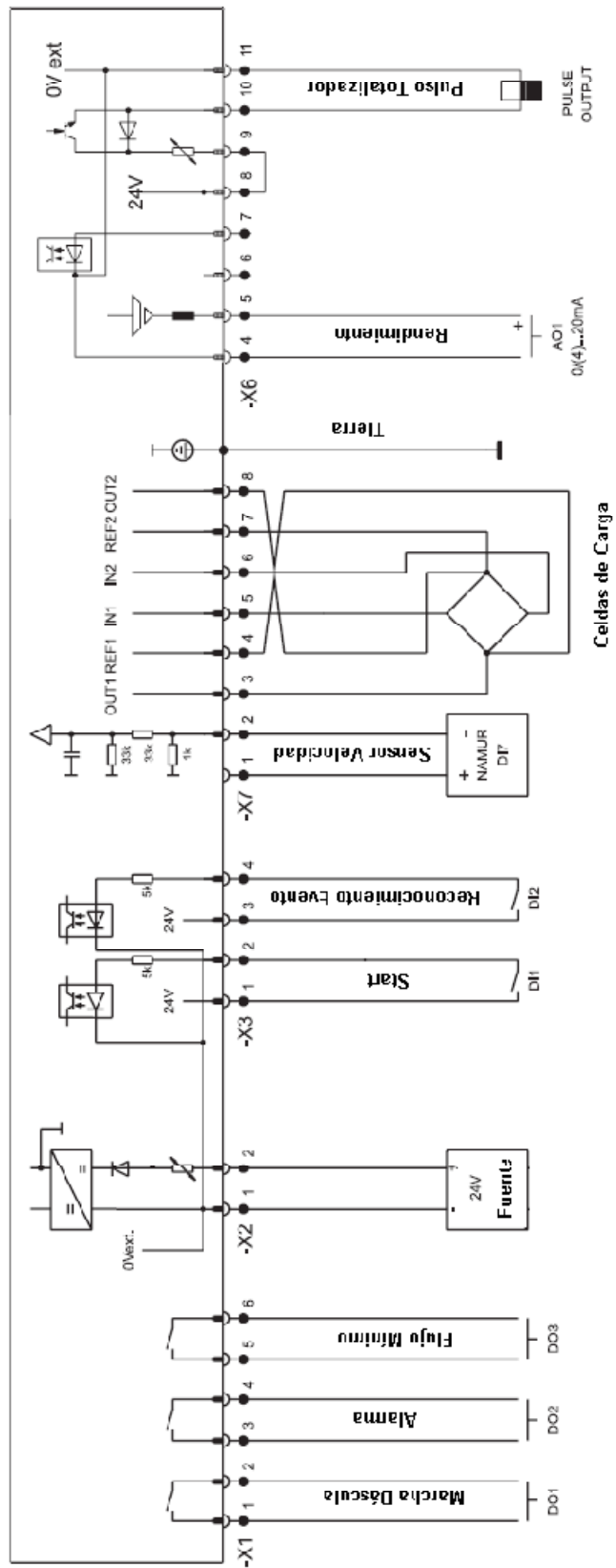


Figura 2.9 Esquema de Conexión del Controlador Electrónico Intecon Plus

2.2.5 DISEÑO CIRCUITO DE CONTROL

En el diseño del circuito de control se utiliza el mismo esquema y elementos de protección y maniobra que se utilizan en el circuito de control del vibrador de caliza que se describió en el punto 2.1.4 por lo tanto a continuación solo se detalla los elementos que no se encuentran en estos circuitos.

2.2.5.1 Fusible de Protección y Falla de Sobrecarga del motor

A diferencia del circuito del vibrador, las bandas transportadoras poseen un fusible de 6A para su protección, debido a que el contactor para cada motor es más grande. Seguido del fusible se conectan tres contactos normalmente cerrados conectados en serie que corresponden a la protección térmica o de sobrecarga de cada motor, y son tres contactos debido a que se monitorean las tres fases, esta protección se encuentra ubicada en el cuarto eléctrico y es independiente para cada cinta. Al igual que en la caliza es importante que el autómatas este informado de esta protección por ello se deriva un cable desde el gabinete de relés hasta el tablero principal.

2.2.5.2 Speed Switch

El Speed Switch es un contacto normalmente abierto que sirve para monitorear que el transportador se encuentra en movimiento, no es más que un sensor discreto acoplado directamente al tambor en cola que cierra un contacto cuando este se encuentra en movimiento. Su alimentación va desde la caja de paso y su información la lleva hacia el PLC sin intervenir en el circuito de control. Además su energía proviene desde el gabinete de relés después del contacto del relé de paro de emergencia y va hacia la caja de paso.

2.2.5.3 Switch de Alineamiento

El Switch de Alineamiento es un contacto normalmente cerrado que monitorea la alineación de la cinta transportadora, se ubican a los extremos de la banda, por tanto se utilizan dos por cada cinta, estos se conectan en serie entre sí para dar una sola entrada digital al PLC por banda y de igual manera que en el Speed Switch se alimentan desde la misma caja de paso y su contacto no interviene en el circuito de control.

2.2.5.4 Switch de Nivel

El Switch de Nivel es un contacto normalmente abierto que se encuentra forzado por una pesa en su extremo, la misma que al topar algún nivel vuelve a su estado normal, se utiliza únicamente como protección para el segundo transportador ya que este se encuentra sobre la estructura del apilador y es posible que si la pila se llene de material, o que si la estructura descienda demasiado, o que su posición radial cambie de una pila pequeña a una pila alta provoque que la cinta choque con la montaña de piedra caliza. Se ubica en ambos extremos de la punta del apilador y se conectan en serie entre sí con la finalidad de dar una sola entrada al PLC ya que no intervienen en el circuito de control y su alimentación se deriva del mismo punto y caja de paso.

2.2.5.5 Protección Automata

La protección del autómata es un relé de contacto normalmente cerrado comandado desde el PLC cuya función es deshabilitar el accionamiento manual de la cinta en caso de existir alguna alarma, ya sea de Speed Switch, de Alineamiento o de Nivel solo para el caso del segundo transportador, de esta manera se garantiza que la cinta no tenga daños por mala operación. Su alimentación se realiza desde la caja de paso que se energiza en serie desde el tablero de relés y va hacia el tablero principal de control.

2.2.5.6 Hand Switch

El Hand Switch es una especie de paro de emergencia que consta de un interruptor normalmente cerrado acoplado a una línea o cuerda de seguridad que se encuentra a lo largo de la cinta transportadora, que en caso de ser halada en cualquier lugar de la cinta abre el contacto, este contacto se encuentra conectado en serie después de la protección del autómata y además envía esta información al autómata con la finalidad de tomar medidas de seguridad en el programa. Para la primera cinta transportadora se cuenta con dos Hand Switch mientras que el segundo transportador solo cuenta con uno.

2.2.6 ESQUEMA CIRCUITO DE FUERZA

El esquema del circuito de fuerza es idéntico para ambas cintas transportadoras, parte desde su seccionador trifásico de 480 V hacia tres fusibles de protección, uno por fase, para el caso de la primera cinta transportadora que utiliza un motor de 15 HP se utiliza fusibles de 20A tipo JSK, mientras que para el caso de el segundo transportador que se encuentra en el apilador radial se utiliza fusibles de 60A tipo JSK ya que posee un motor de 40 HP. En serie a estas protecciones se conecta el contactor del motor y de igual manera que en los fusibles cada contactor es dimensionado según la corriente de cada motor, La bobina del contactor es energizada y comandada por cada circuito de control, y seguido del contactor se encuentra el térmico o protección de sobrecarga que monitorea las tres fases del motor, para finalmente salir del cuarto eléctrico cuatro cables, que corresponden a las fases R, S, T y a tierra.

2.2.7 ESQUEMA UNIFILAR DEL CIRCUITO DE CONTROL Y FUERZA

El esquema unifilar es similar para cada cinta transportadora, con pequeñas variaciones en cada circuito, como en el caso del switch de nivel que solo se utiliza en la segunda banda (Figura 2.11) y el uso de dos Hand Switch para el caso de la primera cinta (Figura 2.10).

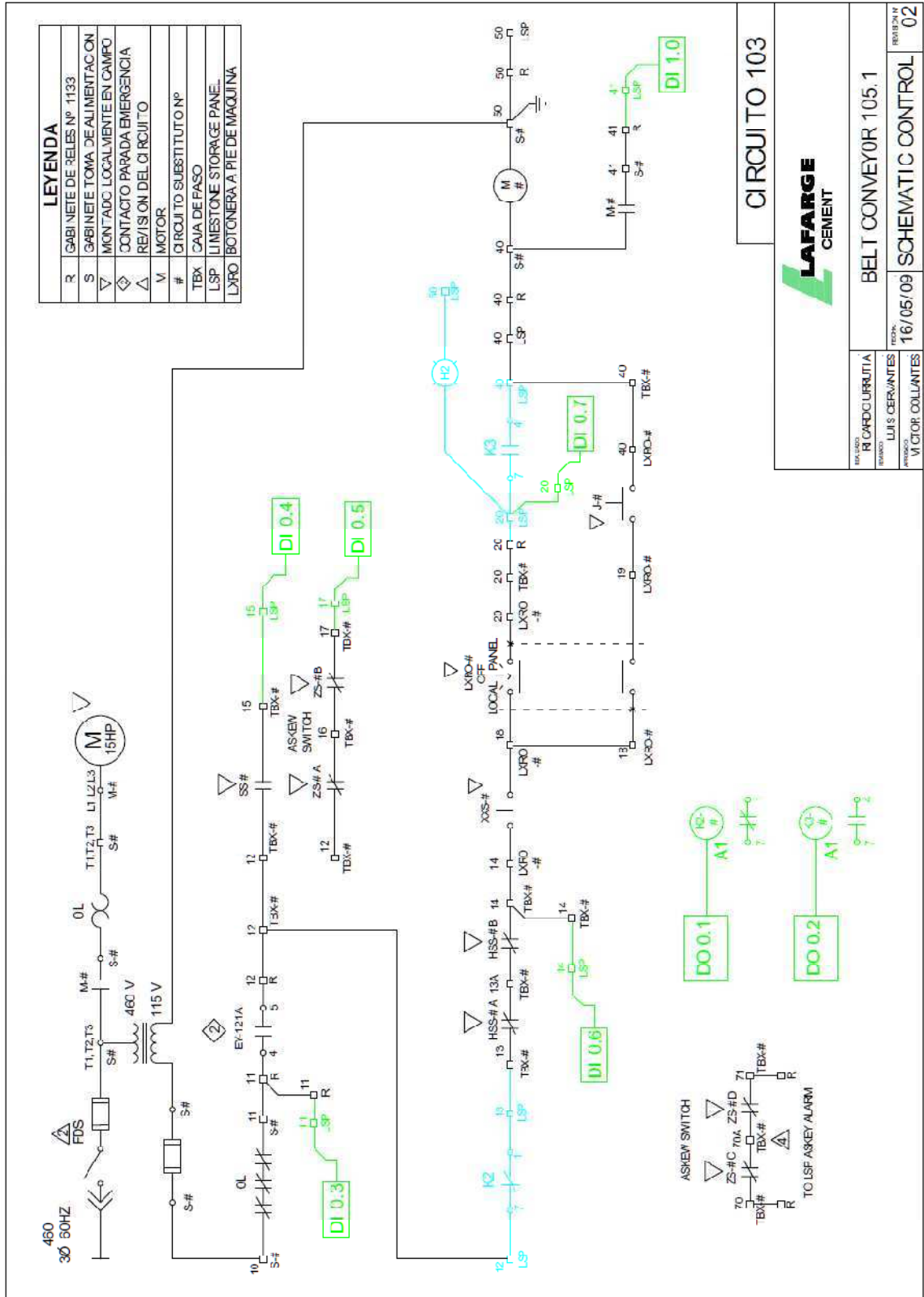


Figura 2.10 Circuito Unifilar de la Banda que Alimenta Caliza al Apilador Radial

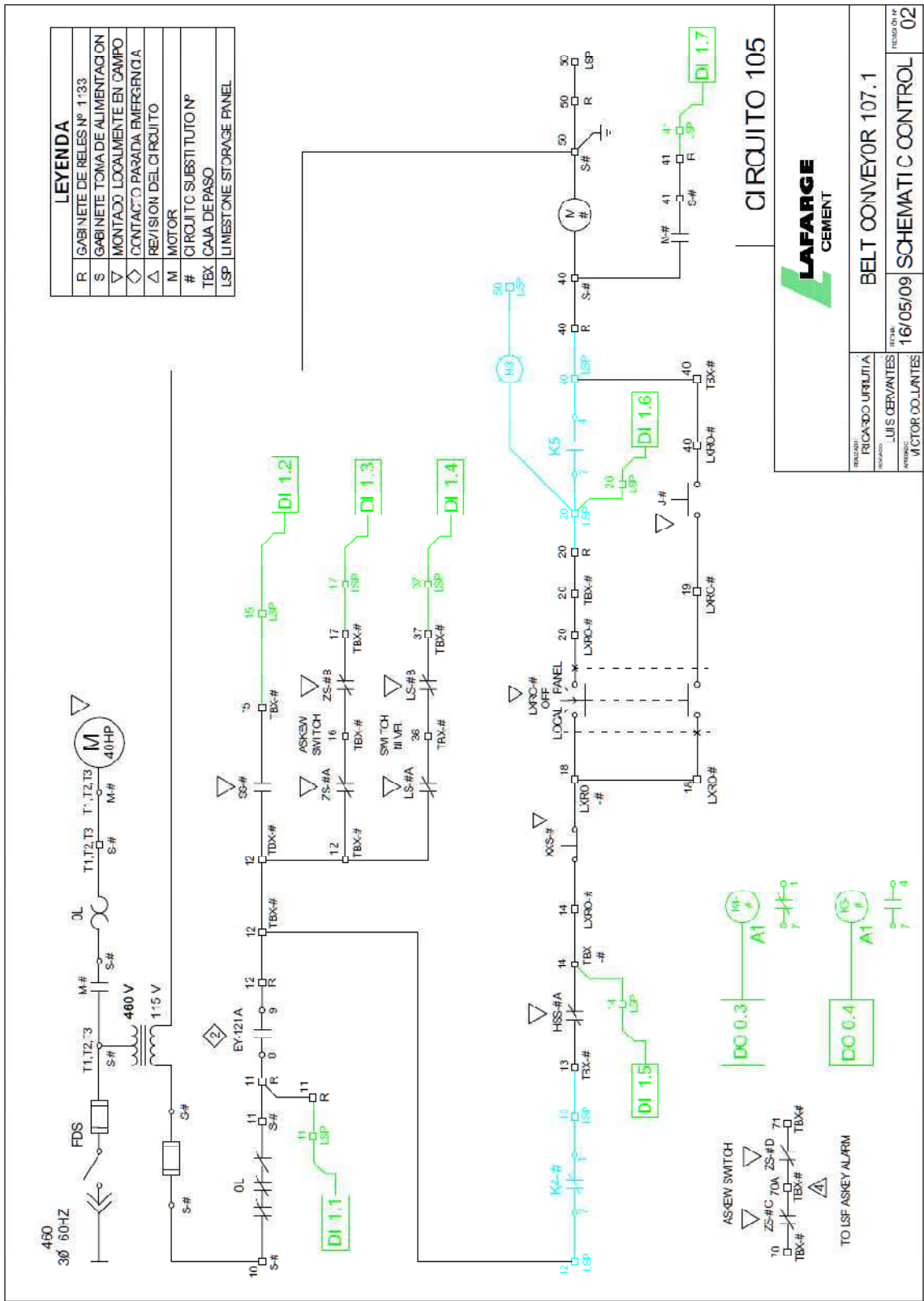


Figura 2.11 Circuito Unifilar de la Banda del Apilador Radial de Caliza

2.2.8 ESQUEMA DE CABLEADO Y CONEXIÓN DEL CIRCUITO

El esquema de cableado y conexión del circuito de control para las dos cintas transportadoras es idéntico en lo que se refiere a la alimentación de fuerza de los motores y es bastante similar en lo que tiene que ver con el circuito de control de cada motor, con unas pequeñas diferencias pero conservando en sí el mismo esquema. Se tienen dos diferencias en el esquema del circuito de control del vibrador de caliza, la primera es que ahora el circuito de control posee una caja de paso situada en campo a la que se denomina “TBX-#” y la segunda es que la botonera “LXRO-#” se encuentra independiente en campo. En cambio en lo que se refiere al vibrador este poseía un cubículo “C-#” de control en campo, que hacia la función de caja de paso y control de la maquinaria, algo que el circuito de las cintas no lo posee.

En lo que tiene que ver con la alimentación de los motores estas van directamente desde el cuarto eléctrico hasta los motores, los mismos que son conectados con una configuración en “Y”, por lo tanto se necesitan de cuatro cables de fuerza, tres para las fases y uno para la tierra.

En lo que se refiere al control del circuito de fuerza la alimentación sale directamente desde los cubículos del cuarto eléctrico, pasa por el gabinete de relés situado de igual manera en el cuarto eléctrico de donde se distribuye el cableado de conexión en dos partes, una parte del cableado que va directo hacia la caja de paso (TBX-#) situada en campo, y el segundo que va hacia el tablero principal de control LSP (Figuras 2.12 y 2.13).

Desde la caja de paso se distribuye la alimentación a todos los componentes eléctricos que tienen comportamiento discreto, como son Speed Switches, Hand Switches, Sensores de Alineamiento y Sensores de Nivel, luego estas señales son enviadas hacia el tablero principal de control donde el PLC procesa la información por medio de su software. Además de la caja de paso también se alimenta a la botonera para el control manual de la maquinaria, cabe resaltar que las botoneras se encuentran al pie del motor de las bandas ya que el concepto que se utiliza en planta para una operación manual de una maquinaria es que el operador vigile el equipo mientras está en funcionamiento.

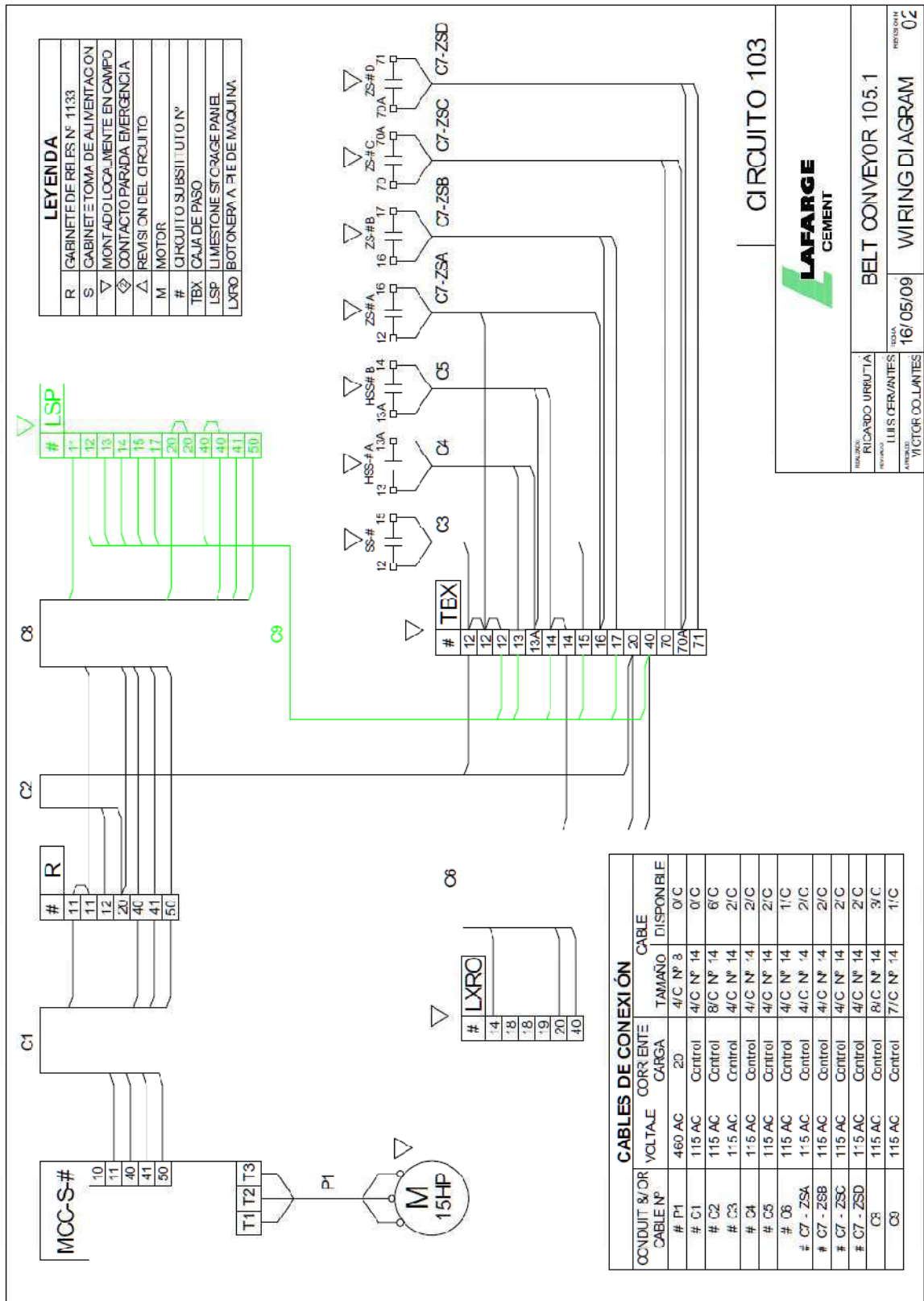


Figura 2.12 Esquema de Cableado de la Primera Cinta Transportadora

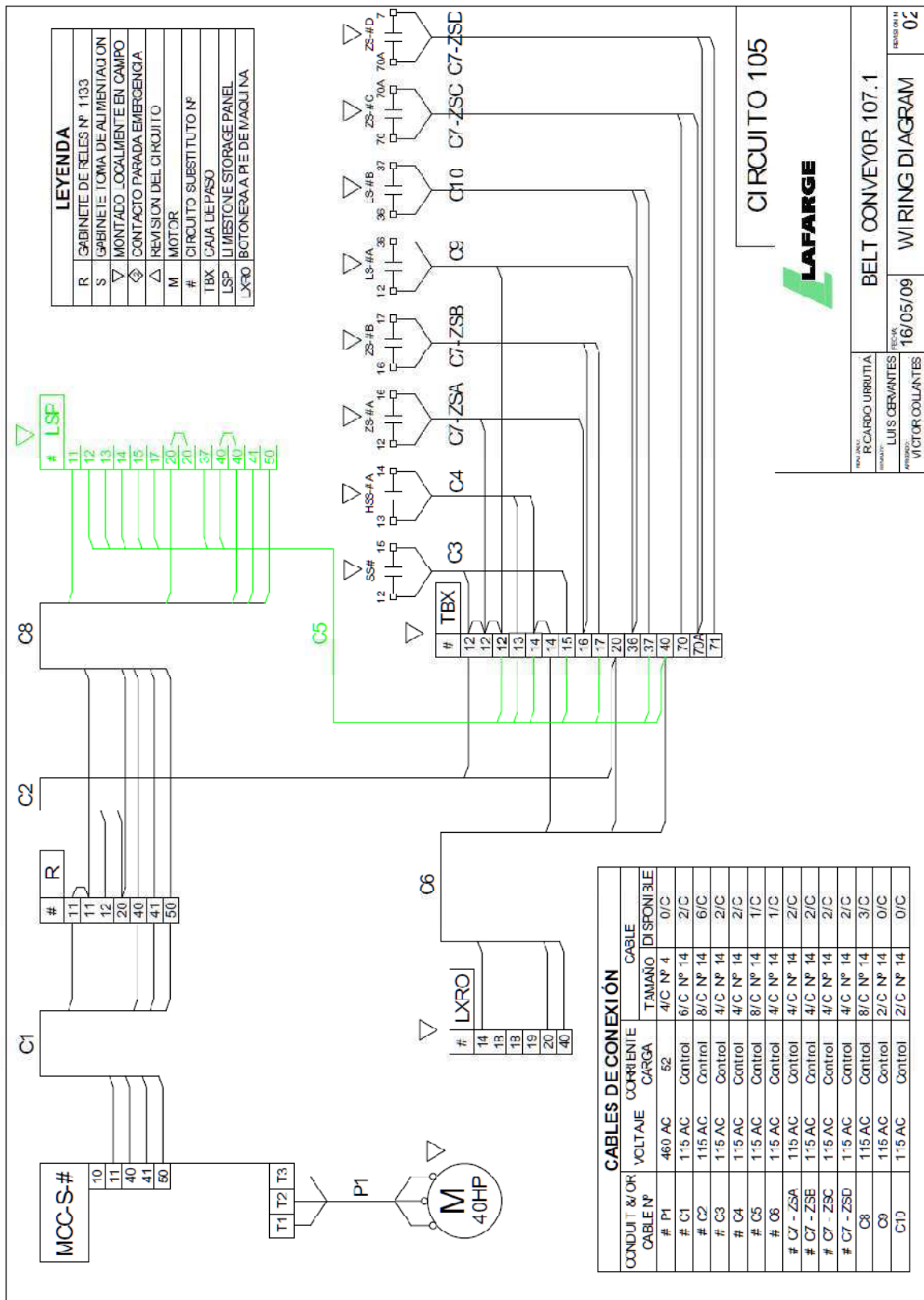


Figura 2.13 Esquema de Cableado de la Segunda Cinta Transportadora

2.3 APILADOR RADIAL DE CALIZA

El Apilador Radial de Caliza es una maquinaria móvil que tiene la función de amontonar el material en pilas, para ello consta con un movimiento en dos sentidos, el primero es para cambiar el ángulo de su elevación de $4^{\circ} 38' 32''$ a 18° por medio de un sistema de poleas acoplada a un motor las cuales consiguen el cambio de inclinación del apilador, el segundo movimiento es para cambiar su posición radial de 0 a 130° esto se lo realiza por medio de una especie de carro comandado por un motor eléctrico, en el cuál se acentúa toda la estructura del apilador.

2.3.1 VARIABLE A CONTROLAR EN EL APILADOR RADIAL

Las variables a controlar en el apilador radial de caliza son básicamente dos: El movimiento de inclinación de la cinta transportadora y el movimiento radial del apilador.

2.3.1.1 Inclinación

La inclinación es controlada por medio de un motor de 7,5 HP que acoplada a un sistema de poleas logra su movimiento, de manera que con un variador de frecuencia se podría controlar la velocidad del motor para que la inclinación aumente a medida que empieza a llenar la pila con la finalidad de tener una distancia constante entre la montaña y la punta del apilador, esto implicaría la adquisición de un variador de frecuencia para el motor de 7,5 HP que significaría un aumento en los costos de inversión.

Otra manera de controlar la inclinación de la cinta es de manera discreta, no se garantizaría una distancia constante entre la montaña y la punta del apilador pero estaría en un rango bastante aceptable de distancia. Esto se lo puede lograr directamente con dos contactores intercambiando las fases de conexión para cambiar el giro del motor.

2.3.1.2 Posición Radial

La posición radial es conseguida por medio de un motor de 3 HP que provoca el movimiento de una especie de carro, sobre la cual se apoya toda la estructura metálica del apilador, la posición debe variar entre 7 pilas grandes de caliza, dando un ángulo aproximado de variación de 0 a 130°. De igual manera que en el caso de anterior de inclinación el control puede ser de dos maneras, continuo por medio de un variador de frecuencia o discreto por medio de contactores, con la diferencia de que en este caso es importante tener un movimiento continuo que varíe su velocidad ya que en caso de que la caliza no llegue uniforme de las minas es necesario su homogenización por ello se utilizó el variador de frecuencia.

Además de controlar la velocidad del carro, es también importante controlar la posición radial del apilador con la finalidad de saber donde se encuentre exactamente cada pila y disminuir la velocidad de movimiento del carro con el objetivo de mantener los chutes de caliza llenos y evitar que la demanda de material sobrepase la capacidad de almacenamiento de sistema del apilador.

2.3.2 VARIABLES A MEDIR O MONITOREAR EN EL APILADOR RADIAL

Las variables a monitorear en el Apilador Radial de Caliza se dividen en dos. Las necesarias para el movimiento de inclinación y las necesarias para el movimiento radial, la función de cada una es la de tener la mejor apreciación de la posición real en la cual se encuentra la punta del apilador.

2.3.2.1 Inclinación

Partiendo del concepto de que mientras más cercana se encuentra la punta del apilador a la pila de material se logra un llenado más rápido, es necesario saber la distancia exacta entre estas dos, de esta manera se ve la importancia de tener un sensor de nivel que mida de manera continua la distancia

entre la pila y la punta del apilador, además este instrumento también ayudaría a medir la altura de todas las pilas y que el sistema de manera autónoma pueda dar prioridad de llenado a la montaña más pequeña.

Con el sensor de nivel se solucionaría el problema de la distancia entre la pila y la punta del apilador, sin embargo no podrá dar una idea real de la inclinación a la cual se encuentra el apilador, para ello se necesita un encoder de posición que active un sensor inductivo de proximidad según sea su movimiento. Una opción puede ser montarlo en el motor pero debido a que funciona a 60 Hz serían demasiados pulsos por segundo, por lo tanto se optó por otra alternativa y se escoge la polea que genera el movimiento de elevación o depresión de la pluma, colocando una platina perforada acoplada a la polea la misma que al ascender o descender activará a un sensor inductivo, de manera que el autómeta sume el número de pulsos y pueda saber la inclinación real a la que se encuentra el apilador.

Finalmente para detectar la posición máxima de elevación del apilador, se optó por un switch que trabaje como fin de carrera alto y adicional a esto se mantiene los dos switches que corresponden a los fines de carrera alto – alto y bajo – bajo de la pluma.

2.3.2.2 Posición Radial

Monitorear la posición radial en esta maquinaria es muy importante porque permite determinar la ubicación exacta de cada pila de tal manera que el sistema tenga la capacidad de posicionarse de manera autónoma sobre cada montaña de material, resulta también importante al saber que el movimiento del carro no posee freno, por lo que el autómeta debe bajar la velocidad antes de que llegue a la pila. Además cuando se desee realizar una homogenización de la caliza la velocidad cuando el apilador este sobre cada pila debe disminuir mientras que la velocidad cuando el apilador se encuentre entre pilas debe ser mayor para evitar que haya un exceso de material desaprovechado. La manera más sencilla y económica para realizar el monitoreo de posición es por medio de

un encoder, el mismo que se puede acoplar a la rueda del carro apilador y a medida que se mueva dará señal de pulsos por medio de un sensor inductivo de proximidad al autómeta, el mismo que se encargará de sumar o restar los pulsos para saber la posición real del apilador.

Finalmente se utiliza dos switches para detectar las posiciones mínima y máxima del stock de caliza y de igual manera que el caso de la inclinación se mantiene los dos switches fines de carrera que corresponden a las posiciones máximo – máximo y mínimo – mínimo del movimiento radial del apilador.

2.3.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS PRINCIPALES

Los equipos a seleccionar para el apilador radial de caliza son principalmente dos, el sensor de nivel para medir la distancia desde la punta del apilador hasta la pila y el variador de frecuencia para controlar la velocidad del carro apilador. Además se utilizará dos sensores inductivos, uno para el movimiento de inclinación y otro para el movimiento radial, aparte de eso los switches fines de carrera que utiliza el sistema como protección de sus posiciones límites.

2.3.3.1 Sensor de Nivel

El sensor de nivel a seleccionarse debe tener un rango de medición de hasta 15 metros de distancia, que es la altura de cada pila, su medición debe ser continua y de rápida respuesta con una salida análoga de 4 a 20 mA proporcional a la distancia entre la punta del apilador a la pila de material, debe ser sin contacto con el material para evitar posibles daños con la piedra caliza.

Con estas especificaciones se reducen los principios de medición a dos: Principio de Ultrasonido y Principio Radar. De los cuales por el tipo de construcción y aplicación en la industria se determina que el sensor de nivel por ultrasonido se utiliza más para la medición en líquidos, mientras que el sensor de

nivel por radar es más utilizado para la medición en sólidos, por tanto se usa la segunda opción.

De los distribuidores locales que se utilizan en planta se distinguen dos: Insetec que provee equipos Endress + Hauser e Intelware que provee equipos Vega, para lo cual se solicitó a los dos cotizaciones de instrumentos de similares características, en este caso se opta por un equipo de Intelware ya que el precio es más económico y el tiempo de entrega es inmediato. Por lo tanto el equipo seleccionado es un sensor radar Vegaplug 67 (Figura 2.14) para medición continua de nivel de sólidos con antena de trompeta encapsulada (banda K), particularmente indicado para medición de hasta 15 metros de altura, posee electrónica de 2 hilos de 4 a 20 mA, tecnología HARD, Carcasa IP 66 y protección IP 67, de esta manera cubre todos los requerimientos.



Figura 2.14 Sensor de Nivel tipo Radar Vegaplug 67, tomado de [7]

2.3.3.2 Variador de Frecuencia

Para seleccionar el Variador de Frecuencia se toma como referencia a las características del motor para este caso es un motor trifásico de 3HP, 460 V, 60 Hz, 1620 RPM, 4,1 A, Factor de Servicio 1.0, Autoventilado, Conexión en Y. De acuerdo con lo mencionado en la sección 2.1.3 el estándar utilizado en planta es el variador Power Flex 4 de 5 HP de la familia de Allen Bradley de 480 V y 8.4 A, características suficientes para que sea apto para nuestra aplicación por tanto se escoge a este variador para controlar el movimiento radial del apilador de caliza.

2.3.3.3 Sensor Inductivo de Proximidad

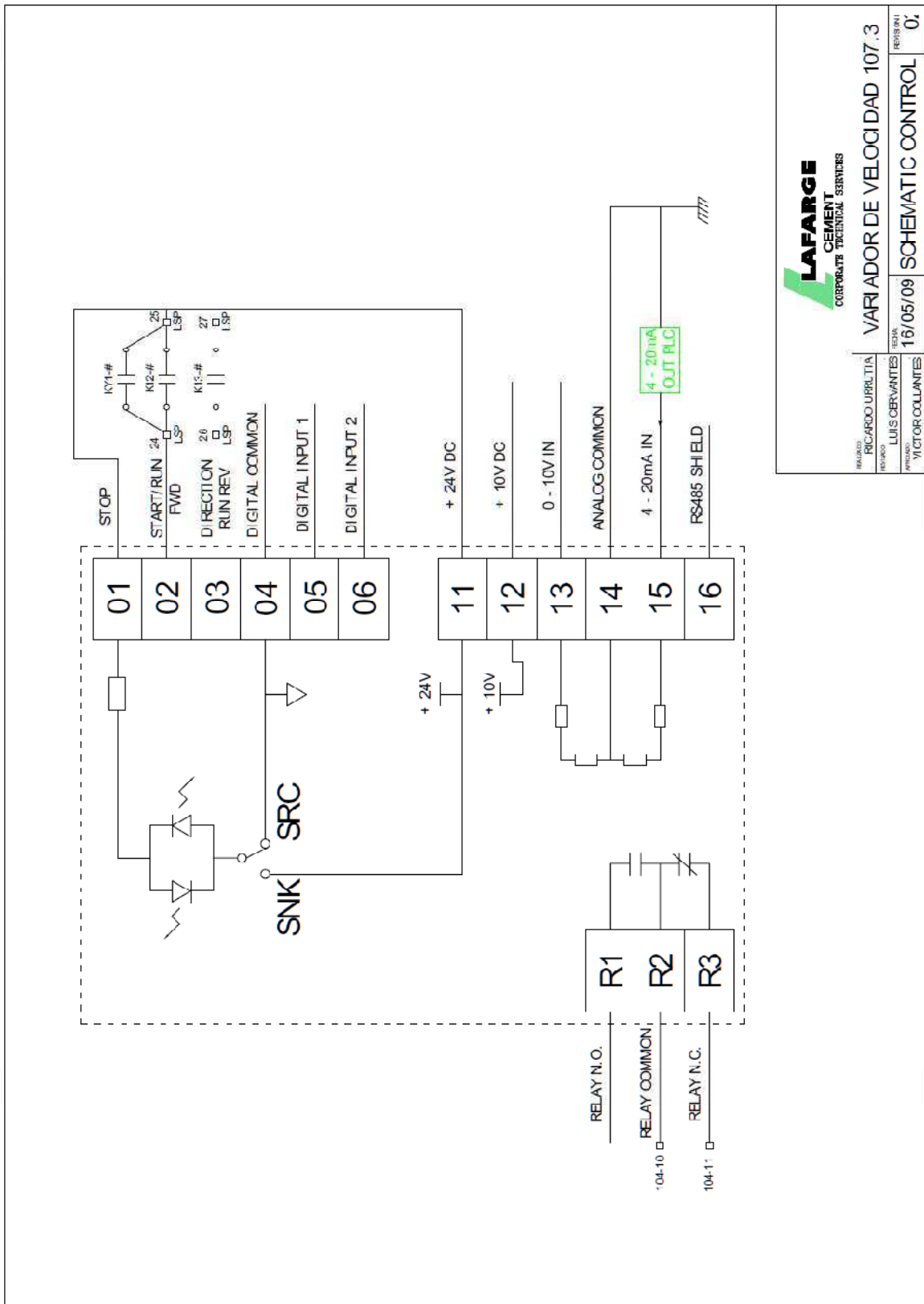
El Sensor Inductivo de Proximidad a utilizarse para el movimiento radial es el más crítico por la ubicación en la instalación que como se mencionó anteriormente es en la rueda del apilador. Para la selección de este elemento se definió la distancia a la que se van a ubicar al sensor inductivo del metal a detectar, además si se toma en cuenta que la estructura del apilador radial de caliza fue construida hace mas de 30 años su comportamiento mecánico no es uniforme razón por la cual se opta por un sensor inductivo de la familia de Siemens SIMATIC PXI300 de 20 mm, 2 hilos, 110 V, IP 65 (Figura 2.15), para garantizar una mejor detección.



Figura 2.15 Sensor Inductivo de Proximidad distancia 20mm

2.3.4 ESQUEMA DE CONEXIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA Y DEL SENSOR DE NIVEL

El esquema de control para el variador de frecuencia a pesar de ser el mismo que se utiliza en el vibrador de caliza es de diferente conexión debido a que se necesita que el motor pueda funcionar en los dos sentidos de giro y además se utiliza como control de velocidad del variador una entrada analógica de corriente de 4 a 20 mA, en la Figura 2.16 se puede observar el diseño del esquema de control para este variador. La conexión de la alimentación del sensor de nivel (24 VDC) se la realiza desde el tablero principal y luego se realimenta esta señal a una entra de corriente del PLC.



VALIDADO	RICARDO URRUTIA	VARIADOR DE VELOCIDAD 107.3	
REVISADO	LUIS CERVANTES	TECN.	REVISION
APROBADO	VICTOR COLLANTES	16/05/09	0:
		SCHEMATIC CONTROL	

Figura 2.16 Circuito de Control del Variador de Frecuencia

2.3.5 DISEÑO CIRCUITO DE CONTROL

El diseño del circuito de control es bastante similar para los dos equipos en mención debido a que ambas maquinarias deben tener doble sentido de movimiento, por tanto las protecciones y el control de las mismas se asemeja. En lo que se refiere a las protecciones del circuito como son el paro de emergencia, sobrecargas y su selector para su operación manual utilizan el mismo esquema que los ya analizados en las secciones anteriores, por tanto solo se describirá los nuevos componentes que intervienen en cada equipo.

2.3.5.1 Fines de Carrera

Hay dos tipos de fines de carrera, el primero es un sensor inductivo de proximidad que indica que el recorrido ha llegado a su posición extrema y que debe detenerse o cambiar su sentido de movimiento, esta señal solo se la envía a una entrada digital del PLC y no interviene como tal en el circuito de control ya que el autómatas se encarga de tomar acciones al respecto. El segundo tipo de fin de carrera si interviene en el circuito ya que se encuentra después del sensor inductivo indicando posición extrema – extrema y tiene la función de detener inmediatamente el movimiento en caso de que el detector inductivo haya fallado protegiendo de esta manera a la maquinaria.

2.3.5.2 Sensores de Posición

Los sensores de posición son sensores de proximidad inductivos que se encargan de dar pulsos a una entrada digital del PLC para indicar que la estructura ha cambiado de movimiento, en este caso el autómatas se encarga de contar el número de pulsos y traducirlos en movimiento de centímetros para el caso del elevador y en movimiento de grados para el caso de posición radial del apilador. Cabe señalar que los sensores inductivos deben ser conectados a la bobina del relé y el contacto de este es el que le da señal al PLC.

2.3.5.3 Relés Finales de Control

Los relés finales de Control se encargan de dar marcha al motor, son dos relés por circuito debido a que se necesita dar el doble sentido de giro al motor, estos por precaución se encuentran protegidos entre sí de tal manera que si se activa una bobina abre el contacto que se encuentra antes de la otra bobina para evitar posibles accionamientos y corto circuitos en el circuito de fuerza.

2.3.6 ESQUEMA CIRCUITO DE FUERZA

El esquema del circuito de fuerza se diferencia uno del otro por el uso del variador de frecuencia para el caso del carro apilador, en el cual solo se da el comando de cambio de giro a una entrada digital del variador y este se encarga internamente de cambiar el sentido de giro del motor, mientras que para el caso del elevador se usa dos contactores configurados de tal manera que cada uno da un sentido de giro al motor, estos contactores tienen protecciones internas que protegen al circuito de fuerza del accionamiento de ambos a la vez evitando posibles cortocircuitos por el cambio de fases.

2.3.7 ESQUEMA UNIFILAR DEL CIRCUITO DE CONTROL Y FUERZA

El esquema unifilar es similar a los descritos anteriormente con pequeños aumentos de algunas leyendas como es el caso de los fines de carrera que se representan así “ZSH-#” (fin de carrera alto – alto) y “ZSL-#” (fin de carrera bajo – bajo) para el caso del elevador (Figura 2.17) y “ZS-#A” (fin de carrera 0°) y “ZS-#B” (fin de carrera 130°) para el caso del movimiento radial (Figura 2.18), de igual manera para los sensores inductivos de proximidad. Además en estos circuitos de control se utilizan protecciones dobles en lo que respecta al relé que comanda el PLC a las bobinas que comandan a los contactores y a los pulsadores de comando manual.

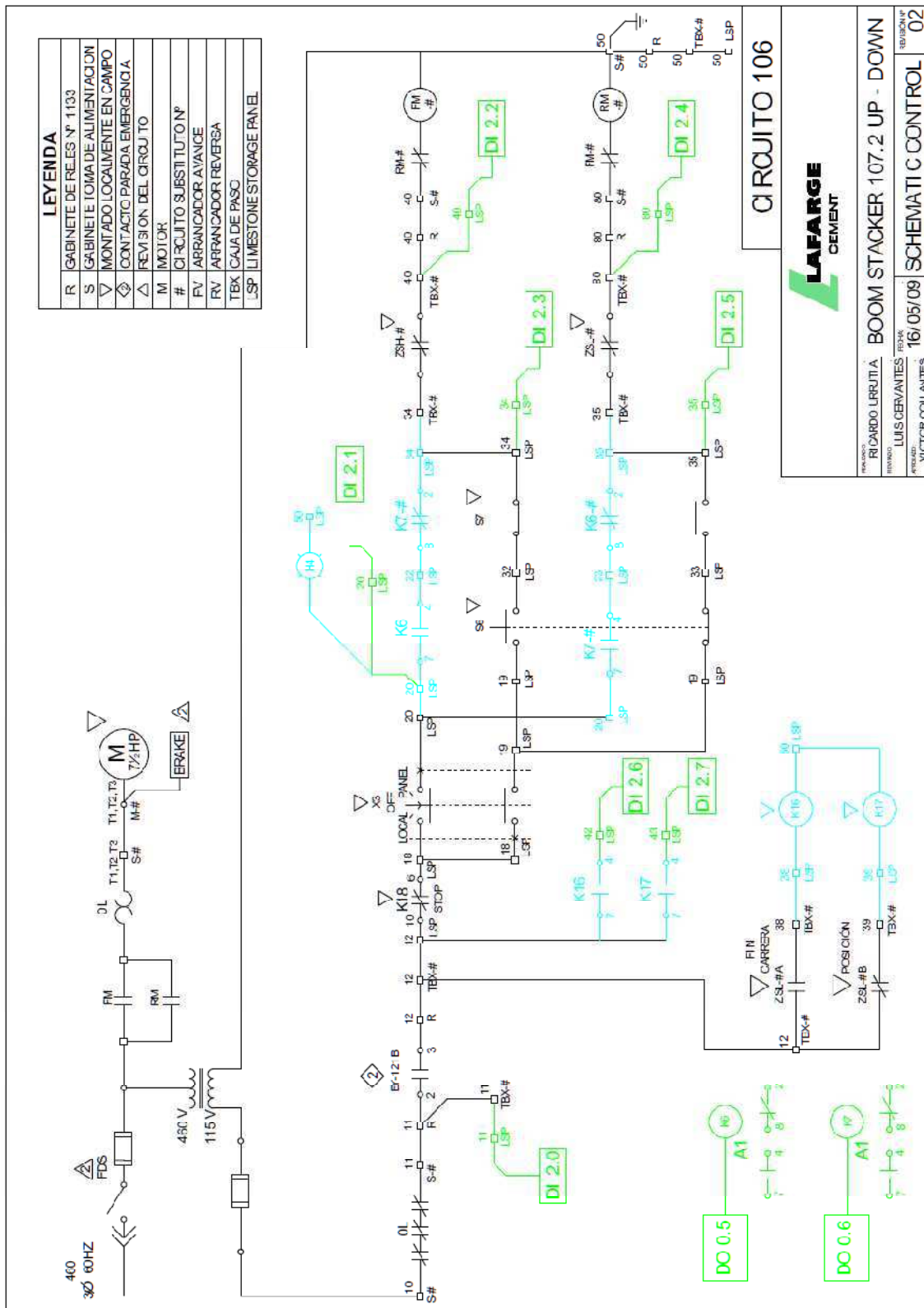


Figura 2.17 Circuito Unifilar del Elevador del Apilador Radial de Caliza

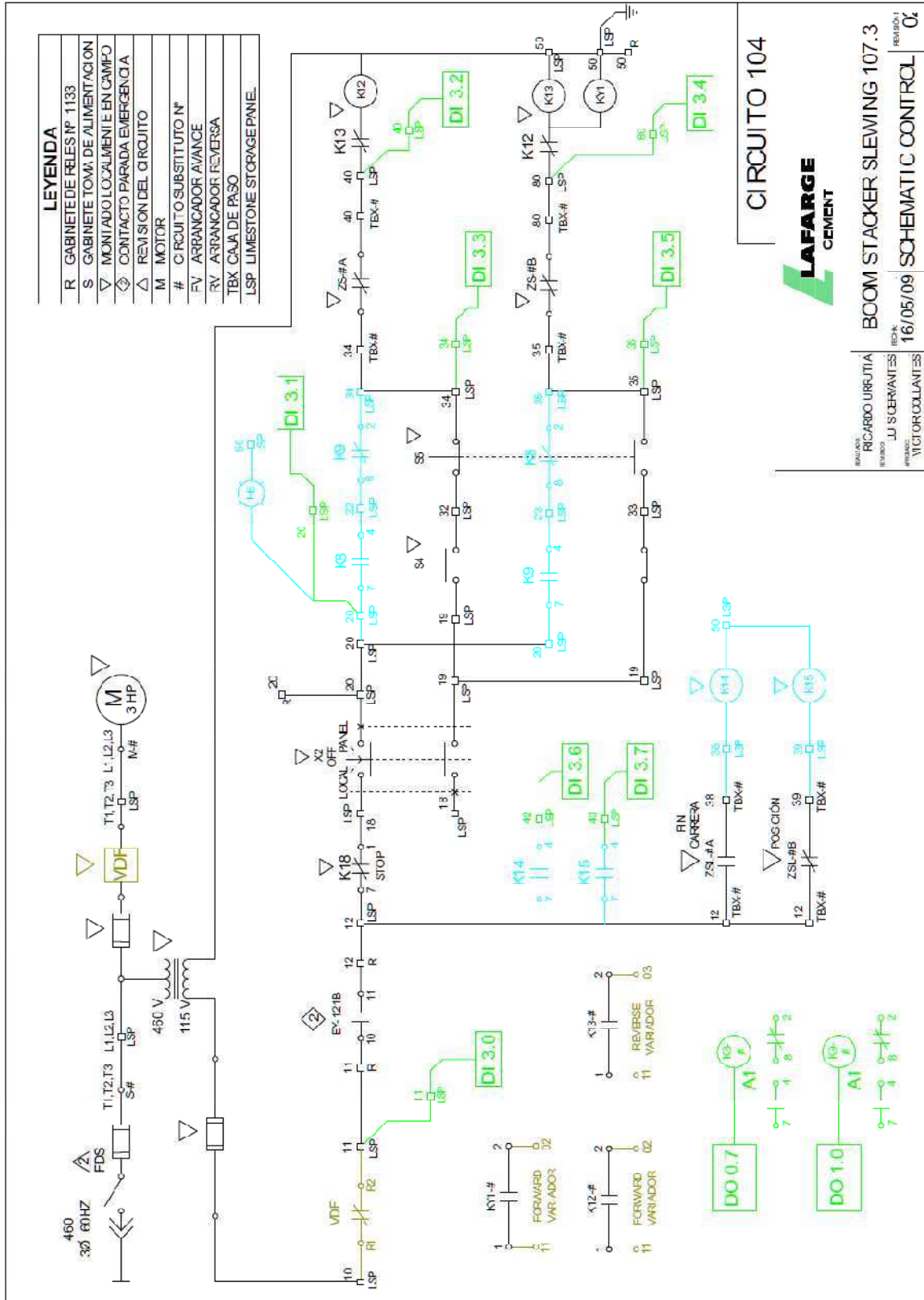


Figura 2.18 Circuito Unifilar del Carro del Apilador Radial de Caliza

2.3.8 ESQUEMA DE CABLEADO Y CONEXIÓN DEL CIRCUITO

El esquema de cableado y conexión del circuito de control en lo que se refiere al elevador parte desde el arrancador en el cuarto eléctrico "S-#" en donde se encuentran los contactores para el cambio de giro del motor y su relé de sobrecarga que se encarga de proteger al motor (Figura 2.19), por tanto su circuito de control parte desde el cubículo del arrancador hacia el tablero de relés de emergencia de donde se envía una señal al PLC que indicará si el motor tuvo alguna alarma de sobrecarga pero antes de llegar al tablero principal del autómeta pasa por una caja de paso de donde se aprovecha para sacar la alimentación para los sensores de proximidad inductivos y para el selector que se encuentra en el tablero principal, de ahí en adelante el tablero interactúa directamente con la caja de paso donde se conecta a cada sensor y fin de carrera para finalmente regresar por la misma caja de paso hacia la regleta de relés y hacia el arrancador ubicados en el cuarto eléctrico.

Las líneas que van hacia el motor a parte de excitarlo para iniciar su movimiento desactivan un freno electromecánico del motor que sirve para mantenerle al elevador en una posición fija y que el elevador no caiga por gravedad.

En lo que respecta al circuito del carro apilador la alimentación sale directamente hacia el tablero principal de control en donde se encuentra el variador de frecuencia que se encarga de dar el doble sentido de giro al motor, de esta alimentación se conecta un transformador que sirve para energizar al circuito de control con 120 VAC (Figura 2.20), al igual que en caso del elevador el tablero interactúa directamente con la caja de paso en donde se conectan todos los sensores de proximidad inductivos, fines de carrera y con el tablero de relés del cuarto eléctrico en donde se encuentra el paro de emergencia. El selector y las botoneras de control manual se encuentran en el mismo tablero de principal reduciendo de esta manera en los dos circuitos la extensión de cableado para colocar el control en otro sitio.

A continuación se muestra el circuito de cableado que se utiliza para el elevador y el carro del apilador radial de caliza.

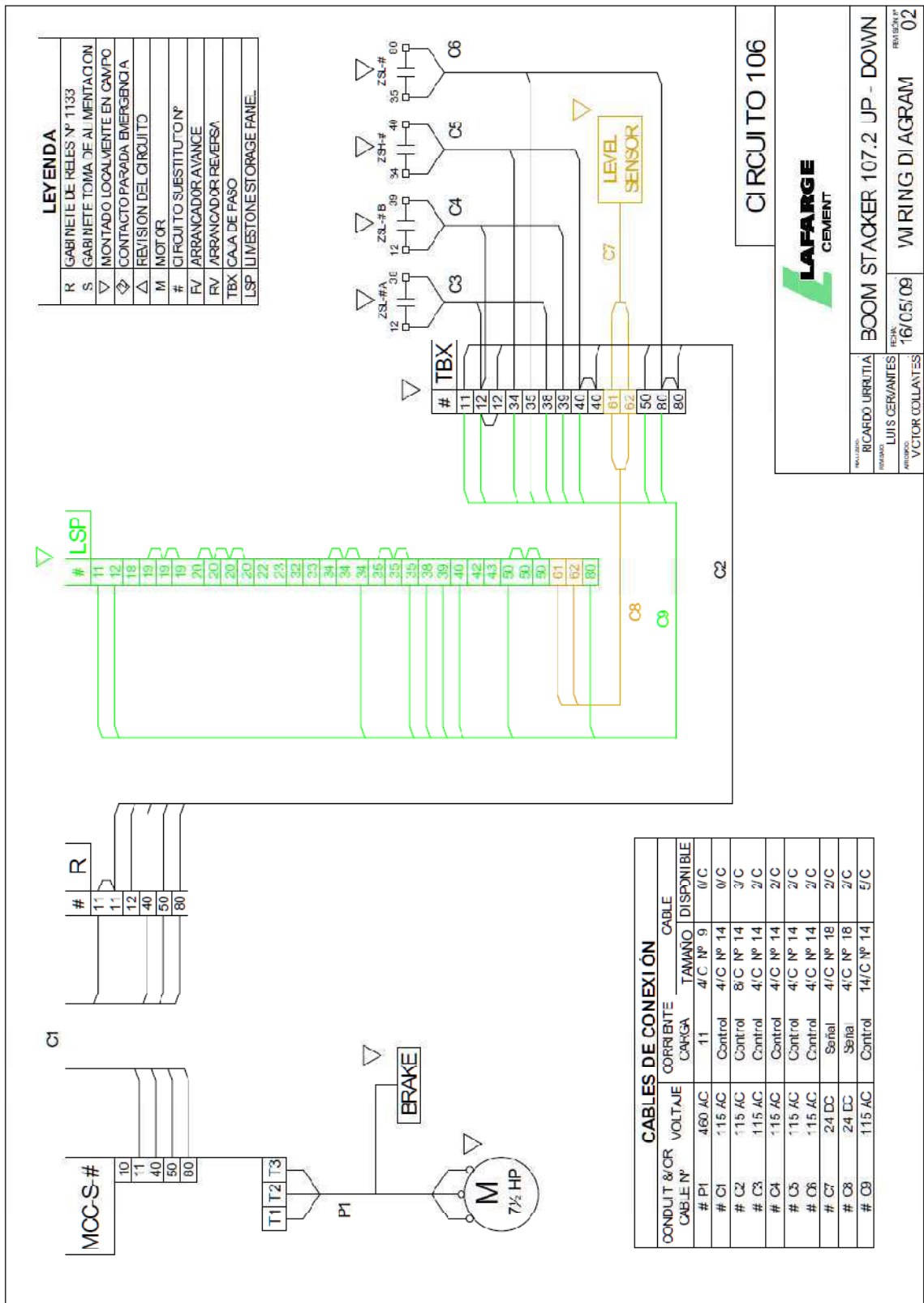


Figura 2.19 Esquema de Cableado del Elevador del Apilador Radial de Caliza

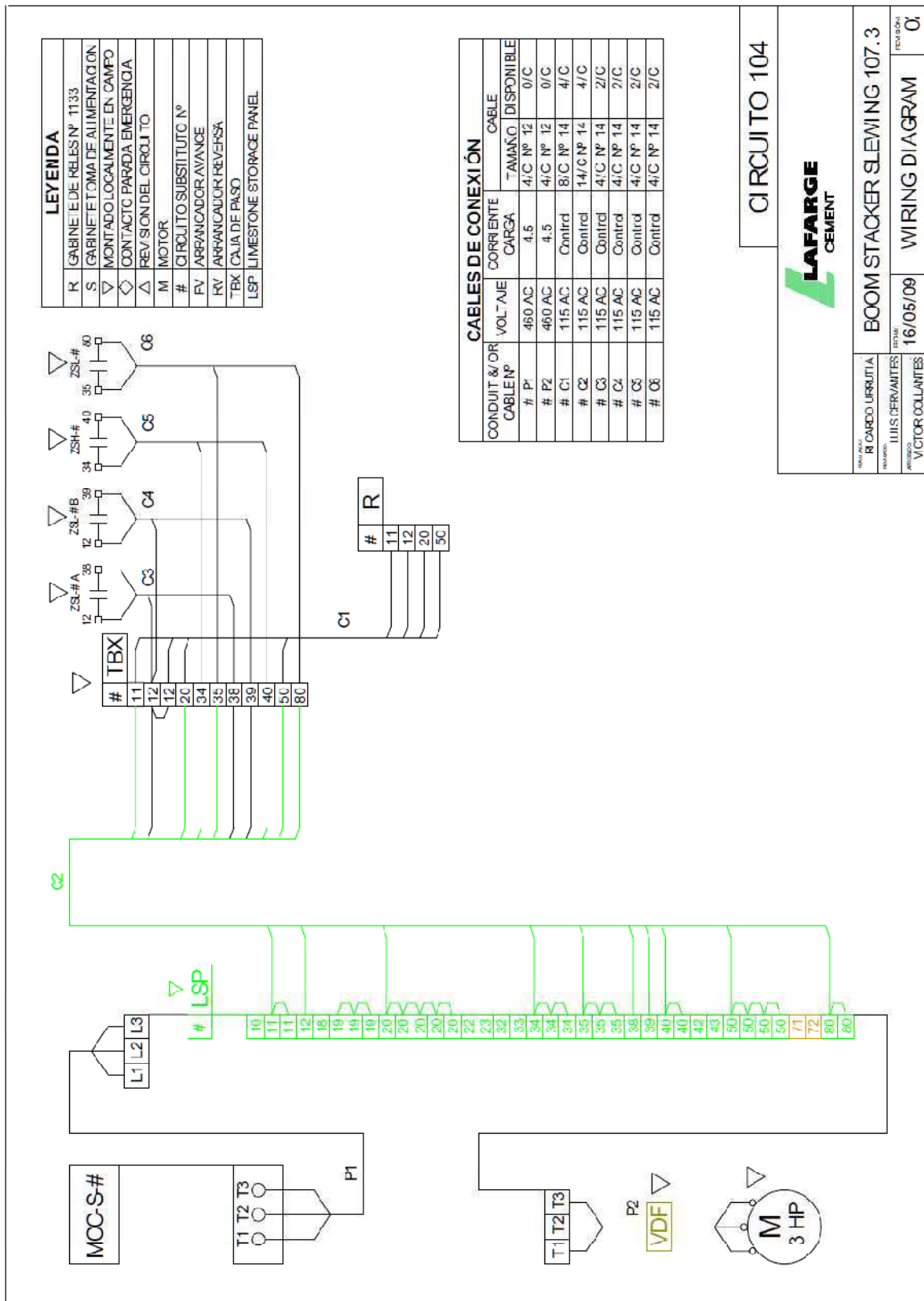


Figura 2.20 Esquema de Cableado del Carro del Apilador Radial de Caliza

2.4 SISTEMA DE PARADA DE EMERGENCIA Y ALARMA PREVENTIVA

El sistema de parada de emergencia y el sistema de alarma preventiva son muy importantes debido a que están dedicadas a prevenir accidentes y en caso de haberlos a detener súbitamente toda la maquinaria de toda un área de trabajo. Además debe cumplir con los estándares internos de la planta, como son: para el caso del paro de emergencia detener súbitamente toda la maquinaria y para el caso de la alarma preventiva siempre que se vaya a encender alguna maquinaria debe sonar por unos instantes una alarma preventiva de esta manera avisando al personal que se encuentra cercano a la misma para que tome medidas de precaución.

2.4.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE PARO DE EMERGENCIA

El sistema de parada de emergencia debe ser diseñado de tal manera que pueda ser accionado de diferentes lugares a lo largo de la maquinaria. Es por esta razón que se ha optado por hacer un circuito independiente tanto de control como de cableado para garantizar su funcionamiento. Para este caso el área de trabajo consta desde el vibrador hasta el apilador radial de caliza en donde se deben ubicar estratégicamente pulsadores de paro de emergencia, además el sistema debe ser redundante es decir que al menos se tenga dos opciones de control para garantizar el funcionamiento de la parada súbita de los equipos.

2.4.1.1 Circuito de Control del Sistema de Parada de Emergencia

El circuito de control del sistema de parada de emergencia consta de cuatro pulsadores, tres que se encuentran desde el vibrador hasta el apilador radial y uno ubicado en el tablero principal de control, estos pulsadores son de característica normalmente cerrada y se encuentran conectados en serie de tal forma que si alguno de los cuatro paros de emergencia es pulsado abre el circuito que energiza la bobina (Figura 2.21).

Para realizar el control del sistema se puede optar por enviar la señal de paro de emergencia a dos lugares diferentes, la primera es al Autómata Programable para que este se encargue por medio de software de detener inmediatamente a todos los equipos, y la segunda es vía hardware enviando la señal del paro de emergencia a una bobina de relé, la misma que deberá estar siempre excitada, los contactos de esta bobina servirán para introducirlos en serie en el circuito de cada motor y detener súbitamente a todos los equipos, por tanto como el sistema de parada de emergencia debe ser redundante se ha escogido por detener la maquinaria vía software por medio del PLC y vía hardware por medio de contactos de relés. Además para garantizar el funcionamiento del paro de emergencia se ha pensado vigilar las bobinas del paro de emergencia de tal manera que si alguna falla el Autómata Programable puede darse cuenta y no arrancar a ningún equipo, para lograr esto se ha conectado en serie un contacto de cada bobina y esto sumado a los contactos de paros de emergencia entran a una entrada digital del PLC como se puede observar en la Figura 2.21.

2.4.1.2 Esquema de Cableado del Sistema de Parada de Emergencia

El esquema de cableado del sistema de paro de emergencia está diseñado de tal manera que cada pulsador tenga un cable independiente que salga desde el tablero de relés ubicado en el cuarto eléctrico hasta el pulsador que físicamente se encuentra en campo. En el tablero se encuentran las bobinas de paro de emergencia las cuales se encuentran conectadas en paralelo y van a una bornera para salir a los distintos puntos de conexión en el área de trabajo. Además la alimentación para este circuito se toma directamente del tablero de breakers que se encuentra en el mismo cuarto eléctrico a lado del tablero de relés. En la Figura 2.22 se puede observar el esquema de cableado.

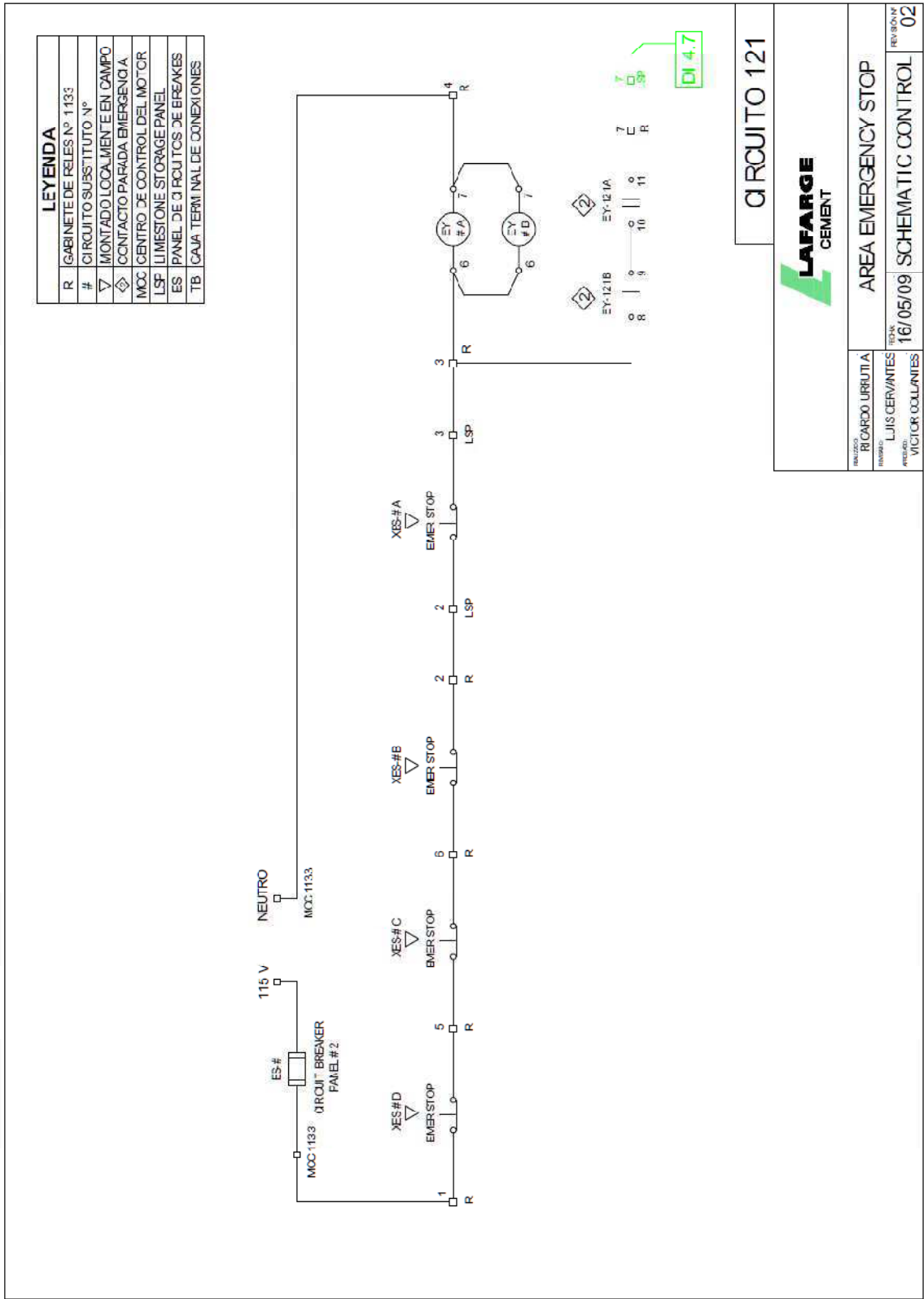


Figura 2.21 Circuito de Control del Sistema de Paro de Emergencia

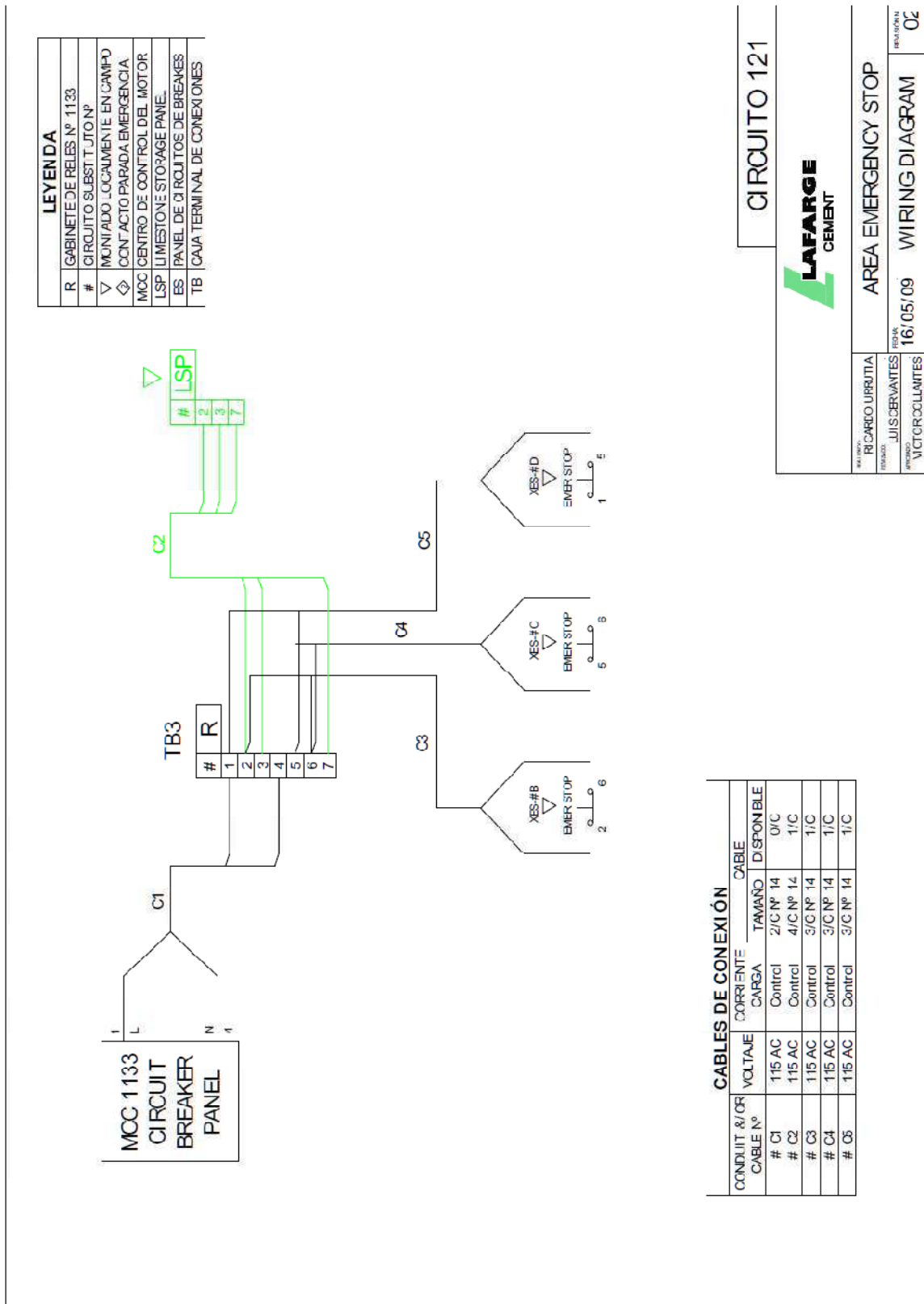


Figura 2.22 Esquema de Cableado del Sistema de Paradas de Emergencia

2.4.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE ALARMAS PREVENTIVAS

El sistema de alarmas preventivas como su nombre lo indica tiene la función de prevenir al personal que se encuentra cercano a la maquinaria que la misma va a iniciar su operación con el fin de que las personas tomen medidas de precaución al respecto. La sirena o alarma de prevención debe ser sonora y su duración debe ser lo suficientemente larga para que el personal que se encuentre cercano a ella tenga el tiempo necesario para detener el proceso o ponerse en un sitio seguro que no sea afectado por el movimiento de la maquinaria.

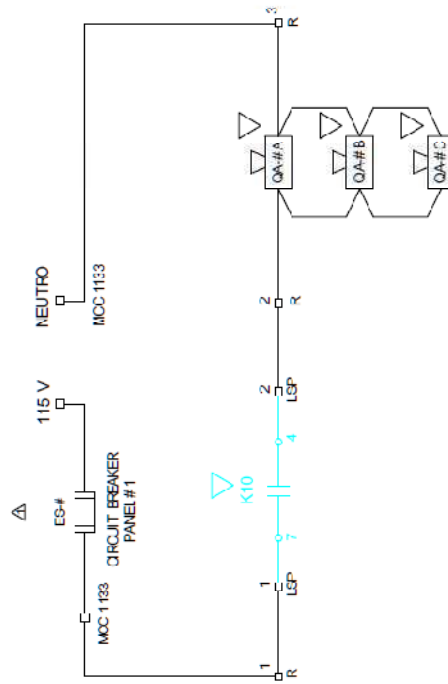
2.4.2.1 Circuito de Control del Sistema de Alarmas Preventivas

El circuito de Control del Sistema de Alarmas preventivas debe ser comandado directamente desde el Autómata Programable ya que es el único que tiene la opción para iniciar la secuencia del proceso y de igual manera que en el caso de paradas de emergencia su alimentación debe ser independiente por lo tanto su polarización es directa desde el tablero de breakers ubicado en el cuarto eléctrico. Con el fin de que a lo largo de toda la maquinaria se oiga la alarma preventiva se han colocado tres sirenas evitando de esta manera poner una sola que tenga un sonido extremadamente alto y sea molesto para el oído humano, las mismas se conectan en paralelo para que todas funcionen a la vez como se muestra en la Figura 2.23.

2.4.2.2 Esquema de Cableado del Sistema de Alarmas Preventivas

El esquema de Cableado del Sistema de Alarmas Preventivas es sencillo, parte desde el cuarto eléctrico donde se alimenta del tablero de breakers, pasa por el tablero de relés para ir directamente hacia el tablero principal de control donde se encuentra ubicado el PLC, el mismo que por medio de una de sus salidas digitales comanda la bobina de un relé que se encarga de cerrar el circuito y activar las sirenas, las tres alarmas se conectan una a continuación de la otra (Figura 2.24).

LEYENDA	
R	CABINETE DE RELES N° 1133
▽	MONIADJ LOCALMENTE EN CAMPO
#	CI ROJITO SUBSTITUCION
△	REVISOR DEL CI ROJITO
ES	PANEL DE CIRCUITOS DE BREAKERS
TB	CAJA TERMINAL
LSP	LISTESTONE STORAGE PANEL



CIRCUITO 120



PROYECTISTA: ALVARO CURRUTIA
 REVISOR: LUIS SERVANTES
 APROBADO: VICTOR COLLANTES

SI RENA PREVENTIVA

16/05/09

REVISION

01

Figura 2.23 Circuito de Control del Sistema de Alarmas Preventivas

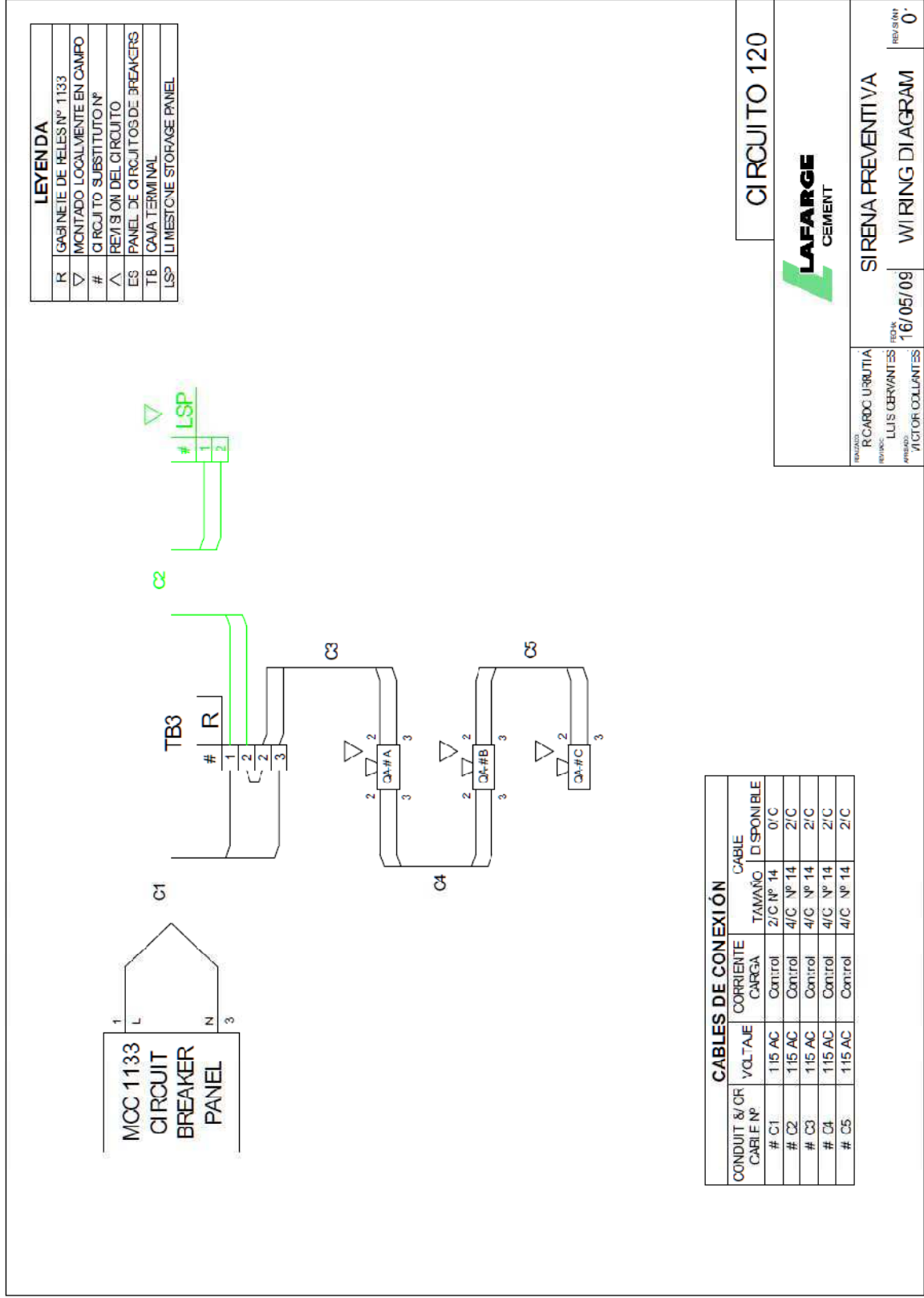


Figura 2.24 Esquema de Cableado del Sistema de Alarmas Preventivas

2.5 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) E INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA (HMI)

El Controlador Lógico Programable al que de aquí en adelante se llamará PLC es el “cerebro” del proyecto, mientras que la interfaz hombre máquina es el medio por el cual el controlador da visibilidad y manejo a la persona que opere la maquinaria. En el primero se encuentra toda la lógica de funcionamiento y secuencia de la maquinaria desde el vibrador de caliza hasta el apilador radial, el mismo que debe poseer todas las señales de protección y maniobra de cada uno de los circuitos para que en base a ellos tome acciones en orden como se haya definido en su programación, mientras en el segundo se encuentra toda la visualización más las alarmas que genere el sistema cuando esta o no en operación.

2.5.1 VARIABLES A MONITOREAR

Para definir cuáles son las variables a monitorear por el PLC es necesario ir a cada uno de los circuitos e identificar los principales elementos de protección y maniobra que intervienen directamente en el circuito de control de manera discreta, es decir, contacto abierto o cerrado. Para ello se define como principales elementos los siguientes:

- Térmico del Motor en caso de no tener variador.
- Contacto físico del Variador en caso de estar en falla.
- Señal del selector del equipo para indicar condición en remoto.
- Confirmación del relé que energiza el contactor trifásico del motor.
- Indicación del estado del Hand Switch.
- Para el caso del Apilador Radial se necesita la confirmación de energización del motor en forma manual, en cualquier sentido de giro.

- Para el Apilador Radial se necesita la confirmación de marcha del motor en los dos sentidos de giro.
- Fin de carrera alto - alto del Apilador Radial
- Señal de Paro de Emergencia.

Otros elementos que son parte del circuito pero que no interfieren directamente en el circuito de control se detallan a continuación:

- Señal de Speed Switch para cintas transportadoras.
- Señal del estado de los sensores de alineamiento de las bandas.
- Señal de nivel alto – alto de altura de la Pila.
- Sensores Inductivos de Posición del Apilador Radial.
- Switch de fin de carrera alto del Apilador Radial.
- Señales digitales del integrador de la báscula Intecont.
- Sensor de Nivel Radar.
- Indicación de Flujo de la Báscula para cinta transportadora.
- Selector de modo de operación.
- Acciones de Mando, Operación y Parametrización del HMI.

2.5.2 VARIABLES A CONTROLAR

Las variables a controlar por el PLC están determinadas por el número de accionamientos que integran el proyecto y además por el número de motores y sentido de giro en el que va a funcionar, en base a ello se puede definir los siguientes:

- Control y arranque de motores.
- Cambio de giro de motores.
- Arranque de variadores de velocidad.
- Alarmas sonoras.
- Manipulación de frecuencia de los variadores de velocidad.
- Comando de inicio del integrador de flujo de la báscula en cinta transportadora.

2.5.3 SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL PLC

Cuando se habla de dimensionamiento del PLC siempre se piensa en el número de entradas y salidas que se va a utilizar en el sistema pero también es importante seleccionar el PLC en base a los requisitos en cuanto al volumen del programa, interfaces de comunicación y otros aspectos que se pueden tomar en cuenta, en base a ello se realiza el dimensionamiento del equipo.

2.5.3.1 Dimensionamiento de la CPU

Para dimensionamiento de la CPU es importante tener en cuenta varios criterios, por ejemplo, volumen del programa que se va a manejar, velocidad de procesamiento, periferia externa de comunicación que para nuestro caso es Profibus DP, posibilidad de ampliación de periferia, interfaz maestro – esclavo, características del software interno para que el sistema sea más robusto, manejo de una memoria externa que pueda respaldar el proyecto o las últimas condiciones de proceso en caso de pérdida de energía, flexibilidad de programación para conectarse en línea con computador externo para monitoreo cuando el sistema está en funcionamiento, sin interferir con la programación normal de la maquinaria.

Otro factor importante es el tipo de equipos que se utilizan en planta y se puede definir que para operación de la maquinaria que está relacionada directamente con la producción de planta se ocupan CPUs Siemens de la gama de los 300, mientras que para equipos que no intervienen directamente con la proceso de fabricación como son equipos de limpieza o sensores se ocupan CPUs Siemens de la gama de los 200, por tanto en base a estos criterios se define el siguiente equipo:

- CPU 315 – 2 DP, código 6ES7 315 – 2AG10 – 0AB0.
- Memory Card 64 Kbytes, código 6ES7 953 – 8LF20 – 0AA0.
- Fuente de Alimentación 24V / 5A, código 6ES7 307 – 1EA00 – 0AA0.

2.5.3.2 Dimensionamiento del número de Entradas y Salidas

Una vez definidos las variables que se van a integrar en el PLC se puede dimensionar el número de entradas y salidas digitales que se necesitan para controlar el proceso del apilador de caliza y también el número de entradas y salidas análogas que se utilizarán para realizar un control más fino en la maquinaria.

Además de definir el número de entradas y salidas del PLC es importante seleccionar el tipo de componente a utilizar, ya que en el mercado existe una gran variedad de equipos, también hay que considerar que se debe tener repuesto para cada uno de los módulos a implementar y ese factor implica un costo adicional a incluir en el presupuesto. En base a estas recomendaciones es preferible utilizar elementos ya utilizados en planta para que no sea necesario adquirir repuestos y que además el uso de los mismos sean de mejor conocimiento para el personal de mantenimiento eléctrico e instrumentación que labora en la misma.

Finalmente una vez identificados los equipos a utilizar y el número necesario de componentes se debe sobre dimensionar los mismos para futuras ampliaciones del sistema o para requerimientos que puedan darse a flote durante la implementación del proyecto. Por tanto se definen como componentes a utilizarse los siguientes:

- 3 Módulos de 16 Entradas Digitales de 120/230 AC, código 6ES7 321 – 1FH00 – 0AA0.
- 1 Módulo de 16 Salidas Digitales 24 DC, código 6ES7 322 – 1BH01 – 0AA0.
- 1 Módulo de 4 Entradas y 2 Salidas Análogas, código 6ES7 334 – 0CE01 – 0AA0.
- Riel Siemens de 480mm.
- 5 Conectores de 20 Polos.

2.5.4 DIAGRAMA DE CONEXION DEL PLC

Una vez seleccionados los componentes a utilizar y definidos los elementos que se requieren monitorear o controlar, se procede a ordenarlos por número de circuito con la finalidad de mantener un orden en el conexionado de señales, por tanto empezando por las señales que se han indicado como entradas digitales, se puede definir los siguientes esquemas que se muestran en las Figuras: 2.26, 2.27 y 2.28; con respecto a las salidas digitales, de igual manera, ordenadas por número de circuito se hace referencia en el esquema de la Figura 2.29 y adicional el esquema de conexión del PLC en la Figura 2.25.

2.5.5 SELECCIÓN DE LA INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA

Dependiendo la complejidad de sistema instalado se puede definir la implementación de una interfaz hombre máquina, en este caso como se ha utilizado un PLC para el control de los equipos, es recomendable la implementación de un panel de visualización para que el PLC pueda emitir mensajes al operador, consiguiendo de esta manera mejorar los tiempos de respuesta cuando haya alguna condición de protección del PLC que sin un panel de visualización no se podría interpretar. Además hay que considerar la formación de la persona que opera la maquinaria ya que para personas que no tienen conocimientos eléctricos es difícil dar con una condición faltante en un circuito para identificar alguna alarma o falla, de igual manera mientras más amplio es el panel permite visualizar de mejor manera los mensajes o condiciones de proceso que se den en la operación de la maquinaria.

La comunicación con el PLC es fundamental para que se pueda emitir todas las variables necesarias desde el PLC hacia el HMI, por tal motivo es preferible mantener la familia del fabricante que en este caso es Siemens, finalmente hay que buscar un protocolo de comunicación en común para ambos instrumentos, como es el protocolo Profibus DP, además que es el más utilizado en planta, de esta manera se puede definir como HMI al siguiente equipo:

- Touch Panel TP 177 B a Color, Código: 6AV6 642 – 8BA10– 0AA0.

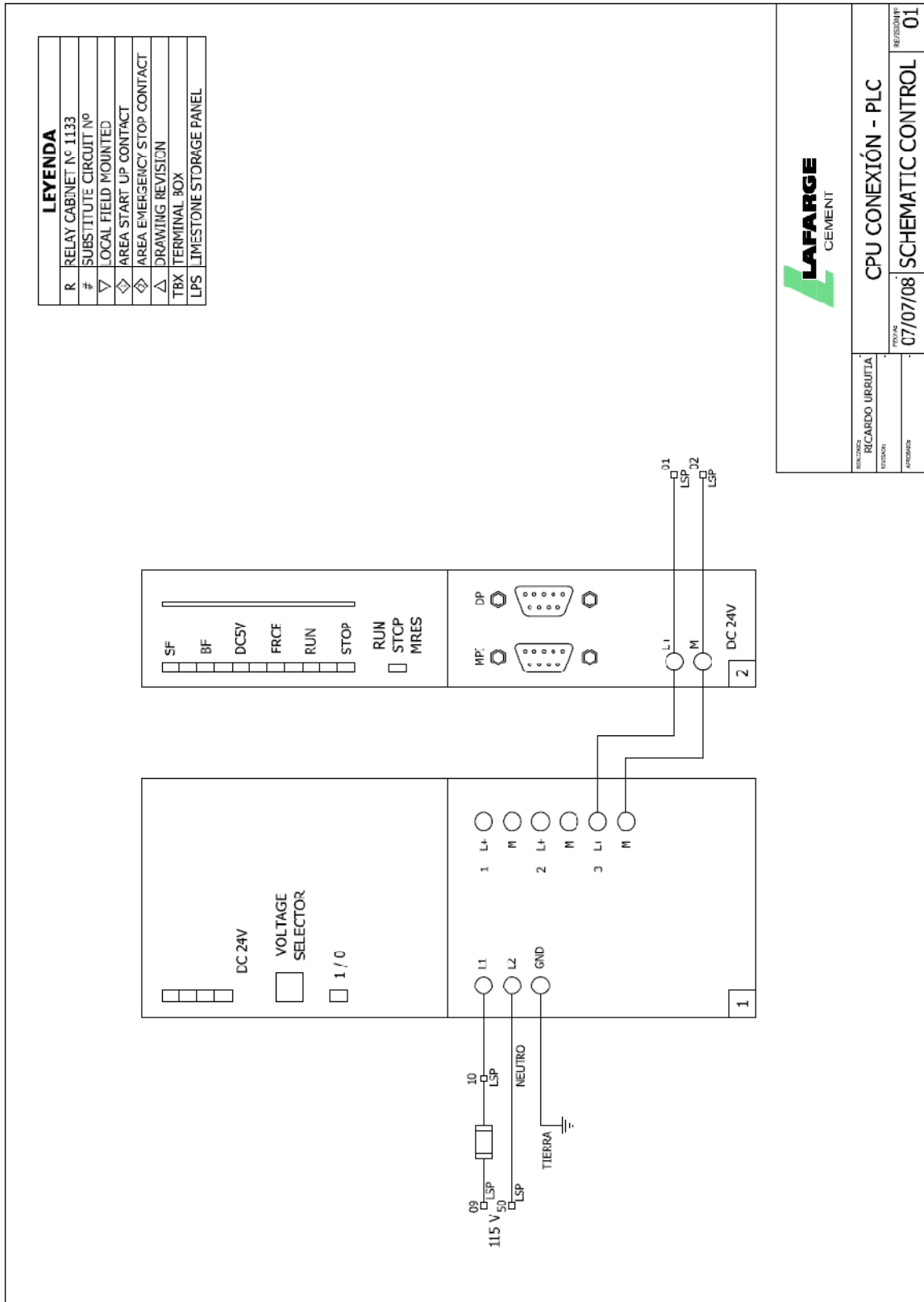
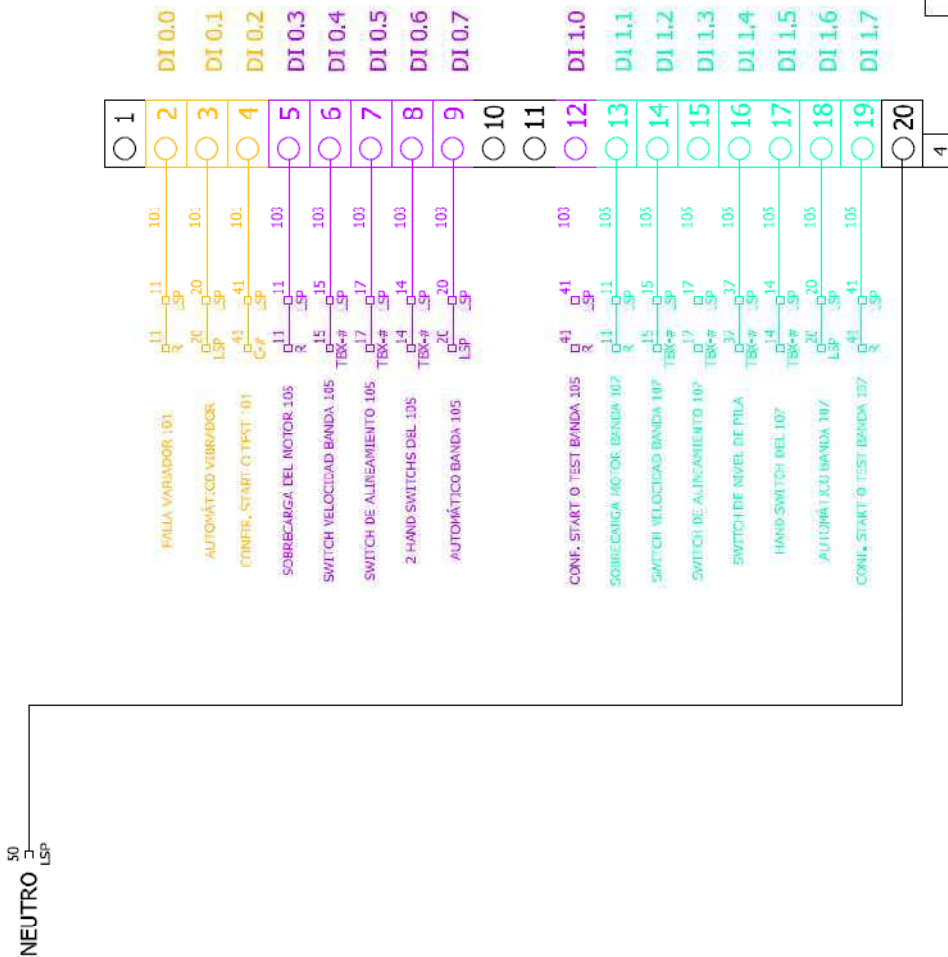


Figura 2.25 Esquema de Conexión del CPU

LEYENDA	
R	RELAY CABINET Nº 1133
#	SUBSTITUTE CIRCUIT Nº
∇	LOCAL FIELD MOUNTED
◇	AREA START UP CONTACT
◇	AREA EMERGENCY STOP CONTACT
△	DRAWING REVISION
TBX	TERMINAL BOX
LSP	LIMESTONE STORAGE PANEL



		REALIZADO:	RICARDO URRUTIA
		ELABORADO:	
ENTRADAS DIGITALES PLC #1		FECHA:	07/07/08
		REVISION #:	01
		PROYECTO:	SCHEMATIC CONTROL

Figura 2.26 Esquema de Conexión del Primer Módulo de Entradas Digitales

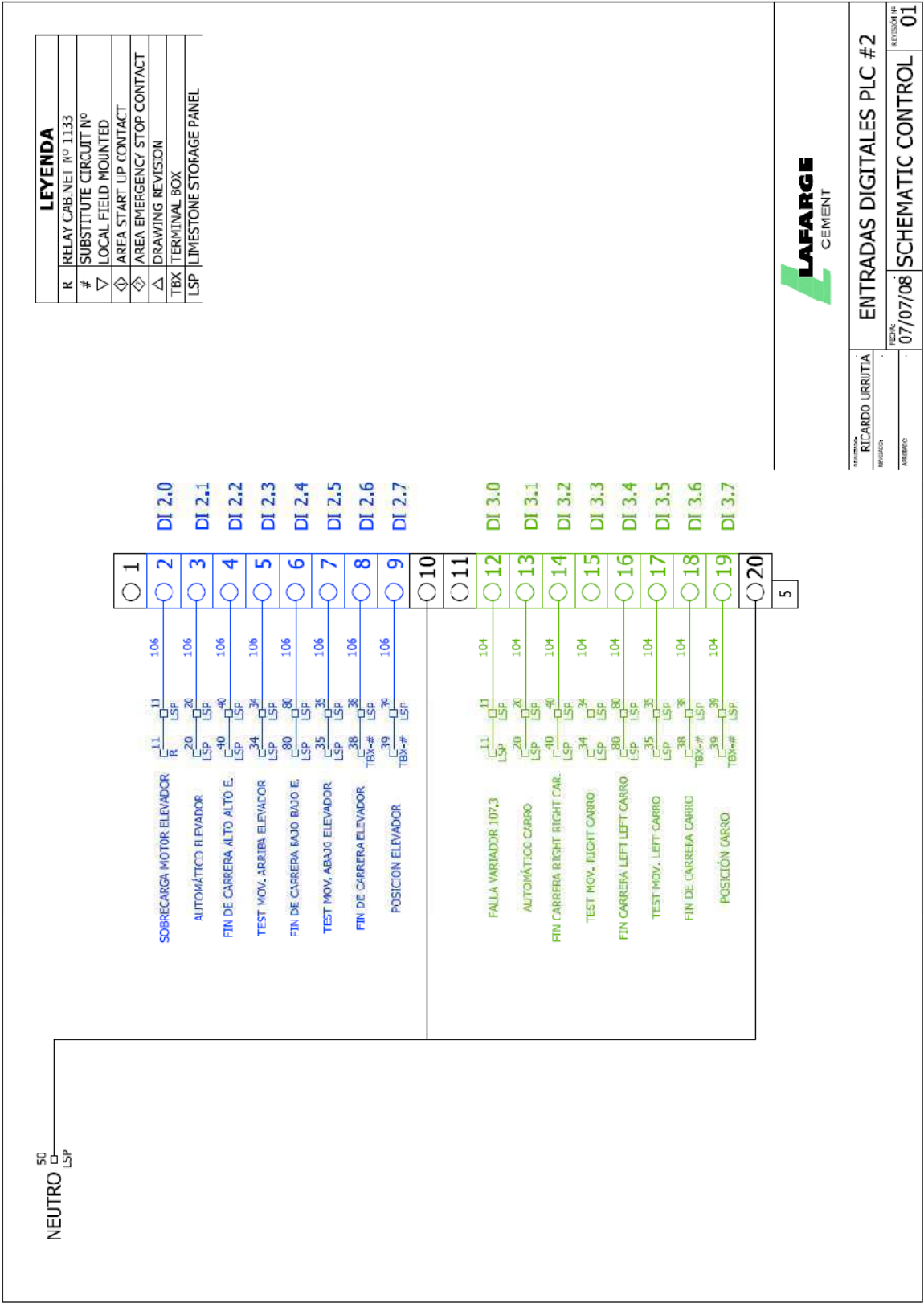


Figura 2.27 Esquema de Conexión del Segundo Módulo de Entradas Digitales

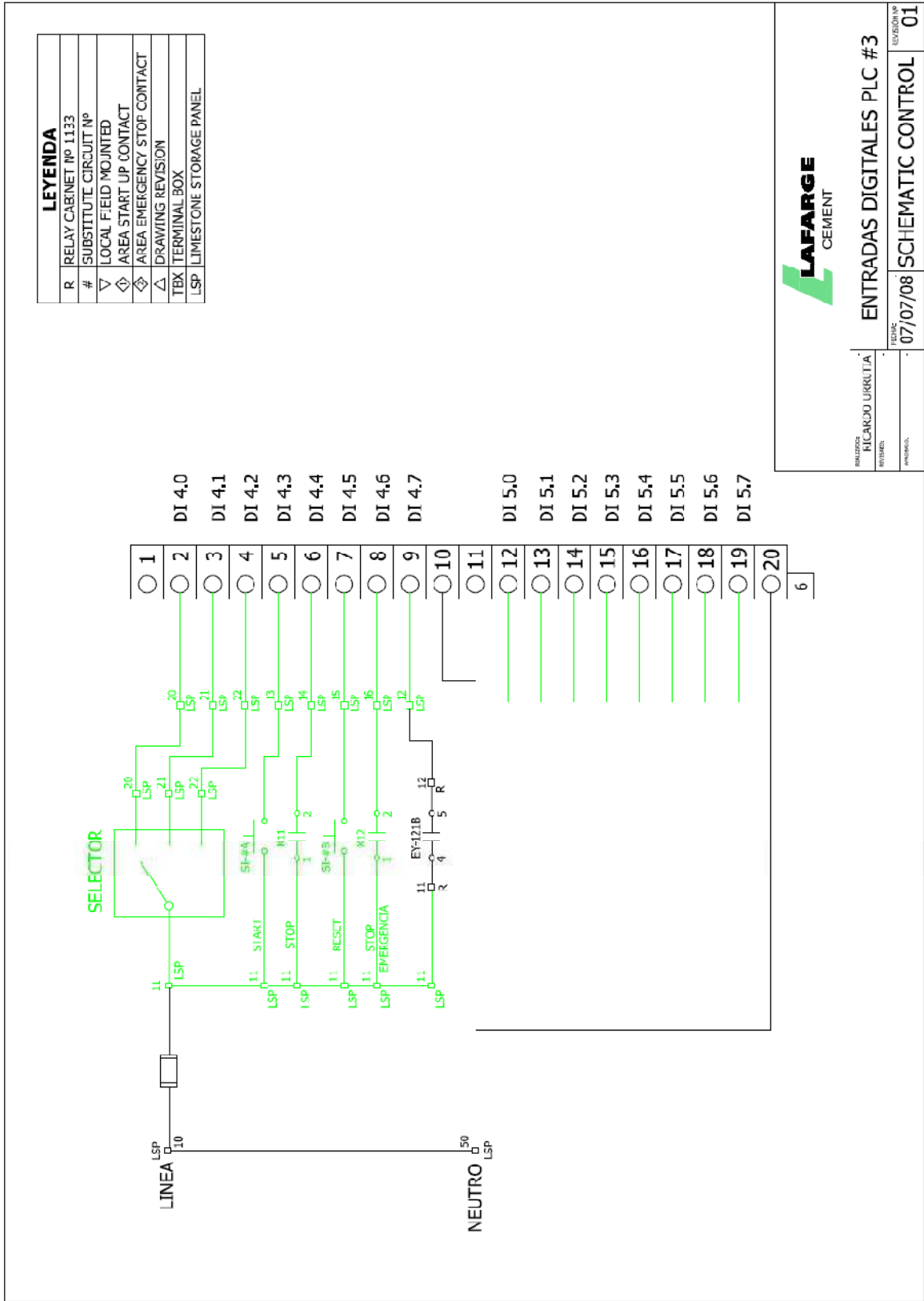
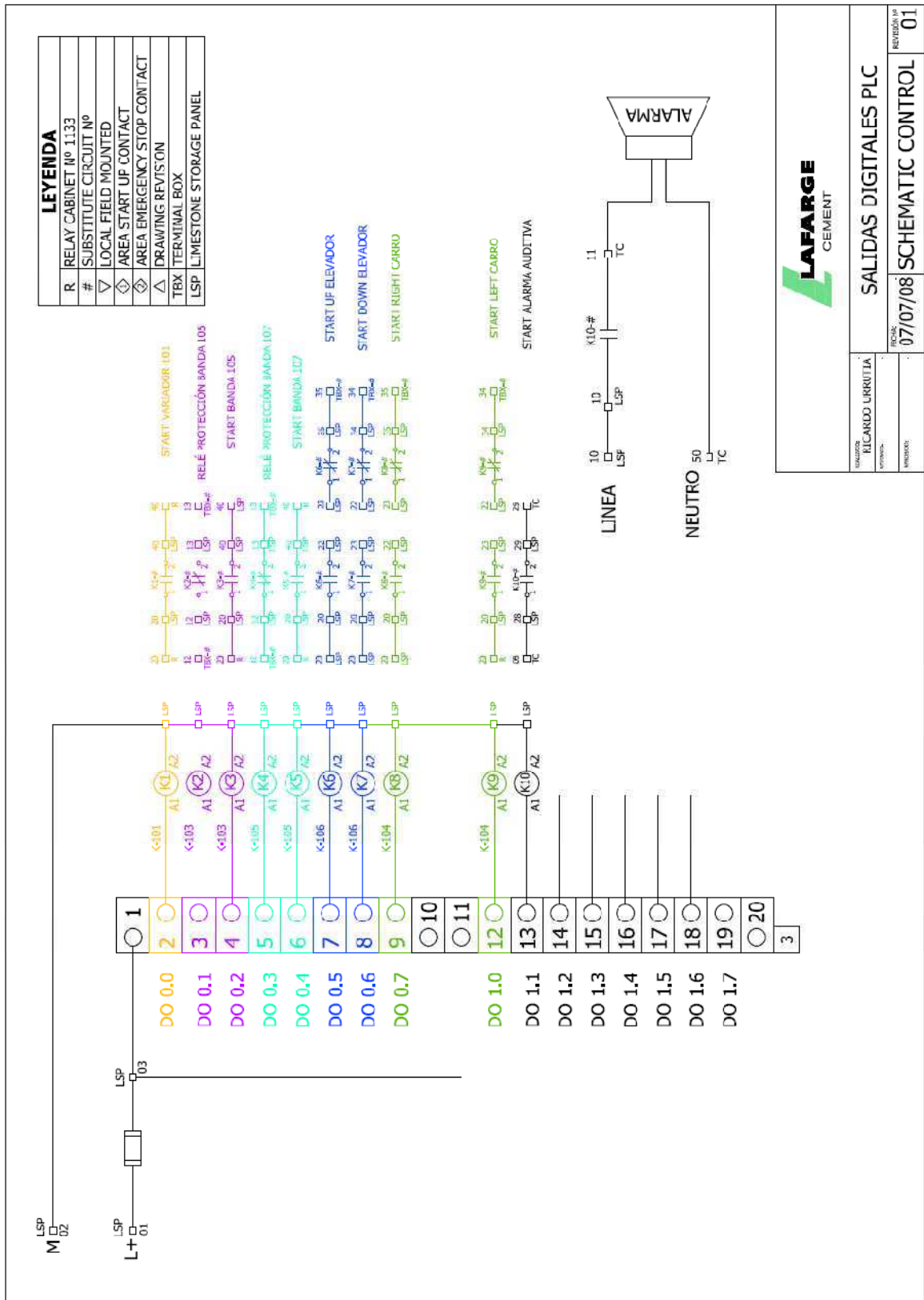


Figura 2.28 Esquema de Conexión del Tercer Módulo de Entradas Digitales



ELABORADOR	RILCARDO URRUTIA
VERIFICADOR	
INSTRUMENTOS	
FECHA:	07/07/08
REVISIÓN Nº	01

SALIDAS DIGITALES PLC

SCHEMATIC CONTROL

Figura 2.29 Esquema de Conexión del Módulo de Salidas Digitales

2.6 DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL

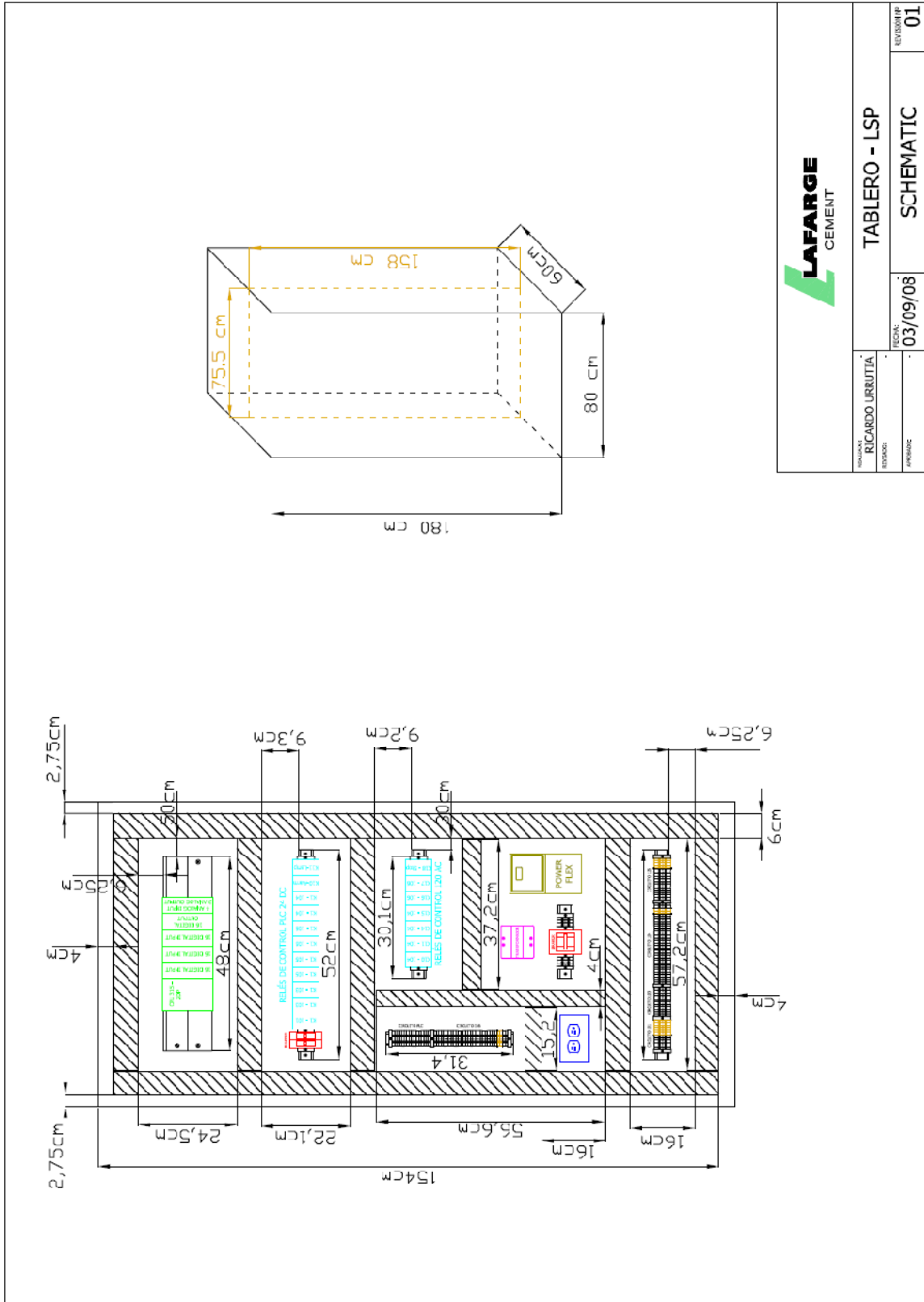
El diseño del tablero de control debe ser de acuerdo a las necesidades de planta para que mantenga la fiabilidad de los equipos y organice todos los elementos que van a intervenir para el control de los equipos, para ello es importante realizar una adecuada distribución interna de los elementos que dará un referencia del alto y ancho que se necesita para el tablero, de igual manera el analizar las características que debe tener el tablero previo a su instalación dará un idea del grado de protección que necesita el mismo y de la profundidad del tablero.

2.6.1 DISTRIBUCIÓN INTERNA DEL TABLERO

Una vez definidos los equipos que van a intervenir en la automatización es necesario realizar un esquema a escala con todas las medidas reales de los elementos a utilizar, para definir de manera correcta las dimensiones del tablero, además es recomendable contactar a una empresa constructora de tableros eléctricos para conocer las dimensiones comunes que ellos utilizan para la fabricación de los mismos.

Además de los instrumentos a utilizar se debe considerar los circuitos que van a llegar a este tablero, para ello se puede ayudar de los esquemas de cableados generados conjuntamente con los circuitos de control en el cual se indica las borneras de los mismos para ubicarlos de manera ordenada en el tablero de control, de esta manera se puede definir el esquema de distribución interna que se indica en la Figura 2.30.

Adicional en base a que la instrumentación integrada en el proyecto requiere de un software computacional para su parametrización y monitoreo es necesario colocar un tomacorriente cercano de 110V para poder conectar cualquier equipo portátil.



ELABORADO: RICARDO URRUTIA	TABLERO - LSP		REVISOR/FP: 03/09/08	REVISOR/FP: 01
REVISADO:	SCHEMATIC		APROBADO:	

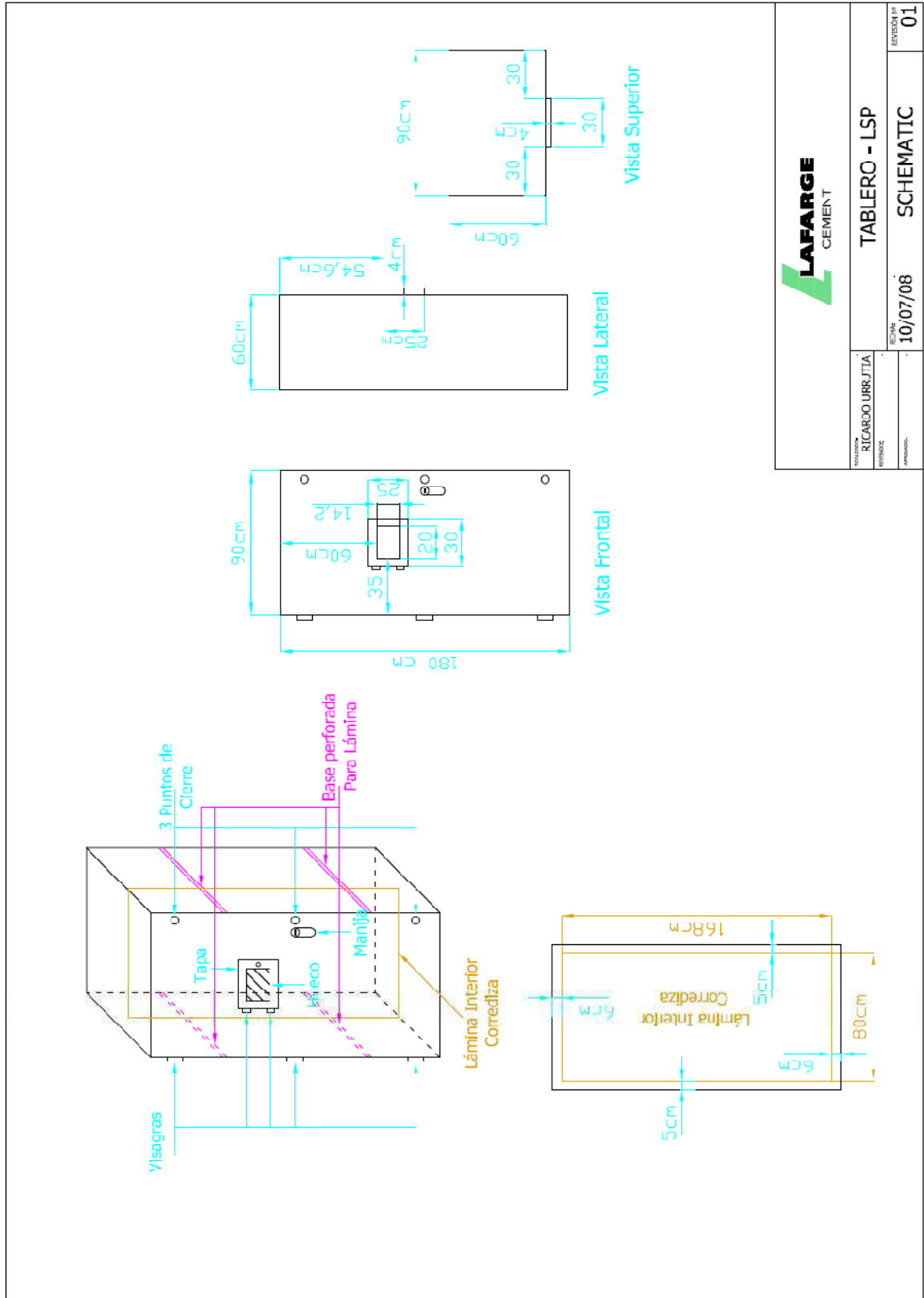
Figura 2.30 Esquema de Distribución Interna del Tablero de Control

2.6.2 UBICACIÓN FÍSICA DEL TABLERO

La ubicación del tablero dentro de la planta indicará las características que debe tener el mismo, para ello se hace referencia al grado de protección IP (Protección contra Filtraciones) que toma como referencia al estándar estadounidense ANSI/IEC 60529-2004 que cuenta de tres números, el primero indica la protección de sólidos (como polvo), la segunda indica la protección de líquidos (como agua) y finalmente el tercer dígito es referente a la protección de impactos que generalmente es omitida, por tanto la tabla de grados IP es la siguiente:

Tabla 2.1 Grado de Protección IP, tomado de [9]

N1	Primera cifra: Protección contra el ingreso de partes peligrosas, cuerpos extraños o polvo	N2	Segunda cifra: Protección de los materiales contra entradas perjudiciales de agua
0	Sin Protección	0	Sin Protección
1	Protección contra cuerpos sólidos superiores a 50 mm. Por ejemplo: contactos involuntarios de la mano.	1	Protegido contra la caída vertical de gotas de agua (goteo).
2	Protección contra cuerpos sólidos superiores a 12 mm. Por ejemplo: dedos de la mano.	2	Protegido contra la caída de gotas de agua hasta 15° de la vertical
3	Protección contra cuerpos sólidos superiores a 2,5 mm. Por ejemplo: cables, herramientas.	3	Protegido contra la caída de agua de lluvia hasta 60° de la vertical.
4	Protección contra cuerpos sólidos superiores a 1 mm. Por ejemplo: pequeños cables, herramientas finas.	4	Protegido contra las proyecciones de agua en todas las direcciones.
5	Protección contra el polvo (ningún depósito en cantidad perjudicial para el equipo).	5	Protegido contra el lanzamiento de agua desde todas las direcciones.
6	Totalmente protegido contra el polvo.	6	Protegido contra el lanzamiento de agua, sumado a los golpes de mar.
		7	Protegido contra los efectos dañinos de la inmersión
		8	Protegido contra los efectos de la inmersión prolongada bajo presión.



LAFARGE
CEMENT

TABLERO - LSP

REVISOR: RICHARDO URRUTIA
FECHA: 10/07/08
REVISIÓN Nº: 01

Figura 2.31 Esquema de Medidas del Tablero de Control

Para el proyecto actual se define que el tablero de control será ubicado al exterior razón por la cual es importante definir un grado de protección IP robusto para evitar ingreso de polvo y agua ya que al estar instalado en el exterior corre el riesgo de que en un fuerte lluvia permita el ingreso de agua a los instrumentos poniendo en riesgo la operación y fiabilidad de los equipos, en base a esto se define como grado de protección una IP65, claro que al tener un tablero completamente cerrado puede provocar que los equipos tengan poca ventilación y se recalienten, pero contrarrestar este efecto no es difícil ya que en el diseño del tablero se puede especificar una profundidad mayor para que no se de este efecto (Figura 2.31).

La pintura es otro factor que aparte de darle buena apariencia le dará una mayor vida útil al tablero, para ello hay que definir si se requiere una pintura normal o una pintura al horno, siendo la segunda de mejores características. Finalmente no hay que olvidar las facilidades para la instalación del tablero, hay que definir por donde llega el cableado, por donde entran los cables, donde se va a ubicar el exceso de cable que llega al tablero con la finalidad de mantener una apariencia de orden en la instalación, en base a esto se define un tablero de doble fondo que permita organizar de mejor manera el cableado, además que permite mayor flexibilidad para el montaje y conexionado de los circuitos de control.

2.7 DIAGRAMA DE PROCESO E INSTRUMENTACIÓN PI&D

Finalmente el Diagrama de Proceso e Instrumentación o también conocido como Diagrama PI&D es el último esquema para esclarecer la ubicación y pertenencia de todos los componentes que van a ser parte del presente trabajo, adicional permite de una manera resumida identificar cada uno de los equipos e instrumentos tal como se muestra en la Figura 2.32. El significado de estos elementos y símbolos se desglosan en el Anexo B a mayor detalle.

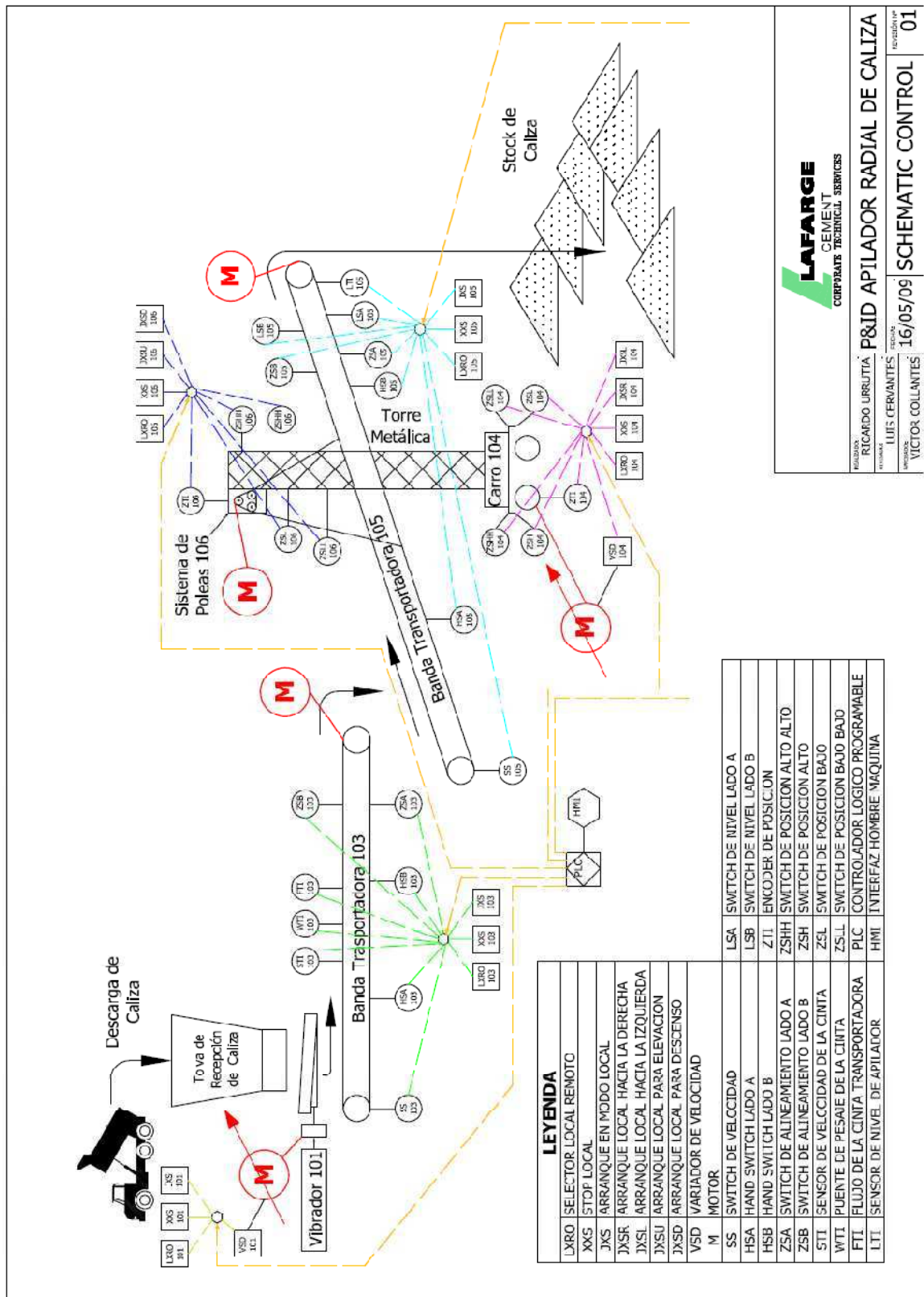


Figura 2.32 Diagrama de Proceso e Instrumentación PI&D

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL PROGRAMA DE CONTROL

Una vez definidos los instrumentos a utilizar como son el Controlador Lógico Programable y el Panel Táctil se continúa con el desarrollo del programa utilizando como herramienta el Software Industrial SIMATIC de Siemens, del cual Step 7 V 5.3 forma parte y es una aplicación estándar para sistemas de automatización por PLCs en una gama de medio y alto nivel como son los CPU 300 y 400; por otro lado WinCC Flexible Advanced versión 2005 es el software requerido para la programación del panel táctil, por tanto se puede asumir que ambas programaciones se van a manejar de manera independiente, sin embargo se tiene el Administrador Simatic que permite gestionar e integrar ambos equipos en un solo proyecto.

Cabe resaltar que los softwares indicados anteriormente no son los únicos a utilizar por ello se enfocará la primera parte de este capítulo a la familiarización con todos los softwares mínimos y necesarios para la configuración y programación del PLC y del HMI, para luego desarrollar el proyecto de automatización y tomando como referencia este proyecto se indicará en forma secuencial los pasos necesarios para la creación, configuración y desarrollo de un proyecto en el Administrador Simatic, de esta manera se le dará al lector una guía bastante clara, resumida y completa para la solución de un proyecto de ingeniería de medio a alto nivel en los que intervengan equipos Siemens.

Finalmente se revisará los softwares de los equipos que no son Siemens que se han utilizado en este proyecto como es Easy Server de Schenck Process para parametrización y configuración de básculas en cinta transportadora y el Pact Ware de Vega para la configuración y seguimiento del sensor de nivel radar.

3.1 SIMATIC

Simatic de Siemens es la pieza fundamental para la Automatización Integrada Total de cualquier tipo de automatismo o control, incluye una amplia gama de productos acreditados para las aplicaciones más diversas en la industria de procesos y manufacturera. En esta sección se hará referencia a los softwares principales de programación que se utilizan para todo tipo de solución de automatización de medio a alto nivel que utilicen equipos Siemens.

3.1.1 ADMINISTRADOR SIMATIC [10]

El Administrador Simatic es la interface de acceso a la configuración y programación que permite crear proyectos, configurar y parametrizar hardware, configurar redes de hardware, programar bloques, probar y hacer funcionar los programas e incluso permite trabajar con los equipos de manera offline, es decir, sin conectar el sistema de automatización y de manera online, estando conectado al sistema de automatización, este último es una herramienta muy importante porque permite acceder a los datos de programación en línea y monitorear la lógica de programación en tiempo real. La estructura de la ventana Administrador Simatic o a su vez en inglés Simatic Manager se puede observar a continuación en la Figura 3.1.

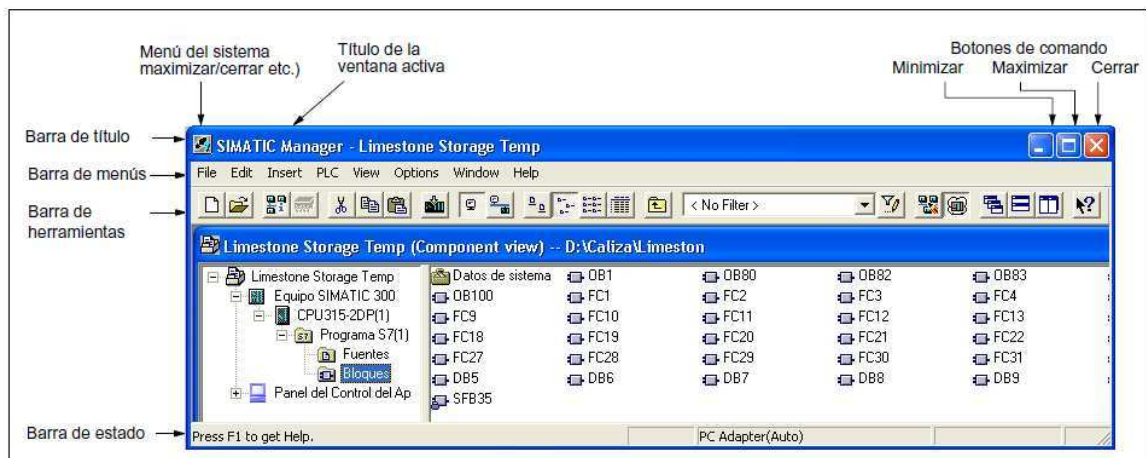








Figura 3.1 Estructura de la Ventana del Administrador Simatic

Como se puede ver este software posee varios íconos similares a los de Microsoft lo que le da mayor facilidad a la hora de interpretarlos, a continuación se detallan los íconos más importantes de la barra de herramientas, propios de Siemens:

- Download, cargar el programa actual al PLC: 
- Accessible Nodes, ver nodos o direcciones accesibles: 
- Offline, ventana modo fuera de línea del proyecto: 
- Online, ventana modo en línea del proyecto: 
- Configure Network, configuración de red: 
- Simulation On/Off, simulación encendida o apagada: 

Adicional a los ícono de la barra de herramientas más abajo se encuentra la jerarquía de los objetos, estructurada de la misma forma que los directorios con carpetas y archivos del Explorador de Windows, mismos que se detallan a continuación.

3.1.1.1 Objeto “Proyecto”

El Objeto Proyecto que constituye el nivel superior de la jerarquía de objetos, representa la totalidad de los datos y programas de una tarea de automatización. Este permite ingresar los diferentes equipos al proyecto como pueden ser PLCs de la serie 300 o 400, estaciones de operador como pueden ser PC, paneles táctiles, entre otros, también permite archivar proyectos y librerías y gestionar todo el proyecto como tal.

3.1.1.2 Objeto “Equipo”

Un Objeto Equipo representa una configuración de hardware compuesta por uno o varios módulos programables, cuando se habla de hardware se hace referencia al equipo que físicamente va a incluirse en el proyecto, que puede ser un PLC, una estación de operador, servidores, etc. Cada uno identificado por su ícono característico.

3.1.1.3 Objeto “Módulo Programable”

El Objeto Módulo Programable representa los datos de parametrización de un módulo programable, por ejemplo una CPU. Este permite insertar un programa S7 u otro al igual que permite tener acceso a los enlaces de red que se creen para varios equipos que se integren en un mismo proyecto.

3.1.1.4 Objeto “Programa S7”

Un programa S7 es una carpeta de software que contiene módulos CPU. Dentro de esta carpeta se encuentran las carpetas fuentes y bloques que se los verá en el siguiente ítem y adicional se tiene el archivo de símbolos del sistema que permite configurar los nombres de las variables a utilizar, por ejemplo el nombre de una entrada o salida digital, o el nombre de una marca, temporizador, contador, etc.

3.1.1.5 Objeto “Carpeta de Fuentes” y “Carpeta de Bloques”

El Objeto Carpeta de Fuentes contiene programas fuente en forma de texto, por ejemplo fuentes para código AWL, mientras que el Objeto Carpeta de Bloques contiene bloques lógicos del programa, es decir, contiene las partes ejecutables del CPU, mismo al que se lo puede visualizar de manera Online para monitoreo y Offline para edición del mismo. Por tanto un programa de S7 300 consiste en bloques que contienen instrucciones, parámetros y datos, mismos que por la importancia se los describe a continuación.

3.1.1.5.1 *Bloques de Organización (OB)*

El bloque de organización OB es la interfaz entre el sistema operativo y el programa del usuario, son bloques creados por el sistema, son llamados por el sistema operativo y controla el ciclo principal del programa, la inicialización y el

manejo de errores, entre otros. A continuación se detallan los bloques mencionados:

- OB de Arranque: OB100, OB101 y OB102.
- OB de Ejecución Cíclica del Programa: OB1.
- OB de Interrupciones Horarias: OB10 al OB17.
- OB de Interrupciones Cíclicas: OB30 al OB38.
- OB de Interrupciones de Atraso Temporal: OB20 al OB23.
- OB de Interrupciones de Hardware: OB40 al OB47.
- OB de Errores Asíncronos: OB80 al OB87.
- OB de Errores Síncronos: OB121 al OB122.

3.1.1.5.2 Bloques de Función (FB)

El Bloque de Función contiene la funcionalidad parcial del programa, es creado por el usuario y puede ser llamado por cualquier otro bloque del programa. Adicional posee su propia área de memoria en forma de Bloque de Datos (DB).

3.1.1.5.3 Bloques de Función del Sistema (SFB)

Los Bloques de Función del Sistema son parámetros integrados en el sistema operativo de la CPU, es decir, no los crea el usuario.

3.1.1.5.4 Funciones (FC)

Las Funciones contienen una funcionalidad parcial del programa, es creado por el usuario y puede ser llamado por cualquier otro bloque, este es un bloque sin memoria.

3.1.1.5.5 Funciones del Sistema (SFC)

Las Funciones del Sistema son parámetros integrados al sistema operativo de la CPU, su funcionalidad es fija y tampoco es creada por el usuario.

3.1.1.5.6 Bloques de Datos (DB)

Los Bloques de Datos son áreas de datos del programa de usuario en los cuales los datos se guardan en una forma estructurada dentro de una tabla.

No contienen instrucciones y son variables globales que pueden ser definidas por el usuario.

3.1.2 CONFIGURADOR DEL HARDWARE [11]

En el Configurador de Hardware se determina la CPU y todos los módulos contenidos en el sistema de automatización, utilizando para ello el catálogo de hardware. Esta configuración se inicia desde el Administrador Simatic ubicándonos en la jerarquía del Objeto Equipo, en la ventana se desplegará el ícono de hardware (🔧), al mismo que dando doble clic desplegará una ventana como la que se indica en la Figura 3.2.

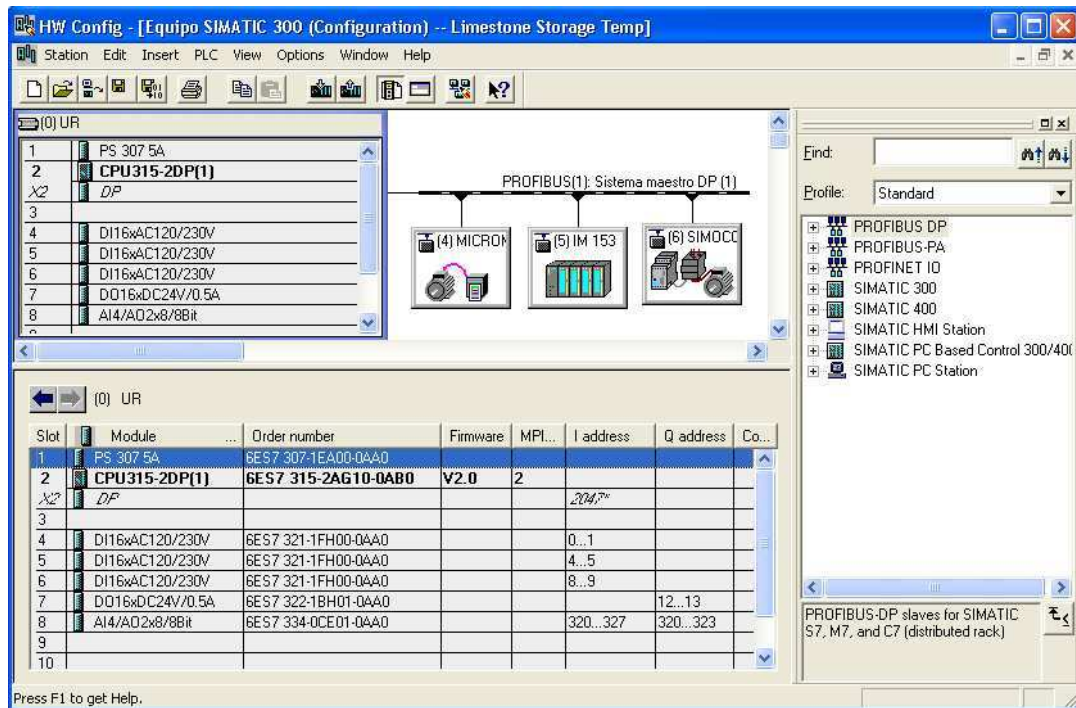









Figura 3.2 Estructura de la Ventana del Configuración del Hardware

Este software está compuesto por tres ventanas principales, la primera superior izquierda indica de manera gráfica el hardware de los equipos que intervienen en el proyecto, a manera de ejemplo se ha dispuesto una configuración de un variador de frecuencia, de un módulo de comunicación y de un arrancador, con las direcciones de Profibus DP 4, 5 y 6 respectivamente; en parte inferior de esta ventana se encuentra la descripción del hardware integrado

y finalmente al lado derecho de manera de explorador se encuentra el catálogo de equipos a disposición del usuario. De igual manera que el Administrador Simatic este software mantiene íconos parecidos de los ya indicados en la sección 3.1.1, pero adicional a estos se encuentran los siguientes:

- Offline < > Online, permite cambiar entre modo Online y Offline: 
- Save and Compile, graba los cambios realizados y compila el hardware para verificar que no haya errores: 
- Download, cargar la configuración de hardware al PLC: 
- Upload, lee la configuración de hardware del PLC la descarga en el computador: 
- Catalog, Mostrar u ocultar ventana de catálogo de equipos: 

3.1.3 CONFIGURACIÓN DE LA RED DESDE EL NET PRO

La Configuración del Net Pro se refiere a la configuración de la red que van a utilizar los diferentes equipos a intervenir en el proyecto, no necesariamente los equipos van a pertenecer a la misma red, o simplemente puede que el medio físico de comunicación sea diferente, por ejemplo algunos equipos pueden utilizar Profibus, mientras otros Ethernet, de esta manera es que se tiene este software adicional para configurar la red. Lo que se recomienda primeramente es incorporar a la jerarquía del proyecto todos los Objetos Equipo a intervenir, luego configurar el hardware de cada uno para finalmente ir a la configuración de la red. Para acceder al Net Pro, se lo puede hacer directamente desde la barra de herramientas del Administrador Simatic o de la barra de herramientas de la Configuración de Hardware el ícono es:  , otra manera de acceder al Net Pro es desde el Administrador Simatic ir a la jerarquía del proyecto y dar clic en el Objeto Módulo Programable, en la ventana del explorador se encontrará el archivo Enlaces o Conexiones identificado por el ícono  al mismo que dando doble clic desplegará la ventana del Net Pro que se observa en la Figura 3.3, donde se puede observar que los equipos que se encuentran conectados a la línea de color violeta son los que pertenecen a la periferia Profibus DP y los que están de color

verde pertenecen a Ethernet, en la parte inferior se indica el detalle de los equipos conectados en cada red y en la ventana derecha se muestra el catálogo de equipos.

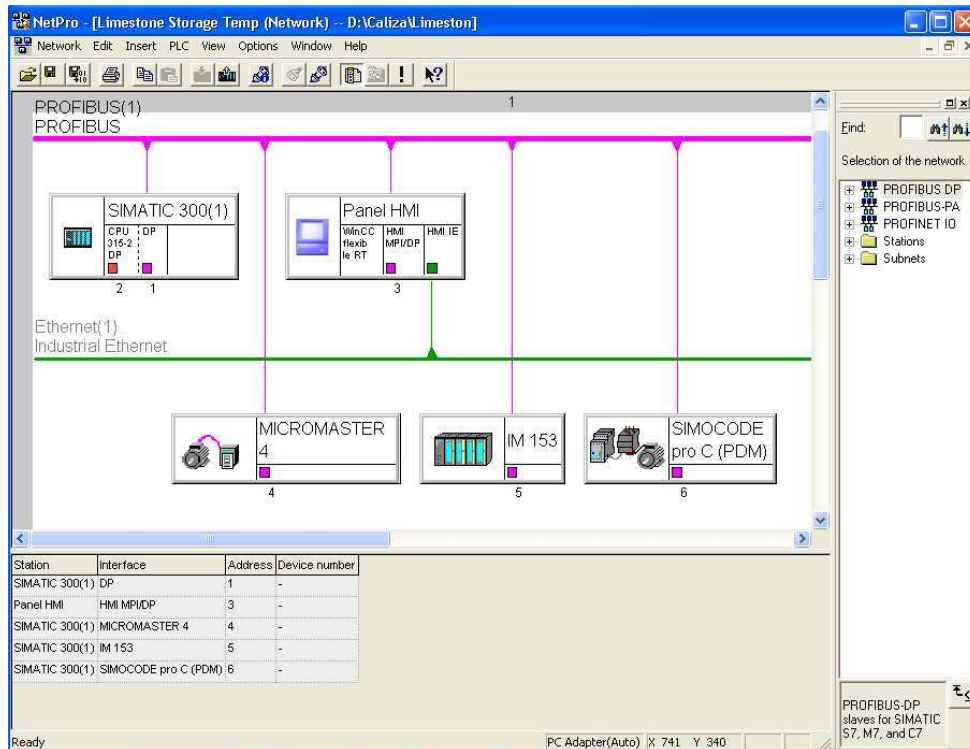



Figura 3.3 Estructura de la Ventana de Configuración del Net Pro

También se puede apreciar que los íconos de la barra de herramienta son los mismos a excepción de los que se indica a continuación:

- Activate/Deactivate Connection Status, permite cambiar entre modo Online y Offline:
- Insert Connection, permite agregar una nueva conexión:

3.1.4 EDITOR DE SÍMBOLOS

El Editor de Símbolos es la pantalla que permite poner el nombre a todas las variables que se necesitan, por ejemplo, el nombre de cada una de las entradas o salidas digitales, o el nombre el bloque de función, o una marca, un temporizador, contador, etc. Es recomendable nombrar a cada una de las variables a utilizar porque facilitan el entendimiento de la lógica del programa por el programador o por cualquier persona que desee interpretarla, además a parte

del nombre también hay como comentar la descripción del nombre para que sea de mayor comprensión. El ingreso al editor de símbolos se lo puede hacer desde el Administrador Simatic dando clic en el Objeto Programa S7, ubicado en la jerarquía del proyecto, donde se encuentra en la ventana del explorador la carpeta de Símbolos cuyo ícono es: , al dar doble clic sobre se desplegará la ventana que si indica en la Figura 3.4.

Status	Symbol	Address	Data type	Comment
52	Automatico Vibrador	I 0.1	BOOL	DI 0.1 - Selector de Local o Remoto (Automático) del Vibrador 101.
53	Confirm. Start/Test 101	I 0.2	BOOL	DI 0.2 - Contacto del Relé que envia a arrancar o parar el variador de velocidad
54	Sobrecarga Motor 105	I 0.3	BOOL	DI 0.3 - Triple contacto del Relé de Sobrecarga situado en el Starter del 105.
55	Switch Velocidad 105	I 0.4	BOOL	DI 0.4 - Contacto del Detector de Velocidad de la Banda 105.
56	Switch Alineamiento ...	I 0.5	BOOL	DI 0.5 - Dos contactos normalmente cerrados de Alineamiento de la Banda 105.
57	Hand Switch Banda 1...	I 0.6	BOOL	DI 0.6 - Dos contactos normalmente cerrados de protección manual de la Banda 105
58	Automatico Banda 105	I 0.7	BOOL	DI 0.7 - Selector de Local o Remoto (Automático) del motor de 15HP de la Banda.
59	Confirm. Start/Test 105	I 1.0	BOOL	DI 1.0 - Contacto del Relé que envia a arrancar o parar el motor de 15HP.
60	Sobrecarga Motor 10...	I 1.1	BOOL	DI 1.1 - Triple contacto del Relé de Sobrecarga situado en el Starter del 107.1
61	Switch Velocidad 107.1	I 1.2	BOOL	DI 1.2 - Contacto del Detector de Velocidad de la Banda 107.1
62	Switch Alineamient 1...	I 1.3	BOOL	DI 1.3 - Contactos normalmente cerrado de Alineamiento de la Banda 107.1
63	Switch Nivel Apilador	I 1.4	BOOL	DI 1.4 - Dos contactos normalmente cerrados situados en la punta del Apilador.
64	Hand Switch Banda 1...	I 1.5	BOOL	DI 1.5 - Un contacto normalmente cerrado de protección manual de la Banda 107.1
65	Automatico Banda 10...	I 1.6	BOOL	DI 1.6 - Selector de Local o Remoto (Automático) del motor de 40HP de la Banda.
66	Confirm. Start/Test 10...	I 1.7	BOOL	DI 1.7 - Contacto del Relé que envia a arrancar o parar el motor de 40HP.
67	Sobrecarg Motor Elev...	I 4.0	BOOL	DI 2.0 - Triple contacto del Relé de Sobrecarga situado en el Starter del 107.2
68	Automatico Elevador	I 4.1	BOOL	DI 2.1 - Selector de Manual o Automático del motor de 7.5HP de Elevador.
69	Fin Carrera Alto/Alto E	I 4.2	BOOL	DI 2.2 - Contacto Físico de Fin de Carrera de posición alto - alto del Elevador.

Figura 3.4 Estructura de la Ventana del Editor de Símbolos

3.1.5 PROGRAMACIÓN LAD/STL/FBD

La Programación LAD/STL/FBD, se refiere al tipo de lenguaje a utilizar para la programación, LAD es la abreviación del lenguaje Ladder o de contactos, STL o AWL es la abreviación del lenguaje de texto continuo y FBD corresponde a la abreviación del lenguaje la programación en bloques o compuertas lógicas. Para acceder a la programación se lo hace desde el Administrador Simatic en el Objeto de la carpeta de Bloques, se procede a dar doble clic en el bloque que se necesite editar o visualizar y se desplegará la ventana de la Figura 3.5, en la que se puede observar a lado izquierdo un explorador de elementos que se ponen a disposición del usuario para la edición del programa, mientras al lado derecho se ubica la ventana visual de edición de la lógica del programa y finalmente en la

parte inferior se tiene los mensajes que salen al momento de realizar compilaciones del programa.

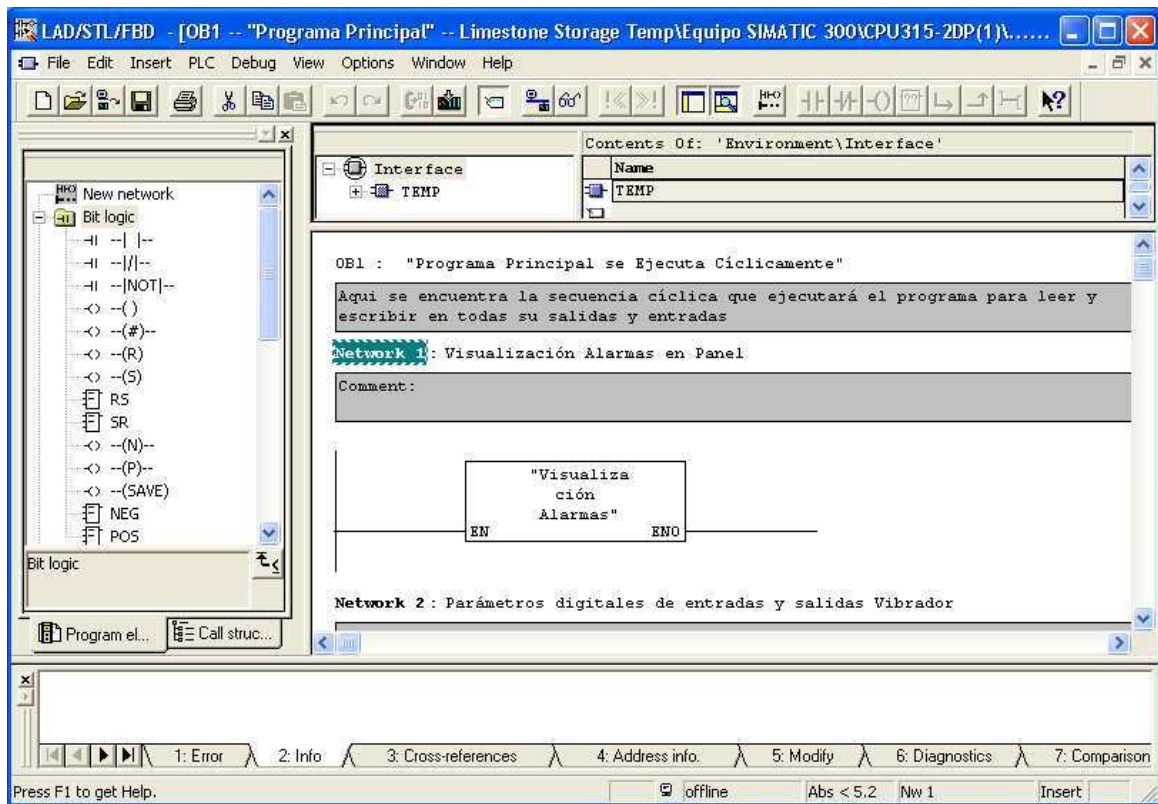








Figura 3.5 Estructura de la Ventana de Programación

Adicional en la barra de herramientas se tiene la mayoría de íconos conocidos. A continuación se detallan los íconos nuevos:

- Symbolic Representation (on/off), permite cambiar la visualización de lógica del programa para verla con los nombres de los símbolos editados o con el nombre que le asigna el programa por defecto: 
- Establish connection to configured CPU, establece la conexión en línea con la CPU que este configurada : 
- Monitor (on/off), permite visualizar en línea la lógica del programa: 
- Overview on/off, despliega la ventana del explorador de elemento: 
- Details on/off, despliega la ventana de detalles: 

3.1.6 SIMULADOR DEL PLC CON S7 PLC SIM [12]

La aplicación S7 PLC SIM permite ejecutar y comprobar el programa de usuario en un sistema de automatización (PLC) simulado en una PC o en una unidad de programación. Puesto que la simulación se realiza sólo mediante el software STEP 7, no se requiere ninguna conexión con equipos de hardware S7 como CPU o módulos de ampliación. El PLC S7 simulado permite probar y depurar programas para las CPUs S7 – 300 y S7 – 400. Esta interfaz se puede abrir directamente desde la barra de herramientas del Administrador Simatic en el ícono , desplegando una ventana como la que se indica en la Figura 3.6.

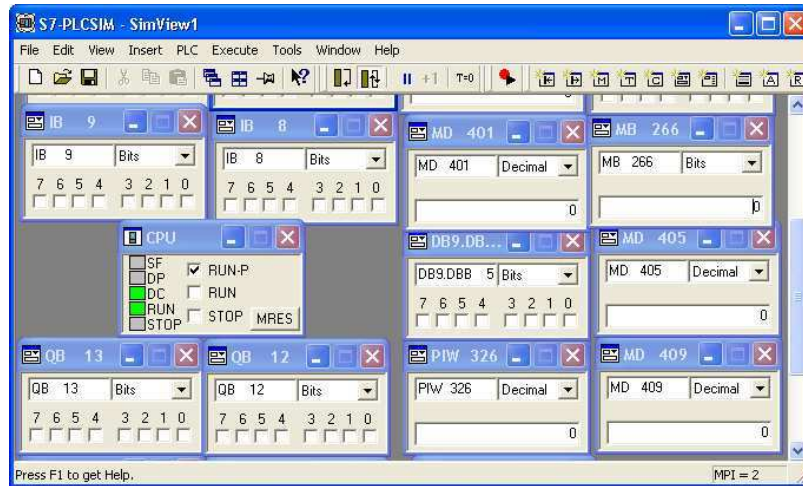







Figura 3.6 Estructura de la Ventana de Simulación

Como se puede observar en el simulador se pone el CPU donde va a residir el programa del usuario y además se puede colocar los módulos para activar entradas digitales y visualizar salidas digitales, contadores, bloques de datos, marcas, temporizadores, etc. que permite al usuario probar y depurar el programa antes de implementarlo en el sistema de automatización que este controlando. A continuación se detallan los íconos que se encuentran en la barra de herramientas del simulador:

- Single Scan, la CPU ejecuta un solo ciclo del programa: 
- Next Scan, la CPU ejecuta el siguiente ciclo del programa: 
- Continuous Scan, la CPU ejecuta ciclos completos de manera continua: 
- Pause, detiene o pausa la CPU instantáneamente: 
- Reset Timers, reinicia los temporizadores que se estén simulando: 

3.1.7 PROGRAMACIÓN DEL HMI DESDE WINCC FLEXIBLE [13]

WinCC Flexible es el software diseñado por Siemens que permite realizar todas las tareas de configuración necesarias de todo tipo de paneles de la gama de Simatic HMI que tienen la función de ser una interfaz hombre máquina entre el operador y los equipos. En términos generales un sistema HMI se encarga de representar procesos, manejar procesos, emitir avisos, archivar valores de proceso y avisos, documentar valores de proceso y avisos y administrar parámetros de proceso y parámetros de maquinaria. Este software se puede abrir desde el Administrador Simatic siempre y cuando se haya integrado en la jerarquía del proyecto un Simatic HMI o también se lo puede abrir desde el grupo de programas instalados de Siemens. En la Figura 3.7 que se muestra a continuación se visualiza la pantalla principal.

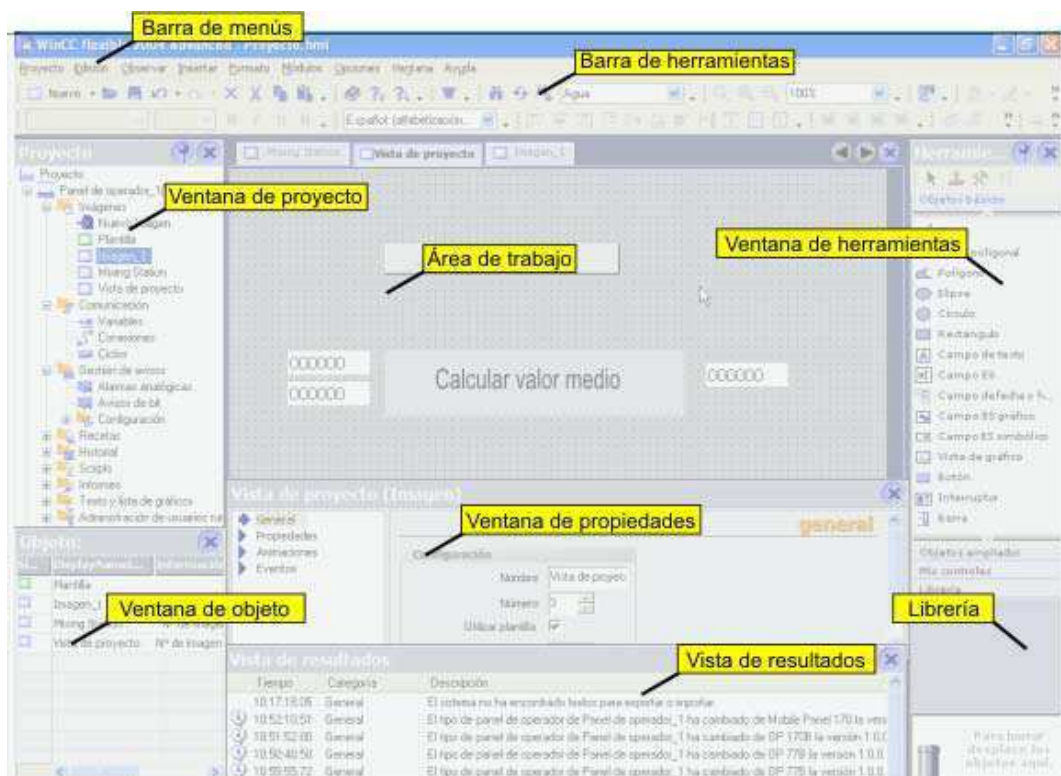






Figura 3.7 Estructura de la Ventana WinCC Flexible

Al igual que los demás softwares de Siemens la barra de herramientas tiene una notable similitud con los íconos de Microsoft, mientras que los íconos diferentes y propios de Siemens tienen el siguiente significado:

- Check Project Consistency, Verifica la consistencia del proyecto: 

- Start Runtime System, arranca la aplicación del HMI: 
- Start Runtime System with script debugger, arranca la aplicación del HMI en modo de corrección de errores: 
- Start Runtime System with simulator, arranca la aplicación del HMI con el simulador: 
- Transfer Settings, transfiere el programa de la PC al HMI: 

3.1.8 SIMULADOR DEL HMI CON WINCC FLEXIBLE RUNTIME


WinCC Flexible Runtime es un programa de simulación para la visualización de procesos de los proyectos creados con el software de configuración de WinCC flexible, se compone de la pantalla gráfica en la que se puede operar directamente con el mouse del PC y de una pantalla de variables en las que se puede ingresar en forma de simulación las variables enviada por el autómatas que controla el proceso (PLC) como se indica en la Figura 3.8. Para desplegar esta opción se debe dar clic en el ícono  que se muestra en la barra de herramientas del WinCC Flexible.



Figura 3.8 Simulador WinCC Flexible Runtime

3.1.9 AUTOMATION LICENSE MANAGER [10]





El Automation License Manager es un producto de Siemens que se utiliza para la gestión de las claves de licencia, misma que corresponde a un modo de derecho de utilización de productos, estos productos de software para cuyo uso es necesaria una clave de licencia notifican automáticamente este requisito a Automation License Manager, si este encuentra una clave de licencia válida para este software en cuestión, este podrá utilizarse de acuerdo con las condiciones de uso de licencia vinculada a la clave de licencia correspondiente. En la Figura 3.9 se puede observar la estructura de este software en mención:



Figura 3.9 Simulador WinCC Flexible Runtime

Como se puede observar se detalla todas las características de la licencia y la ubicación de la misma en el PC, además se observa en la primera columna a manera de gráfico el estado de la licencia. A continuación para una mayor comprensión, se presentan los posibles estados.

- ⊖ Estado de clave de licencia desconocido.
- ✓ Clave de Licencia OK.
- ⚙ La clave de licencia se utilizaba en el momento de la consulta.
- ✗ Clave de Licencia defectuosa.
- ⊖ Inactiva – Estado de la clave de licencia desconocido.
- ⊖ Inactiva – Clave de licencia disponible pero no válida.
- ✗ Inactiva – La clave de licencia está dañada.

-  Ha expirado el tiempo de utilización de una clave de licencia de tiempo limitado.
-  Tiempo de cortesía adicional para la utilización de una clave de licencia de tiempo limitado.
-  Tiempo de cortesía adicional para la utilización de una clave de licencia de tiempo limitado que se utilizó en el momento de la consulta.
-  El tiempo de utilización ordinario y el tiempo de cortesía adicional para la utilización de una clave de licencia de tiempo limitado ha caducado.


3.2 DESARROLLO DEL PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DEL APILADOR RADIAL DE CALIZA DE “LAFARGE CEMENTOS ECUADOR” A TRAVÉS DE UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.

Una vez familiarizados con todos los softwares mínimos y necesarios para el desarrollo de una solución de ingeniería de medio a alto nivel con equipos Siemens se realiza el desarrollo del proyecto de Automatización del Apilador Radial de Caliza en “Lafarge Cementos Ecuador”, para lo cual se crea y configura el proyecto en mención desde el Administrador Simatic para luego pasar a la lógica de programación de PLC y configuración del HMI y finalmente terminar esta sección con una indicación de la manera adecuada en la que este tipo de proyecto se debe respaldar para su almacenamiento.

3.2.1 CREACIÓN DEL PROYECTO EN EL ADMINISTRADOR SIMATIC

Tomando como referencia el proyecto de Automatización del Apilador Radial de Caliza se indicará de manera secuencial la forma en la que se debe estructurar un proyecto desde el inicio con la finalidad de que el lector tenga una guía referencial de los pasos necesarios para la creación, configuración y desarrollo de cualquier tipo de solución de automatización con equipos Siemens de la manera adecuada.

Una vez instalados todos los paquetes de Step 7 y el paquete de WinCC Flexible, se abre el Administrador Simatic y se sigue los pasos que se detallan a continuación:

Paso 1.- Desde el Administrador Simatic se coloca en la barra de herramientas y se da clic en nuevo , esto desplegará una ventana en la que se seleccionara la pestaña User projects y dando un nombre al proyecto en este caso “Apilador Radial Caliza” se selecciona una dirección (Browse) en el computador del equipo donde se vaya a guardar el proyecto, tal como se indica en la Figura 3.10, y finalmente se da clic en OK, posteriormente aparecerá un mensaje de confirmación para la creación del nuevo proyecto en el que da clic en Yes.

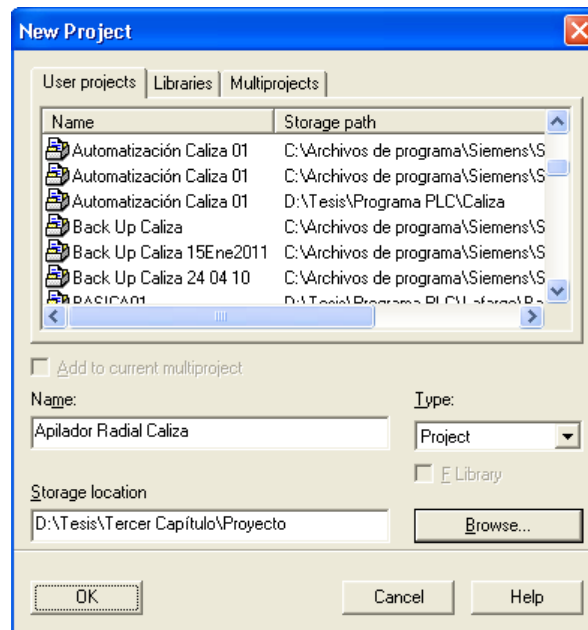


Figura 3.10 Ventana de Creación de un nuevo Proyecto

Paso 2.- Una vez creado el proyecto se abrirá la ventana de la jerarquía del proyecto con el nombre que se le haya asignado, en la cual dando clic derecho en el primer objeto del explorador se escoge Insert New Object y se selecciona el PLC que se vaya a utilizar (SIMATIC 300 Station) como se observa en la Figura 3.11, misma que se pondrá en la carpeta del Objeto Proyecto en la cual se puede editar el nombre del Equipo de Control, como en este caso: PLC Apilador.

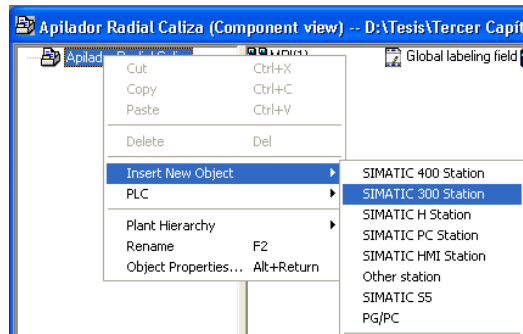


Figura 3.11 Inserción de un Nuevo Objeto en el Objeto Proyecto

Paso 3.- Para agregar el Panel Táctil se procede de igual manera que en el Paso 2, dando clic derecho en el primer objeto del explorador se escoge Insert New Object, pero esta vez se selecciona el HMI que se incorporará (SIMATIC HMI Station) esto desplegará la pantalla que se observa en la Figura 3.12, donde en la pestaña General se le da nombre al panel (Panel Apilador) y en la pestaña Device type se selecciona el panel TP 177B color PN/DP que es el que se va a ocupar para el presente proyecto. Finalmente dando clic en aceptar se añadirá a la carpeta del Objeto proyecto el panel indicado.

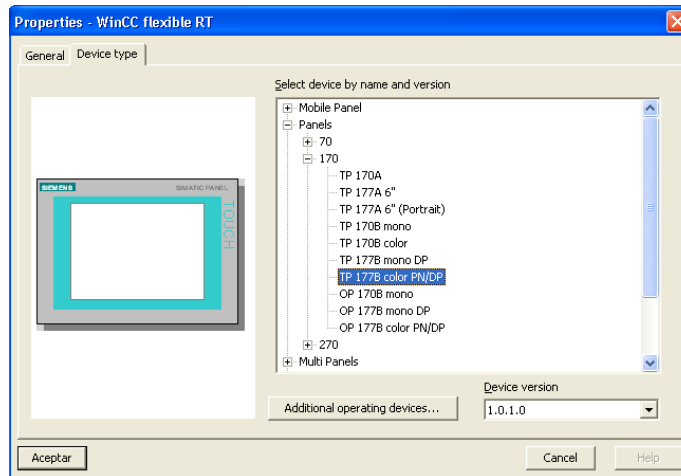


Figura 3.12 Ventana de Selección del Panel Táctil

Paso 4.- Se procede a la configuración del hardware para ello se da clic en la jerarquía del proyecto sobre el PLC y en la carpeta se da doble clic sobre el hardware (🔧) en la que se desplegará la ventana como se muestra en la Figura 3.2 con la diferencia de que esta no tendrá ningún equipo configurado. Entonces se procede a insertar el CPU, pero previamente en el catálogo de equipos se busca el Rack dentro de la jerarquía de SIMATIC 300, se lo despliega y dando

doble clic sobre el rail se agregará a la ventana izquierda como se indica en la Figura 3.13.

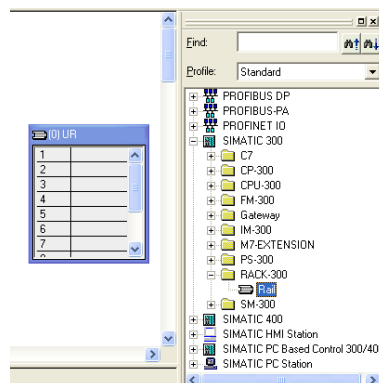


Figura 3.13 Inserción de un Rack en el Hardware del Proyecto

Paso 5.- Se ingresa los elementos que van a conformar el Rack en el siguiente orden: Fuente, CPU, Módulos de entrada y salida, para ello es necesario ver el código de los equipos para seleccionar el mismo código en el catálogo de equipos de la siguiente manera: Fuente de Alimentación de 5A código 6ES7 307 – 1EA00 – 0AA0, por tanto en la misma jerarquía de SIMATIC 300 se busca Power Supply PS 307 5A y en la parte inferior del catálogo se indicará el ítem completo con las características del hardware y con el código anteriormente señalado, se da doble clic sobre el mismo y se agregará en la posición que el software lo indica, es preferible que el programa vaya direccionando ubicaciones y direcciones para evitar posibles conflictos.

Paso 6.- El ingreso de la CPU se la realiza de igual manera que en Paso 5, es decir, por medio del código 6ES7 315 – 2AG10 – 0AB0, con la particularidad de que no solo hay que buscar el mismo código sino también la misma versión de firmware como se observa en la descripción del catálogo de hardware, Figura 3.14.

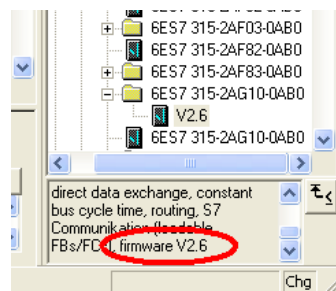



Figura 3.14 Versión de Firmware de la CPU

Luego se procede a dar doble clic en la CPU y aparecerá un mensaje de configuración de la red, en la que se pulsa OK para configurarla desde el Net Pro (Paso 8).

Paso 7.- El ingreso de los módulos de entrada y salida digital se lo hace de la misma manera que en el Paso 5, buscando en el catálogo de equipos SIMATIC 300 la carpeta SM-300 y tomando en cuenta el código del los equipo que se especifican en el capítulo 2 se selecciona todos los módulos necesarios hasta que quede igual a la configuración que se indica en la Figura 3.15. Finalmente se guarda y compila  la configuración realizada.

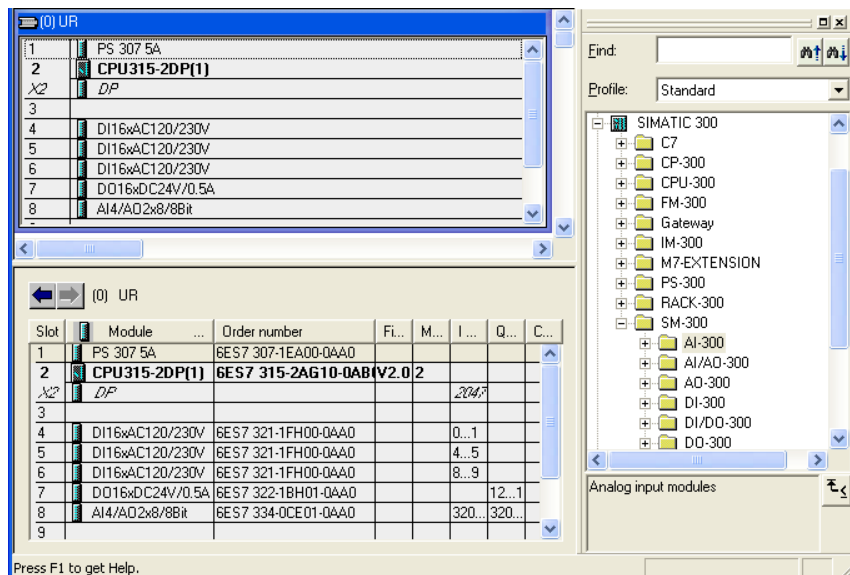



Figura 3.15 Configuración de Hardware del Proyecto

Paso 8.- Se configura la red del PLC dando clic en el ícono del Net Pro  que se encuentra en la barra de herramientas del configurador de hardware, la que desplegará la pantalla del Net Pro que se ve en la Figura 3.3 con la diferencia de que esta no va a tener ningún tipo de conexión. Se procede a dar doble clic en la DP de cada equipo como se muestra en la Figura 3.16.

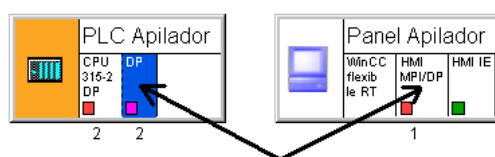


Figura 3.16 Visualización de DP del PLC y HMI en el Net Pro

Se empieza con la DP del PLC donde saldrá una pantalla a la cual se da clic en Propiedades y se desplegará otra ventana donde se debe seleccionar una conexión Profibus y a la vez asignar una dirección como se observa en la Figura 3.17, finalmente se pulsa OK en ambas ventanas.

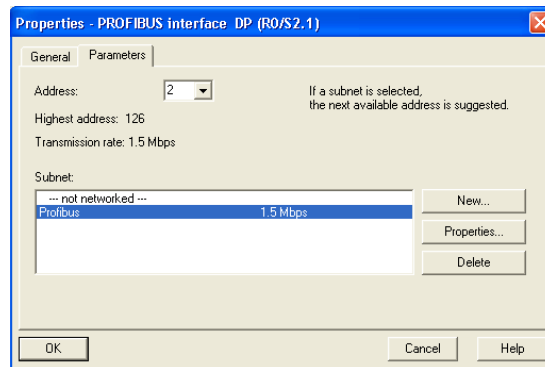


Figura 3.17 Selección de Dirección Profibus para el PLC

Paso 9.- Se configura la dirección del HMI de igual manera que el PLC, dando doble clic donde se indica en la Figura 3.16, y en la ventana que aparezca se escoge la opción de Profibus como se ve en la Figura 3.18 y a continuación en propiedades se asigna una dirección diferente a la del PLC para finalmente pulsar OK en ambas ventanas.

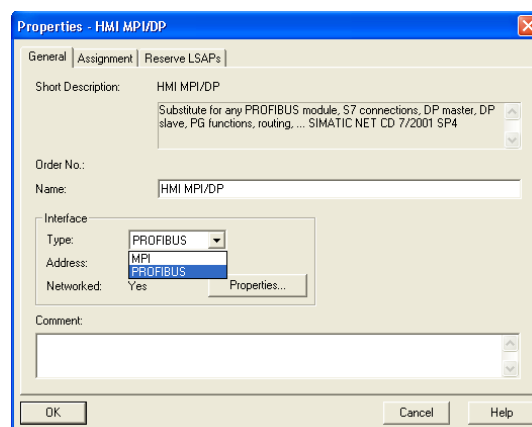



Figura 3.18 Selección de Dirección Profibus para el HMI

Paso 10.- Se guarda la configuración y compila  el Net Pro con el ícono señalado, dando clic en OK y al final se dará un mensaje de Warning porque todavía no se ha integrado una red de Ethernet para el Panel Táctil, pero como no se va a utilizar ese puerto para el proyecto no se lo configura, sin embargo, si el

lector desea hacerlo tan solo hay que seleccionar una dirección de IP para el puerto de Ethernet. En la Figura 3.19 se muestra como debe quedar el esquema de la configuración de la red Profibus.

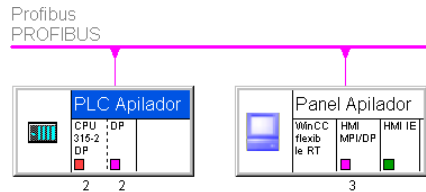


Figura 3.19 Esquema de Conexión de la Red

Si se observa al momento de cerrar el Net Pro se encontrará en la pantalla de configuración del hardware que se ha conectado un línea recta a la CPU (Figura 3.20) que representa la dirección profibus a la que se pueden añadir varios equipos de ser necesarios, dando clic derecho en la línea de Profibus DP, en la opción Insertar Objeto.

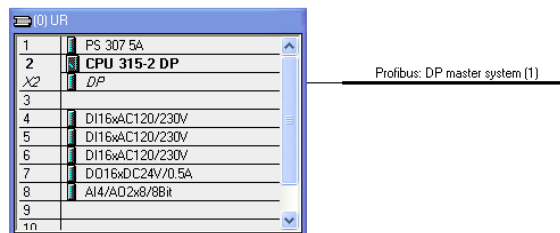


Figura 3.20 Esquema de Hardware del CPU más dirección de Red Profibus

De igual manera al cerrar el configurador de hardware en el Administrador Simatic se encuentra que al lado del hardware esta la CPU 315-2DP que se ha integrado al proyecto, además si se despliega la jerarquía del PLC se visualiza que el proyecto ya está completamente creado, con la jerarquía del programa, fuentes y bloques, tal como se observa en la Figura 3.21. Finalmente lo que respecta a la configuración del HMI se lo revisará más, en la sección 3.2.4.1

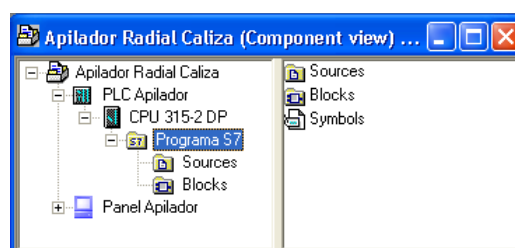


Figura 3.21 Jerarquía del Proyecto

3.2.2 ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

Las especificaciones de funcionamiento y operación del sistema de operación se las debe definir antes de empezar el desarrollo de la lógica de programación para ello se toma como referencia a la imagen de la Figura 3.22.

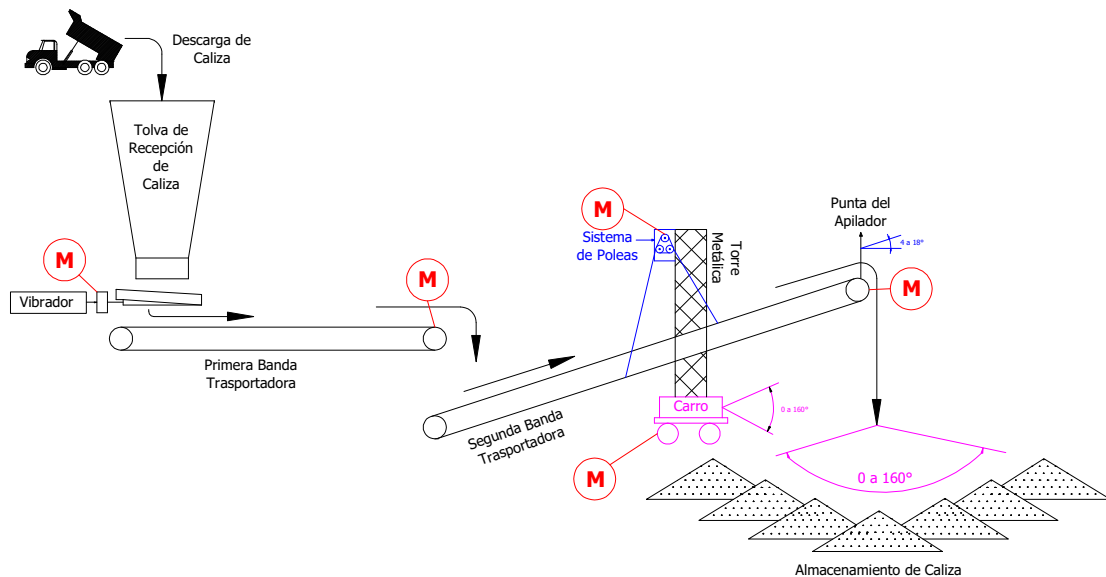


Figura 3.22 Proceso de Almacenamiento y Homogenización de Piedra Caliza

Dando una breve explicación del proceso del apilador, el objetivo principal es transportar la caliza desde la recepción de volquetas hasta el Stock de Almacenamiento de material, para el transporte se utiliza tres equipos, dos bandas transportadoras y un vibrador, mientras que el posicionamiento está compuesto por un elevador que sube o baja, (pluma del apilador) y un carro que mueve la pluma en todo el radio del stock de caliza, adicional se observa que están definidas 7 montañas en las que se debe amontonar el material. Para mayor referencia se puede revisar la sección 1.3 del capítulo 1.

Con respecto al sistema de transporte de caliza la automatización consiste en arrancar los equipos de manera secuencial, es decir, marchar la segunda cinta, luego la primera cinta y finalmente el vibrador, con respecto al paro de los equipos también será de manera secuencial pero en orden inverso a la marcha, además si hay alguna condición de protección del sistema como el sensor de nivel de llenado de la pila, un hand switch, un paro de emergencia o alguna otra

protección, los equipos deberán detenerse inmediatamente. Adicional la báscula de la primera cinta transportadora debe regular la velocidad del variador de velocidad del vibrador con la finalidad de regular la cantidad de alimentación que pasa a la cinta.

Con respecto al sistema de posicionamiento deberá tener dos modos de operación, el primero de apilado que consiste en realizar el amontonamiento del material con el carro detenido y el segundo de apilado y homogenizado que consiste en el amontonar el material mientras el carro realiza un movimiento continuo de un lugar a otro.

Para el caso de Apilado el sistema deberá estar en la capacidad de saber cuál de sus 7 pilas se encuentra más vacía y llevar al apilador hasta ese punto y descender la pluma para realizar un amontonamiento lo más cercano a la pila, luego cuando se haya logrado subir el nivel con respecto a las otras montañas deberá ser capaz de elevarse automáticamente y mover el apilador por medio del carro hasta la siguiente montaña de menor nivel, donde bajará la pluma y realizará el apilamiento lo más cercano a la nueva pila y de esta manera se repetirá la operación antes mencionada.

Para el caso de Apilado y Homogenizado el sistema deberá ser capaz de recibir la instrucción del operador para realizar el apilado en un rango de posiciones, por ejemplo, si requiere que realice el apilamiento desde la pila 1 hasta la pila 2, entonces de manera continua el carro se moverá de ida y vuelta entre las posiciones indicadas y se mantendrá ahí hasta que el operador seleccione nuevamente otro rango de posiciones.

También se necesita que el sistema de automatización permita la operación manual el sistema, es decir, poder arrancar cada uno de los equipos de manera independiente, sin la necesidad de estar en secuencia.

Finalmente y como complemento el sistema ha automatizar podrá manejar y emitir las condiciones de proceso con respecto a los avisos o alarmas que se puedan generar, además contará con una receta en la que se especificarán los principales parámetros de operación del sistema de control.

3.2.3 PROGRAMACIÓN DE LA LÓGICA LADDER

Una vez creado el proyecto se puede desarrollar la lógica de control para el PLC, esta puede ser editada de tres maneras, la primera en lenguaje ladder o de contactos, la segunda en lenguaje de texto continuo o fuente y la tercera en lenguaje de programación en bloques o compuertas lógicas. El criterio de selección del lenguaje debería ser a libre elección del diseñador, pero hay que tomar en cuenta que el cliente final no es el diseñador sino la empresa a la que se dé el servicio, por tal motivo es preferible ponerse de acuerdo con el cliente final y definir un lenguaje de programación que sea de mejor comprensión para el personal que labora en la industria, de esta manera es como se escoge que el lenguaje de programación de mejor aceptación es el de lógica de contactos o Ladder.

Como se revisó anteriormente en la sección 3.1.1.5, un PLC Simatic 300 tiene bloques de organización propios del sistema con la finalidad de tener un equipo más robusto desde el punto de vista de software, por tal motivo para empezar la programación se debe saber en qué bloque va a residir la ejecución cíclica del programa que para el caso de las CPUs 300 corresponde al Bloque OB1, pero desarrollar toda la lógica ladder en este bloque daría como resultado un programa bastante extenso de difícil entendimiento y con lógicas repetidas, para evitar este efecto es recomendable repartir el programa en diferentes bloques de función que serán llamados por el OB principal (OB1) cuando lo requiera.

Bajo este esquema para el desarrollo de la programación se usa bloques de función, bloques de datos y bloques propios del sistema, integrándoles al proyecto en base a las necesidades y similitudes de los equipos que se va a controlar, y además en base a la secuencia de funcionamiento de los mismos, como se lo detalla a continuación.

3.2.3.1 Bloque del Estado de Motores

Con la finalidad de mantener un esquema de organización del OB principal se procede a crear un bloque de función para saber el estado de cada

uno de los motores a intervenir en la automatización, este bloque tendrá la lógica ladder de poleo de señales de cada uno de los esquemas eléctricos generados en el capítulo anterior, además de manera general se puede definir que en los bloques de transporte de caliza el motor tienen un solo sentido de giro por lo que sus funciones van a ser similares (Figura 3.23) y de igual manera para los bloques de posicionamiento, ambos motores tienen doble sentido de giro, por tanto sus bloques serán similares (Figura 3.24).

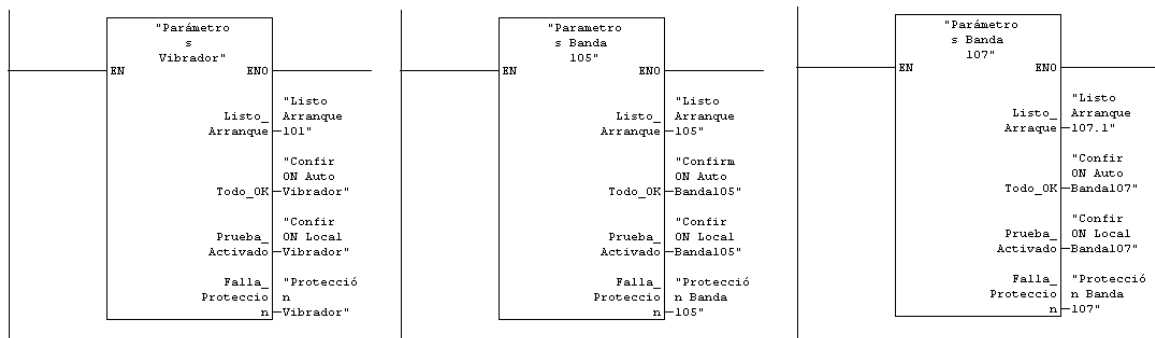


Figura 3.23 Bloque Función Estado Motor un Sentido de Giro

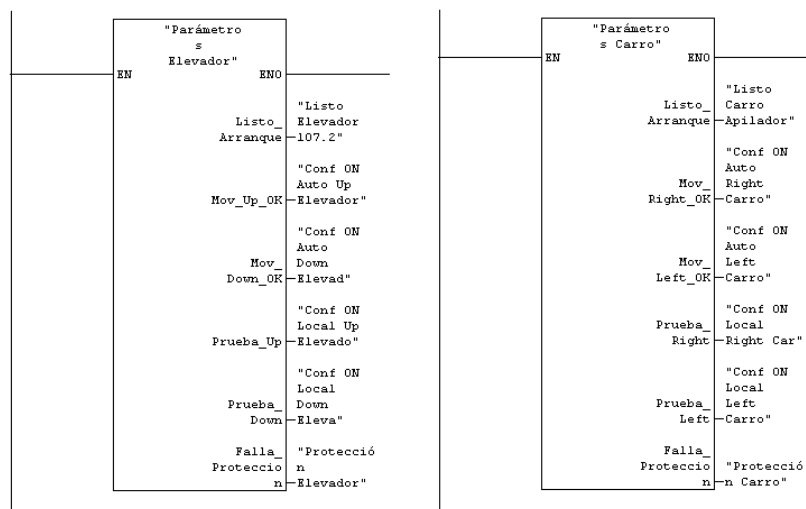


Figura 3.24 Bloque Función Estado Motor Doble Sentido de Giro

Por lo tanto por medio de estos bloques se verifica el estado de cada uno de los motores, es decir, si cumple con las condiciones necesarias para estar disponible o listo para su arranque, si tiene confirmación de movimiento en Automático o si tiene confirmación de movimiento de manera local, para el caso de los motores con doble sentido de giro se tendrá confirmación para cada movimiento y finalmente se revise si está activa la protección de sobre corriente.

3.2.3.2 Bloque de Transporte de Caliza

El transporte de caliza desde la tolva de recepción hasta el stock de almacenamiento, implica el movimiento de las cintas transportadas y del vibrador para lo cual se crea un bloque de función para manejar la secuencia de arranque y paro (Enclav Marcas Arranque) de los tres equipos verificando todas las protecciones del sistema, complementario a esto se crea un bloque de función para activar o desactivar las salidas digitales (Start o Stop de Motores) de control de motores como se observa en la Figura 3.25. Finalmente por estar la báscula de cinta transportadora integrada en la primera cinta se crea un bloque de función adicional para que regule la velocidad de vibración (Velocidad Variador 101) de alimentación de caliza a la banda transportadora.

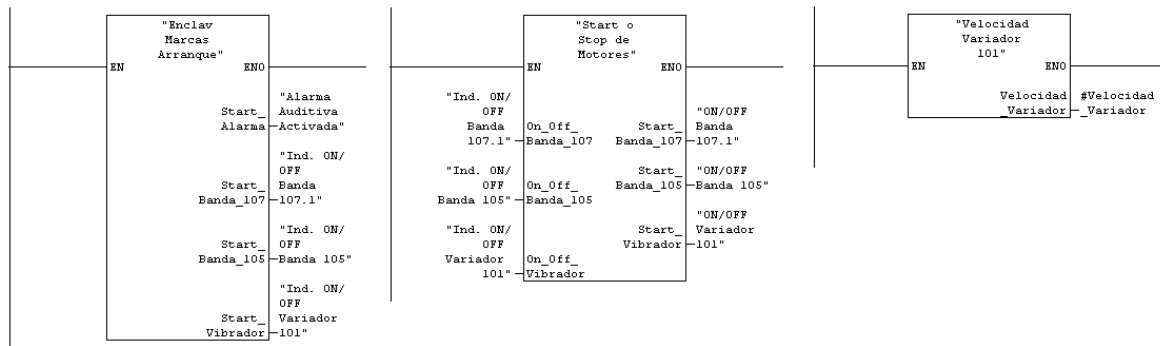


Figura 3.25 Bloques de Función para el Transporte de Caliza

3.2.3.3 Bloque de Posicionamiento Apilador

El posicionamiento del Apilador se lo hace por medio del control de la altura y de la posición radial del brazo del apilador, para ello se ha desarrollado un bloque de función para el control de altura (Sistema Pos. Elevador) y se han diseñado dos bloques de función para el movimiento radial, el primero es para realizar solo el apilamiento de la caliza (Sistema Posición Carro) y el segundo es para apilar y homogenizar la piedra caliza (Homogenizar Caliza), ambos funcionamientos son escogidos por el operador en base a sus necesidades, en la Figura 3.26 se muestra los bloques antes mencionados.

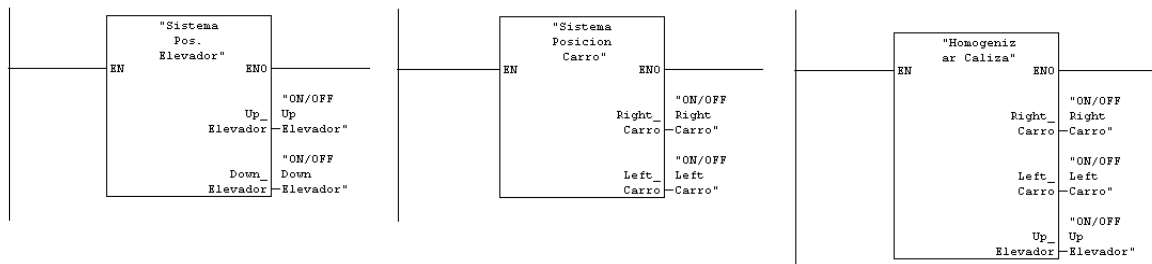


Figura 3.26 Bloques de Posicionamiento Apilador Radial

El primer bloque del elevador tiene la secuencia del arranque – paro del elevador y los comandos de las salidas digitales para el control del mismo, de igual manera para el bloque siguiente que le da el movimiento radial, además este bloque se encarga de llevar al apilador a la boca de cada pila y detenerse hasta que aumente su nivel de llenado, esto lo hace automáticamente en base a la adquisición de datos de nivel que se verá en el siguiente ítem. Por último el bloque de homogenización tiene la función de amontonar el material mientras el carro está en moviendo de ida y vuelta sobre un mismo lugar, es decir, no se detiene el carro.

3.2.3.4 Bloques de Adquisición de Datos

Los bloques de adquisición de datos son fundamentales para la correcta operación del movimiento radial del carro apilador, por tanto se ha creado un bloque de función para la adquisición de datos del nivel de cada una de las pilas (Datos 7 Pilas), este valor del nivel se usa para asignarles prioridad para el orden de apilamiento, para ello se crea un bloque de función para la comparación de pilas y además se crea un bloque adicional para dar el nivel de apilamiento, es decir, establece una altura hasta la que el apilador amontonará el material antes de cambiar automáticamente y posicionarse en la siguiente pila de menor nivel, esta operación lo realiza cuando el funcionamiento del carro apilador se encuentra en modo de solo apilado. Finalmente se tiene la adquisición de datos de las posiciones del carro, es decir, asignar valores de posición radial de cada punto del stock de Caliza (Calibración Encoder) e identifica la ubicación de la boca de cada

una de las pilas. Los bloques mencionados anteriormente se indican en la Figura 3.27.

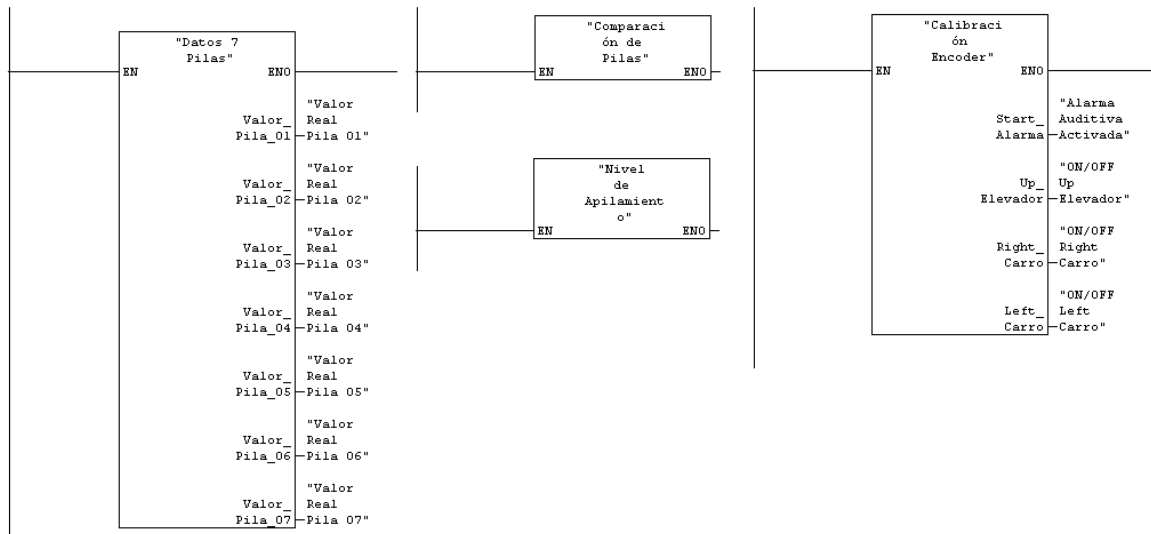


Figura 3.27 Bloques de Adquisición de Datos

3.2.3.5 Bloque de Comunicación con el Panel Táctil, Avisos y Alarmas

El bloque de comunicación se lo crea con la finalidad de organizar todas las variables comunes que utiliza el PLC y el Panel Táctil (Comunicación Touch), además se crea otro bloque para comunicación de alarmas y avisos del PLC hacia el HMI (Visualización de Alarmas) y finalmente el bloque de Alarmas Auditivas se lo crea para el control de la salida digital que acciona la sirena del sistema. Estos bloques se observan en la Figura 3.28.



Figura 3.28 Bloques de Comunicación y Alarmas

Es importante recalcar que la manera que se ha escogido para enviar los datos desde el PLC al HMI y viceversa es por medio de bloques de datos que son bloques con memoria incorporada.

3.2.3.6 Bloque de Operación Manual

El bloque de operación manual (Figura 3.29) está diseñado para tener control de los equipos de manera independiente sobre cada uno de los motores, es decir, sin necesidad de iniciar la secuencia el operador puede encender cualquiera de los motores que intervienen en el proyecto.

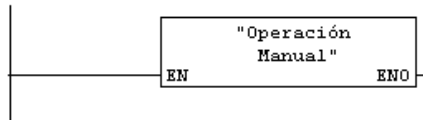


Figura 3.29 Bloques de Operación Manual

3.2.3.7 Bloques Propios del Sistema

Finalmente los bloques propios del sistema se integran al proyecto con la finalidad de darle robustez al programa del usuario. Para el caso de la CPU 315 se utiliza el bloque de arranque y los bloque síncronos que se detallan a continuación.

3.2.3.7.1 *Bloque de Arranque*

El bloque de arranque OB100 es llamado únicamente cuando la CPU tiene un re arranque completo, se puede parametrizar en este bloque las diferentes condiciones del programa como por ejemplo reiniciar marcas de memorias, poner ciertas condiciones de inicio de proceso, reiniciar contadores, etc.

3.2.3.7.2 *Bloques Síncronos*

Los bloques síncronos son utilizados para reaccionar frente a errores que son provocados durante la ejecución del programa, si estos bloques no están cargados en la CPU al presentarse el fallo la CPU pasará a Stop y detendrá todos los equipos, para evitar esto es preferible cargar los OB enumerados a continuación:

- OB80 Error de Tiempo, por ejemplo: tiempo de ciclo sobrepasado.

- OB82 Alarma de Diagnóstico, por ejemplo: cortocircuito en un módulo de entradas.
- OB83 Alarma de Presencia de Módulo, por ejemplo: extraer un módulo de entradas.
- OB84 Avería de Hardware CPU que corresponde al error en la interfaz a red MPI.
- OB85 Error de ejecución del Programa, por ejemplo: OB sin cargar.
- OB86 Error en el bastidor.
- OB87 Error de comunicación, por ejemplo: identificación de telegrama errónea en comunicación por datos globales.

3.2.4 PROGRAMACIÓN DEL HMI


La programación del HMI se la puede hacer en conjunto con el PLC o se la puede realizar después de haberse desarrollado la mayor parte de la lógica de programación de la CPU, lo que es importante definir es si el programa principal de Automatización debe funcionar necesariamente con el HMI o se puede prescindir de este para la operación, criterio que se lo selecciona en base a la criticidad de la operación de los equipos en cuanto a la producción normal de la planta. Para este caso el programa principal del Apilador Radial de Caliza se lo ha dispuesto para que el sistema pueda empezar su funcionamiento sin necesidad de HMI.

A continuación se detalla la programación del HMI en WinCC Flexible desde la parametrización del mismo después de haber realizado de manera completa la creación del proyecto en el Administrador Simatic hasta el desarrollo de los diferentes menús que requiere el sistema para cumplir con todas las especificaciones de operación y funcionamiento que se indicó en la sección 3.2.2.

3.2.4.1 Parametrización del Panel Táctil desde WinCC Flexible

La parametrización del Panel Táctil es muy fácil de realizar después de realizar todos los pasos para la creación de un Proyecto en el Administrador de Simatic como se indicó en la sección 3.2.1, por tanto, a partir de este punto se continua la parametrización.

3.2.4.1.1 Conexión del HMI con la CPU

Continuando con la creación del proyecto la conexión del HMI con la CPU es el paso siguiente, para lo cual desde la jerarquía del proyecto en el Administrador Simatic se despliega las carpetas que están contenidas en el Panel del Apilador hasta llegar a Communication (Figura 3.30), luego dando doble clic en Connections () se abre el software WinCC Flexible.

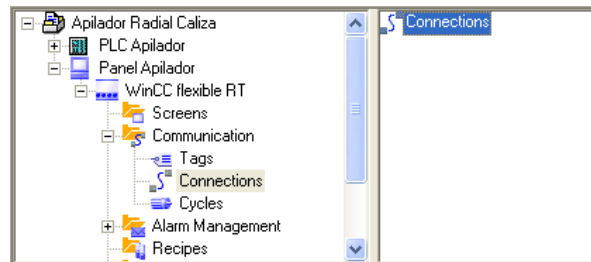


Figura 3.30 Connections desde el Administrador Simatic

Una vez abierto WinCC Flexible se debe observar la configuración de comunicación entre el Panel Táctil (TP 177B) con la estación de control (PLC), y se verifica que en la columna Active este seleccionada la opción de ON, caso contrario hay que seleccionarla (Figura 3.31).

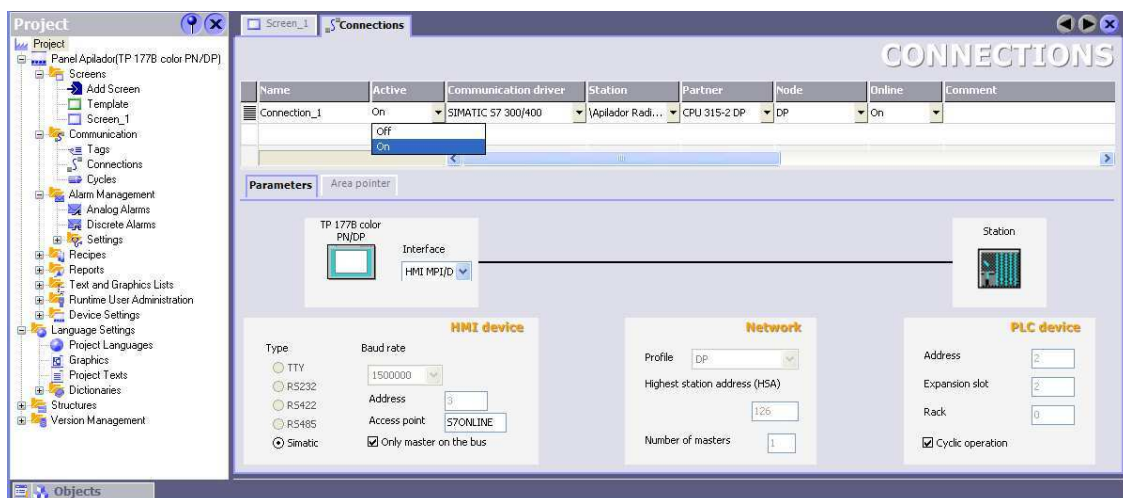


Figura 3.31 Connections desde WinCC Flexible

3.2.4.1.2 Manejo de Variables entre PLC - HMI

El manejo de variables entre el PLC y el HMI se lo puede realizar desde la misma jerarquía de Communication, dando doble clic sobre Tags (☰) se desplegará la ventana que se indica en la Figura 3.32, donde se puede observar varias columnas en las que se detalla el nombre de la variable o tag, conexión, tipo de dato, símbolo, dirección, entre otros.

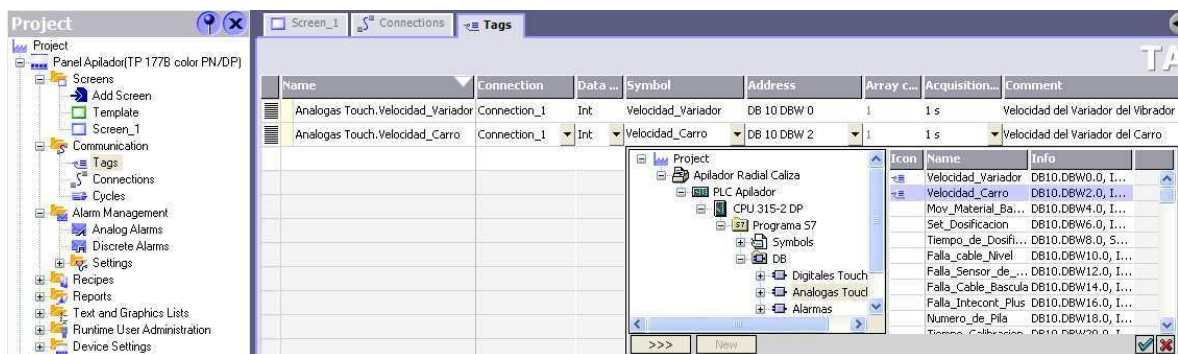


Figura 3.32 Manejo de Tags o Variables entre el PLC y el HMI

Adicional para integrar una nueva variable en el HMI hay que dar doble clic sobre una fila y especificar si va a ser una variable interna o una variable externa como en nuestro caso para la comunicación con el PLC, para ello se coloca sobre la columna de Símbolos y se visualiza la jerarquía del proyecto, la misma que despliega hasta llegar al lugar donde se encuentra la variable que se necesita del PLC como se indica en la figura y dando doble clic sobre la misma se añadirá a la fila con todas las especificaciones que se hayan indicado desde el PLC.

3.2.4.1.3 Manejo de Alarmas

El manejo de alarmas es muy similar al ingreso de nuevas variables al HMI. Para parametrizar las alarmas en la jerarquía del proyecto en WinCC se debe desplegar los objetos de Alarm Management donde se encuentra las alarmas discretas y análogas, misma que serán usadas dependiendo de las necesidades del usuario, complementario a esto hay que insertar en el Panel de visualización el objeto "alarma", el cual se puede parametrizar en base a lo que se necesite indicar. En la Figura 3.33 se indica la pantalla de alarmas que se configuró para el proyecto.

N.	Hora	Fe...	Estado	Texto
2	13:32:47	03/...	Presen...	Paro de Emergencia Local Activado
8	13:30:57	03/...	Presen...	Switch de Nivel Pluma est Activo

Figura 3.33 Manejo de Alarmas

Para el presente proyecto se ha escogido la visualización de 5 columnas, la primera se refiere al número de alarma presentada, la segunda columna se refiere a la hora y la tercera a la fecha, en la cuarta columna se indica el estado de la misma y finalmente en la última columna se visualiza el significado de la alarma. Adicional se observa 2 íconos en la parte inferior, el de lado izquierdo tiene la función de presentar un texto de ayuda para la alarma y el ícono de lado derecho tiene la función de reconocer la alarma.

3.2.4.2 Desarrollo del Menú de Operación

El desarrollo del menú de operación se enfoca a los modos de funcionamiento que va a tener el Apilador Radial de Caliza, estos modos de operación se los despliega desde la pantalla de inicio del panel táctil (Figura 3.34) presionando el ícono de Operación.



Figura 3.34 Pantalla de Imagen de Inicio

A continuación se detalla cada uno de los modos de operación ya sea en Automático o en forma Manual.

3.2.4.2.1 Operación de Apilado Automático

La operación de Apilado en modo Automático (Figura 3.35) tiene la función de indicar las principales variables que se manejan para el proceso como son las dos cintas transportadoras, el vibrador con su respectiva velocidad, la indicación de posición del carro apilador y la pila en la que se encuentra, dándole la disponibilidad al operador de cambiar al apilador a la ubicación que desee. Finalmente también indica la posición de elevación de la pluma y le da una condición de protección a criterio del operador para que la pluma no descienda a un nivel muy cercano a la montaña.



Figura 3.35 Pantalla de Operación de Apilado Automático

3.2.4.2.2 Operación de Apilado y Homogenizado Automático

La Operación de Apilado y Homogenizado es muy similar a la detallada en el ítem anterior pero se diferencia en que en lugar de indicar el número de pila indica un rango de operación como se observa en la Figura 3.36 de 55 a 77.

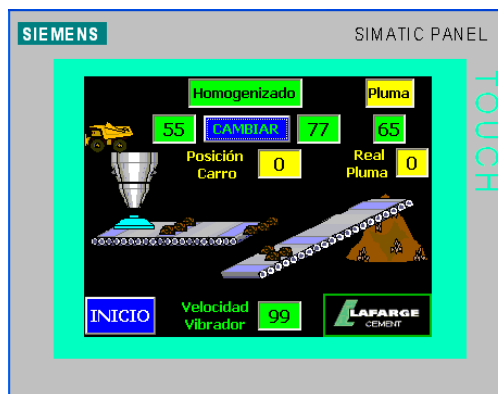


Figura 3.36 Pantalla de Operación de Apilado y Homogenizado Automático

El rango que se indica corresponde a diferentes posiciones del stock de caliza en los que se requiere que el carro apilador este en movimiento continuo, este valor se puede cambiar a criterio del operador en todo el rango del stock de caliza.

3.2.4.2.3 Operación Manual

La operación manual si bien no es necesaria para la operación normal de los equipos es importante para mantenimiento cuando necesita hacer pruebas con los equipos al momento de presentarse alguna falla o después de haber realizado el mantenimiento preventivo correspondiente. Por esta razón se crea la opción de un arranque manual por cada motor para que arranque independientemente de las condiciones del sistema, en la Figura 3.37 se cita un ejemplo de en arranque manual para uno de los equipos, en este caso el vibrador de caliza.

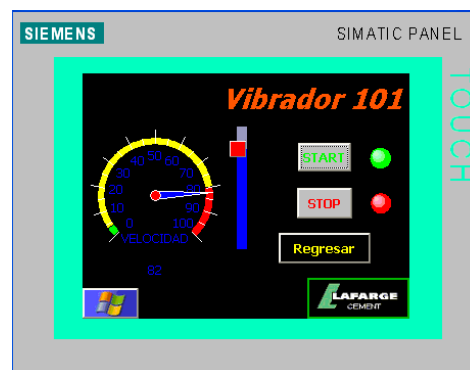


Figura 3.37 Pantalla de Operación Manual del Vibrador

3.2.4.3 Desarrollo del Menú de Calibraciones

En la pantalla de inicio como se puede observar en la Figura 3.34 hay un ícono que se le ha denominado como “Calibrar” al dar clic en este ícono se desplegará un menú de opciones de las diferentes acciones que están relacionadas como una calibración o ajuste. A continuación se las detalla.

3.2.4.3.1 Calibración Encoder

La calibración del encoder se refiere al ajuste de valores de posición que tiene el carro apilador a lo largo de todo el stock de caliza, es decir se pone

en movimiento radial el carro de la estructura del apilador y por medio de un sensor inductivo acoplado a la rueda del carro apilador se cuenta el número de veces que se activa el sensor inductivo y el programa lo guarda como referencia para saber la posición del carro, con esto sí se reduce el stock del apilador, o de lo contrario se lo amplía solo es necesario hacer una nueva calibración y no se necesita entrar al programa a cambiar los valores de las posiciones guardadas en el mismo, incluso si se coloca este programa en otro apilador de idénticas características tan solo con una calibración se puede acoplar el mismo programa a otra maquinaria. En la Figura 3.38 se muestra la pantalla de calibración.

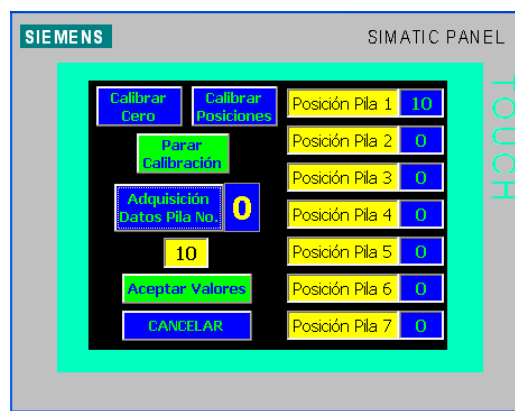


Figura 3.38 Pantalla de Calibración del Encoder del Carro Apilador

3.2.4.3.2 Calibración Báscula

La calibración de la báscula es otra opción que se la ha creado con la finalidad de que la báscula que se encuentra instalada en la primera cinta transportadora se le pueda realizar una calibración del cero por medio del operador, ya que por estar la indicación de esta báscula en lazo con el variador de velocidad del vibrador es importante que la medida del equipo sea fiable.

3.2.4.3.3 Calibración Pantalla Táctil

La calibración de la pantalla táctil es otra función que se ha integrado y que es propia del Panel Táctil de Siemens, consiste en entrar a una subrutina en la que el sistema le hace dar un pulso en diversos lugares del panel táctil al operador para ajustar la sensibilidad del mismo.

3.2.4.3.4 *Contraste*

El Contraste también es una subrutina del sistema del panel táctil en el que le permite ajustar el contraste del equipo, pero esta opción no está completamente creada por el sistema por lo que hay que crear una opción para que se ejecute fácilmente como se observa en la Figura 3.39.

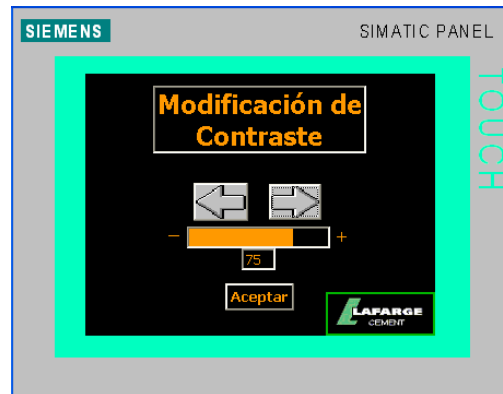


Figura 3.39 Pantalla de Ajuste del Contraste del Panel Táctil

3.2.4.4 **Desarrollo del Menú de Ajustes**

Finalmente el desarrollo del menú de ajustes se ha desarrollado para que el operador o un especialista pueda interactuar con el programa del PLC de una manera, rápida, segura y evitando de este modo realizar cambios en la lógica de programación o cargar programas no actualizados, problemas que se pueden dar si el especialista se conecta al PLC sin las seguridades necesarias. A continuación se explica el menú de ajustes.

3.2.4.4.1 *Parámetros de Receta*

Los parámetros de receta son los parámetros importantes del programa del PLC, por ejemplo, las posiciones del encoder del carro apilador, posiciones finales de carrera y otros que el programador defina como importantes, pero para modificarlas hay que conectarse con el computador y correr los riesgos asociados a una mala conexión, para evitar esto se ha desarrollado una pantalla en el que se indica los valores de los parámetros importantes para que el cambio se lo realice desde el HMI, pero estos cambios solo deben ser ajustados por un

especialista autorizado y no por el operador, por este motivo es necesario agregar un código para garantizar que solo sea una persona especialista la que realice el cambio.

3.2.4.4.2 Reinicio de Parámetros

El reinicio de parámetros se refiere a una opción que tiene el sistema desde el Touch Panel para que se reinicien todos los parámetros y el sistema empiece desde cero, es similar a cuando se va la energía del PLC y este arranca desde cero, esto se lo realiza para evitar que se trate de recurrir al reinicio del PLC para borrar alarmas que presenta el sistema o alguna secuencia defectuosa en el programa, de tal manera esta opción queda a disponibilidad del personal competente para ejecutarla. Esto no significa que el programa presente alguna falla sino que es una operación muy común y de mala práctica pensar que al reiniciar el PLC se va a corregir una falla en el sistema.

3.2.4.4.3 Acerca del Apilador

Finalmente para terminar el proyecto es importante indicar un poco de referencias del programa, por ejemplo, quien desarrollo el proyecto de modernización del apilador, la fecha de realización, que departamento fue el responsable de llevar a cabo el proyecto, dejar saber que ese fue un proyecto de titulación para lograr el título de ingeniería y porque no incluir un número de contacto de la persona que desarrollo el proyecto para alguna futura consulta o mejor aún para un futuro contrato.

3.2.5 ALMACENAMIENTO Y RESPALDO DEL PROYECTO

El Almacenamiento y Respaldo del Presente Proyecto es un factor muy importante para la empresa y para el programador, porque representa el respaldo del trabajo realizado, por tanto, no solo es importante tener el repuesto de una CPU, de un panel táctil o algún otro repuesto importante para la operación de los equipos, sino también es importante tener un adecuado respaldo del proyecto que pueda desplegarse desde cualquier computador en caso de necesitarlo.

En el caso de este proyecto que se realizó desde el Administrador Simatic el modo adecuado de realizar un respaldo del proyecto es el siguiente: En el administrador dar clic en File y escoger Archieve como se muestra en la Figura 3.40.

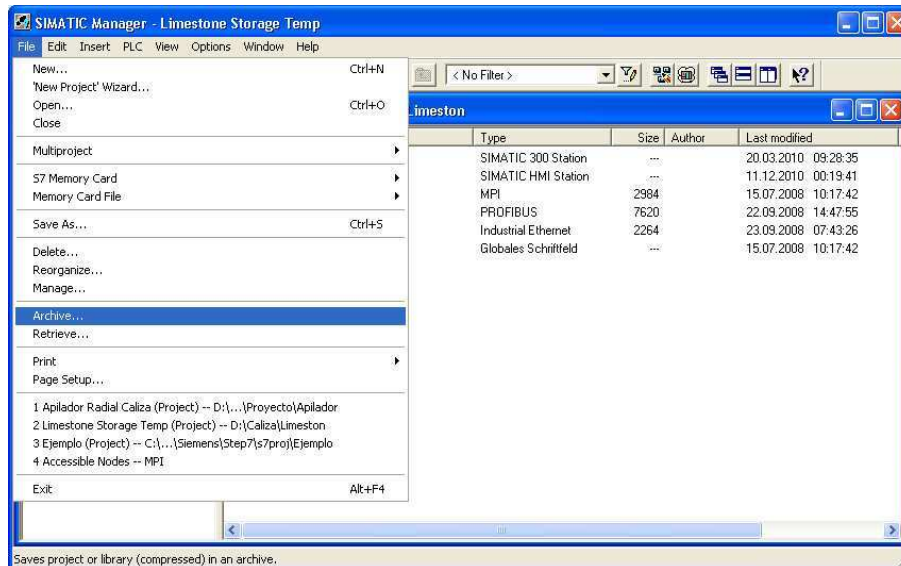


Figura 3.40 Selección de la Opción de Archivar

Luego se desplegará una ventana en el que se visualizará todos los proyectos realizados en el administrador Simatic como se indica en la Figura 3.41, se selecciona el archivo editado y luego se pulsa en OK. El proyecto se guardara en forma de un archivo comprimido en la ubicación que se especifique.

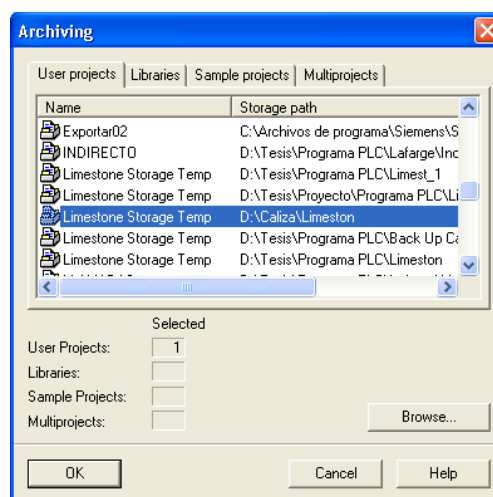


Figura 3.41 Archivando el Proyecto

Finalmente para abrir un proyecto respaldado en el Administrador Simatic se selecciona en File la opción Retrieve (Sección 4.1.5).

3.3 OTROS SOFTWARES UTILIZADOS

Adicional a los softwares utilizados por Siemens para la configuración y programación del sistema de control, también se tiene dos softwares importantes que se utilizaron para la parametrización de la instrumentación industrial instalada en el proyecto como es el caso de Easy Server de Schenck Process para básculas en cinta transportadora y el software Pact Ware de Vega para sensores de nivel.

3.3.1 EASY SERVER DE SCHENCK PROCESS PARA BÁSCULAS EN CINTA TRANSPORTADORA

Easy Server es un software diseñado por Schenck Process para un fácil manejo de sus electrónicas de pesaje de tipo Disocont o Intecont, este programa puede ser utilizado para la puesta en marcha, parametrización, calibración, diagnóstico y solución de problemas de sistemas de pesaje. En la Figura 3.42 se muestra la pantalla del software en mención.

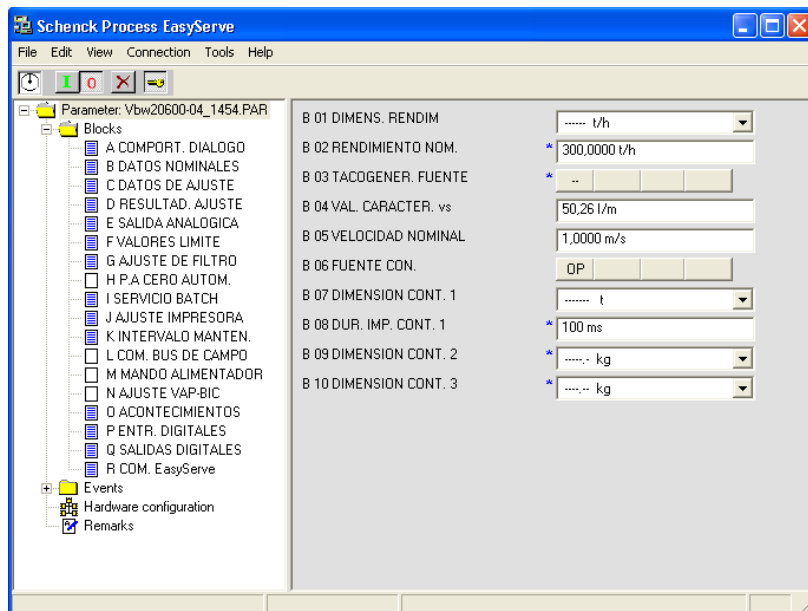








Figura 3.42 Software Easy Server de Schenck Process

En la figura se observa la estructura del Software Easy Server, en el que se puede ver al lado izquierdo en forma de explorador los bloques con los que

cuenta la electrónica en uso y a lado derecho los parámetros que conforman la configuración de cada bloque, adicional en la barra de herramientas se ven algunos íconos que se especifican a continuación:

-  Habilita o deshabilita la opción de control manual desde la PC.
-  Arranca la electrónica Schenck, ya sea para medición o para control dependiendo del tipo de electrónica en uso.
-  Detiene o para la electrónica Schenck.
-  Reconoce y borra los eventos.
-  Al estar esté ícono en forma de candado significa que no se puede realizar cambios sobre los parámetros del equipo, al darle clic cambiará de forma a una llave  que significa que se pueden editar los parámetros de los bloque de configuración.

La parametrización del equipo es sencilla e intuitiva, por el nombre de cada bloque se puede saber que parámetro se va a modificar a continuación se indica el detalle de cada bloque:

- Bloque A.- Comportamiento de diálogo, se refiere a las configuraciones del lenguaje, unidades de medida a utilizar y contraseñas.
- Bloque B.- Datos nominales, aquí se ingresa todos los valores nominales de la cinta transportadora, por ejemplo, flujo nominal velocidad, entre otros.
- Bloque C.- Datos de Ajuste, se refiere a los valores que se utilizan para calibración y ajuste de la báscula.
- Bloque D.- Resultado de Ajuste, aquí se encuentran todos los valores de ajuste en la calibración del equipo.
- Bloque E.- Salida Análoga, para configuración de las salidas de análogos de corriente de la electrónica Schenck.
- Bloque F.- Valores Límites, son condiciones de velocidad, carga o rendimiento a los que se les puede ajustar alarmas o avisos dependiendo las necesidades del usuario.
- Bloque G.- Ajuste de Filtro, se lo utiliza para filtrar o promediar los valores análogos que usa el sistema.

- Bloque H.- Puesta a Cero, este bloque se utiliza para habilitar una calibración automática del equipo.
- Bloque I.- Servicio Batch, función del sistema que permite contabilizar una cantidad de material que escoja el usuario, por ejemplo, se requiere que se llene una volqueta con solo 3 toneladas.
- Bloque J.- Ajuste de Impresora, parámetros que permiten configurar el uso externo de una impresora.
- Bloque K.- Intervalo de Mantenimiento, contabiliza el tiempo de trabajo del equipo y avisa cuando ya hayan transcurrido un número determinado de horas para realizar un mantenimiento.
- Bloque L.- Comunicación Bus de Campo, sirve para parametrizar el modo de comunicación con otro dispositivo, el mismo que requiere el uso de una tarjeta adicional para su activación
- Bloque M.- Mando Dosificador, parámetros que configuran al equipo cuando se tiene un dosificador para alimentación de la cinta en la que está instalada la medición de flujo.
- Bloque N.- Cinta Transportadora, al incluir un sensor adicional que cuente el tiempo de vuelta de cinta se puede ajustar parámetros de auto compensación del sistema para corregir pequeños errores de medición causados por el cambio de tensión en la cinta.
- Bloque O.- Acontecimientos, se configura parámetros de error a diversas fallas que se pueda generar en el sistema.
- Bloque P.- Entradas Digitales, configurar las entradas digitales del equipo.
- Bloque Q.- Salidas Digitales, configura las salidas digitales del equipo.
- Bloque R.- Comunicación Easy Server, aquí se configura los parámetros para realizar la comunicación del PC con la electrónica Schenck.

3.3.2 PACT WARE DE VEGA PARA SENSORES DE NIVEL

Pact Ware es un software diseñado por Vega para el manejo y parametrización de sus sensores de medición continua que para este proyecto se utilizó para parametrizar el sensor de nivel tipo radar. Además debido a las

características de este sensor es posible realizar seguimiento sobre el mismo ya que posee una memoria interna que permite realizar el muestreo de valores desde 3 segundos hasta 12 horas y lo graba en su memoria interna, misma que al estar llena puede reescribirse o dependiendo como se la haya configurado puede detener el muestreo de valores. En la Figura 3.43 que se presenta a continuación se visualiza la pantalla del software mencionado.

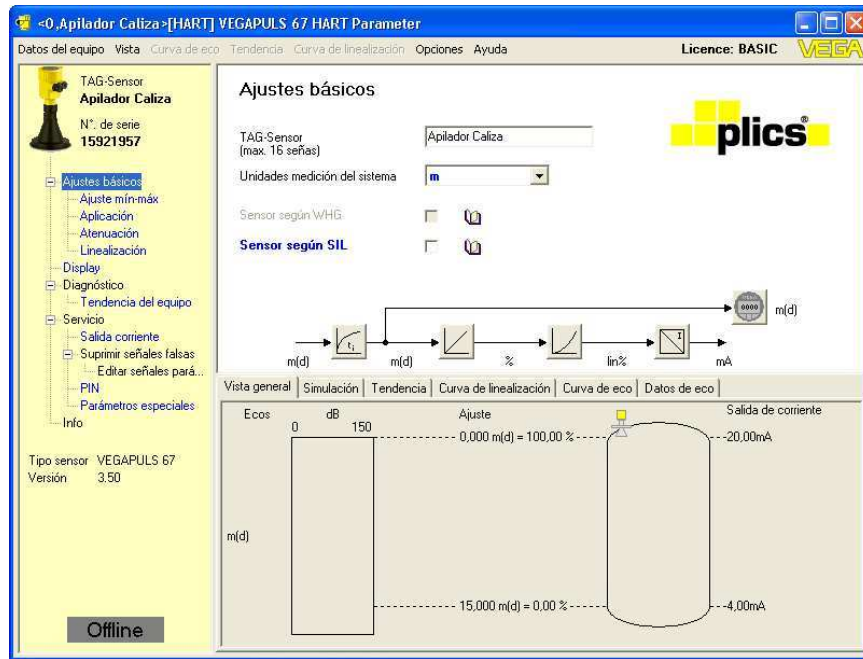


Figura 3.43 Software Pact Ware de Vega

Al igual que en el software anterior de Schenck Process también se encuentra que en el Pact Ware de Vega cuenta con un explorador a lado izquierdo de la pantalla, misma que permite navegar por las diferentes pantallas de parametrización del equipo, como se indica en la Figura 3.43, adicional en la parte inferior de la pantalla se tiene una serie de pantallas que permiten ver tendencias, curvas de linealización, curvas de eco, datos de eco e incluso permite realizar simulaciones.

Dentro del menú del explorador se tiene cinco opciones importantes las mismas que se explican a continuación:

- Ajustes Básicos.- En el cual se puede ajustar valores mínimos y máximos de medición, se le puede indicar la apilación del sensor como se observa en la Figura 3.44, se puede indicar la atenuación del equipo y finalmente se

puede realizar la linealización de la medición dependiendo la forma del depósito de material que se va a medir.

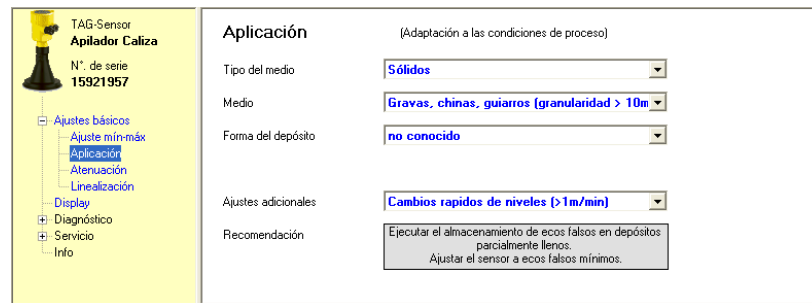


Figura 3.44 Aplicación del Sensor de Nivel

- Display.- Sí se ha escogido un sensor de nivel con un panel de visualización aquí se puede configurar el módulo de visualización como se ve en la Figura 3.45.

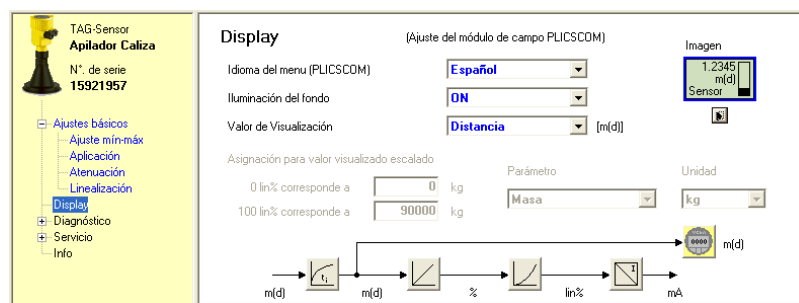


Figura 3.45 Aplicación del Sensor de Nivel

- Diagnóstico.- En esta pantalla se muestra los valores actuales de distancia que se tiene en el equipo en línea y también se puede configurar el muestreo del sensor (Figura 3.46) para que grabe una tendencia de las medidas realizadas.

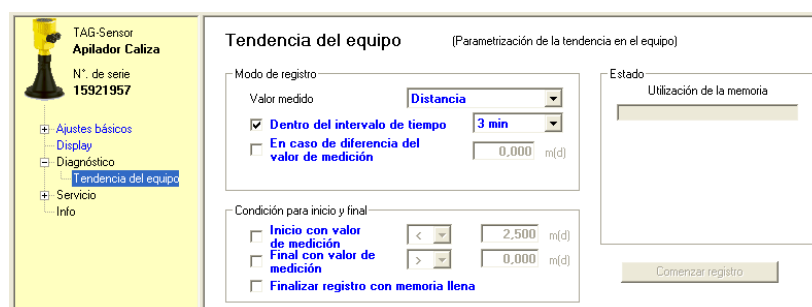


Figura 3.46 Configuración de Tendencia del Sensor de Nivel

- Servicio.- En la ventana de servicio se puede configurar la salida de corriente (Figura 3.47), suprimir señales falsas o editar señales parásitas y finalmente se tiene la opción de parámetros especiales del sistema como por ejemplo velocidades de la onda, filtros de valores de curvas, etc.

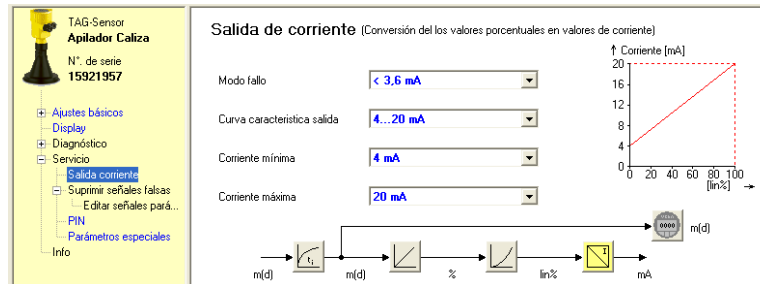


Figura 3.47 Configuración de Corriente del sensor de Nivel

- Información.- Finalmente esta pantalla despliega la información más relevante del sensor de nivel radar como se muestra en la Figura 3.48.

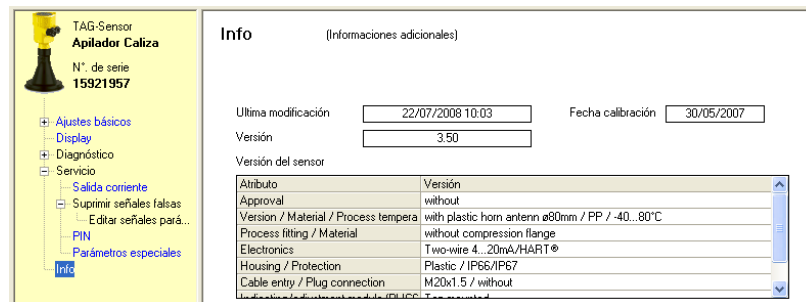


Figura 3.48 Información General del Sensor de Nivel tipo Radar

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez adquiridos los equipos a utilizarse para la Automatización del Apilador Radial de Caliza de “Lafarge Cementos Ecuador” es necesario familiarizarse con los mismos y realizar todas las pruebas necesarias en laboratorio para conocer más a detalle el uso de los instrumentos y para verificar los resultados esperados, por ello la primera parte de este capítulo se enfocará a las pruebas de funcionamiento de la configuración del PLC y HMI antes de realizar el montaje en el tablero.

Después de la familiarización con los equipos y tener lista la programación para el sistema de automatización se avanza en este capítulo con las pruebas reales en campo, verificando que toda la periferia del PLC reaccione de la manera diseñada, adicional el hacer pruebas desde el HMI para arranque de los motores de manera manual garantizará que la comunicación este activa entre la CPU y el Panel Táctil. A continuación se realizarán las pruebas de secuencia de arranque y paro bajo condiciones normales de operación y también se comprobará cómo reaccionan los equipos cuando se activan las condiciones de protección de la maquinaria o en situaciones de emergencia. Finalmente se termina este capítulo revisando la instalación de los equipos de instrumentación utilizados como es la báscula para cinta transportadora y el sensor de nivel tipo radar.

4.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA CONFIGURACIÓN DEL PLC Y EL HMI

Las pruebas de funcionamiento de la configuración del PLC y el HMI se enfocarán a realizar las ensayos con los equipos en laboratorio verificando que se

tenga comunicación y mando desde la PC hacia los equipos, monitorear las variables en línea e interpretar los valores análogos que maneja el PLC junto con las variables de comunicación entre CPU y HMI, adicional se probará el uso de un respaldo del proyecto para garantizar que se lo esté almacenando de la manera adecuada.

4.1.1 HARDWARE DEL PLC

Las pruebas de configuración del hardware se las realizan con la finalidad de conocer el manejo del PLC, tanto desde el punto de vista del estado de la CPU como para saber interpretar el valor de variables de la periferia del PLC.

4.1.1.1 Estado de la CPU

Los PLCs de la serie Simatic 300 y 400 son es capaces de generar un buffer de diagnóstico del estado de la CPU, misma que guarda hasta los 3000 últimos eventos o avisos que han ocurrido en el PLC como se observa a continuación en la Figura 4.1.

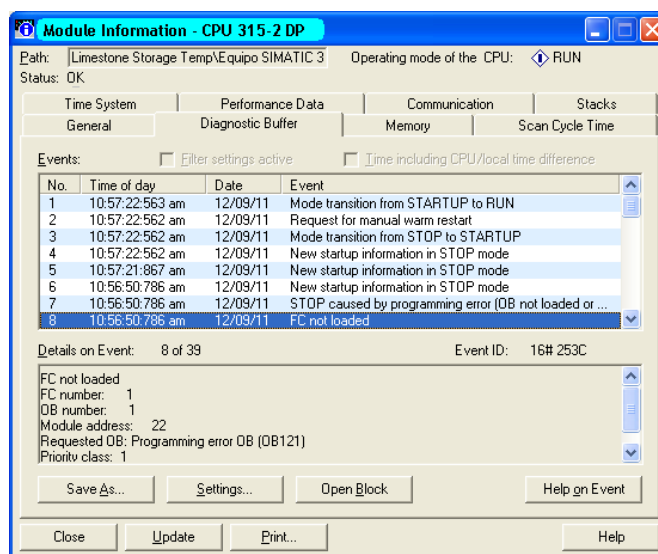


Figura 4.1 Pantalla de Buffer Diagnóstico de la CPU

Por lo tanto si ha pasado algún evento en el PLC, en el buffer de diagnóstico de la CPU se guardará el detalle del mismo como se observa en la Figura 4.1, donde el evento número 8 genera una falla en la CPU (FC not loaded) por un bloque de función no cargado, este pregunta al OB121 (Bloque de falla de lógica) y como para este caso no está cargado, en el próximo evento (número 7) la CPU pasa automáticamente a STOP. Se corrige el problema del bloque de función no cargado y como se puede ver el en evento número 1 de la figura en mención la CPU pasa a RUN y se mantiene.

Para poder visualizar esta pantalla de diagnóstico se debe abrir el configurador de hardware y se pone en línea con el hardware, después se da clic derecho sobre la CPU 315 – 2DP y se selecciona la opción de Información del Módulo (Figura 4.2), sobre la cual se busca la pestaña de Diagnostic Buffer (Ctrl + D).

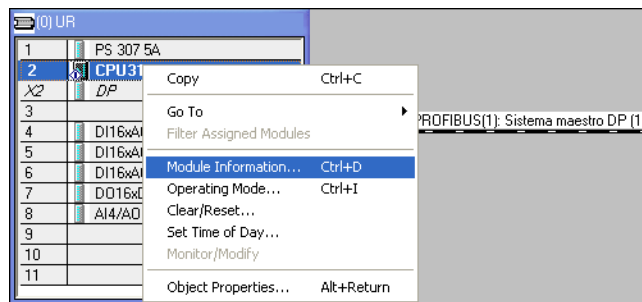


Figura 4.2 Opción de Abrir la Información del Módulo

4.1.1.2 Variables de la periferia del PLC

La Familiarización con la periferia del PLC y saber cómo interpretar los valores digitales o análogos es fundamental para el uso de los mismos porque como se sabe para un valor digital se tiene un estado de verdadero o falso, mientras que para un valor análogo se tiene un valor hexadecimal que varía dependiendo el tipo de entrada ya sea de 0 a 20mA para corriente o de 0 a 10 V para voltaje. Para visualizar el valor del estado de las entradas o salidas se abre el configurador de hardware, y se pone sobre el módulo que se desee monitorear y dando clic derecho se selecciona Monitor/Modify, se abrirá la pantalla que se indica en la Figura 4.3, en la cual se dará clic en Modify y se visualiza el estado del módulo indicado, de igual manera si se necesita modificar los valores,

escribiendo el valor de verdadero o falso en la columna Modify Value, se procede a dar clic en la opción de Modify y se realizarán los cambios especificados y si se necesita hacerlo para un módulo análogo se escribe la palabra en hexadecimal.

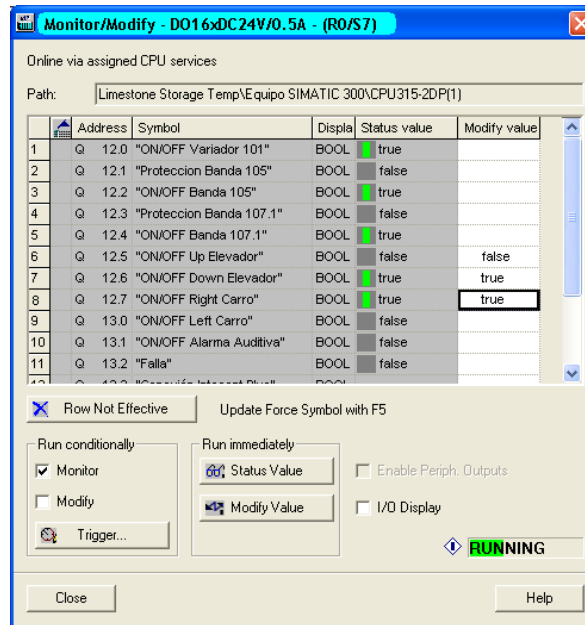


Figura 4.3 Visualización o Modificación de Valores Digitales

4.1.2 PROGRAMA LADDER

Una vez relacionados con el hardware es importante hacer pruebas desde software de programación de la lógica ladder para el manejo de los módulos del PLC, tanto para los valores digitales como para los valores análogos, en el caso de las variables discretas se configura el arreglo que se necesite en lógica de contactos y se procede a llamarlas, para el caso de entradas digitales se utiliza la letra "I" seguido por la dirección que muestre el configurador de hardware como por ejemplo "I 5.0", mientras que para el caso de las salidas se utiliza la letra "Q" seguido del número de dirección por ejemplo "Q 13.0" como se muestra en la Figura 4.3 en la columna "Address", estos nombres se los visualiza si se trabaja sin la representación simbólica del editor de símbolos como se observa en la Figura 4.4.

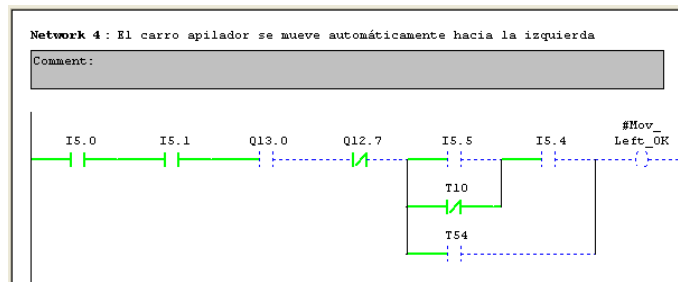


Figura 4.4 Visualización Lógica Ladder sin Representación Simbólica

Donde el trabajar sin la representación simbólica dificulta el entendimiento de la lógica ladder, por tal motivo es importante editar los símbolos de las variables a utilizar y el programa se podrá visualizar como se observa en la siguiente Figura 4.5.

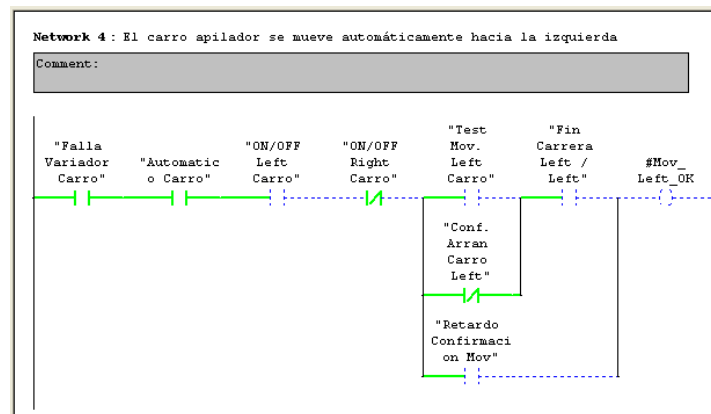


Figura 4.5 Visualización Lógica Ladder con Representación Simbólica

Para el caso de los valores análogos con la ayuda de un generador de señales de mili amperios se identifica la variación de la señal y se concluye que en 0 mA la indicación es 0 mientras que para 20 mA es #6C00 en valor hexadecimal o su equivalente en decimal 27648, donde se define que cada variación análoga corresponde al valor de 128 en decimal, por lo tanto, si se desea escalar esta señal se la divide para 128 como se observa en la Figura 4.6. De igual manera con un generador de voltaje se procede a verificar la entrada de 0 a 10 V comprobando que el comportamiento es similar, es decir, que el valor de 0 V corresponde a 0 mientras que 10 V a 27648 en decimal. Finalmente por medio de un multímetro se mide la salida análoga de módulo del PLC variando desde el programa el valor decimal y se concluye que el máximo valor ya sea para

corriente 20 mA o para voltaje 10 voltios corresponden al valor mismo valor de entrada análogas, es decir, 27648.

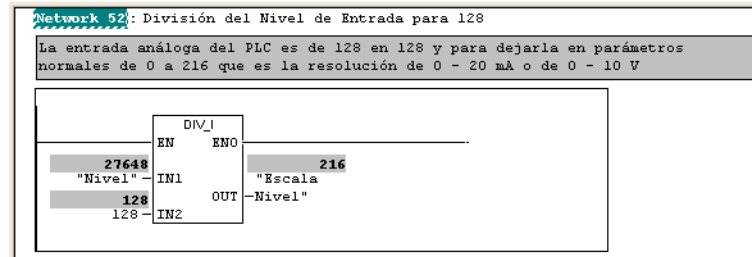


Figura 4.6 Visualización Lógica Ladder para Escalamiento de una Entrada Análoga

De igual manera que en el configurador de hardware si se necesita visualizar en línea la lógica ladder del programa de la CPU se da clic en Online y luego se da clic en el ícono en forma de anteojos que se encuentra en la barra de herramientas para que se permita monitorear el programa.

4.1.3 PROGRAMA HMI

El programa del HMI es el paso siguiente a realizar después de la familiarización con el manejo del PLC, para ello se debe aprender a navegar entre pantallas y configurar botones. Para crear pantallas se ubica sobre la jerarquía del proyecto en WinCC Flexible y se despliega la ventana: Screens (Figura 4.7), donde el primer elemento es la opción "Add Screen" que permite añadir una nueva pantalla al proyecto, está se ubicará en la misma jerarquía desplegada (Screen_1) y se identificará con un número de objeto al que se puede hacer referencia si se necesita llamarlo.

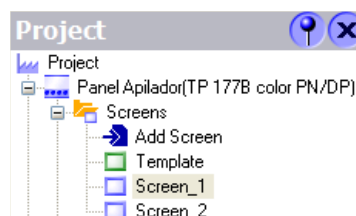


Figura 4.7 Opción "Add Screen" Para Crear Nuevas Pantallas

La creación de botones se la realiza desde la ventana de Tools desplegando la pestaña “Simple Objects”, se da doble clic sobre “Button” y aparecerá una ventana como la que se observa en la Figura 4.8 sobre la cual se configura las opciones del botón, por ejemplo, para abrir otra pantalla, entonces en la jerarquía de las propiedades del Botón se busca la opción de “Events” se selecciona “Click” y en la primera opción se lo configura como “ActivateScreen” en el cual se especifica el nombre y número de la pantalla al que se necesite cambiar como se observa en la figura a continuación.

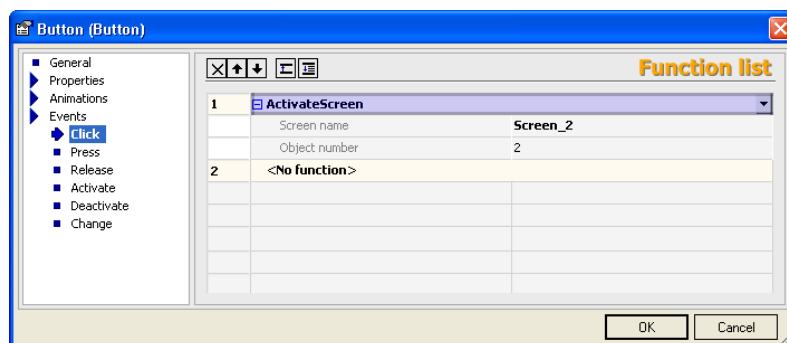


Figura 4.8 Configuración Botón

De esta manera es como se configura el primer botón de la pantalla principal del Panel Táctil que se observa en la Figura 4.9.



Figura 4.9 Botón de Acceso al Menú Operación

Este botón desplegará la pantalla del menú de operación que se observa en la Figura 4.10 en la cual se puede seleccionar el tipo de operación por medio de los botones “AUTOMÁTICO” o “MANUAL” o, si se desea regresar a la pantalla anterior se escoge la opción “CANCELAR”.

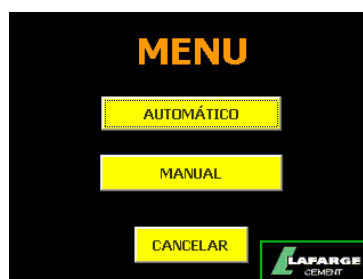


Figura 4.10 Pantalla de Menú de Operación

4.1.4 MANEJO DE VARIABLES ENTRE EL PLC Y EL HMI

Finalmente el manejo de variables entre el PLC y el HMI es fundamental para poder relacionar ambos instrumentos en un mismo lenguaje, por ejemplo, si se necesita manipular la velocidad del vibrador de caliza de 0 a 100% desde el HMI por medio del variador de frecuencia, entonces desde el software de WinCC Flexible, en la pestaña de Tools se da doble clic en "IO Field" que desplegará la ventana de la Figura 4.11, la cual se configura de la siguiente manera: En el tipo de variable seleccionar Input/output, este le dará la característica a la variable para que pueda ser escrita o leída desde el HMI, luego en Process escoger como Tag la variable que se haya definido previamente en el bloque de datos del PLC (Analogas Touch.Velocidad_Variador – DB10.DBW0) y finalmente indicar el formato de la variable como se muestra en la figura.

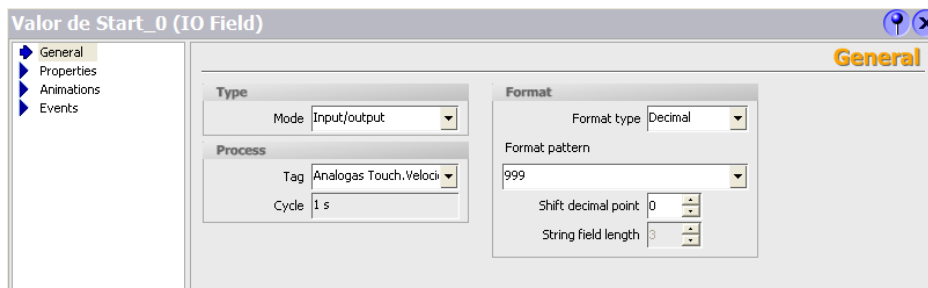


Figura 4.11 Manejo de Variables desde el HMI hacia el PLC

Posteriormente desde el lenguaje de programación Ladder realizar el tratamiento de la misma variable como se muestra en el Network 13 de la Figura 4.12 donde se observa que el DB10_DBW0 es enviado a una variable temporal llamada #Velocidad_Variador la cual en el Network 14 es multiplicado por 276 y asignada a la salida análoga PQW320, lo que significa que cuando se seleccione 100%, este valor será multiplicado por 276 dando un resultado de 27600 que corresponde al máximo valor de la señal análoga, es decir, 10 V para el caso que se utilice una salida de voltaje o que puede ser de 20 mA si se escoge una señal análoga de corriente. Finalmente desde el HMI se debe restringir la escala del Tag o Etiqueta para que solo se pueda ingresar un valor de 0 a 100, de esta manera se evita que al PLC llegue un valor no parametrizado y genere una acción no prevista.

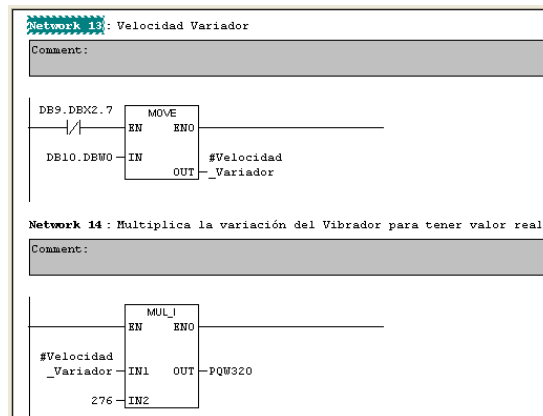


Figura 4.12 Manejo de Variables en el PLC provenientes del HMI

4.1.5 USO DE RESPALDOS DEL PROYECTO

Como complemento de la sección 3.2.5, el uso del respaldo del proyecto garantizará que este se encuentre correctamente almacenado, de tal manera que puede abrirse el proyecto desde cualquier computador que tenga los softwares de Simatic necesarios y se lo puede editar como si se estuviese trabajando directamente desde la PC que realizó toda la configuración y programación del sistema de control. Entonces, abriendo el Administrador Simatic se procede a desplegar el menú de File y se selecciona Retrieve, a continuación se busca el archivo almacenado del proyecto y se lo abre, aparecerá otra ventana en la que se escoge un lugar en el disco donde se va a guardar el proyecto y dando clic en OK se desplegará una pantalla en CMD como se observa en la Figura 4.13, la misma que se cerrará cuando termine de guardar todo el proyecto.

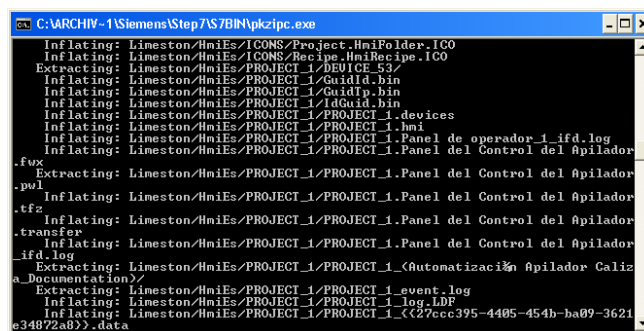


Figura 4.13 Retrieve y Almacenamiento de un Proyecto del Administrador Simatic

4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PLC Y EL HMI EN EL LUGAR DE OPERACIÓN

Las pruebas de funcionamiento del PLC y el HMI en el lugar de operación se las realiza después de tener lista la programación de ambos instrumentos y armado del tablero de control, con estos requisitos se procede con el montaje del sistema de automatización, que implica el cambio del tablero de control y conexionado eléctrico.

4.2.1 ARMADO Y CONEXIONADO TABLERO DE CONTROL

El armado y conexionado del tablero de control es el paso siguiente después de tener lista la programación del PLC y HMI o al menos después de familiarizarse con los sistemas de automatización. Una vez diseñado y distribuidos los elementos eléctricos en el tablero de control se procede con el armado del mismo, para este caso como se tiene un tablero doble fondo se puede desmontar la lámina y proceder con los trabajos fuera del tablero como se muestra en la Figura 4.14.



Figura 4.14 Lamina Removible del Tablero Doble Fondo

Por tanto en base al esquema indicado en el capítulo 2 en la sección 2.6.1 se procede al montaje y conexionado de los elementos del tablero, para ello con ayuda de los planos eléctricos se realiza todas las conexiones eléctricas que intervienen en el tablero. (Figura 4.15)

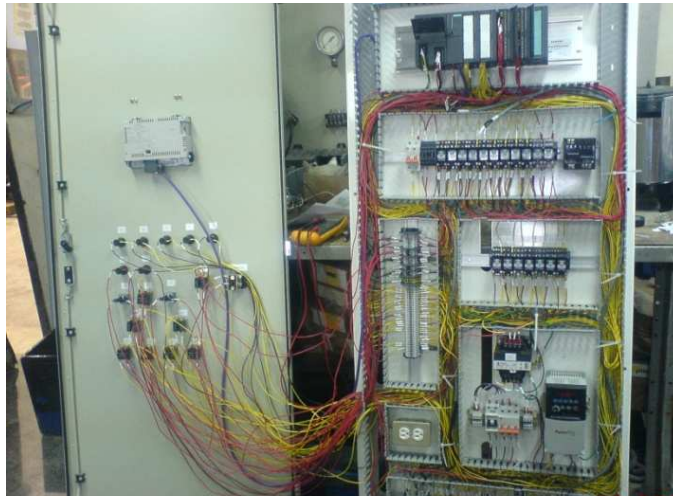


Figura 4.15 Conexionado Interno del Tablero de Control en el Taller

Una vez listo el conexionado interno del tablero y coordinada la puesta en marcha del nuevo sistema de control se procede a montar la lámina doble fondo y la puerta en el tablero y se realiza el montaje del mismo en el lugar de operación para que al final quede el armado como se indica en la Figura 4.16, toda esta operación con su respectivo bloqueo eléctrico.

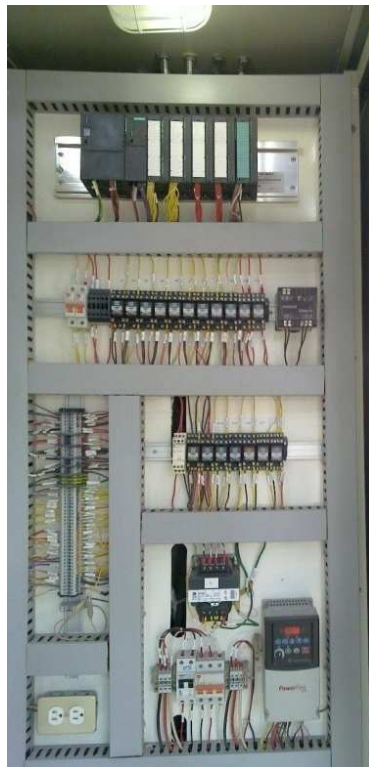


Figura 4.16 Conexionado Interno del Tablero de Control en Campo

Finalmente la presencia externa del tablero queda como se muestra en la Figura 4.17 donde se indica la protección para el Touch Panel y las botoneras externas del tablero de control que sirven también como visualización del estado de cada uno de los equipos, donde los focos amarillos de la fila superior indican la disponibilidad de cada equipo, es decir, si a alguno de los equipos le falta alguna condición para el arranque el foco se apaga.



Figura 4.17 Tablero de Control en Campo

4.2.2 VERIFICACIÓN DE LA PERIFERIA DEL PLC

La verificación de la periferia del PLC se la realiza después de terminadas las conexiones eléctricas, por tanto, antes de energizar los equipos es importante probar con un multímetro el funcionamiento de la instrumentación y verificar que ninguno de los esquemas eléctricos presente cortocircuitos, después se restablece la red eléctrica verificando el funcionamiento de los circuitos de control, para ello, primeramente hay que revisar el tablero de control verificando la disponibilidad de cada uno de los equipos, tal como se muestra en la Figura 4.18, caso contrario se debe revisar el circuito hasta encontrar la falla, finalmente se procede con la verificación de la periferia del PLC, enfocándonos en el estado de las entradas digitales y verificando que se comporten de la manera diseñada.



Figura 4.18 Tablero de Control en Campo

Luego se revisa la periferia con respecto a las entradas digitales del PLC donde se comprueba el estado de las mismas por medio de los leds que se ubican al lado derecho de cada uno de los módulos (Figura 4.19), entonces, por medio de la manipulación de cada uno de los sensores se verifica que la indicación del led cambie de estado, de igual manera se procede a probar las botoneras, selectores y con mayor prioridad el paro de emergencia para saber que antes de las pruebas de arranque se cuenta con el paro de emergencia habilitado para cualquier condición de contingencia que se genere en el sistema de control.



Figura 4.19 Módulos de entradas digitales del PLC

Después de verificar la periferia del PLC con respecto a las entradas digitales se continua las pruebas de funcionamiento de las salidas digitales, para comprobar que el PLC tenga control sobre cada uno de los equipos, para ello se usa el Panel Táctil como se muestra en el ítem a continuación.

4.2.3 FUNCIONAMIENTO DEL HMI EN MODO MANUAL

El funcionamiento del HMI en modo manual debe permitir la operación de cada uno de los equipos de manera manual, sin verificar las condiciones de secuencia del proceso. Por ello este modo de funcionamiento sirve para verificar

la periferia del PLC con respecto a sus salidas digitales, entonces, por medio de un menú de operación manual creada en el Panel Táctil como se indica en la Figura 4.20 se puede acceder a cada uno de los equipos de manera independiente.



Figura 4.20 Menú de Operación Manual

Previamente para tener acceso a la operación manual de los equipos se debe posicionar el selector de la Figura 4.18 en modo manual, y luego desde el menú que se muestra en la imagen anterior se escoge el equipo que se desee operar, por ejemplo, el Carro Apilador cuya pantalla se muestra en la Figura 4.21 en la cual se puede marchar el equipo en cualquier dirección, detener el motor y adicional se puede setear la velocidad del variador de frecuencia a la que se desea que opere el equipo por medio de la barra de deslizamiento ubicada a lado derecho de la indicación de velocidad.



Figura 4.21 Operación Manual Carro Apilador

De igual manera se puede realizar la marcha con las bandas sin necesidad de apagar el carro apilador pulsando regresar se puede acceder a las bandas y marcharlas. El estado de las salidas digitales se puede observar desde el módulo de salidas del PLC, el cual al lado izquierdo presenta por medio de un led el estado de las mismas como se muestra en la Figura 4.22.



Figura 4.22 Módulo de Salidas Digitales del PLC

Como se observa el selector se encuentra en modo manual porque se tiene activada la señal digital y adicional se ve la marcha de los equipos antes mencionados en el módulo de salidas digitales por medio del led que se encuentra a lado derecho de cada módulo.

4.3 PRUEBAS DE SECUENCIAS DE ARRANQUE

Las pruebas de arranque se las realiza una vez probados todos los circuitos de control y comprobado la operación manual del HMI para arranque de cada uno de los equipos. En el sistema actual se tiene dos secuencias principales, la primera es para el transporte de caliza y la segunda es para el posicionamiento del apilador como se indica a continuación.

4.3.1 TRANSPORTE DE CALIZA

El transporte de caliza se encuentra conformado por tres equipos, dos bandas transportadoras y un vibrador que alimenta caliza al sistema, cada uno tiene condiciones para su arranque y señales de confirmación para verificar su marcha.

4.3.1.1 Condiciones de Arranque

Para poder marchar los equipos en secuencia es preciso verificar que todos los equipos cumplan con todas las condiciones de arranque caso contrario

el sistema no va a arrancar su secuencia, la manera más fácil de saber que los equipos se encuentran listos para un arranque en secuencia es por medio de la indicación de los focos amarillos que se encuentran en la puerta del tablero de control como se muestra en la Figura 4.24, que corresponde al vibrador, a la banda 105 y 107. Por tanto enumerando las condiciones de arranque para el sistema de transporte se tiene:

- Vibrador.- Variador de velocidad disponible y el selector en remoto.
- Banda 105 y 107.- Sin falla de sobrecarga, Switch de alineamiento ok, el hand switch bien posicionado, selector en remoto y adicional para la banda 107 Switch de Nivel no activado.
- Adicional para todos que no esté activado el paro de emergencia y que el selector general del sistema se encuentre en modo automático.

Todas las señales previamente mencionadas se las puede visualizar en el Figura 4.23 que representa el primer módulo de señales digitales del PLC y que posee todas las señales del sistema de transporte.



Figura 4.23 Módulo Digital del Sistema de Transporte

Si se cumplen con todos los requisitos mencionados se puede dar marcha al sistema desde la botonera de Inicio ubicada en el tablero de control (Figura 4.24) y en modo de secuencia se procederá a marchar los equipos, empezando por la

alarma preventiva como se observa en la figura a continuación y luego marchará la banda 107, después de un tiempo la banda 105 y finalmente marchará el vibrador de caliza, culminando el arranque secuencial del sistema de transporte.



Figura 4.24 Inicio de Secuencia de Arranque

4.3.1.2 Señales de Confirmación

Una vez dada la confirmación de arranque secuencial del sistema el PLC dará un tiempo muy corto para recibir la señal de confirmación eléctrica de que el contactor de fuerza de cada uno de los motores haya cerrado, adicional para las bandas transportadoras se espera un tiempo de confirmación de proceso para saber que la banda esta en movimiento y esto se lo hace por medio del Speed Switch que se encuentra ubicada al lado opuesto de la banda transportadora, de esta manera cuando todo el sistema se encuentra en funcionamiento todos los leds del módulo de entradas de la Figura 4.23 se encontraran encendidos.

4.3.2 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO APILADOR

El sistema de posicionamiento del apilador cuenta con dos tipos de movimiento, el primero es vertical que sube o baja la pluma del apilador y el segundo es radial que mueve la estructura de la pluma sobre todo el stock de caliza. Al igual que el sistema de transporte cada uno de los motores cuenta con condiciones para su arranque y señales de confirmación para verificar su marcha y además el sistema de posicionamiento tiene dos tipos de secuencias que se detallaran más adelante.

4.3.2.1 Condiciones de Arranque

Para poder marchar el sistema de posicionamiento en secuencia es necesario cumplir con todas las condiciones de arranque, y la manera más fácil de saber que los equipos se encuentran listos para un arranque en secuencia es por medio de la indicación de los focos amarillos de disponibilidad que se muestra en la Figura 4.24, que corresponden al elevador y al carro, estas condiciones de arranque corresponden a la falla de sobrecarga de los motores y que el selector del equipo que se encuentra en el tablero de control este seleccionado hacia automático como se muestra a continuación en la Figura 4.25.



Figura 4.25 Selectores Sistema de Posicionamiento

Adicional se necesita que no se encuentre activado el paro de emergencia y que el selector general del sistema se encuentre en modo automático. Todas las señales previamente mencionadas se las puede visualizar en el Figura 4.26 que representa el segundo módulo de señales digitales del PLC y que posee todas las señales del sistema de posicionamiento.

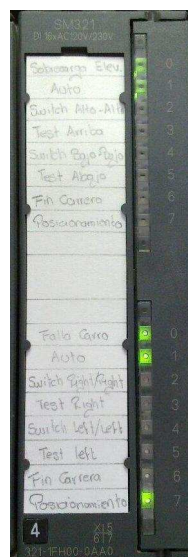


Figura 4.26 Digital del Sistema de Posicionamiento

4.3.2.2 Señales de Confirmación

Las señales de confirmación son eléctricas y de proceso, la primera pertenece a la confirmación de que el contactor de fuerza de cada uno de los motores haya cerrado en la dirección indicada, ya que estos motores tienen doble sentido de giro y la segunda pertenece a la confirmación del encoder de posición, el mismo que cambia de estado cuando el elevador o el carro se encuentra en movimiento. Para el caso del elevador el encoder se encuentra acoplado a la polea del motor como se muestra en la Figura 4.27.



Figura 4.27 Encoder de posicionamiento Vertical

Mientras que para el caso del carro el encoder se encuentra acoplado a la llanta que realiza el movimiento radial como se muestra en la Figura 4.28. Ambos sensores inductivos además de dar la confirmación de movimiento al cambiar de estado también permite realizar el conteo para saber la posición real del apilador en el stock de caliza.



Figura 4.28 Encoder de posicionamiento Radial

4.3.2.3 Operación en Modo Automático de Solo Apilado

La operación en Modo Automático de Solo Apilado consiste en elevar la pluma hasta el fin de carrera alto del elevador que se indica en la Figura 4.29, para ello se ha escalado el encoder de posición de elevación de la pluma de 0 a 72, donde 0 es la indicación de la pluma en el lugar más cercano al piso y 72 es la posición más elevada del apilador.



Figura 4.29 Fin de Carrera Alto del Elevador

Al llegar la pluma a la posición más alta detiene el elevador y arranca el variador del carro apilador que mueve al sistema hacia la derecha hasta llegar al fin de carrera de arriba que se observa en la Figura 4.30, donde el switch que se encuentra arriba es el primer fin de carrera de prevención, este se lo utiliza para la lógica del PLC, mientras el switch de abajo es el fin de carrera de protección que abre físicamente el circuito de control del carro y alarma el sistema.



Figura 4.30 Fin de Carrera Derecho del Carro Apilador

Una vez que el sistema llega al primer fin de carrera (inicio del stock de caliza) detiene el carro y cambia de sentido de giro al motor para mover al apilador hacia la izquierda, en este instante empieza la adquisición de datos de cada uno de los

niveles de las pilas y a la vez se encera el contador de posición radial del encoder del carro, mismo que se encuentra escalado de 0 a 260, valor que puede variar en caso que se requiera aumentar o disminuir el rango de apilado del sistema. La adquisición de datos termina cuando el sistema llega al fin de carrera que se encuentra al otro lado del stock de caliza donde se detiene y nuevamente cambia su sentido de giro pero esta vez para posicionarse en la pila que tenga menor nivel de llenado donde se detiene el carro y empieza a descender la pluma hasta llegar a un nivel aceptable con la finalidad de realizar un apilado más cercano. Una vez que aumenta el nivel de la pila con respecto a la segunda pila mas vacía se eleva la pluma y cuando llega a su posición alta mueve el carro del apilador a la segunda pila con menor llenado, donde se detiene y baja nuevamente la pluma, esta operación se realiza una y otra vez durante todo el día, en caso de que el operador desee indicarle la posición a la pluma lo puede hacer desde el Panel Táctil seleccionando la pila y aplastando el botón de cambiar como se muestra en la Figura 4.31. Adicional la pluma tiene una protección de descenso a criterio del operador como se muestra en la figura con el valor de 65, es decir, que no va a descender menos de 65 para continuar con el apilado.

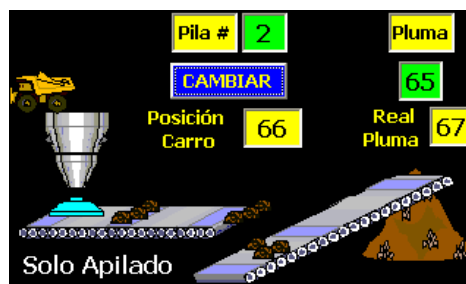


Figura 4.31 Pantalla de Operación en Modo Automático de Solo Apilado

Todo este proceso se lo realiza con la operación normal de la secuencia del sistema de transporte de caliza ya que por factores de producción no se puede detener la descarga de caliza al stock.

4.3.2.4 Operación en Modo Automático de Apilado y Homogenizado

La operación en Modo Automático de Apilado y Homogenizado consiste en realizar un movimiento radial continuo entre dos límites que seleccione el operador, como se observa en la Figura 4.32, donde se tiene dos posiciones de

135 a 145, entonces el elevador se mantendrá en una solo posición de encoder mientras que el carro se moverá continuamente entre las posiciones de encoder señaladas cambiando de giro cada vez que llegue a su límite indicado, este proceso también permite realizar la operación de solo apilado, para ello hay que setear el mismo valor de posición en ambos límites y el apilador se ubicara en el valor indicado y se quedará detenido sin ningún movimiento del apilador.

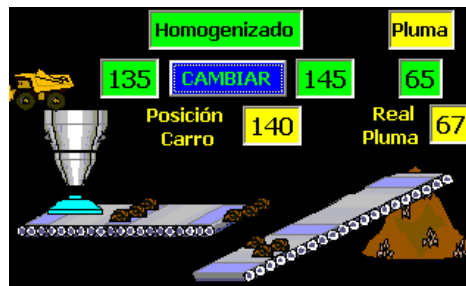


Figura 4.32 Pantalla de Operación en Modo Automático de Apilado y Homogenizado

De igual manera que en la operación de solo apilado el sistema de transporte de caliza continua su operación de manera secuencial.

4.4 PRUEBAS DE SECUENCIAS DE PARO

Las pruebas de secuencias de paro se dividen en tres tipos, la primera es un paro normal en secuencia sin ninguna alarma, la segunda es un paro por la activación de alguna protección del equipo y finalmente la tercera es un paro de emergencia.

4.4.1 SECUENCIA DE PARO EN CONDICIONES NORMALES

La secuencia de paro se da con normalidad cuando se presiona el Stop ubicado en el tablero principal de control, el paro se realiza en orden inverso al arranque, es decir, si se trata del sistema de transporte de caliza primero se detiene el vibrador, después se vacía todo el material de la primera banda transportadora y se detiene la cinta, finalmente se vacía todo el material de la banda inclinada y se detiene, mientras para el caso de sistema de

posicionamiento ambos motores de detienen al mismo tiempo que el vibrador, es decir, apenas se pulse el Stop en el tablero principal.

4.4.2 SECUENCIA DE PARO EN CONDICIONES DE PROTECCIÓN

En cuanto a los paros de secuencia por condiciones de protección del equipo hay de dos tipos, el primero es vía software que detiene la secuencia por medio del programa del PLC y el segundo es vía hardware que aparte de realizar el paro por el PLC abre físicamente el circuito de control obligando a desenergizar al contactor trifásico que alimenta al motor.

4.4.2.1 Paro de Secuencia vía Software por Activación de Protecciones

El paro de secuencia vía software se refiere a la acción que toma el PLC para detener la secuencia y activar una alarma cuando se ha detectado el cambio de una de sus entradas digitales por alguna condición de protección. Para restablecer el sistema hay que revisar la falla del equipo, corregirla y reconocer la alarma presenta por medio del botón de reset que se encuentra en el tablero principal. Para el caso de las cintas transportadoras se tiene el Switch de Velocidad que cierra un contacto solo cuando la banda esta en movimiento, el Switch de Alineamiento que se activa solo cuando la banda esta desalineada (Figura 4.33) y para el caso de la cinta inclinada se tiene el Switch de Nivel (Figura 4.34) que se activa cuando la pluma está muy cerca de la pila.



Figura 4.33 Switch de Alineamiento de Cinta Transportadora



Figura 4.34 Switch de Nivel de la Cinta Inclinada

Para el caso del sistema de posicionamiento para que se detenga el motor o empiece su secuencia de encendido a lado contrario se tiene fines de carrera como se muestra en las Figuras 4.29 y 4.30 para el elevador y el carro respectivamente y los contadores de posición por medio del encoder incorporado en el elevador (Figura 4.27) y en el carro (Figuras 4.28).

4.4.2.2 Paro de Secuencia vía Hardware por Activación de Protecciones

El paro de secuencia vía hardware no solo se refiere a la acción que toma el PLC para detener la secuencia, sino también a la acción física de abrir un contacto de protección que desenergizará el circuito de control del relé que cierra el contactor trifásico del motor, esto lo realiza una vez que se ha detectado la activación de alguna condición de protección como se muestra en la Figura 4.35.

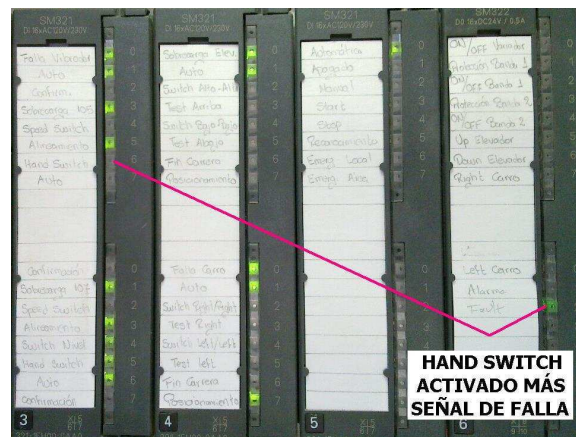


Figura 4.35 Activación de Señal de Falla por la protección del Hand Switch de la Cinta

Se puede observar que se ha accionado la protección física del Hand Switch de la primera cinta transportadora y el PLC reacciona parando todos los equipos y además activando su salida digital de falla, misma que no cambiará de estado

mientras no se vuelva a posicionar el Hand switch y se aplaste la botonera de reconocimiento del tablero principal. La primera protección se la encuentra en los motores, que cuentan con una señal del térmico de sobre corriente, mientras que para los motores que cuentan con variador de velocidad se tiene el contacto de falla del equipo, adicional cada motor cuenta con una botonera de Stop y un Selector Local – Remoto que se ubica en la botonera de cada uno de los equipos. Además como ya se mencionó antes para el caso de las cintas transportadoras se cuenta con el Hand Switch (Figura 4.36) que detiene la banda inmediatamente después de activada la protección. Finalmente para el sistema de posicionamiento se cuenta con fines de carrera como protección de movimiento para los límites máximos de su rango de operación.



Figura 4.36 Hand Switch de Cinta Transportadora

4.4.3 SECUENCIA DE PARO EN CONDICIONES DE EMERGENCIA

La secuencia de paro en condiciones de emergencia debe ser inmediata y efectiva, por tal motivo se la ha diseñado de tal manera que no solo intervenga en la programación del PLC sino que también abra físicamente el circuito de control para desactivar el relé que energiza al contactor trifásico. Cabe mencionar que esta condición solo debe ser utilizada en caso de emergencia y no para operación de los equipos. En el primer caso cuando interviene el PLC este envía a detener inmediatamente los equipos pero además reinicia las condiciones de arranque del sistema, de esta manera cuando se vaya a restablecer la operación el sistema empezará desde cero revisando todas sus condiciones de arranque, además se activará la falla del PLC que no permitirá marchar ningún

equipo mientras no se haya reconocido el evento desde la botón de reset del tablero principal.

En el segundo caso la manera de protección es vía hardware, es decir, por medio de la apertura de contactos físicos ubicados en cada uno de los circuitos de control de esta manera al momento de accionar el paro de emergencia todos los circuitos perderán sus disponibilidad y los relés que energizan los contactores trifásicos de los motores se desactivarán, de modo que si el programa del PLC falla se garantice el paro de los equipos.

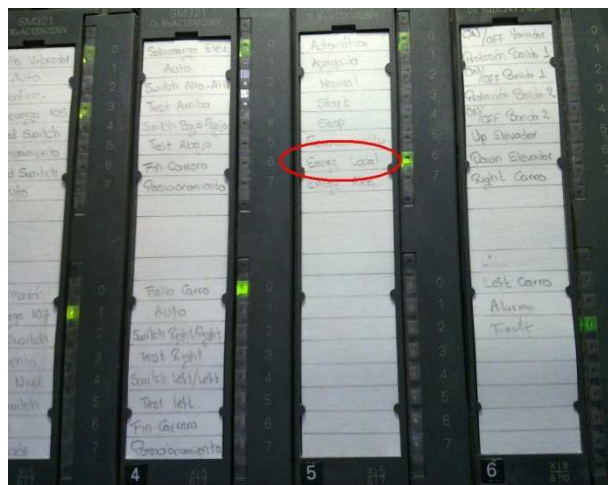


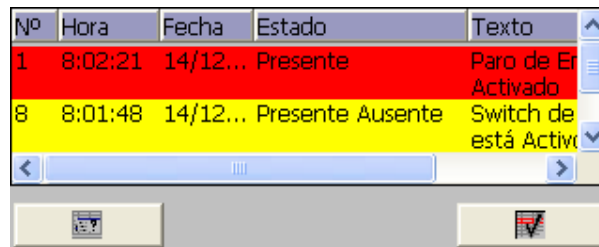
Figura 4.37 Pérdida de Disponibilidad Circuitos y Activación Paro de Emergencia

Como se observa en la Figura 4.37 mientras el paro de emergencia se encuentra activado todos los circuitos pierden la confirmación de sus entradas digitales, por lo tanto, ya no tienen disponibilidad para ser marchados, esto se debe a que en todos los esquemas eléctricos el contacto de paro de emergencia se encuentra casi al principio del circuito de control.

4.4.4 MENSAJES DEL HMI

Finalmente los mensajes del HMI complementan al sistema al dar el aviso de la falla presente en la maquinaria, de este modo el operador puede reaccionar de manera rápida frente a la activación de una condición de protección e interpretar cuál es el problema. En la Figura 4.38 se observa el manejo de alarmas que para este proyecto se encuentra conformado de 5 columnas, en el

siguiente orden: Número de alarma, hora, fecha, estado de la alarma y finalmente el texto que indica el significado de la alarma.



Nº	Hora	Fecha	Estado	Texto
1	8:02:21	14/12...	Presente	Paro de Er Activado
8	8:01:48	14/12...	Presente Ausente	Switch de está Activ

Figura 4.38 Pantalla de Alarmas

Como se observa el tipo de color también es característico dependiendo del estado de la alarma, por ejemplo el rojo se utiliza para indicar una alarma presente y el amarillo para una alarma que ocurrió pero ya no está presente, la misma que se puede reconocer por medio del botón que se encuentra en la parte inferior derecha de la figura, mientras que el botón izquierdo se utiliza para desplegar el texto de ayuda con respecto a la alarma desplegada como se muestra a continuación en la Figura 4.39.

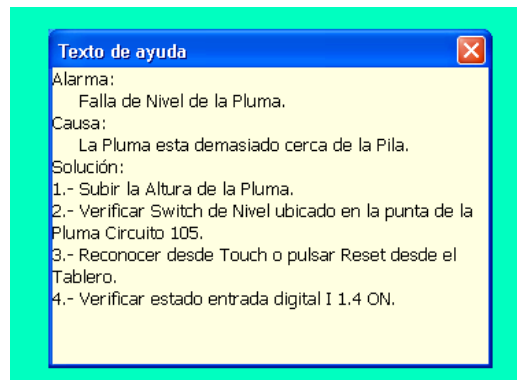


Figura 4.39 Texto de Ayuda de Alarmas

4.5 PRUEBAS DE LA INSTRUMENTACIÓN INSTALADA

Con las pruebas de la instrumentación utilizada en este proyecto se finaliza este capítulo. Haciendo referencia a la báscula que se adquirió para la primera cinta transportadora y al sensor de nivel tipo radar que se instaló en la punta de la pluma del apilador radial, se puede realizar las pruebas.

4.5.1 BÁSCULA DE CINTA TRANSPORTADORA

La báscula para cinta transportadora que se adquirió para la primera banda sirve como medidor de flujo de material que ingresa al stock de caliza, además se lo utiliza como regulador la velocidad de vibración del vibrador ocupado para recuperación de la caliza de la tolva con la finalidad de mantener un flujo de material constante. Para la implementación de la báscula fue necesario realizar el montaje en campo y adicional realizar la calibración de la misma para que la báscula adquiera sus parámetros referenciales de la banda transportadora.

4.5.1.1 Instalación en Campo

La instalación en campo de la báscula se la debe realizar lo más cercano al alimentador, que para este caso es el vibrador, por tal motivo se lo ubicó en la primera cinta transportadora, además como requisito de los proveedores del equipo para la instalación se pide que el sistema cumpla con 10 requisitos básicos para la instalación mecánica, mismo que se indica a continuación [14]:

1. Instalar la báscula en una sección de cinta recta.
2. Para cintas inclinadas instalar la báscula donde el material no resbale o se regrese por la cinta.
3. Asegurarse que la báscula se encuentre en una sección de cinta donde el material se encuentra estable, es decir, alejado del alimentador de material a la cinta.
4. Instalar la bascula alejada del tambor final de la cinta.
5. El ángulo entre los rodillos de la cinta no debe ser mayor a 45 grados como se observa en la Figura 4.40, adicional que la distribución de la carga se uniforme, es decir, que la banda no esté desalineada.

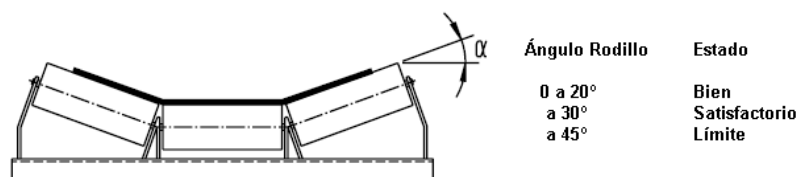


Figura 4.40 Ángulo entre rodillos de la Cinta Transportadora

6. Asegurar que la cinta se encuentre bien asentada sobre los rodillos como se muestra en la Figura 4.40.
7. Adecuar la zona de influencia de la cinta que consta de dos rodillos antes y dos rodillos después del rodillo principal de pesaje, estos deben instalarse de 3 a 5 mm más altos que el resto de rodillo de la cinta como se muestra en la Figura 4.41. Adicional el rodillo de pesaje debe instalarse 0,2 mm más alto que los rodillos de la zona de influencia.

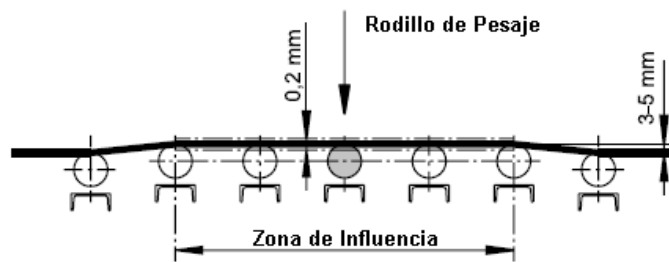


Figura 4.41 Zona de Influencia de la Báscula Para Cinta Transportadora

8. Asegurarse que la base donde se vaya instalar sea sólida y que no presente ninguna junta emperrada.
9. Verificar que la cinta esté correctamente tensada.
10. Proteger al sistema de temperaturas altas y de extremas vibraciones externas.

En base a estos requerimientos se procede a instalar la báscula en la primera cinta transportadora como se muestra en la Figura 4.42, la misma que está conformada por dos celdas de carga sobre las cuales se encuentra asentado el rodillo de pesaje y adicionalmente cuenta con una rueda que tiene acoplado a su eje un sensor inductivo de pulsos para medir la velocidad de la cinta transportadora.



Figura 4.42 Instalación de la Báscula en la Primera Cinta Transportadora

De esta manera por medio de las celdas de carga se puede medir el peso del material que pasa por la cinta y por medio de la rueda se puede obtener la velocidad del transportador, de este modo se puede saber el flujo de material que circula sobre la banda transportadora.

4.5.1.2 Parametrización y Calibración del Equipo

Una vez realizada la instalación mecánica de la báscula se procede a realizar la parametrización del controlador electrónico Intecont de Schenck Process y después se continúa con la calibración del equipo, donde los principales valores que hay que ingresar para la parametrización del equipo hacen referencia a la Figura 4.43 que se muestra a continuación.

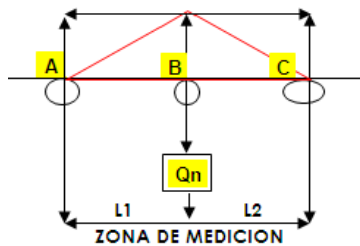


Figura 4.43 Referencia de Ingreso de Valores para Parametrización Electrónica Intecont

Donde la zona de medición está conformada por la diferencia de entre A y C dividido para 2 como se muestra en la Tabla 4.1 que se utiliza para el cálculo de la longitud efectiva del puente de pesaje.

Tabla 4.1 Tabla para Cálculo de la Longitud Efectiva del Puente de Pesaje

IDEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR	VARIABLE	
L1	LONGITUD ENTRE A Y B	ml.	0,618	DATO	
L2	LONGITUD ENTRE B Y C	ml.	0,618	DATO	
K1	PUENTE CON UN RODILLO	K	2	CONSTANTE	FORMULA APLICADA
Z	SUMA L1 + L2	ml.	1,236	RESULTADO	Z = L1 + L2
L eff	LONGITUD EFECTIVA	ml	0,618	RESULTADO	L eff = Z / K1

Además la carga neta y la carga sobre la cinta están dadas en relación a la Tabla 4.2 que se indica a continuación:

Tabla 4.2 Tabla para Cálculo de la Carga Neta y la Carga sobre la Cinta

IDEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR	VARIABLE	
I	FLUJO NOMINAL	T / h	300,0000	DATO	
Leff	LONGITUD EFECTIVA	m.	1,2360	DATO	
Vn	VELOCIDAD NOMINAL	m/s.	1,6437	DATO	
K	CONSTANTE	PI	3,1416	DATO	FORMULA APLICADA
Qn	CARGA NETA	Kg	71,8069	RESULTADO	$Q_n = I * L_{eff} / (V_o * K)$
Qc	CARGA SOBRE LA CINTA	Kg / m	58,0962	RESULTADO	$Q_c = Q_n / L_{eff}$

De esta manera se procede a parametrizar todos los valores que necesite la electrónica de pesaje de Schenck Process para continuar con la calibración del equipo.

Para realizar la calibración de la cinta se empieza por la velocidad, para ello se toma el tiempo en que la cinta tarda en dar toda una vuelta, luego desde el software de parametrización se abre el menú de “Utilidades” y se selecciona “Programas de Calibración”, en este se escoge la opción de calibración de impulsos de la rueda por vuelta de la báscula (LB: IMP/Belt) y se da clic en Marcha, donde el programa de calibración se ejecutará y al final arrojará el valor de cuantos impulsos dio la cinta en una vuelta, tal como se muestra en la Figura 4.44.

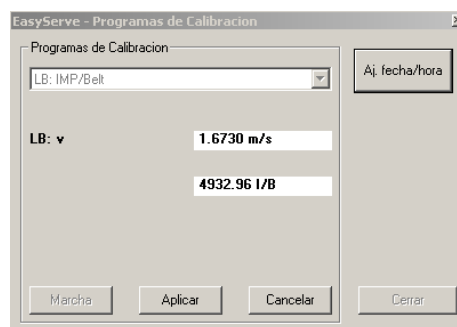


Figura 4.44 Calibración de Impulsos/Vuelta de la Cinta

Luego el siguiente paso es realizar la calibración de tara de la báscula que corresponde al peso muerto del equipo, es decir el peso que reside en las celdas de carga por efecto del rodillo de pesaje más la fuerza que ejerce la cinta sobre el rodillo al estar en movimiento, este valor de tara es nuestro punto de referencia para poder interpretar el peso del material sobre la cinta. Para proceder con la

calibración se escoge la opción TW: Tare y se procede a dar clic en marcha como se muestra en la Figura 4.45.

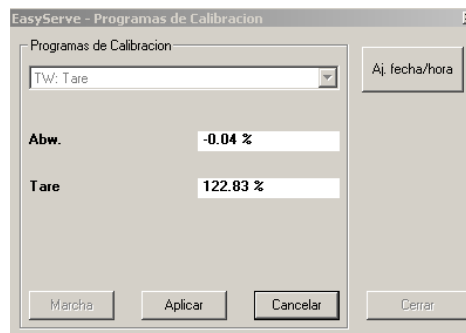


Figura 4.45 Calibración de la Tara de la Cinta

Finalmente para garantizar que tenga repetitividad el equipo se procede a realizar la calibración del Zero que consiste en ajustar el valor de la báscula a la Tara de equipo para ello se escoge la opción de >0: Zero Set como se muestra en la Figura 4.46.

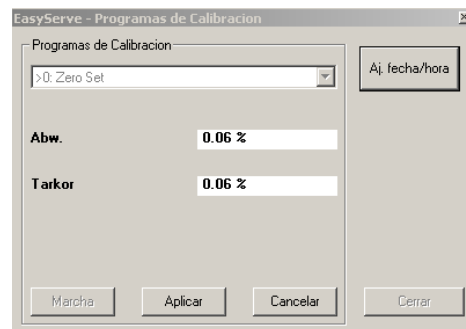


Figura 4.46 Calibración del Zero de la Cinta

Como se observa en la figura se puede concluir que el equipo se encuentra calibrado porque el error es de 0.06% que es un rango aceptable para este tipo de equipos, ya que el valor máximo permitido esta en el rango de -5% a +5%.

4.5.2 SENSOR DE NIVEL TIPO RADAR

El sensor de nivel tipo radar tiene la función de medir la altura de las pilas para ello este equipo se lo instalo en la punta de la pluma de apilador que es el lugar más alto del apilador y dará una mejor referencia del nivel, adicional en base a las tendencias del equipo se pudo definir tiempos de respuestas y ajustes del sensor para que responda de mejor manera a nuestras necesidades.

4.5.2.1 Instalación en Campo

Como se mencionó previamente la instalación en campo del equipo se lo realizó en el lugar más alto del apilador que corresponde a la punta de la pluma del apilador, adicional se trato de ubicar al equipo en un lugar de fácil acceso para su manipulación y que a la vez se encuentre protegido frente a la caída de material. En base a esto se escogió que el mejor lugar es debajo de la banda inclinada del apilador y para evitar que el sensor se llene de material o peor aún se golpee se diseño en el taller de instrumentación una carcasa metálica con un tol grueso como se muestra en la Figura 4.47.



Figura 4.47 Carcasa de Protección del Sensor de Nivel

De este modo se procedió a realizar el montaje en campo del sensor de nivel debajo de la cinta transportadora y se lo sujeto de tal manera que se puede manipular el ángulo en que se dirige la medición el sensor hacia la pila como se muestra en la Figura 4.48.



Figura 4.48 Instalación Sensor de Nivel en Campo

4.5.2.2 Medición de Nivel

Una vez instalado el sensor de nivel se procede a parametrizar el equipo, de la siguiente manera: La medición de nivel 0 a 15 metros con una salida análoga de 4 a 20 mA, adicional se escoge como tipo de medio de medición sólidos con una granularidad mayor 10mm y que la medición de nivel cambie rápidamente porque como se conoce el carro apilador va a estar en continuo movimiento. Con esta parametrización se hace correr el equipo y de una manera muy sencilla se puede saber el estado de medición del equipo por medio de la curva de eco del sensor como se muestra en la Figura 4.49.

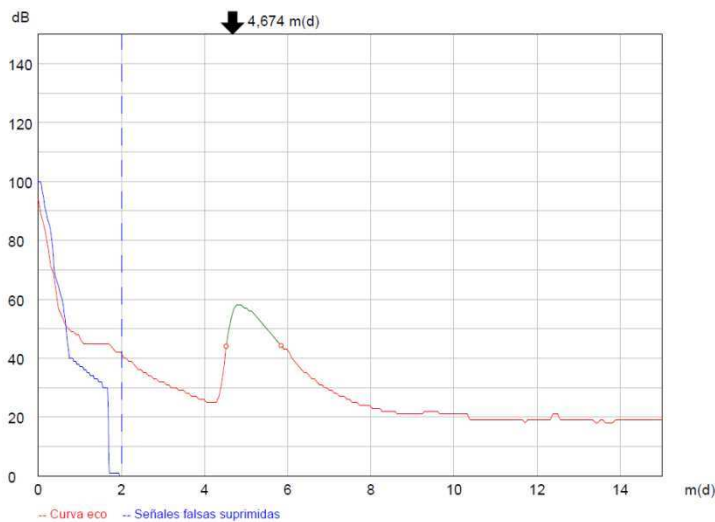


Figura 4.49 Curva de Eco del Sensor de Nivel

Donde la señal de color rojo corresponde a la curva de eco del equipo y el valor más alto de esta curva que se la muestra de color verde corresponde a la medida de nivel del equipo. Adicional se observa que la señal de azul representa la supresión de las señales falsas caso contrario el sensor de nivel indicaría como medición 0 metros en vez del 4.674 metros como que se muestra en la figura en mención.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presenta conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron del presente proyecto y que constituyen la base del aprendizaje del mismo.

9.1 CONCLUSIONES

- ✚ Se realizó la modernización del sistema de control de la Apiladora Radial de Caliza de la Planta “Lafarge Cementos Ecuador” migrando su control de un sistema electromecánico a uno controlado por un Programador Lógico Programable que utiliza tecnología moderna de Simatic, pieza fundamental para cualquier tipo de automatismo o control con equipos Siemens.
- ✚ La amplia gama de Simatic con respecto a productos acreditados para las aplicaciones más diversas en la industria de procesos y manufacturera permite escalabilidad, disponibilidad a largo plazo y arquitectura abierta, siendo Simatic de Siemens un sistema de automatización reconocido a nivel mundial y con altos estándares de performance, es así como se garantiza que el proyecto desarrollado tenga un correcto funcionamiento, confiabilidad, posibilidad de migración a nuevas tecnologías y la apertura para la integración de futuras implementaciones en planta.
- ✚ Al cambiar de un sistema electromecánico a uno comandado por un PLC le da cierta autonomía al sistema del apilador para realizar acciones que

antes las realizaba el operador, de esta manera le libera al operario para continuar con otras funciones asignadas.

- ✚ La realización del proyecto actual por medio de una CPU 300 de Siemens, pertenece a una solución de automatización con equipos Simatic dentro de una gama de medio a alto nivel como son los CPU 300 y 400, lo que constituye una experiencia bastante interesante al familiarizarnos con este tipo de sistemas.
- ✚ La utilización de los diferentes softwares de Simatic para el manejo de proyectos de automatización dan una idea bastante clara y completa de los pasos necesarios a seguir para la creación, configuración y desarrollo de la solución de un proyecto de ingeniería de medio a alto nivel en los que intervengan equipos Siemens.
- ✚ El software de Simatic Step 7 para la programación del PLC permite monitorear en línea la lógica del PLC y de igual manera permite realizar cambios en la lógica de la CPU, por lo tanto no es necesario detener la maquinaria para realizar cambios en la programación y le permite a la maquinaria operar de manera interrumpida.
- ✚ La implementación de un Panel Táctil le da mayor versatilidad al proyecto de automatización y es práctico cuando se desea introducir un valor real al sistema, adicional permite navegar entre pantallas y le da más opciones al usuario para aprovechar de mejor manera las ventajas del sistema instalado, además el uso de los mensajes de alarmas le permite al operario o al especialista responder con mayor rapidez frente a una falla.
- ✚ En cuanto al sistema de posicionamiento del Apilador el desarrollo de dos modos de trabajo le da mayor versatilidad al sistema en cuanto al modo de

operación de esta manera la automatización se ajusta a las necesidades del operador.

- ✚ La realización de las diferentes pruebas en manual y en automático de los equipos, y el verificar cómo reacciona el sistema frente a las protecciones de la maquinaria permiten detectar posibles fallos, para corregirlos, además la constante interacción con los operadores permiten realizar un ajuste fino a la programación del PLC para que el sistema quede a satisfacción del cliente.

- ✚ La creación de una receta en el Panel Táctil para el sistema de automatización le permite al usuario especialista acceder a los parámetros más importantes del PLC sin tener que recurrir a una PC para conectarse a la CPU y buscar la ubicación del parámetro que necesita modificar, dejando de esta manera un sistema más robusto y abierto a posibles cambios de configuración

- ✚ El correcto respaldo del programa del proyecto garantiza que cualquier usuario con los softwares necesarios de Simatic pueda manipular la programación como si estuviese trabajando desde el computador del diseñador, tanto para el caso del HMI como para el caso del PLC, adicional permite que el proyecto pueda ser añadido fácilmente a un multi proyecto en el que se pueden almacenar todos los proyectos de planta.

- ✚ El diseño, instalación y montaje de un nuevo tablero de control permite concentrar de manera ordenada todos los instrumentos y circuitos eléctricos en un solo lugar, además que protege a los equipos que intervienen en el sistema de control.

- ✚ El mantenimiento completo de la instalación eléctrica del sistema antiguo más la implementación del nuevo sistema de control le dan mayor

confiabilidad al sistema para que opere de manera intermitente y cumpla con las necesidades de planta en cuanto al ingreso de la materia prima al stock de caliza.

- ✚ Los instrumentos seleccionados para la realización de este proyecto cumplen con todas las expectativas requeridas, adicional están instalados de tal manera que garantizan el correcto funcionamiento del equipo y la mayor vida útil del mismo, pese a que muchos de los instrumentos instalados se encuentran a la intemperie.

- ✚ La adecuada instalación del sensor de nivel tipo radar VEGAPLUS 67, más una correcta parametrización del equipo garantiza una medida real de la altura de cada una de las pilas dentro de un rango de medida de 0 a 15 metros. Además la familiarización del software de Vega para el monitoreo del sensor de nivel da una mayor destreza para el manejo del equipo.

- ✚ La instalación y puesta en marcha de una báscula para cinta transportadora permite familiarizarse con las tecnologías de medición de flujo de sólidos y además permite garantizar el flujo constante de material sobre la cinta transportadora y el total de material ingresado al stock de caliza. Además la utilización del software para la parametrización y seguimiento del equipo permite ganar mayor destreza para el manejo de la báscula.

- ✚ El uso de sensores inductivos acoplados a los ejes de los equipos que generan el movimiento del Apilador funcionan como encoders de posición por medio del conteo en la lógica interna del PLC y de esta manera permiten conocer la altura de la pluma y la ubicación radial del Apilador en el Stock de Caliza.

- ✚ El conexionado eléctrico de los instrumentos de seguridad que intervienen directamente en el circuito que energiza al contactor trifásico del motor

como es el caso del Hand Switch o del Paro de Emergencia dan una doble garantía que el equipo se va a detener en condiciones de emergencia, ya que estas señales también están incluidas en la lógica interna del PLC para el paro de los equipos.

9.2 RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se obtuvieron del presente proyecto se enfocan hacia el manejo del sistema actual y hacia la implementación de un sistema de similares características.

9.2.1 RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO DEL SISTEMA

- ✚ El importante revisar el manual de usuario y solicitar una explicación por personal que está familiarizado con el uso de la maquinaria antes de operar la maquinaria.

- ✚ El recomendable que el operador sepa que el sistema implementado es abierto para cualquier cambio o mejora que se desee realizar en la operación del sistema.

- ✚ Es necesario que el operador sepa que las condiciones de emergencia, son como su nombre lo indica en caso de emergencia ya que como se indicó en la sección anterior vía software se enceran todos los valores para que el sistema empiece nuevamente desde cero.

- ✚ Es importante que el operador se planifique una rutina de inspección semanal de toda la instrumentación del sistema para que pueda dar aviso oportuno en caso de anomalía o posible anomalía de los equipos, de igual manera su rutina de inspección debe enfocarse al buen funcionamiento de

las protecciones de los equipos para que cuando sea indispensable su funcionamiento no fallen.

- ✚ Ya que el sistema se encuentra instalado a la intemperie es primordial que el operador realice limpieza semanal y si es necesario diaria de los equipos para que estos no sufran futuros daños.
- ✚ Es fundamental que el mantenimiento también realice una inspección específica al menos trimestralmente para que detecte desgaste mecánico en la maquinaria y revise el estado de la instrumentación instalada, tenga un histórico de corriente de los motores y de ser necesario programe un mantenimiento programado para limpieza, arreglo, ajuste o cambio de los equipos.
- ✚ Es recomendable que haya un departamento responsable para la entrega formal del sistema de automatización quien además de saber el funcionamiento del equipo podrá realizar cambios específicos en la receta del sistema para pequeños ajustes del mismo.
- ✚ Es importante y por seguridad del personal que vaya a intervenir en la maquinaria que realice el bloqueo eléctrico del motor directamente en el circuito de fuerza del equipo, es decir, directamente en el seccionador trifásico que alimenta al motor y no en el circuito de control que energiza al contactor trifásico.

9.2.2 RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN SIMILAR.

- ✚ La selección de una CPU robusta como es el caso de la CPU 315 – 2DP de Siemens es recomendable porque proporciona mayor confiabilidad al desarrollo del software de programación ya que tiene bloques especiales creados por el propio sistema para el mejor performance del PLC.

- ✚ En este tipo de CPU es importante dejar siempre un puerto de comunicación disponible ya que por medio de este se puede conectar con un computador a la CPU en línea y monitorear al equipo, revisar el diagnóstico del equipo e incluso modificar la programación sin la necesidad de detener la maquinaria.
- ✚ Al momento de integrar un PLC al sistema es casi necesario integrar un panel de visualización al proyecto primero para tener mayor versatilidad en el proyecto como tal y segundo para poder indicar las alarmas del sistema que la maquinaria presente para una rápida respuesta.
- ✚ La escalabilidad de equipo seleccionado es importante al momento de realizar la selección de los equipos, incluso es recomendable sobre dimensionar los equipos de un 10 al 20% para futuras ampliaciones de la planta o para señales que se pueden integrar al sistema para un mejor control, este aspecto de sobre dimensionamiento se lo debe manejar en todo sentido, incluso hasta en el diseño del tablero de control.
- ✚ Es primordial tener a la mano un stock mínimo de repuestos para poder reaccionar de manera rápida frente a la falla de algún equipo, esto se lo realiza con la finalidad de no afectar la productividad normal de la empresa, por tal motivo se hace necesario realizar la selección de equipos en base a los instrumentos ya utilizados en planta, que incluso es más sano para el personal que labora en la empresa porque ya se encuentran familiarizados con este tipo de instrumento.
- ✚ Es fundamental reconocer cuales son los dispositivos de seguridad del sistema en caso de emergencia, como en este caso es el paro de emergencia y el hand switch y añadirlos al circuito de control que energiza el contactor trifásico del motor para garantizar su perfecto funcionamiento.

- ✚ Es muy importante que antes de realizar el armado del tablero de control, se realice un esquema gráfico con las medidas reales de los elementos que conforman el tablero con la finalidad de saber cuál será la distribución interna y poder seleccionar un tablero de acuerdo a las necesidades.

- ✚ En caso de no conocer los instrumentos a implementar es importante familiarizarse con los mismos en laboratorio y realizar todas las pruebas necesarias con la finalidad de conocer el funcionamiento del equipo y no tener imprevistos al momento del montaje, adicional si es factible utilizar un simulador se puede probar la configuración o la programación interna que se realice en el equipo.

- ✚ Si se dispone de un HMI es recomendable que se desarrolle la interfaz para una receta en la que se guardarán los principales parámetros del PLC mismos que podrán ser configurados en base a las necesidades del sistema evitando de esta manera que para hacer cambios en el mismo se necesite de un programador para que se conecte por medio de una PC a la CPU del PLC, adicional porque no, poner los datos del diseñador del sistema en el HMI para alguna futura consulta del sistema o mejor aún para un futuro contrato.

- ✚ Finalmente contar con el apoyo del equipo de mantenimiento es fundamental por temas de soporte, de recomendaciones, de ayuda e incluso de guía para el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Enciclopedia Libre Wikipedia. (2005, Abr.). Cemento: Proceso de Fabricación. Fundación Wikipedia Inc., Estados Unidos. [Online]. Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cemento>
- [2] Grupo Lafarge. (2007.). Cement Computer Instruction Lafarge: CECIL. Lafarge Cement Division, France. CECIL Version 1.1.7.0. [Online]. Disponible: <http://webcementportal.lafarge.com>
- [3] Miliarium. (2001.). Precipitador Electrostático: Tipos de Precipitadores. Miliarium Aureum S.L., Madrid, España. [Online]. Disponible: <http://miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Atmosfera/PrecipitadorElectrostatico.htm>
- [4] Catálogo Siemens. (2007, Oct.). Siemens Catalog CA 01. Siemens Aktiengesellschaft, Munich, Germany. [Online]. Disponible: <http://www.automation.siemens.com>
- [5] Schenck Process. (2006.). Intecont Plus Báscula de Cinta: Instrucciones de Funcionamiento. Schenck Process GmbH Comp., Deutschland, Germany. Tech. Doc. BV-H 2214ES. [Online]. Disponible: <http://www.schenckprocess.com>
- [6] Catálogo Endress + Hauser. (2006, Abr.). Manual de Instrucciones. Endress + Hauser Group, Reinach, Switzerland.
- [7] Vega. (2007, Dic.). Medición de Niveles en Sólidos: VegaPuls 67. Vega Grieshaber KG. Am. Hohenstein, Germany. Tech. Doc. 29023 – ES – 071227. [Online]. Disponible: http://www.vega.com/en/BA_Radar.htm
- [8] Allen Bradley. (2002, Jun.). Power Flex 4: Adjustable Frequency AC Drives. Rockwell Automation, Inc., Milwaukee, USA. Tech. Doc. 22A-UM001C-EN-E. [Online]. Disponible: <http://www.rockwellautomation.com>
- [9] Tecnología Electrónica. (2002, Sep.). Estándares de Protección “IP” y “Nema”. Tecnología Electrónica S.A., México, D.F. [Online]. Disponible: http://www.tec-mex.com.mx/promos/bit/bit0902_ip.htm
- [10] Siemens. (2004, Ene.). Simatic: Programar con STEP7 V5.3. Siemens. Aktiengesellschaft, Munich, Germany. Tech Doc.

- 6ES7810 – 4CA07 – 8DW0. [Online]. Disponible: http://www.dte.us.es/tec_ind/electric/ap/Descarga/ProgramarSTEP7.pdf
- [11] Siemens. (2004, Ene.). Simatic: Configurar el hardware y la comunicación con STEP7 V 5.3. Siemens Aktiengesellschaft, Munich, Germany. Tech Doc. 6ES7810 – 4CA07 – 8DW0. [Online]. Disponible: http://www.dte.us.es/tec_ind/electric/ap/Descarga/hardwareSTEP7.pdf
- [12] Siemens. (2004, Feb.). Simatic: S7 – PLCSIM V 5.3. Siemens Aktiengesellschaft, Munich, Germany.
- [13] Siemens. (2005, Jun.). Simatic HMI: WinCC Flexible 2005 Compact/ Standard/ Advanced. Siemens Aktiengesellschaft, Munich, Germany. Tech Doc. 6AV6691 – 1AB01 – 0AE0. [Online]. Disponible: <http://isa.uniovi.es/~vsuarez/Download/WinCCFlexible2005-DescripcionConceptos.pdf>
- [14] Schenck Process. (2003.). Belt Conveyor Scales: 10 Rules for Installation. Schenck Process GmbH Comp., Deutschland, Germany. Tech. Doc. BV-H 5054GB. [Online]. Disponible: <http://www.schenckprocess.com>
- [15] Schenck Process. (2002.). Bemp: Instruction Manual. Schenck Process GmbH Comp., Darmstadt, Germany. Tech. Doc. BV-H 5030GB. [Online]. Disponible: <http://www.schenckprocess.com>
- [16] Lafarge Cementos Ecuador. (2011.). Todo Sobre El Cemento: Historia y Desarrollo. Lafarge Ecuador, Ecuador. [Online]. Disponible: http://www.lafarge.com.ec/wps/portal/ec/2_2-All_about_Cement
- [17] Grupo Lafarge. (2007.). Cement Computer Instruction Lafarge: CECIL. Cement Division, France. CECIL Version 1.1.7.0. [Online]. Disponible: <http://lo.lafarge.com/wps/myportal/homepage>
- [18] Grupo Lafarge. (2003, Jun.). Common Codification Numbering System. Lafarge Cement Division, France. Tech. Doc. LCD 000 W01. [Online]. Disponible: <http://lo.lafarge.com/wps/myportal>
- [19] Lafarge Cementos Ecuador. (2009, Jun.). Procedimiento de formación y recuperación de pilas de materias primas. Lafarge Ecuador, Otavalo, Ecuador. Doc. D10-022-PRO-05.
- [20] G. Montenegro. (2008, Mar.). Flujo Grama Planta. Lafarge Ecuador, Otavalo, Ecuador. Doc. 100.00-2-G1-28.

- [21] Siemens. (2005, May.). Simatic HMI: WinCC Flexible 2005 Getting Started Básico. Siemens Aktiengesellschaft, Munich, Germany. Tech Doc. 6ZB5370-1CL05-0BA0. [Online]. Disponible: http://www.sispm.com/descargas/02%20HMI/Manuales/WinCC_Flexible_Basico.pdf
- [22] Siemens. (2004, Ene.). Simatic: Esquema de Contactos (KOP) para S7 – 300 y S7 – 400. Siemens Aktiengesellschaft, Munich, Germany. Tech Doc. 6ES7810-4CA07-8DW1. [Online]. Disponible: <http://www.elai.upm.es:8009/spain/Asignaturas/Automatizacion/archivos/S7-KOP.pdf>
- [23] Siemens. (2004, Ene.). Simatic: STEP7 Introducción y Ejercicios Prácticos, Getting Started. Siemens Aktiengesellschaft, Munich, Germany. Tech Doc. 6ES7810-4CA07-8DW0.