



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

**PROPUESTA ECONÓMICA Y TÉCNICA EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA
AUTOMÁTICO DE ALMACENAJE Y DISTRIBUCIÓN DE GRANOS**

Jorge Armando Rodríguez Güir

Asesorado por la Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota

Guatemala, junio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA ECONÓMICA Y TÉCNICA EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA
AUTOMÁTICO DE ALMACENAJE Y DISTRIBUCIÓN DE GRANOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JORGE ARMANDO RODRÍGUEZ GÜIR

ASESORADO POR LA INGA. INGRID RODRÍGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, JUNIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PROPUESTA ECONÓMICA Y TÉCNICA EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE ALMACENAJE Y DISTRIBUCIÓN DE GRANOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 4 de febrero de 2013.

Jorge Armando Rodríguez Güir

Guatemala 28 de octubre de 2014

Ingeniero
Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Estimado Ingeniero Guzmán.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado: **Propuesta económica y técnica en el diseño de un sistema automático de almacenaje y distribución de granos**, del señor **Jorge Armando Rodríguez Güir**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,


Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota
Colegiada 5,356
Asesora

Ingrid Rodríguez de Loukota
Ingeniera en Electrónica
colegiado 5356



Ref. EIME 07 2015

Guatemala, 13 de NOVIEMBRE 2014.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
PROPUESTA ECONÓMICA Y TÉCNICA EN EL DISEÑO DE
UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE ALMACENAJE Y
DISTRIBUCIÓN DE GRANOS, del estudiante, Jorge Armando
Rodríguez Güir, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Área Electrónica



STO



REF. EIME 07. 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; **JORGE ARMANDO RODRÍGUEZ GÜIR** titulado: **PROPUESTA ECONÓMICA Y TÉCNICA EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE ALMACENAJE Y DISTRIBUCIÓN DE GRANOS**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 5 DE FEBRERO 2,015.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA ECONÓMICA Y TÉCNICA EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE ALMACENAJE Y DISTRIBUCIÓN DE GRANOS**, presentado por el estudiante universitario: **Jorge Armando Rodríguez Güir**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Angel Roberto Sic García
Decano



Guatemala, junio de 2015

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por darme la vida para seguir mis sueños;
por darme sabiduría, fuerza y voluntad
necesaria para cumplirlos al lado de mi familia.

Mis papás

Por tenerme la paciencia, compartir su
sabiduría y siempre estar presente en cada una
de mis decisiones, buenas o malas.

Mis hermanos

Por ser mi apoyo, y estar presentes, tanto en
mis mejores como en mis peores momentos.
Por darme la oportunidad de enseñarles lo que
se debe y no se debe hacer en la vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Dany Pérez

No solo por ser mi amigo y compañero, sino por ser un buen hermano; por estar presente en todo momento. Por compartir su sabiduría y ser un gran apoyo a lo largo de los años.

Mi gente

No solo por ser mis compañeros a lo largo de estos años de estudio, sino por ser mis amigos y darme su apoyo siempre, por cada momento de estudio, y de fiesta y cada experiencia que me dieron.

Mi familia

Porque en toda mi vida han sabido ser una fuente de apoyo, sabiduría y fuerza.

Ingrid de Loukota

Por su apoyo y paciencia durante el proceso de este trabajo. Por ser fuente de sabiduría no solo para mí en mis años de estudio, sino para las nuevas generaciones de ingenieros.

**Edgar Ojeda y Carlos
Zibara**

No solo por la oportunidad que me dieron para aprender lo que es en realidad el trabajo de campo en mi área de estudio, sino por cada momento de sabiduría que me han dado sobre la carrera y la vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. SISTEMAS DE CONTROL.....	1
1.1. Características de un sistema de control.....	1
1.1.1. Configuración de un sistema de control.....	2
1.2. Controlador lógico programable	2
1.2.1. Criterios para selección de controlador	3
2. SISTEMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO.....	7
2.1. Sistema eléctrico	9
2.1.1. Características de construcción.....	9
2.2. Alimentación del centro de control de motores.....	10
2.3. Detalle interno del centro de control de motores (CCM).....	13
2.3.1. Transformador de control 440/110v 2kVA	14
2.3.2. Etapa de almacenaje de granos	15
2.3.2.1. Transporte de grano	15
2.3.2.1.1. Bandas transportadoras	16
2.3.2.1.2. Válvula eléctrica 1 (VE-1).....	18

2.3.2.2.	Almacenaje de grano	19
2.3.2.2.1.	Compuertas motorizadas.....	19
2.3.2.2.2.	Carro de descarga	20
2.3.2.2.3.	Manga de descarga 1 ...	21
2.3.3.	Etapa de despacho	22
2.3.3.1.	Transporte de grano	22
2.3.3.1.1.	Bandas transportadoras	22
2.3.3.1.2.	Elevador de carga 1 (E-1)	23
2.3.3.1.3.	Válvula eléctrica 2 (VE-2).....	24
2.3.3.2.	Despacho de granos	25
2.3.3.2.1.	Válvula eléctrica 3 (VE-3).....	25
2.3.3.2.2.	Banda transportadora T-9.....	25
2.3.3.2.3.	Compuertas motorizadas.....	26
2.3.3.2.4.	Mangas de descarga.....	27
2.3.4.	Cálculo del sistema eléctrico	27
2.3.5.	Detalle interno de la consola de control (MCC)	33
2.3.5.1.	Visualización del sistema de control.....	34
2.3.5.1.1.	Señal de atasco de la banda transportadora	35
2.3.5.1.2.	Señal de funcionamiento de la banda transportadora	36

2.3.5.1.3.	Señal de funcionamiento de la válvula eléctrica 1	37
2.3.5.1.4.	Señal de posición de la válvula eléctrica 1	37
2.3.5.1.5.	Señal de funcionamiento de compuerta motorizada..	38
2.3.5.1.6.	Señal de posición de la compuerta motorizada.....	39
2.3.5.1.7.	Señal de posición del carro de descarga.....	39
2.3.5.1.8.	Señal de atasco de la banda transportadora de despacho	40
2.3.5.1.9.	Señal de funcionamiento de la banda transportadora de despacho	41
2.3.5.2.	Botonera de control	47
2.3.5.2.1.	Paro de emergencia	48
2.3.5.2.2.	Bandas transportadoras	49
2.3.5.2.3.	Válvulas eléctricas.....	50
2.3.5.2.4.	Compuertas motorizadas	51
2.3.5.2.5.	Elevador de carga	52
2.3.5.2.6.	Amperímetro de carga..	52

	2.3.5.2.7.	Área de despacho 2	53
2.3.6.	Filtros.....		54
2.3.7.	Alimentación del transformador seco de 15 kVA.....		55
2.3.8.	Ubicación de motores.....		57
3.	SISTEMA AUTOMÁTICO DE ALMACENAJE Y DESPACHO DE GRANOS		59
3.1.	Protecciones y conexiones de control.....		62
3.1.1.	Sistema de puesta a tierra.....		62
3.1.2.	Material y equipo utilizado		63
3.1.2.1.	Canalizaciones		63
3.1.2.2.	Conductores		64
3.1.2.3.	Sistema de control.....		65
3.1.3.	Etapa de almacenaje de granos		67
3.1.3.1.	Transporte de grano.....		68
	3.1.3.1.1.	Bandas transportadoras	68
	3.1.3.1.2.	Válvula eléctrica 1 (VE-1).....	72
3.1.3.2.	Almacenaje de grano		75
	3.1.3.2.1.	Compuertas motorizadas.....	75
	3.1.3.2.2.	Carro de descarga	78
	3.1.3.2.3.	Manga de descarga 1 ...	79
	3.1.3.2.4.	Posicionamiento de almacenaje.....	81
3.1.4.	Etapa de despacho		83
3.1.4.1.	Transporte de grano.....		83

	3.1.4.1.1.	Bandas transportadoras	83
	3.1.4.1.2.	Elevador de carga 1 (E-1)	86
	3.1.4.1.3.	Válvula eléctrica 2 (VE-2)	90
	3.1.4.2.	Despacho de granos.....	92
	3.1.4.2.1.	Válvula eléctrica 3 (VE-3)	93
	3.1.4.2.2.	Banda transportadora T-9	94
	3.1.4.2.3.	Tolva de despacho	96
	3.1.4.2.4.	Compuertas motorizadas	99
	3.1.4.2.5.	Mangas de descarga ..	100
3.2.		Sistema de control SLC 500	102
3.2.1.		Características del SLC 500	102
3.2.2.		Interfaces de comunicación	103
	3.2.2.1.	Controladores	103
	3.2.2.2.	Módulos de entrada y salida	104
	3.2.2.3.	Aplicaciones.....	104
3.2.3.		Manejo, instalación y conexiónado	105
	3.2.3.1.	Contactos de confirmación	105
	3.2.3.2.	Acoplamiento directo e indirecto de cargas.....	105
	3.2.3.3.	Acoplamiento de actuadores de gran consumo	106
	3.2.3.4.	Instalación de controlador.....	106

3.2.3.5.	Condiciones ambientales del entorno	106
3.2.3.6.	Distribución de componentes	107
3.2.3.7.	Cableado	108
3.2.3.8.	Alimentación	109
3.2.4.	Módulos de entrada y salida	110
3.2.4.1.	Señales de entrada	110
3.2.4.2.	Señales de salida	114
3.2.4.3.	Módulos del PLC	118
3.2.4.4.	Código de programación	119
4.	CONCEPTOS ECONÓMICOS EN LA PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE SISTEMA AUTOMATIZADO	121
4.1.	Conceptos de ingeniería económica aplicados al diseño de sistema automatizado	121
4.1.1.	Principios para el estudio económico de proyectos	122
4.1.1.1.	Factores de conversión	122
4.1.1.2.	Uso de factores de conversión	124
4.1.2.	Modelo de depreciación de equipo	127
4.1.2.1.	Introducción	128
4.1.2.2.	Depreciación en línea recta (LR)	129
4.1.3.	Flujo efectivo	131
4.1.4.	Retorno de inversión	133
4.1.4.1.	Cálculo de TR para un proyecto único	134
4.1.4.1.1.	Cálculo de la TR utilizando la ecuación de valor presente	135

4.1.4.2.	Evaluación de tasa de retorno para alternativas múltiples de proyecto.....	136
4.1.4.3.	Determinación de una tasa mínima atractiva de retorno.....	139
4.2.	Recurso económico y factor de tiempo: criterios de optimización.....	140
4.2.1.	Tipos de modelos	141
4.2.1.1.	Modelos estáticos	142
4.2.1.2.	Modelos dinámicos	144
4.2.1.3.	Modelos a corto plazo.....	146
4.3.	Modelo económico del sistema automático para almacenaje y despacho de granos	146
4.3.1.	Almacenaje manual	146
4.3.2.	Despacho manual.....	149
4.3.3.	Almacenaje automático	151
4.3.4.	Despacho automático	154
4.3.5.	Rentabilidad del proyecto	156
CONCLUSIONES		159
RECOMENDACIONES		161
BIBLIOGRAFÍA.....		163

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Representación de un sistema de control	1
2.	Sistema de potencia.....	7
3.	Canalización.....	11
4.	Tablero de distribución de baja tensión y tablero del CCM	12
5.	Interruptor principal del CMM (600 A)	13
6.	Centro de control de motores (CMM)	14
7.	Transformador de control.....	15
8.	Guardamotor 3RV10314FA15 y Sikostart 3RW40461BB14	17
9.	Guardamotor 3RV20110GA15 y contactor 3RT1017	18
10.	Contactor Siemens 3RT1017.....	20
11.	Guardamotor Siemens 3RV10111EA15.....	21
12.	Guardamotor Siemens 3RV10111AA15.....	22
13.	Guardamotor 3RV10414FA15 y Sikostart 3RW40556BB34	24
14.	Consola de control	33
15.	Tablero de señalización	35
16.	Señal de atasco bandas transportadoras de almacenaje.....	36
17.	Señal de funcionamiento de bandas transportadoras	36
18.	Señal de funcionamiento de VE-1	37
19.	Señal de posición de VE-1	38
20.	Señal de funcionamiento de compuertas motorizadas.....	38
21.	Señal de posición de la compuerta motorizada.....	39
22.	Señal de posición del carro de descarga	40
23.	Señal de atasco de las bandas transportadoras de despacho.....	40

24.	Señal de funcionamiento de bandas transportadoras de despacho	41
25.	Señal de funcionamiento del E-1	42
26.	Señal de atasco de E-1.....	42
27.	Señal de funcionamiento de VE-2.....	43
28.	Señal de posición de VE-2.....	43
29.	Señal de funcionamiento de VE-3.....	44
30.	Sensor de tolva alto	44
31.	Sensor de tolva bajo	45
32.	Señal funcionamiento de CM de despacho	45
33.	Señal de posición de CM de despacho.....	46
34.	Botonera de control.....	48
35.	Botón tipo hongo para paro	49
36.	Pulsador <i>start/stop</i>	50
37.	Selector de tres posiciones.....	51
38.	Amperímetro Hanyoung.....	53
39.	Filtros WAM	55
40.	Transformador seco de 15kVA	57
41.	Ubicación de motores dentro de bodega de almacenaje	58
42.	Ubicación de los motores fuera de la bodega de almacenaje.....	58
43.	Circuito de relevación	60
44.	Banda trasportadora	72
45.	Válvula eléctrica.....	74
46.	Compuerta motorizada	77
47.	Variador de frecuencia.....	79
48.	Manga de almacenaje.....	80
49.	Posicionamiento de almacenaje	82
50.	Bandas de despacho	86
51.	Elevador de carga (E-1).....	89
52.	Válvula eléctrica 2 (VE-2)	92

53.	Puente Wheatstone y amplificador de instrumentación.....	98
54.	Celda de carga	98
55.	Área de despacho	102
56.	Módulo de E/S de la serie SLC 500	119
57.	Diagrama de flujo de factores de pago único	125
58.	Diagrama de flujo I	125
59.	Diagrama de flujo II	126
60.	Gráfico del valor en libros de un activo depreciado.....	130
61.	Diagrama de flujo efectivo del proyecto	132
62.	Flujo efectivo para el cual debe determinarse un valor i	136
63.	Relación de los factores para la estimación de TMAR	140

TABLAS

I.	310.16	29
II.	310.19 (nota 8)	31
III.	Cuadro de cargas.....	32
IV.	Señales de entrada	111
V.	Señales de salida	114
VI.	Factores económicos	123
VII.	Flujo efectivo del proyecto.....	132
VIII.	Comparación de características de los equipos	137
IX.	Determinación del flujo de efectivo.....	138
X.	Costos del proceso de almacenaje de grano de manera manual.....	148
XI.	Costos del proceso de despacho de grano de manera manual	151
XII.	Costos del proceso de almacenaje de grano de manera automática.....	153
XIII.	Costos del proceso de despacho de grano de manera automática.....	155

XIV.	Costos totales	158
------	----------------------	-----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
α	Alfa
A	Amperios
β	Beta
Vd	Caída de voltaje
ft	<i>Feet</i> (Pie)
°C	Grados centígrados
Hz	Hertz
HP	<i>Horse power</i> (caballos de fuerza)
KVA	Kilo volt ampere
KW	Kilo watt
M Ω	Mega ohm
Mva	Mega volt ampere
MT	<i>Metal tubing</i> (tubo metálico)
mts	Metros
μ	Micro
MCM	<i>Million circular mils</i> (millones de milímetros circulares).
NC	<i>Norman close</i> (normal cerrado)
NO	<i>Norman open</i> (normal abierto)
Ω	Ohm
HG	Pared gruesa
plg	Pulgadas
seg	Segundos

VA	<i>Volt ampere</i>
V	Voltaje
Vac	Voltaje en corriente alterna
W	Walt

GLOSARIO

AWG	<i>American wire gauge</i> (calibre de cable americano).
<i>Bin 3 y Bin 4</i>	Bodega 1 y 2 de almacenamiento de grano.
CCM	Tablero eléctrico que alimenta, controla y protege circuitos, cuya carga esencialmente consiste en motores y que usa contactores o arrancadores como principales componentes de control.
CM1 a CM17	Compuertas motorizadas para almacenaje de granos.
Costo por servicios	Los servicios de comunicación son productos económicos valiosos. Los precios a los cuales pueden ser vendidos estos servicios dependen de factores de demanda, proveedores y del cómo funciona el mercado. Los personajes cruciales en el mercado para los servicios de comunicaciones son los proveedores, consumidores, y reguladores.
EMT	<i>Electrical metal tubing</i> (tubo metálico eléctrico).

Galga	Un sensor basado en el efecto piezorresistivo.
Inversión	Es la aplicación de recursos financieros destinados a incrementar los activos fijos o financieros de una entidad. Comprende la formación bruta de capital fijo (FBKF) y la variación de existencias de bienes generados en el interior de una economía.
Ladder	Lenguaje de programación gráfico muy popular dentro de los autómatas programables, debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos.
Micro interruptor	Son de muy diversas formas pero todos se basan en la operación por medio de un actuador mecánico. Este mueve a su vez una lengüeta metálica en donde están colocados los contactos eléctricos, y los abre o cierra de acuerdo con la disposición física de estos contactos.
Planificación	Proceso de definir el curso de acción y los procedimientos requeridos para alcanzar los objetivos y metas. El plan establece lo que hay que hacer para llegar al estado final deseado.
Retorno de inversión	El término tasa de retorno se utiliza comúnmente cuando se estima la rentabilidad

de una alternativa propuesta o cuando se evalúan los resultados de un proyecto o inversión terminados.

Sensor de proximidad

Sensores basados en la operación mecánica de un actuador o en la operación de un sensor de proximidad fotoeléctrico con discriminación de color.

T1 a T9

Bandas transportadoras de la 1 a la 9.

Tráfico

Cantidad de actividad sobre un sistema de comunicación durante un periodo de tiempo dado.

VN1 a VN3

Válvulas eléctricas de selección.

RESUMEN

Este trabajo de graduación presenta la automatización de todo el proceso actual de almacenamiento y descarga de granos. Cabe mencionar que por razones de seguridad y respaldo el proceso de almacenaje y distribución de granos se podrá realizar de dos maneras: la primera será un proceso de control automático y la segunda, un proceso de control manual; esto se realizará a través de un selector manual que comandará cuál de las dos opciones de control será utilizado. Adicionalmente se contará con sistema de selección programado.

Este trabajo inicia en el capítulo 1 con las definiciones de un sistema de control, y las configuraciones que estos presentan, así como la definición de un controlador lógico programable y los criterios principales que un ingeniero debe tomar en cuenta para poder elegir el controlador adecuado, según la aplicación.

En el capítulo 2 se muestran todas las especificaciones eléctricas necesarias para su correcto funcionamiento del sistema y las características de construcción, desde los alimentadores eléctricos para el centro de control de motores, hasta el detalle interno del centro de mando. Se describe el funcionamiento del proceso, además de los equipos eléctricos de protección que estos necesitan para su correcto funcionamiento.

Los equipos de protección de cada equipo son calculados y bajo los criterios de normas internacionales del NEC e IEC, estas protecciones son elegidas, así como el cálculo para la elección de los correctos conductores que

cada equipo necesita. También se describe el tablero de control y los equipos del cual está compuesto para controlar el funcionamiento manual.

El capítulo 3 presenta la propuesta de automatizar el proceso de almacenamiento y despacho, iniciando desde las protecciones necesarias para garantizar el correcto funcionamiento, como un sistema de tierras y las características que este necesita; en este capítulo se presentan diagramas unifilares, describiendo las señales necesarias y los mejores puntos de conexión para que el controlador programable tome el control del proceso.

Se describen las características generales del controlador programable a utilizar y se enlistan las señales de entrada y salida necesarios para que el sistema de almacenaje y despacho de granos funciones correctamente, así como el código de programación necesario para que el proceso funcione con el mínimo de personal y pueda garantizar mayor productividad y aprovechamiento de recursos.

Dejando por último los métodos y modelos económicos que la ingeniería debe comprender para elaborar un estudio de factibilidad del proyecto. Por lo que se abarca la teoría de la ingeniería económica y todas sus características para realizar el estudio correspondiente, demostrando la rentabilidad del proyecto de automatización en el proceso de almacenaje y despacho de granos.

OBJETIVOS

General

Desarrollar una propuesta económica y técnica en el diseño de un sistema automático de almacenaje y distribución de granos.

Específicos

1. Presentar los fundamentos principales de los sistemas de control.
2. Dar a conocer los aspectos eléctricos fundamentales de cada tecnología disponible, clasificándolos para mejorar el proceso del sistema eléctrico del sistema automatizado.
3. Presentar una propuesta del sistema automático de almacenaje y despacho de granos.
4. Plantear métodos y modelos, para lograr la convergencia técnica económica en la planificación final de un sistema automático para un proceso industrial.

INTRODUCCIÓN

Un estudio técnico y económico previo a la implementación de un sistema de automatización es fundamental; el punto más importante que se busca con este estudio es analizar y prever la rentabilidad a obtener al implementar la automatización de un proceso industrial. La tecnología y economía tienen un papel muy importante en este nuevo mercado de automatización. Para esto es necesario conocer los avances tecnológicos recientes, combinados con las normas de regulación del mercado de la industria, los cuales han creado un ambiente nuevo y altamente competitivo para los proveedores de servicios de automatización.

Tomando en cuenta que los sistemas que se implementan prestarán un servicio en mayores proporciones a usuarios externos y en una proporción mínima como un servicio propio, el trabajo de ingeniería radica en proponer e implementar proyectos que puedan generar beneficios financieros a las personas proveedoras que requieran de los servicios profesionales de la ingeniería. Con la experiencia actual sobre el mercado industrial, se puede decir que el éxito en el negocio de la industria no radica, ni está garantizado únicamente por proveer lo último en tecnología al usuario, sino en la competitividad que el proveedor posea.

Para realizar un proyecto de automatización industrial es necesaria una planificación previa, con la cual se pretende la optimización de los recursos técnicos y de las características económicas que proporcionan las diferentes tecnologías posibles a implementar.

Es común que se analice solamente uno de los aspectos mencionados, sin embargo, para que se pueda garantizar un proyecto de esta índole, se recomienda asesoramiento.

Con este trabajo de graduación se busca exponer ciertos puntos importantes que orienten a personas dedicadas al diseño de sistemas automatizados, sobre los parámetros fundamentales que se deben tomar en cuenta en la planificación de un sistema, para alcanzar un proyecto funcional, rentable y que preste la calidad del servicio esperado.

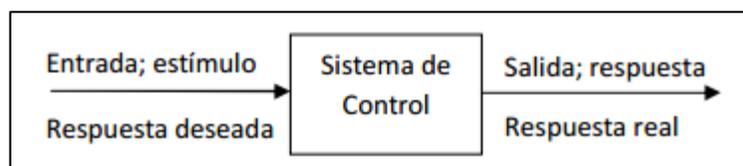
1. SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de control forman parte de la vida cotidiana, y sus aplicaciones se pueden encontrar en todos lados. Un sistema de control integra diversos procesos con la finalidad de cumplir con un conjunto de especificaciones en las salidas del proceso; en este caso, el sistema de control ayuda a mover los motores del proceso con gran precisión y exactitud al regular su posición y velocidad.

1.1. Características de un sistema de control

Un sistema de control produce una salida o respuesta para una entrada o un estímulo dado.

Figura 1. Representación de un sistema de control



Fuente: NISE, Norma. *Sistemas de control para ingeniería*. p. 124.

La entrada representa una respuesta deseada y la salida, una salida real. Existen dos factores que hacen que la salida sea diferente a la entrada. El primero se conoce como "respuesta transitoria", la cual está presente cuando existe un cambio instantáneo en la entrada respecto del cambio gradual de la salida.

Después de la respuesta transitoria, un sistema físico aproxima su respuesta en estado estable, en donde trata de aproximarse a la respuesta deseada. La precisión es el segundo factor que puede ocasionar que la salida sea diferente a la entrada. Esta diferencia es conocida como “error en estado estable” y en ocasiones depende de las características físicas del dispositivo que se desea controlar.

1.1.1. Configuración de un sistema de control

Existen 2 configuraciones de sistema de control: lazo abierto y cerrado. En un sistema de lazo abierto la salida siempre se rige por la señal de entrada y no es capaz de realizar compensaciones a las perturbaciones que se suman a la señal de actuación del controlador; esto se debe a que carece de señal de retroalimentación.

Un sistema de control de lazo cerrado mide la señal de salida y la compara con la señal de la respuesta de entrada mediante una trayectoria de retroalimentación, la cual permite estimar perturbaciones exteriores para que estas puedan ser corregidas.

1.2. Controlador lógico programable

El PLC (*programmable logic controller*) es un equipo electrónico programable diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente industrial un proceso secuencial. Se produce una reacción a la información recibida por los captadores del sistema automatizado (finales de carrera, células fotoeléctricas, sensores, *encoders*, teclados, entre otros.) y se actúa sobre los accionadores de la instalación (motores, electroválvulas, indicadores luminosos, entre otros.).

El avance de la automatización ha ido invariablemente unido al avance de los sistemas eléctricos y electrónicos. A medida que se han ido mejorando los sistemas informáticos y reduciendo el tamaño de los componentes electrónicos se han podido construir autómatas con mayor capacidad de control sobre los sistemas, se ha reducido su tamaño y se han aumentado sus posibilidades. Estas posibilidades suelen estar condicionadas por el número de terminales entrada/salida que posea el autómata. Según esto, los autómatas se pueden clasificar en:

- Grandes: con más de 512 terminales de E/S
- Medianos: hasta 512 terminales de E/S
- Pequeños: hasta 128 terminales de E/S

El "núcleo" o "cerebro" del autómata es la CPU, en torno a la cual se añaden los distintos módulos que completan la característica fisonómica de "caja" del autómata.

Existen muchísimos módulos diferentes adaptables para cada familia de autómatas, siendo los más comunes los módulos de E/S analógicas y digitales, el módulo de la fuente de tensión e intensidad, entradas de interrupción y módulos de contadores.

1.2.1. Criterios para selección de controlador

La selección del controlador es uno de los factores más importantes al momento de automatizar un proceso, por lo que a continuación se presenta una listado de razones a considerar al momento de seleccionar un controlador.

- Sistema nuevo o existente: este modo toma importancia debido a la compatibilidad de los equipos con el PLC, por lo cual se debe buscar un controlador que sea compatible para ahorrar tiempo.
- Definir aspectos ambientales que pueden afectar al controlador: los PLC típicos tienen rangos de temperatura de 0 °C a 60 °C. Si la aplicación incluye condiciones ambientales extremas, o tiene algún código específico que deba ser considerado; se deberá realizar una investigación sobre productos que cumplan con esas especificaciones o diseñar la instalación para esos requerimientos.
- Determinar cuántos dispositivos discretos o analógicos tendrá el sistema: el número y tipo de dispositivos que incluirá su sistema está relacionado directamente con la cantidad de E/S que serán necesarias. Se requiere escoger un modelo de PLC que soporte los requerimientos de E/S y los tipos de señales a manejar.
- Determinar si el sistema requerirá algunas características especiales: las funciones especiales no necesariamente están disponibles usando módulos estándar de E/S. Planear antes ayudará a determinar si la aplicación requerirá alguna característica especial, así como elegir los módulos adicionales para el sistema.
- Determinar el tipo de CPU: la memoria de datos se refiere a la cantidad requerida para la manipulación de datos dinámicos y almacenamiento en el sistema. Por ejemplo, las instrucciones de contadores y temporizadores normalmente usan memoria de datos para almacenar los set points, valores actuales y otras banderas internas. Si la aplicación requiere retención de datos históricos, como valores de mediciones de

dispositivos por un período largo de tiempo, el modelo del CPU se define por el tamaño de las tablas de datos. La memoria de programa es la encargada de almacenar la secuencia de instrucciones del programa que será ejecutada por la aplicación. Cada tipo de instrucción requiere una cantidad específica de memoria, normalmente definida en el manual de programación del PLC. Las aplicaciones secuenciales son fáciles de estimar, mientras que las aplicaciones complejas dificultan realizar un estimado.

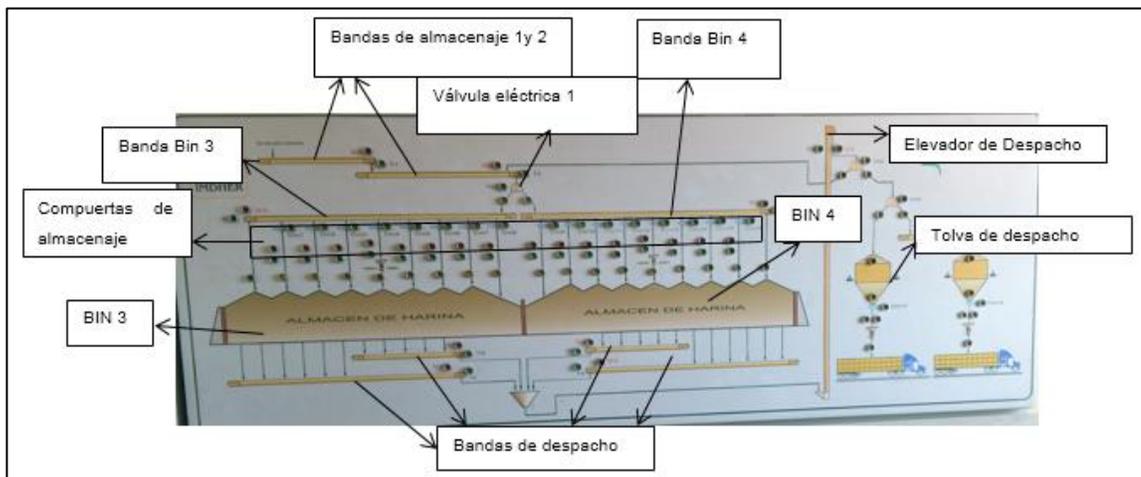
- Ubicación de E/S: si el subsistema requiere largas distancias desde el CPU, es necesario un modelo de PLC que soporte E/S remotas. Además, se deben determinar las distancias y velocidades soportadas por el PLC, para que sean adecuadas a la aplicación.
- Determinar los requerimientos de comunicación: los puertos de comunicación no necesariamente son incluidos con el PLC. Saber por adelantado si el sistema se comunicará con otros sistemas ayudará a escoger el CPU que soporte los requerimientos de comunicación o módulos adicionales, si es necesario.
- Determinar los requerimientos de programación: algunos PLCs pueden no soportar todos los tipos de instrucciones. Seleccionar un PLC que soporte todas las instrucciones para la aplicación en particular. Por ejemplo, funciones incorporadas de PID son más sencillas que escribir su propio código para desarrollar un lazo cerrado para control de procesos.

Teniendo en cuenta los requerimientos anteriores, se tomó la decisión de utilizar el PLC Rockwell de la serie Logix 500.

2. SISTEMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO

El sistema eléctrico consta de un sistema de potencia, descrito en la figura 1, que tiene como fin proporcionar un sistema mecánico que agilice el proceso de almacenaje de grano proveniente de otros países, así como su despacho. Por lo que se diseñó un nuevo complejo, con el fin de que la empresa posea mayor capacidad de almacenaje. Asimismo se buscó un sistema que agilice el proceso de despacho, ya que el grano almacenado debe ser distribuido al territorio guatemalteco.

Figura 2. Sistema de potencia



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

El sistema eléctrico del complejo consta del siguiente procedimiento: se inicia el proceso de almacenaje por un sistema de 2 bandas transportadoras con un tamaño aproximado de 55 mts.

Cada banda posee 2 motores síncronos para realizar su funcionamiento y movilizar el grano a almacenar. Al final de la segunda banda se utiliza una válvula eléctrica con un motor de $\frac{1}{4}$ HP (*horse power*), ubicada al centro de la bodega de almacenaje, separando de las mismas dos complejos de almacenajes, denominadas BIN 3 y BIN 4; esta válvula tiene como función elegir entre dos bandas transportadoras que viajan a través de cada complejo; cada banda posee dos motores síncronos para realizar su funcionamiento.

Cada banda transportadora ubicada en los BIN 3 y BIN 4 poseen 8 compuertas de almacenaje; cada compuerta posee un motor de $\frac{1}{4}$ HP que controla dos posibles posiciones, una posición de cerrada y otra abierta. Paralelo a estas compuertas se utiliza un carro especial ubicado en el interior de la bodega de almacenaje. Este carro posee una manga telescópica que posee dos posiciones, una posición totalmente recogida y otra totalmente expandida.

Este carro recorre los dos complejos a través de las 16 compuertas; este se posiciona en cada compuerta y moviendo la manga telescópica a su posición expandida, realizando un movimiento por tiempos hacia su posición encogida, conforme a la cantidad de grano que se vaya a almacenar. Al finalizar, el carro se posiciona en la siguiente compuerta y repite el proceso.

Al poseer el complejo lleno del producto, procede a la siguiente fase del proyecto, el cual es el proceso de despacho. Para este proceso se utilizan cuatro bandas transportadoras; cada una con dos motores de 30 HP; la función de estas bandas es transportar el producto hacia la base de un elevador de carga, el cual posee un motor de 60 HP para realizar el movimiento y transporte de producto hacia una tolva de despacho, donde se puede almacenar una tonelada de producto.

Al pie de la tolva se encuentra una compuerta eléctrica que consta de un pequeño motor de ¼ HP para realizar un movimiento de abierto o cerrado. En el momento de despacho se procede a colocar debajo de la tolva al camión de transporte, donde este espera hasta que la tolva se abra y deje caer el producto; al terminar, la tolva procede a cerrarse, esperando a que el siguiente camión de transporte se ubique en la posición de despacho.

2.1. Sistema eléctrico

Electrificación para servicio de fuerza electromotriz y control de una nave industrial para almacenaje de materia prima (granos).

2.1.1. Características de construcción

El sistema automático propuesto presenta las siguientes características:

- Voltaje de operación en baja tensión: 480/277.
- Sistema en baja tensión de 3 fases, 4 hilos.
- Voltaje de operación para control: 110 Vac.
- Conductores utilizados: cable de cobre aislado tipo THHW-LS, 90°, 600 V para fuerza electromotriz y control; cable cobre THHW-2 para sistema de tierras físicas.
- Canalizaciones: tubería galvanizada pared gruesa roscada marca omega, condulet registros, marco DOMEX serie 9, tubería flexible y

conectores *liquid tight* marca Anclo; todos los materiales deben cumplir con la IP65.

- Arrancadores marca Siemens tipo IEC con arreglo de guardamotor y unidad sikostart 3RW30 para motores mayores a 30 HP, 460 volts, montados en un armario metálico autosoportado marca ABB.

2.2. Alimentación del centro de control de motores

El trabajo inicia desde la acometida principal, donde se utiliza un transformador de pedestal de 2 MVA con una conexión en primario de 13,2 kVac y una conexión en secundario de 480/277 Vac; este transformador posee una configuración delta-estrella. Esta posee una *breaker* principal de protección de 3 200 A, marca Siemens; este es para la protección para todo el establecimiento. Del *breaker* principal se extrae un ramal hacia un *breaker* de 800 A ubicado en el cuarto eléctrico de las instalaciones; este *breaker* de protección es exclusivamente para uso de las nuevas instalaciones de almacenaje y despacho de granos, ubicadas en los Bin 3 y Bin 4, así como su control de funcionamiento.

Ubicado el *breaker* de protección para las nuevas instalaciones, se extrae un ramal trifásico que viaja a través de tuberías HG *conduit* por norma NEC. Esta conexión viaja a través de la tubería que atraviesa el despacho de los Bin 1 y Bin 2, hasta llegar a un puente telescópico que une las dos fases de despacho. La conexión viaja por el puente telescópico hasta llegar a la nueva bodega de almacenamiento, donde la conexión viaja hasta el centro de control de motores (CCM) o MCC (por sus siglas en inglés, *motor center control*).

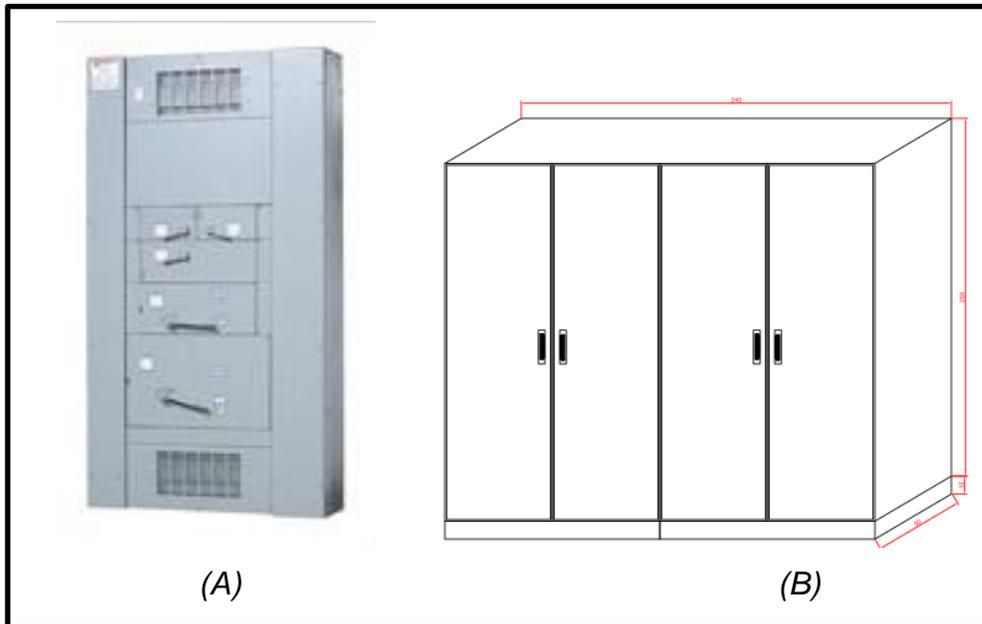
Figura 3. **Canalización**



Fuente: elaboración propia.

Al llegar al MCC la conexión, a través de la tubería de 4 pulgadas ingresa por un costado al CCM; esto se realiza así para evitar entradas de agua por gravedad en perforaciones al centro de control, cumpliendo con normas de seguridad eléctrica; las conexiones entran al CCM donde a través de una escalerilla metálica son trasladadas hacia un tablero Eaton, como se muestra en la figura 4, el cual está diseñado, bajo las normas NEMA, NEC, NOM 367 y calificado a prueba de sismos. El tablero incluye un *breaker* de 3x600 A para protección dentro del CCM.

Figura 4. **Tablero de distribución de baja tensión y tablero del CCM**



Fuente: PEIDE Eaton, *Catálogo de producto*. p. 45.

Del *breaker* de 3x600 A se utiliza una conexión trifásica de 3 cables por fase en Calibre 250 MCM; este paralelismo se utiliza por costos, ya que comercialmente, el costo de calibre 250 MCM es mucho menor a un calibre que soporte los 600 A. Estas conexiones de 3 cables por fase viajan desde el tablero de distribución de baja tensión Eaton hasta un gabinete de 2400x2000x500 mm, marca ABB, como se muestra en la figura núm. 4 a través de una escalerilla metálica.

Dentro del gabinete de potencia, se ubica un interruptor termomagnético de 600 A; este se utiliza para la alimentación directa del control de los motores. Finalizando el recorrido de potencia para energizar la nueva instalación de almacenaje de granos. Desde la acometida principal hasta el gabinete de control ubicado dentro del CCM.

Figura 5. **Interruptor principal del CMM (600 A)**

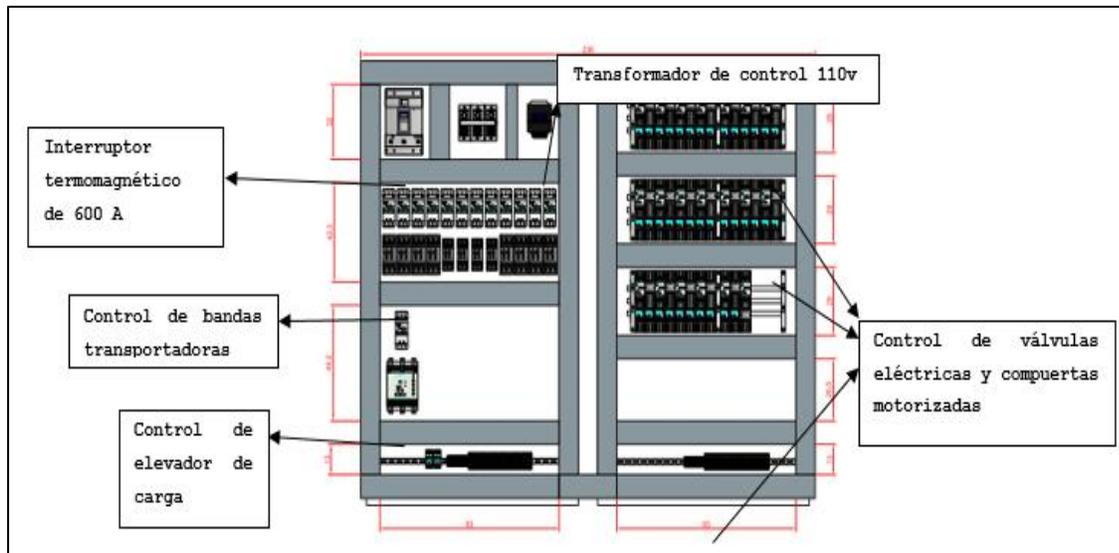


Fuente: elaboración propia.

2.3. Detalle interno del centro de control de motores (CCM)

En la figura 6 se observa la distribución de los controles y alimentación de los motores ubicados en el centro de control de motores. En la misma se observa la distribución propuesta del equipo de protección, así como la del equipo de control.

Figura 6. Centro de control de motores (CMM)

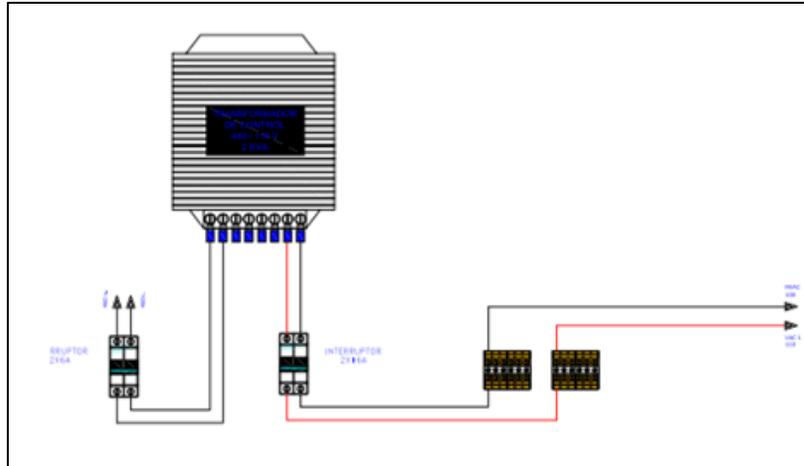


Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

2.3.1. Transformador de control 440/110v 2kVA

En la figura 7 se muestra el transformador 440 Vac en el primario y 110 Vac en el secundario que se utiliza en las instalaciones dentro del cuarto de control de motores (CCM). El transformador tiene la función de proveer alimentación 110 Vac a la etapa de control de todo el sistema de almacenaje y despacho. El transformador posee un *breaker* de protección de 2x6 A para la conexión del primario proveniente del *breaker* de 600 A. A la salida del secundario se utiliza un *breaker* de protección de 2x16 A, como protección a todos los dispositivos de control conectados a la alimentación 110 Vac de la salida del *breaker* de 2x16 A se hace una conexión hacia un bloque de borneras de distribución; esto se realiza para poseer diferentes puntos de alimentación y no saturar las conexiones.

Figura 7. **Transformador de control**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

2.3.2. Etapa de almacenaje de granos

A continuación se explican las características eléctricas para el almacenaje de granos.

2.3.2.1. Transporte de grano

Esta área se encarga de trasportar el grano desde el barco hasta el almacenaje en las bodegas Bin 3 y Bin 4. Este proceso consta de los siguientes equipos

2.3.2.1.1. Bandas transportadoras

La banda transportadora 1 es el inicio del proceso de almacenaje, donde un elevador de carga deposita el producto en la banda y se encarga de transportar el producto hasta la banda transportadora 2, esta banda se mueven en una sola dirección, sin cambio de giro.

La banda transportadora 2 es el siguiente paso en el proceso, donde esta se encarga de transportar el producto hasta la válvula eléctrica 1, esta banda transportadora se mueven en una sola dirección, sin cambio de giro.

La banda transportadora 3 es la que se encarga de transportar los granos desde la válvula eléctrica 1 hasta 8 diferentes posiciones de descarga; esta banda se mueve en una sola dirección, sin cambio de giro.

La banda transportadora 4 es la que se encarga de transportar los granos desde la válvula eléctrica 1, hasta 8 diferentes posiciones de descarga, esta banda se mueven en una sola dirección, sin cambio de giro.

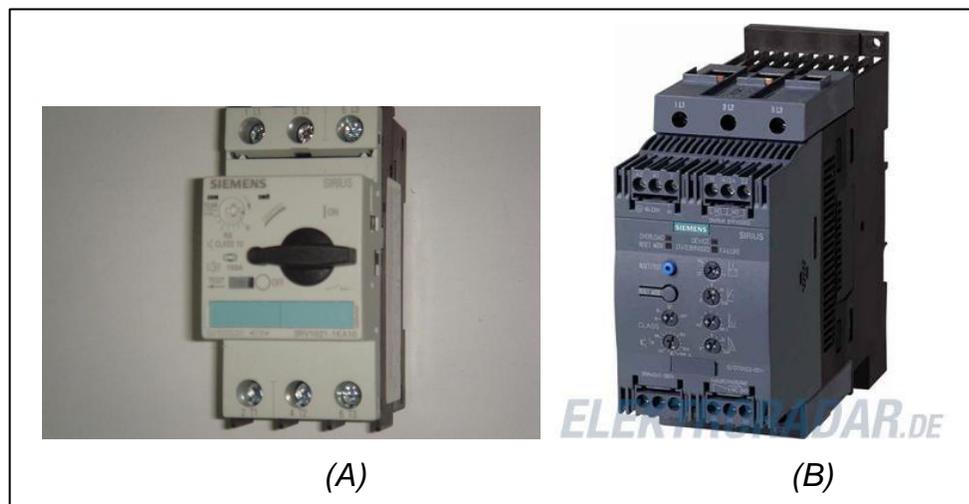
Las bandas transportadoras T1 y T2 funcionan utilizando dos motores por banda para realizar ese movimiento. Los motores son motores trifásicos de inducción cerrada, marca Siemens con una capacidad de 60 HP, o bien una capacidad de 44,76 kW y corriente de placa de 73,44 A. Los motores son alimentados con un voltaje de 460 Vac.

Las bandas transportadoras T3 y T4 funcionan utilizando dos motores por banda para realizar ese movimiento. Los motores son motores trifásicos de inducción cerrada, marca Siemens con una capacidad de 30 HP, o bien una

capacidad de 22,371 kW y corriente de placa de 36,72 A. Los motores son alimentados con un voltaje de 460 Vac.

Los motores de la bandas transportadoras poseen un guardamotor Siemens serie 3RV10314FA15 de 28 A a 40, A como se muestra en la figura 8. Este guardamotor es alimentado desde el bus de distribución de 460 Vac. Junto al mismo, los motores de la banda transportadora utilizan un arrancador suave Sikostart de marca Siemens serie 3RW40461BB14, como se muestra en la figura 8. Este es un arrancador suave posee una conexión desde el guardamotor hacia el motor directamente. Se hace mención de este equipo en específico dado a especificaciones técnicas por parte de la terminal de granos a la cual se le está realizando el diseño.

Figura 8. **Guardamotor 3RV10314FA15 y Sikostart 3RW40461BB14**



Fuente: Siemens. *Catálogo de producto 2014*. p. 34.

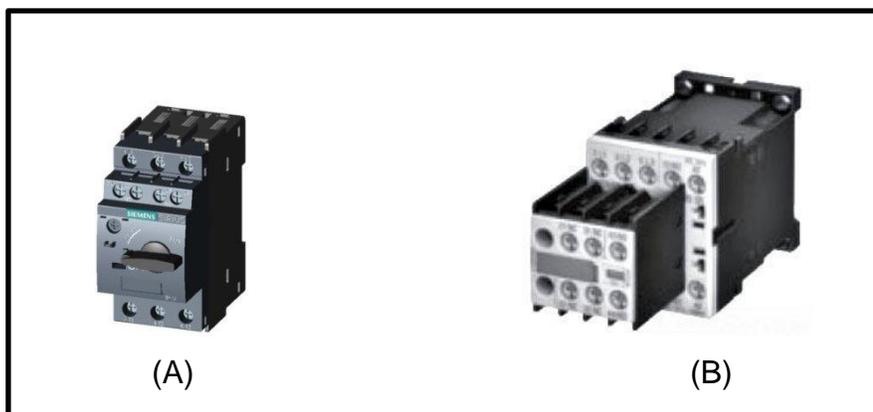
2.3.2.1.2. Válvula eléctrica 1 (VE-1)

La válvula eléctrica (VE-1) localizada al centro de la bodega lo cual divide las 16 compuertas de almacenaje por la mitad. Esta hace la división hacia dos nuevas bandas transportadoras, banda transportadora 3 y banda transportadora 4. El motor es un motor trifásico de inducción cerrada, marca Siemens con una capacidad de 0,25 HP, o bien una capacidad de 0,1865 kW y corriente de placa de 0,31 A.

El motor de la válvula eléctrica 1 posee un guardamotor Siemens, serie 3RV20110GA15 de 0.46 A a 0,63 A como, se muestra en la figura 9.

Este guardamotor es alimentado desde el bus de distribución de 460 Vac. Junto al mismo, el motor de la válvula eléctrica utilizan un contactor Siemens serie 3RT1017, como se muestra en la figura 9. Este es un block de contactores que posee módulos de contactos extra y una conexión desde el guardamotor hacia el motor directamente.

Figura 9. **Guardamotor 3RV20110GA15 y contactor 3RT1017**



Fuente: Siemens. *Catálogo de producto 2014*. p. 45.

2.3.2.2. Almacenaje de grano

A continuación se describe todo el proceso para el almacenamiento del grano.

2.3.2.2.1. Compuertas motorizadas

Las compuertas motorizadas tienen la función de pasar el grano hacia el punto de descarga correspondiente; el sistema consta de 16 compuertas de descarga con características físicas similares, las compuertas se identifican desde CM-1 hasta CM-16. Estas funcionan manualmente con selectores que realizan el movimiento de abrir y cerrar la compuerta de almacenaje correspondiente. El motor, para cada compuerta motorizada, es un motor trifásico de inducción cerrada marca Siemens, con una capacidad de 0,25 HP, o bien una capacidad de 0,1865 kW y corriente de placa de 0.31 A.

Los motores de las compuertas eléctricas poseen, en cada compuerta, un guardamotor Siemens serie 3RV20110GA15 de 0,46 A a 0,63 A, como se muestra en la figura No. 10. Este guardamotor es alimentado desde el bus de distribución de 460 Vac. Junto al mismo, el motor de la compuerta motorizada utiliza un contactor Siemens serie 3RT1017. Este es un *block* de contactores que poseen módulo de contactos extra y posee una conexión desde el guardamotor hacia el motor directamente.

Figura 10. **Contactador Siemens 3RT1017**



Fuente: Siemens, *Catálogo de producto* 2014. p. 45.

2.3.2.2.2. Carro de descarga

El carro se utiliza para pasar el grano hacia el punto de despacho. Este funciona realizando un movimiento de izquierda y derecha a lo largo de la bodega de almacenaje. El motor es motor con freno de resorte de disco único con una capacidad de 2 HP, o bien una capacidad de 1,4914 kW y corriente de placa de 2,45 A.

El motor del carro posee un guardamotor Siemens serie 3RV10111EA15 de 2,8 A a 4 A, como se muestra en la figura 11. Este guardamotor es alimentado desde el bus de distribución de 460 Vac. Junto al mismo, el motor del carro de despacho utiliza un contactor siemens serie 3RT1017, como se muestra en la figura No. 9. Este es un *block* de contactores y posee una conexión desde el guardamotor hacia el motor directamente.

Figura 11. **Guardamotor Siemens 3RV10111EA15**



Fuente: Siemens, *Catálogo de producto 2014*, p. 44.

2.3.2.2.3. Manga de descarga 1

La manga de descarga 1 se utiliza para dejar pasar el grano hacia el punto de despacho. Este funciona realizando un movimiento de abajo y arriba dependiendo del nivel de almacenaje que se requiera. El motor tiene una capacidad de 1 HP, o bien una capacidad de 0,7457 kW y corriente de placa de 1,22 A.

El motor de la manga 1 posee un guardamotor Siemens serie 3RV10111AA15 de 1,1 A a 1,6 A, como se muestra en la figura 12. Este guardamotor es alimentado desde el bus de distribución de 460 Vac. Junto al mismo, el motor de la manga de descarga utiliza un contactor siemens serie 3RT1017, como se muestra en la figura No. 9. Este es un *block* de contactores que poseen módulo de contactos extra y posee una conexión desde el guardamotor hacia el motor directamente.

Figura 12. **Guardamotor Siemens 3RV10111AA15**



Fuente: Siemens, *Catálogo de producto 2014*. p. 46.

2.3.3. Etapa de despacho

A continuación se explica las características eléctricas de la etapa de despacho.

2.3.3.1. Transporte de grano

Esta área se encarga de trasportar el grano desde el almacenaje hasta el despacho en los camiones de distribución. Este proceso consta de los equipos que a continuación se describen.

2.3.3.1.1. Bandas transportadoras

Las bandas transportadoras son en total 4; llamadas desde T5 hasta T8, respectivamente; estas se encargan de transportar los granos almacenados hasta el elevador de carga, se mueven en una sola dirección, sin cambio de giro. Cada banda utiliza un motor para realizar ese movimiento. El motor, es un

motor trifásicos de inducción cerrada, marca Siemens con una capacidad de 30 HP, o bien una capacidad de 22,371 kW y corriente de placa de 36,72 A.

Los motores de las bandas transportadoras poseen un guardamotor Siemens serie 3RV10314FA15 de 28 A a 40 A (ver figura 10). Este guardamotor es alimentado desde el bus de distribución de 460 Vac. Junto al guardamotor, los motores de la banda transportadora utilizan un arrancador suave Sikostart, de marca Siemens serie 3RW40461BB14 (ver figura 10). Este es un arrancador suave posee una conexión desde el guardamotor hacia el motor directamente.

2.3.3.1.2. Elevador de carga 1 (E-1)

El elevador de carga de subir el grano a una altura de 30 mts. El elevador consta de un amperímetro para monitorear la carga que el grano genera. El motor es un motor trifásico de inducción cerrada, marca Siemens, con una capacidad de 60 HP, o bien una capacidad de 44,74 kW y corriente de placa de 73,44 A.

Los motores del elevador poseen un guardamotor Siemens serie 3RV10414FA15 de 70 A a 90 A (ver figura 13). Este guardamotor es alimentado desde el bus de distribución de 460 Vac. Junto al mismo, el motor del elevador utiliza un arrancador suave Sikostart de marca siemens serie 3RW40556BB34, (ver figura 13). Este es un arrancador suave posee una conexión desde el guardamotor hacia el motor directamente.

Figura 13. **Guardamotor 3RV10414FA15 y Sikostart 3RW40556BB34**



Fuente: Siemens, *Catálogo de producto 2014*. p. 47.

2.3.3.1.3. **Válvula eléctrica 2 (VE-2)**

La válvula eléctrica (VE-2) localizada en la parte superior del elevador, hace la división del producto hacia dos nuevos destinos: el primero es hacia la banda transportadora 2, para que el producto sea almacenado nuevamente; el segundo destino es hacia la válvula eléctrica 3, para el despacho del producto. El motor es un motor trifásico de inducción cerrada, marca Siemens, con una capacidad de 0,25 HP, o bien una capacidad de 0,1865 kW y corriente de placa de 0,31 A.

El motor de la válvula eléctrica 2 posee un guardamotor Siemens serie 3RV20110GA15 de 0,46 A a 0,63 A, como se muestra en la figura 9. Este guardamotor es alimentado desde el bus de distribución de 460 Vac. Junto al guardamotor, el motor de la válvula eléctrica utiliza un contactor Siemens serie 3RT1017, como se muestra en la figura 9. Este es un *block* de contactores que poseen módulo de contactos extra y posee una conexión desde el guardamotor hacia el motor directamente.

2.3.3.2. Despacho de granos

Esta área se encarga de despachar el grano desde el almacenaje hasta el despacho en los camiones de distribución. Este proceso consta de los siguientes equipos.

2.3.3.2.1. Válvula eléctrica 3 (VE-3)

La válvula eléctrica (VE-3) localizada en la parte superior del área de despacho, hace la división del producto hacia dos nuevos destinos: el primero es hacia la banda transportadora T-9, está dirigida al área de despacho 2; el segundo destino es hacia la compuerta motorizada 17, para el despacho del producto. El motor es un motor trifásico de inducción cerrada, marca Siemens, con una capacidad de 0,25 HP, o bien una capacidad de 0,1865 kW y corriente de placa de 0,31 A.

El motor de la válvula eléctrica 2 posee un guardamotor Siemens, serie 3RV20110GA15 de 0,46 A a 0,63 A, como se muestra en la figura 9. Este guardamotor es alimentado desde el bus de distribución de 460 Vac. Junto al mismo, el motor de la válvula eléctrica utiliza un contactor Siemens serie 3RT1017, como se muestra en la figura 9. Este es un block de contactores que poseen módulo de contactos extra y posee una conexión desde el guardamotor hacia el motor directamente.

2.3.3.2.2. Banda transportadora T-9

La banda transportadora 9 (T-9) se encarga de transportar los granos almacenados desde la válvula eléctrica 3 hasta la compuerta de despacho número 18; esta banda se mueve en una sola dirección, sin cambio de giro.

Cada banda utiliza un motor para realizar ese movimiento. El motor es un motor trifásico de inducción cerrada, marca Siemens, con una capacidad de 30 HP, o bien una capacidad de 22,371 kW y corriente de placa de 36,72 A.

Los motores de la banda transportadora T-9 poseen un guardamotor Siemens serie 3RV10314FA15 de 28 A a 40 A, como se muestra en la figura 8. Este guardamotor es alimentado desde el bus de distribución de 460 Vac. Junto al guardamotor, los motores de la banda transportadora utilizan un arrancador suave Sikostart de marca siemens serie 3RW40461BB14, como se muestra en la figura 8. Este es un arrancador suave posee una conexión desde el guarda motor hacia el motor directamente.

2.3.3.2.3. Compuertas motorizadas

Las compuertas motorizadas en el área de despacho tienen la función de pasar el grano hacia el punto de despacho. El área de despacho posee dos compuertas de despacho, CM-17 Y CM-18, respectivamente. Estas funcionan manualmente con selectores que realizan el movimiento de abrir y cerrar la compuerta de almacenaje. El motor es un motor trifásico de inducción cerrada, marca Siemens, con una capacidad de 0,75 HP, o bien una capacidad de 0,5593 kW y corriente de placa de 0,56 A.

El motor de las compuertas eléctricas poseen un guardamotor Siemens, serie 3RV10111AA15 de 1,1 A a 1,6 A, como se muestra en la figura No. 8. Este guardamotor es alimentado desde el bus de distribución de 460 Vac. Junto al guardamotor, el motor de cada compuerta motorizada utiliza un contactor Siemens serie 3RT1017, como se muestra en la figura 8. Este es un block de contactores que posee módulos de contactos extra y una conexión desde el guardamotor hacia el motor directamente.

2.3.3.2.4. Mangas de descarga

Las mangas de descarga en el área de despacho se utilizan para pasar el grano hacia el punto de despacho. El área de despacho posee dos mangas, una por compuerta motorizada. Estas funcionan realizando un movimiento de abajo y arriba dependiendo del nivel de almacenaje que se requiera. El motor tiene una capacidad de 1 HP, o bien una capacidad de 0,7457 kW y corriente de placa de 1,22 A.

El motor de las mangas posee un guardamotor Siemens, serie 3RV10111AA15 de 1,1 A a 1,6 A, como se muestra en la figura No. 8. Este guardamotor es alimentado desde el bus de distribución de 460 Vac. Junto al guardamotor, el motor de la manga de descarga utiliza un contactor Siemens serie 3RT1017, como se muestra en la figura 8. Este es un *block* de contactores que posee un módulo de contactos extra y una conexión desde el guardamotor hacia el motor directamente.

2.3.4. Cálculo del sistema eléctrico

Toda instalación eléctrica posee varios criterios eléctricos o normas para garantizar el buen funcionamiento. Este diseño se basó en el código eléctrico nacional (NEC) o NFPA 70 NOM-001-SEDE-2008. El cual es un estándar de los Estados Unidos para la instalación segura de cableado y equipo eléctrico. El NEC no es en sí una Ley de EE.UU.; el uso del NEC es comúnmente exigido por la ley estatal o local.

El código es ampliamente adoptado debido a que es generado a través de un proceso abierto y consensuado. Todos los códigos son desarrollados y revistos periódicamente por más de 500 miembros de comités voluntarios,

quienes cuentan con suma experiencia en el campo profesional. La junta directiva de la National Fire Protection Association (NFPA) posee un consejo de normas compuesto por 13 miembros que administran las actividades que generan las normas y sus reglamentaciones.

Como primer paso se calcula el consumo del equipo con la siguiente ecuación:

$$P = VI$$

Donde P es capacidad del motor en kilowatts (kW), V es voltaje trifásico de alimentación en voltios (Vac), y I es la corriente consumida en amperios (A).

De la ecuación anterior, se despeja la corriente y se obtiene el siguiente dato:

$$I = \frac{P}{V} \quad (1)$$

Teniendo el dato de corriente, se establece si el equipo eléctrico será una carga lineal o no lineal. Una carga lineal significa que el equipo tendrá 3 o más horas de trabajo constante. Una carga no lineal significa que el equipo no tendrá más de 3 horas de trabajo constante; si se establece que el equipo será una carga lineal, la corriente obtenida por la ecuación 1 se multiplicará por un factor de 1,25; si se establece que la carga es no lineal, se utilizará el resultado de la ecuación 1.

El siguiente paso, es utilizar la tabla 310.16, del “*conductor sizing and the national electrical code*”, del NOM-001-SEDE-2008”, figura 12, donde se elige el conductor adecuado según el consumo de corriente del equipo.

Esta tabla indica tres factores importantes unidos a la corriente máxima que soporta el conductor; el primer factor es el tipo de aislante que posee el conductor, indicando el valor máximo de corriente que puede tener basado en el aislante que posea; el segundo factor es la temperatura de trabajo, la corriente máxima de la tabla se cumple únicamente si la temperatura ambiente es de 30 °C; el tercer factor es la tubería que se utiliza para transportar el conductor; los valores de la tabla se cumplen únicamente si se utilizan 3 o menos conductores por tubería.

Tabla I. 310.16

CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN DE CORRIENTE EN AMPERES DE CONDUCTORES AISLADOS DE 0 A 2000 VOLTS, 60 °C A 90 °C. NO MÁS DE 3 CONDUCTORES EN UN CABLE, EN UNA CANALIZACIÓN O DIRECTAMENTE ENTERRADOS Y PARA UNA TEMPERATURA AMBIENTE DE 30 °C.							
ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL (AWG/KCMIL)	ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL (mm ²)	TEMPERATURAS MÁXIMAS DE OPERACIÓN (VER TABLA 310.13)					
		COBRE			ALUMINIO		
		60°C TW, UF*	75°C RW ¹ , THW ¹ , THHW ¹ , THW-LE, THWN ¹ , XHHW ¹ , USE ¹ .	90°C SA, B, S, FEP ² , FEP ² , RW ² , RHW ² , W, THW ² , THHW ² , THW-LE, THWN ² , TT, THWN ² , THWN ² , USE ² , XHHW ² , XHHW ² -2	60°C TW, UF*	75°C RW ¹ , THW ¹ , THHW ¹ , THW-LE, THWN ¹ , XHHW ¹ , USE ¹ .	90°C SA, B, S, FEP ² , FEP ² , RW ² , RHW ² , W, THW ² , THHW ² , THW-LE, THWN ² , TT, THWN ² , THWN ² , USE ² , XHHW ² , XHHW ² -2
18	0.8235			14			
16	1.307			18			
14	2.082	20	20	25			
12	3.307	25	25	30	20	20	25
10	5.26	30	35	40	25	30	35
8	8.367	40	50	55	30	40	45
6	13.3	55	65	75	40	50	60
4	21.15	70	85	95	55	65	75
2	33.62	95	115	130	75	90	100
1	42.41	110	130	150	85	100	115
1/0	53.48	125	150	170	100	120	135
2/0	67.43	145	175	195	115	135	150
3/0	85.01	165	200	225	130	155	175
4/0	107.2	195	230	260	150	180	205
250	126.7	215	255	290	170	205	230
300	152	240	285	320	190	230	255
350	177.3	260	310	350	210	250	280
400	202.7	280	335	380	225	270	305
500	253.4	320	380	430	260	310	350
600	304	355	420	475	285	340	385
750	380	400	475	535	320	385	435
1000	506.7	455	545	615	375	445	500

FACTORES DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA							
TEMPERATURA AMBIENTE °C	PARA TEMPERATURA AMBIENTE DIFERENTE DE 30°C MULTIPLICAR LAS CAPACIDADES DE CORRIENTE DE LA TABLA MOSTRADA ARRIBA POR EL FACTOR DE CORRECCIÓN CORRESPONDIENTE EN ESTA TABLA.						
21-25	1.08	1.05	1.04	1.08	1.05	1.04	
26-30	1	1	1	1	1	1	
31-35	0.91	0.94	0.96	0.91	0.94	0.96	
36-40	0.82	0.88	0.91	0.82	0.88	0.91	
41-45	0.71	0.82	0.87	0.71	0.82	0.87	
46-50	0.58	0.75	0.82	0.58	0.75	0.82	
51-55	0.41	0.67	0.76	0.41	0.67	0.76	
56-60		0.58	0.71		0.58	0.71	
61-70		0.33	0.58		0.33	0.58	
71-80			0.41			0.41	

LA PROTECCIÓN PARA SOBRECORRIENTE PARA CONDUCTORES DE COBRE, ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE, EN LOS TIPOS MARCADOS CON UN ASTERISCO (*), NO DEBE EXCEDER DE:
 15 A PARA 2.082 MM² (14), 20 A PARA 3.307 MM² (12) Y 30 A PARA 5.260 MM² (10) PARA CONDUCTORES DE COBRE.
 15 A PARA 3.307 MM² (12), Y 25 A PARA 5.260 MM² (10) PARA CONDUCTORES DE ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE.
 LO ANTERIOR DESPUÉS QUE SE HAYAN APLICADO LOS FACTORES DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA AMBIENTE Y AGRUPAMIENTO DE CONDUCTORES.

Fuente: "Conductor sizing and the national electrical code", del NOM-001-SEDE-2008. p. 5.

Al momento de elegir el conductor adecuado según la tabla, se procede a realizar los factores de corrección, debido a que en el diseño se utilizarán 7 conductores por tubería; adicionalmente, se agrega que el proyecto se encuentra ubicado en el Puerto Quetzal de Guatemala, dentro de las instalaciones del recinto portuario, donde se maneja un temperatura ambiente de 36 °C. Debido la información anterior se procede a realizar el primer factor de corrección. Dado que la temperatura ambiente sobrepasa los 30 °C, la tabla posee en la parte inferior una tabla de factor de corrección por temperatura. Esta indica cuál es el factor por el cual se debe multiplicar la corriente máxima, dependiendo del tipo de aislante elegido.

Como la temperatura ambiente de trabajo es de 36 °C, la tabla indica que la corriente máxima del conductor se debe multiplicar por un factor de 0,91.

El segundo factor de corrección que se realizará será debido a la cantidad de conductores que se pretende en este diseño. La tabla 310,16 indica que únicamente se deben utilizar 3 conductores o menos por tubería. Para corregir este factor se utiliza la tabla 310,19 del “*conductor sizing and the national electrical code*”, del NOM-001-SEDE-2008”, también conocida como “nota 8”; esta tabla posee los factores de corrección que se deben tomar en el momento de que no se cumpla la regla de tubería en la tabla 310,16. En el diseño propuesto se utilizarán 7 conductores por tubería, tomando los datos de la nota 8, la corriente máxima del conductor de la tabla 310,16 se multiplica por un factor de 0,70, para corregir y asegurar un buen diseño eléctrico.

Tabla II. **310.19 (nota 8)**

Número de conductores activos	Por ciento de valor de las tablas ajustado para la temperatura ambiente si fuera necesario
De 4 a 6	80
De 7 a 9	70
De 10 a 20	50
De 21 a 30	45
De 31 a 40	40
41 y más	35

Fuente: "Conductor sizing and the national electrical code", del NOM-001-SEDE-2008. p. 6.

El último factor de corrección a realizar es debido a la caída de voltaje en la distancia de los conductores a utilizar; este es directamente proporcional a la distancia. El NEC posee una norma para circuitos ramales, el NEC explica que un circuito ramal se compone desde la carga hasta su primer fusible de protección. El NEC indica que el porcentaje de caída de voltaje de un circuito ramal debe ser de un 3 % del voltaje nominal.

En el sistema propuesto se utilizará un voltaje nominal de 480 Vac, por lo que la caída de voltaje permitido por norma no debe sobrepasar los 14,4 Vac. Teniendo esta información se utiliza la siguiente ecuación, para conocer la caída de voltaje que debe tener el conductor, según el diseño y tomando en cuenta los factores de corrección realizados.

$$Caída\ de\ voltaje = V_d = \frac{\sqrt{3} * K * D * I}{MCM} \quad (2)$$

Donde MCM es el área circular en miles de centímetros, K es la constante del material del conductor; en este caso 12,9 por tratarse de cobre. D es la distancia que tendrá el conductor en pies (ft) e I es el consumo que tendrá el conductor en amperios (A). Dada la ecuación anterior, se puede realizar el cálculo de la caída de voltaje que debe tener un conductor.

Al momento de realizar todos los factores de corrección en el conductor se asegura que el diseño eléctrico se encuentra en óptimas condiciones y respetando las normas eléctricas de instalación eléctrica. Ya conociendo todos los factores de corrección a realizar para el diseño eléctrico propuesto, se presenta a continuación un cuadro de cargas, indicando el equipo a utilizar, y conductor a utilizar para su instalación y todos los datos correspondientes que se usaron para llegar a esa conclusión.

Tabla III. Cuadro de cargas

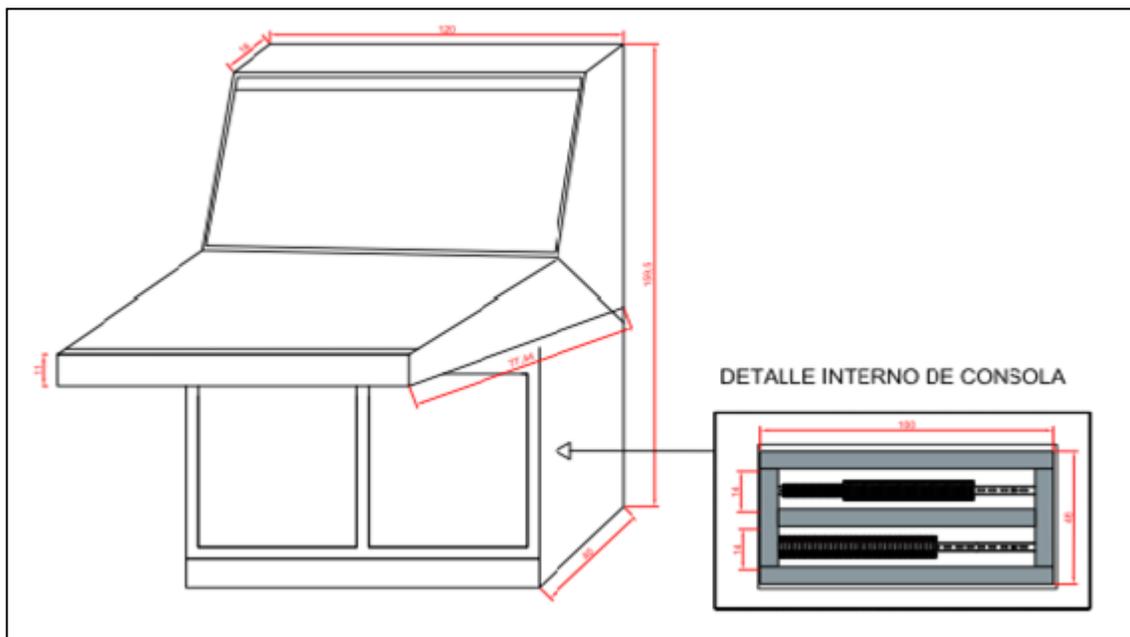
No.	Descripción	Cant	Fases (φ)	Potencia (HP)	Potencia (kW)	Corriente (A)	Material del Conductor	Calibre (AWG)	Distancia (Mts)	Caída de Voltaje (Vn)	Tubería (Pulg)	Temp. Ambiente (°C)
1	T1	2	3	60	44.76	70.23	Cobre (Cu)	2	90	6.98	1 1/2	36
2	T2	2	3	60	44.76	70.23	Cobre (Cu)	2	60	4.65	1 1/2	36
3	T3	2	3	90	67.30	105.52	Cobre (Cu)	4	120	12.33	1 1/2	36
4	T4	2	3	90	67.30	105.52	Cobre (Cu)	4	120	12.33	1 1/2	36
5	T5	2	3	30	22.38	35.11	Cobre (Cu)	6	40	3.92	1 1/2	36
6	T6	2	3	30	22.38	35.11	Cobre (Cu)	6	40	3.92	1 1/2	36
7	T7	2	3	30	22.38	35.11	Cobre (Cu)	6	40	3.92	1 1/2	36
8	T8	2	3	30	22.38	35.11	Cobre (Cu)	6	40	3.92	1 1/2	36
9	T9	2	3	30	22.38	35.11	Cobre (Cu)	6	50	4.9	1 1/2	36
10	E1	2	3	60	44.76	70.23	Cobre (Cu)	2	60	4.65	1 1/2	36
11	CM1	1	3	0.75	0.56	0.70	Cobre (Cu)	12	114	0.89	1 1/2	36
12	CM2	1	3	0.75	0.56	0.70	Cobre (Cu)	12	108	0.85	1 1/2	36
13	CM3	1	3	0.75	0.56	0.70	Cobre (Cu)	12	102	0.8	1 1/2	36
14	CM4	1	3	0.75	0.56	0.70	Cobre (Cu)	12	96	0.75	1 1/2	36
15	CM5	1	3	0.75	0.56	0.70	Cobre (Cu)	12	90	0.71	1 1/2	36
16	CM6	1	3	0.75	0.56	0.70	Cobre (Cu)	12	84	0.66	1 1/2	36
17	CM7	1	3	0.75	0.56	0.70	Cobre (Cu)	12	78	0.61	1 1/2	36
18	CM8	1	3	0.75	0.56	0.70	Cobre (Cu)	12	72	0.57	1 1/2	36
19	CM9	1	3	0.75	0.56	0.70	Cobre (Cu)	12	114	0.89	1 1/2	36
20	CM10	1	3	0.75	0.56	0.70	Cobre (Cu)	12	108	0.85	1 1/2	36
21	CM11	1	3	0.75	0.56	0.70	Cobre (Cu)	12	102	0.8	1 1/2	36
22	CM12	1	3	0.75	0.56	0.70	Cobre (Cu)	12	96	0.75	1 1/2	36
23	CM13	1	3	0.75	0.56	0.70	Cobre (Cu)	12	90	0.71	1 1/2	36
24	CM14	1	3	0.75	0.56	0.70	Cobre (Cu)	12	84	0.66	1 1/2	36
25	CM15	1	3	0.75	0.56	0.70	Cobre (Cu)	12	78	0.61	1 1/2	36
26	CM16	1	3	0.75	0.56	0.70	Cobre (Cu)	12	72	0.57	1 1/2	36
27	CM17	1	3	0.75	0.56	0.70	Cobre (Cu)	12	10	0.08	1 1/2	36
28	VN1	1	3	0.25	0.19	0.23	Cobre (Cu)	12	60	0.47	1 1/2	36
29	VN2	1	3	0.25	0.19	0.23	Cobre (Cu)	12	60	0.47	1 1/2	36
30	VN3	1	3	0.25	0.19	0.23	Cobre (Cu)	12	70	0.08	1 1/2	36
31	Cerro	1	3	2	1.49	2.34	Cobre (Cu)	12	250	6.56	1 1/2	36
32	MANGA 1	1	3	1	0.75	1.17	Cobre (Cu)	12	250	3.28	1 1/2	36
33	MANGA 2	1	3	1	0.75	1.17	Cobre (Cu)	12	10	3.28	1 1/2	36

Fuente: elaboración propia.

2.3.5. Detalle interno de la consola de control (MCC)

En la figura 14 se puede observar un tablero de control, donde este está diseñado para contener el mando manual del CCM, dejando en la parte superior las luces piloto, indicadores visuales del equipo instalado y en la parte inferior la botonería de control.

Figura 14. Consola de control



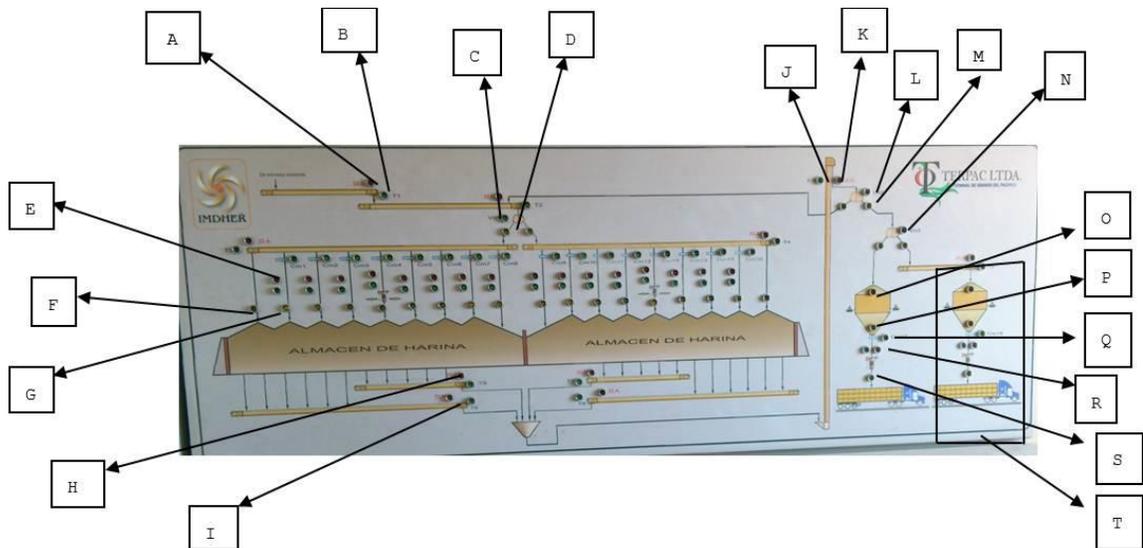
Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

2.3.5.1. Visualización del sistema de control

En la figura 15 se puede visualizar lo siguiente señales:

- (A) Señal de atasco de la banda transportadora
- (B) Señal de funcionamiento de la banda transportadora
- (C) Señal de funcionamiento de la válvula eléctrica 1
- (D) Señal de posición de la válvula eléctrica 1
- (E) Señal de funcionamiento de compuerta motorizada
- (F) Señal de posición de la compuerta motorizada
- (G) Señal de posición del carro de descarga
- (H) Señal de atasco de la banda transportadora
- (I) Señal de funcionamiento de la banda transportadora
- (J) Señal de funcionamiento del elevador de carga
- (K) Señal de atasco del elevador de carga
- (L) Señal de funcionamiento de la válvula eléctrica 2
- (M) Señal de posición de la válvula eléctrica 2
- (N) Señal de funcionamiento de la válvula eléctrica 3
- (O) Sensor de tolva alto
- (P) Sensor de tolva bajo
- (Q) Señal de funcionamiento de compuerta motorizada
- (R) Señal de posición de compuerta motorizada
- (S) Señal de funcionamiento de manga de despacho
- (T) Señales de área de despacho 2

Figura 15. **Tablero de señalización**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

2.3.5.1.1. **Señal de atasco de la banda transportadora**

Como se muestra en la Imagen 16, la señal proviene del contacto normalmente abierto del relay de atasco que es activado en el momento que el sensor instalado en la banda transportadora, detecta un problema de atasco en los motores que mueven el producto hacia la válvula eléctrica. Este envía un pulso eléctrico hacia el *relays*, cerrando el contacto y activando la señalización de alarma en los motores.

Este procedimiento y señalización funciona con las bandas transportadoras 1, 2, 3 y 4.

Figura 16. **Señal de atasco bandas transportadoras de almacenaje**



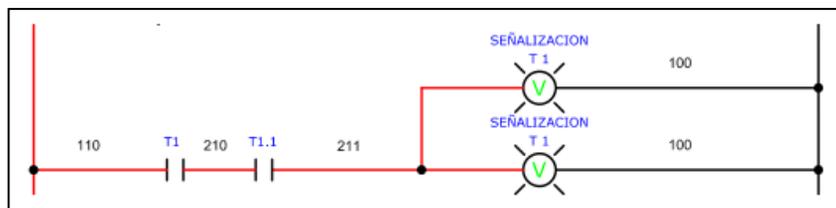
Fuente: elaboración propia.

2.3.5.1.2. **Señal de funcionamiento de la banda transportadora**

Como se muestra en la figura 17, la señal proviene del contacto normalmente abierto; dos *relays* de funcionamiento de los motores de la banda transportadora son activados en el momento que el motor entra en funcionamiento. Este envía un pulso eléctrico hacia los *relays*, cerrando el contacto y activando la señalización de funcionamiento de los motores.

Este procedimiento y señalización funciona con las bandas transportadoras 1, 2, 3 y 4.

Figura 17. **Señal de funcionamiento de bandas transportadoras**

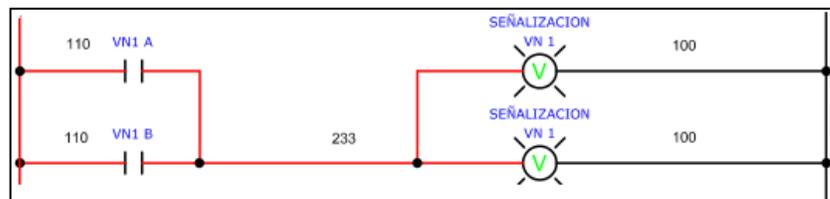


Fuente: elaboración propia.

2.3.5.1.3. Señal de funcionamiento de la válvula eléctrica 1

Como se observa en la figura 18, la señal proviene del contacto normalmente abierto de dos *relays* de funcionamiento, que indican hacia qué lado se está haciendo el movimiento de la válvula eléctrica. Estos envían un pulso eléctrico hacia los *relays*, cerrando el contacto y activando la señalización de funcionamiento de los motores.

Figura 18. Señal de funcionamiento de VE-1

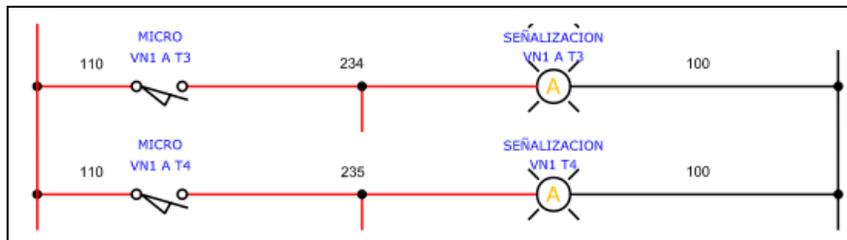


Fuente: elaboración propia.

2.3.5.1.4. Señal de posición de la válvula eléctrica 1

Como se observa en la figura 19, la señal proviene directamente de dos *limitswitch* que se utilizan para sensar la posición física de la válvula eléctrica 1. En el momento que los *limitswitch* son activados, estos envían un pulso eléctrico hacia el tablero de visualización, indicando si la válvula eléctrica se encuentra en posición de la banda transportadora 3 o en la de la banda transportadora 4.

Figura 19. **Señal de posición de VE-1**



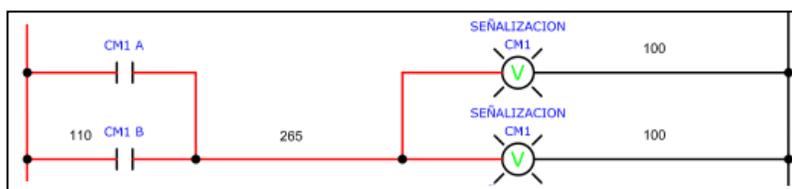
Fuente: elaboración propia.

2.3.5.1.5. **Señal de funcionamiento de compuerta motorizada**

Como se indica en la figura esta señal proviene del contacto normalmente abierto; 2 *relays* de funcionamiento de los motores de la compuerta motorizada son activados en el momento que el motor entra en funcionamiento. Este envía un pulso eléctrico hacia el *relay*, cerrando el contacto y activando la señalización de funcionamiento de los motores.

Este procedimiento y señalización funciona con las 16 compuertas motorizadas, ubicadas dentro de la bodega de almacenaje.

Figura 20. **Señal de funcionamiento de compuertas motorizadas**



Fuente: elaboración propia.

2.3.5.1.6. Señal de posición de la compuerta motorizada

Como se observa en la figura 21, esta señal proviene directamente del *microswitch* que se utiliza para sensar la posición física de la compuerta motorizada. En el momento que el *microswitch* es activado, este envía un pulso eléctrico hacia el tablero de visualización, indicando si la válvula eléctrica se encuentra, en posición abierta o cerrada. Este procedimiento y señalización funciona con las 16 compuertas motorizadas, ubicadas dentro de la bodega de almacenaje.

Figura 21. Señal de posición de la compuerta motorizada



Fuente: elaboración propia.

2.3.5.1.7. Señal de posición del carro de descarga

Como indica la figura 22, la señal proviene directamente del *microswitch* que se utiliza para sensar la posición física del carro de descarga. En el momento que el *microswitch* es activado, este envía un pulso eléctrico hacia el tablero de visualización, indicando cuál es la posición en la que el carro de descarga se encuentra posicionado.

Figura 22. **Señal de posición del carro de descarga**



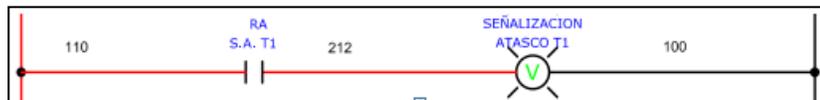
Fuente: elaboración propia.

2.3.5.1.8. **Señal de atasco de la banda transportadora de despacho**

Como se muestra en la figura 23, la señal proviene del contacto normalmente abierto del *relays* de atasco que es activado en el momento que el sensor de atasco instalado en la banda transportadora detecta un problema de atasco en los motores de la banda transportadora que mueven el producto hacia la válvula eléctrica. Este envía un pulso eléctrico hacia el *relay*, cerrando el contacto y activando la señalización de atasco en los motores.

Este procedimiento y señalización funciona con las bandas transportadoras 5, 6, 7 y 8.

Figura 23. **Señal de atasco de las bandas transportadoras de despacho**



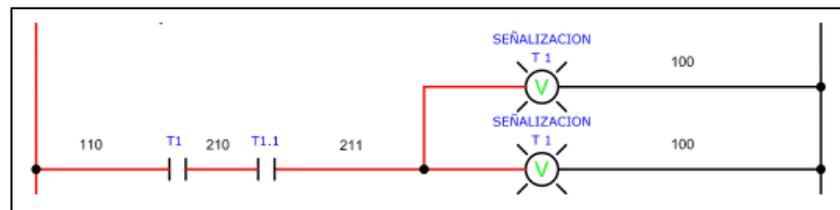
Fuente: elaboración propia.

2.3.5.1.9. Señal de funcionamiento de la banda transportadora de despacho

Como se muestra en la figura 24, la señal proviene del contacto normalmente abierto, de los *relays* de funcionamiento de los motores de la banda transportadora que es activado en el momento que el motor entra en funcionamiento. Este envía un pulso eléctrico hacia los *relays*, cerrando el contacto y activando la señalización de funcionamiento de los motores.

Este procedimiento y señalización funciona con las bandas transportadoras 5, 6, 7 y 8.

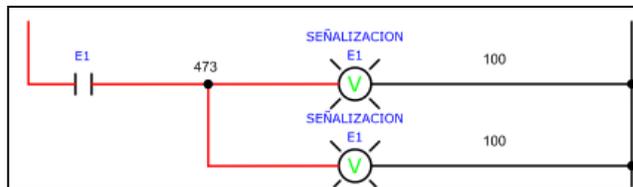
Figura 24. **Señal de funcionamiento de bandas transportadoras de despacho**



Fuente: elaboración propia.

- Señal de funcionamiento del elevador de carga: como se muestra en la figura 25, la señal proviene del contacto normalmente abierto de un *relays* de funcionamiento del motor del elevador de carga, que es activado en el momento que el motor entra en funcionamiento. Este envía un pulso eléctrico hacia el *relay*, cerrando el contacto y activando la señalización de funcionamiento del motor.

Figura 25. **Señal de funcionamiento del E-1**



Fuente: elaboración propia.

- Señal de atasco del elevador de carga: como se muestra en la figura 26, la señal proviene del contacto normalmente abierto del *relays* de atasco, que es activado en el momento que el sensor instalado en el elevador detecta un problema de atasco en el motor del elevador de carga. Este envía un pulso eléctrico hacia el *relays*, cerrando el contacto y activando la señalización de atasco en los motores.

Figura 26. **Señal de atasco de E-1**

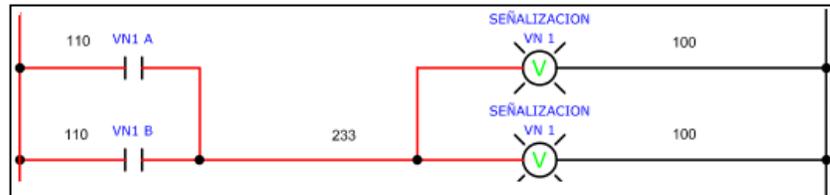


Fuente: elaboración propia.

- Señal de funcionamiento de la válvula eléctrica 2: como se observa en la figura 27, la señal proviene del contacto normalmente abierto de dos *relays* de funcionamiento; estos *relays* indican hacia qué lado se está haciendo el movimiento de la válvula eléctrica. Estos envían un pulso

eléctrico hacia los *relays*, cerrando el contacto y activando la señalización de funcionamiento de los motores.

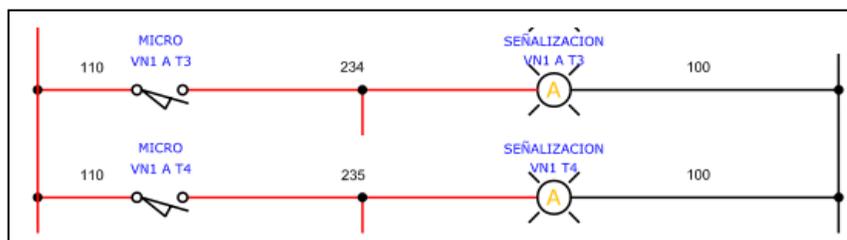
Figura 27. **Señal de funcionamiento de VE-2**



Fuente: elaboración propia.

- Señal de posición de la válvula eléctrica 2: como se observa en la figura 28, la señal proviene directamente de dos *microswitch* que se utilizan para sensar la posición física de la válvula eléctrica 2. En el momento que los *microswitch* son activados, estos envían un pulso eléctrico hacia el tablero de visualización, indicando si la válvula eléctrica se encuentra, en posición de la banda transportadora 2 o en la posición de la despacho de producto.

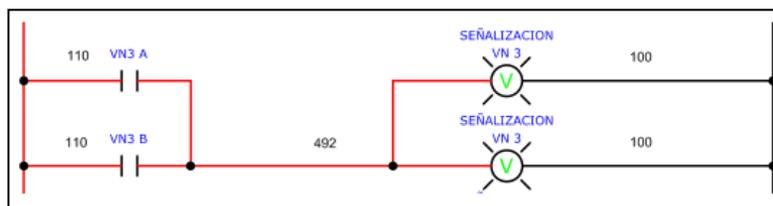
Figura 28. **Señal de posición de VE-2**



Fuente: elaboración propia.

- Señal de funcionamiento de la válvula eléctrica 3: como se observa en la figura 29, la señal proviene del contacto normalmente abierto de 2 *relays* de funcionamiento; estos indican hacia qué lado se está haciendo el movimiento de la válvula eléctrica y envían un pulso eléctrico hacia los *relays*, cerrando el contacto y activando la señalización de funcionamiento de los motores.

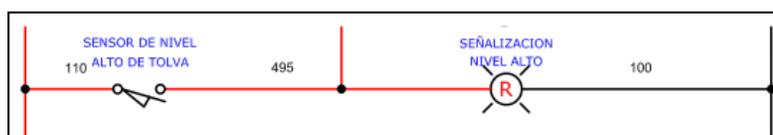
Figura 29. **Señal de funcionamiento de VE-3**



Fuente: elaboración propia.

- Sensor de tolva alto: como se observa en la figura 30, la señal proviene directamente de un *microswitch* que se utiliza para sensar cuando la tolva de despacho está en su posición límite de producto a despachar. En el momento que el *microswitch* es activado, este envía un pulso eléctrico hacia el tablero de visualización, indicando que la tolva llegó a su límite más alto de producto para despacho.

Figura 30. **Sensor de tolva alto**



Fuente: elaboración propia.

- Sensor de tolva bajo: como se observa en la figura No. 31, la señal proviene directamente de un *microswitch* que se utiliza para sensar cuando la tolva de despacho está en su posición límite de producto despachado. En el momento que el *microswitch* es activado, este envía un pulso eléctrico hacia el tablero de visualización, indicando que la tolva llegó a su límite más bajo de producto para despacho.

Figura 31. **Sensor de tolva bajo**

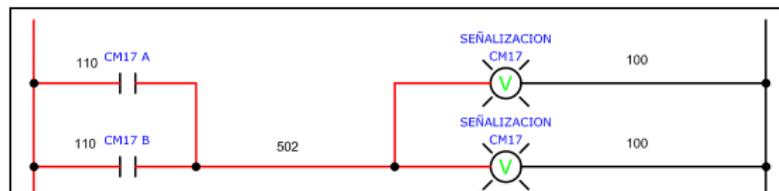


Fuente: elaboración propia.

- Señal de funcionamiento de compuerta motorizada de despacho

Como se indica en la figura 32 la señal proviene del contacto normalmente abierto dos relays de funcionamiento de los motores de la compuerta motorizada que son activado en el momento que el motor entra en funcionamiento. Este envía un pulso eléctrico hacia el *relay*, cerrando el contacto y activando la señalización de funcionamiento de los motores.

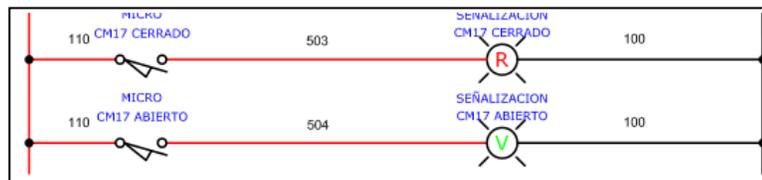
Figura 32. **Señal funcionamiento de CM de despacho**



Fuente: elaboración propia.

- Señal de posición de compuerta motorizada de despacho: como se observa en la figura núm. 33, la señal proviene directamente el *microswitch* que se utiliza para sensar la posición física de la compuerta motorizada. En el momento que el *microswitch* es activado, este envía un pulso eléctrico hacia el tablero de visualización, indicando si la válvula eléctrica se encuentra, en posición abierta o cerrada.

Figura 33. **Señal de posición de CM de despacho**



Fuente: elaboración propia.

- Señal de funcionamiento de manga de despacho: esta señal proviene de la manga de despacho 2; la señal es activada en el momento que la manga comienza su funcionamiento. Actualmente este sensor no está instalado, por lo que la señal de funcionamiento de manga de despacho no se activa en ningún momento.
- Señales de área de despacho-2: esta área de despacho no se encuentra instalada actualmente; inicia con una nueva banda transportadora (T-9); proviene de la válvula eléctrica 3 (VE-3), va hacia la tolva de despacho 2. Esta banda transportadora, al igual que las bandas anteriores, posee señalización de control cuando esta banda se encuentra en funcionamiento y cuando esta banda sufre de algún problema de atasco.

La tolva de despacho 2 se utiliza para almacenar grano para su despacho hacia los camiones de transporte. Este posee 2 señalizaciones de control: una señalización de nivel alto de tolva que se utiliza para conocer el momento en que la tolva de despacho posee la mayor cantidad de producto posible. La segunda señalización es la de nivel bajo de tolva, que se utiliza para conocer el instante en que la tolva llega a su punto límite de producto por despachar.

Al igual que en la tolva de despacho 1, en la tolva de despacho 2, habrá una compuerta motorizada (CM-18); esta compuerta motorizada se utilizará para despachar producto a los camiones. Esta compuerta constará de 3 señalizaciones: la primera es de control del funcionamiento de la compuerta motorizada; la segunda señalización de control será para la visualización de que la compuerta motorizada se encuentra en la posición de cerrado, y por último, la señalización es para la visualización de que la compuerta motorizada se encuentra en la posición de cerrado.

La ultima señalización de la nueva área de despacho está destinada al funcionamiento de la manga 3, que se utilizará para el despacho de granos en los camiones.

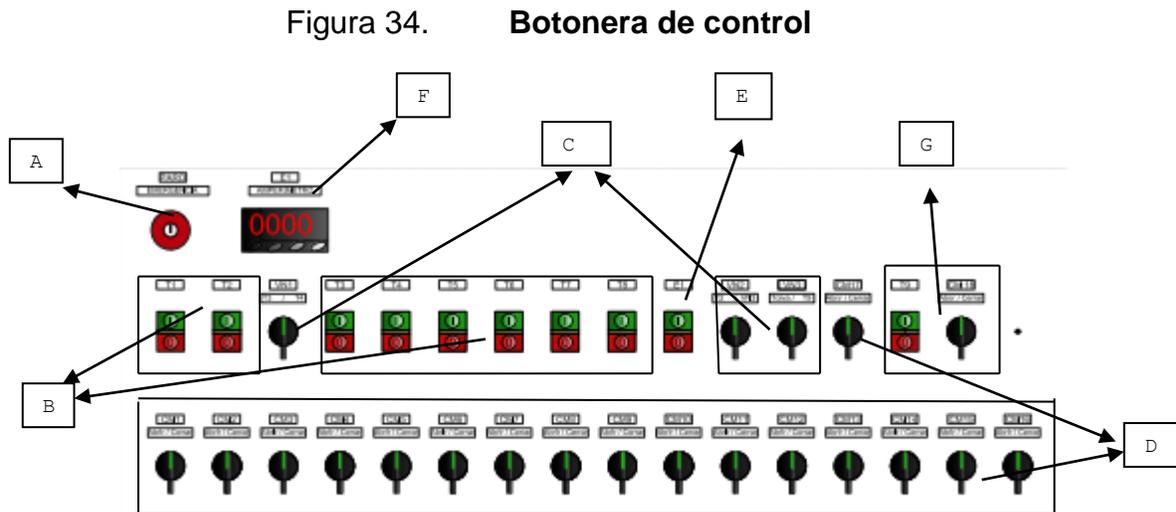
2.3.5.2. Botonera de control

En la figura 32 se visualiza lo siguiente:

- (A) Paro de emergencia
- (B) Bandas transportadoras
- (C) Válvulas eléctricas
- (D) Compuertas motorizadas
- (E) Elevador de carga

(F) Aerómetro de carga

(G) Área de despacho 2



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

2.3.5.2.1. Paro de emergencia

Este es un botón se utiliza para realizar un paro a todo el funcionamiento del proceso. Está conectado directamente a la alimentación de todos los motores dentro el almacenaje y despacho de granos; internamente es un contacto normalmente cerrado, lo que indica que en el momento que es presionado este corta la alimentación a todos los motores, inhabilitándolos y deteniendo todo el proceso. Solo debe ser presionado en caso de una emergencia, por lo que consta de una llave de seguridad para liberar el botón, una vez ya presionado.

En la figura 33 se presenta una imagen del pulsador de emergencia utilizado en las instalaciones, con un diámetro de 40 mm con llave de seguridad, de contacto normalmente cerrado.

Figura 35. **Botón tipo hongo para paro**



Fuente: *Catálogo STECK*. p. 56.

2.3.5.2.2. Bandas transportadoras

Para las bandas transportadoras se utilizó un doble pulsador con iluminación. Posee las señales de inicio y paro del motor de la misma. Se utiliza en las 8 bandas transportadoras del proceso de almacenaje y despacho. El pulsador posee una iluminación que indica que el motor de la banda transportadora se encuentra en funcionamiento. La iluminación se inicia en el momento que se pulsa el pulsador de color verde y es detenida al momento de pulsar el pulsador de color rojo.

En la figura 34 se muestra el pulsador doble marca Huawu eléctrica, con cabeza de tipo hongo de diámetro de 40 mm y 60 mm, posee contactos tipo N/O, C/N, N / O + N / C, N y O + N / O. Con certificaciones CE (Comunidad Europea) Y CCC (certificado de calidad chino).

Figura 36. **Pulsador *start/stop***



Fuente: *Catálogo Huawei*. p. 69.

2.3.5.2.3. Válvulas eléctricas

Para las válvulas eléctricas se utilizó un selector de dos posiciones sin iluminación. Este posee las señales de giro del motor de la válvula eléctrica. Se utiliza en las 3 válvulas eléctricas del proceso de almacenaje y despacho. Sirve para seleccionar entre 2 posibles posiciones de la válvula. En la válvula eléctrica 1, se utiliza para seleccionar entre la banda transportadora 3 o la banda transportadora 4; en la válvula eléctrica 2, se utiliza para seleccionar entre la banda transportadora 2 o el despacho de producto. En la válvula eléctrica 3, se utiliza para seleccionar entre la tolva de despacho 1 o la banda transportadora 9.

En la figura 35 se muestra el pulsador doble marca Huawei eléctrica, posee contactos tipo N / O + N / C 24V-240. con certificaciones CE (Comunidad Europea) Y CCC (certificado de calidad chino).

Figura 37. **Selector de tres posiciones**



Fuente: *Catálogo Huawei*. p. 58.

2.3.5.2.4. Compuertas motorizadas

Para las compuertas motorizadas se utilizó un selector de 2 posiciones sin iluminación. Este posee las señales de giro del motor de la compuerta motorizada. Se utiliza en las 17 compuertas motorizadas del proceso de almacenaje y despacho. Sirve para seleccionar entre dos posibles posiciones de la compuerta: la primera posición en que se puede seleccionar la compuerta, es que esta se abra y así dar paso al producto hacia el punto de almacenaje y en el caso de la compuerta 17, para dar paso al producto que será despachado.

La segunda posición posible a seleccionar es que la compuerta se cierre, para evitar el paso del producto hacia el punto de almacenaje; en el caso de la compuerta 17, evita dar paso al producto para que sea despachado.

2.3.5.2.5. Elevador de carga

Para el elevador de carga se utilizó un doble pulsador con iluminación. Este posee las señales de inicio y paro del motor del elevador de carga. El pulsador posee una iluminación que indica que el motor del elevador se encuentra en funcionamiento. La iluminación se inicia en el momento que se pulsa el pulsador de color verde. La iluminación es detenida al momento de pulsar el pulsador de color rojo.

2.3.5.2.6. Amperímetro de carga

El amperímetro de carga en un multímetro marca Hanyoung. Este tiene a su cargo monitorear la corriente que consume el elevador de carga. Este monitoreo se utiliza para tener conocimiento de la cantidad de producto que el elevador de carga transporta.

En la figura 38 se muestra el modelo MP3-4-DV-N instalado en la consola de control. Este multímetro requiere una alimentación de 100-240VAC y puede trabajar con frecuencias 50-60 Hz con un rango de voltaje de 85-110 %. El consumo es de 7 VA. Posee una resistencia de aislamiento de 100 M Ω min a 500 VDC. Fuerza dieléctrica de 2 000 VDC.

Figura 38. **Amperímetro Hanyoung**



Fuente: *Catálogo Huawei*. p. 45.

2.3.5.2.7. Área de despacho 2

El área de despacho 2 consta de dos diferentes pulsadores. El primero es un doble pulsador con iluminación. Este posee las señales de inicio y paro del motor de la banda transportadora. Se utilizará en la banda transportadora 9 del proceso de despacho. El pulsador posee una iluminación que indica que el motor de la banda transportadora se encuentra en funcionamiento. La iluminación se inicia en el momento que se pulsa el pulsador de color verde, es detenida al momento de pulsar el pulsador de color rojo.

El segundo botón es un selector de dos posiciones sin iluminación. Este posee las señales de giro del motor de la compuerta motorizada. Se utiliza en la compuerta motorizada 18 del proceso de despacho; sirve para seleccionar entre dos posibles posiciones de la compuerta; la primera posición en que se puede seleccionar la compuerta, es que esta se abra y así dar paso al producto para que sea despachado. La segunda posición posible es que la compuerta se cierre, así esta evita dar paso al producto para que sea despachado.

2.3.6. Filtros

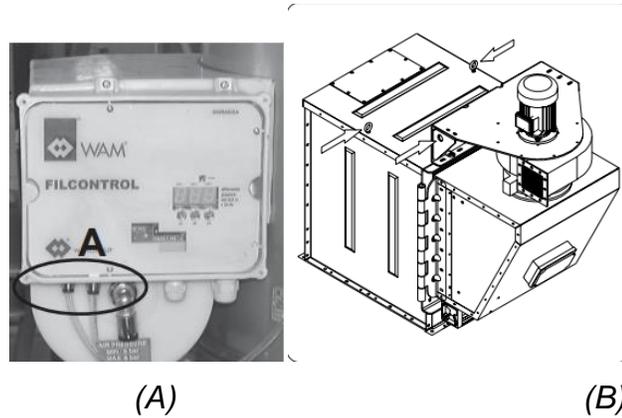
En las instalaciones de la bodega de almacenaje se instalaron 5 filtros colectores de polvo poligonal para atmósferas explosivas; 4 de estos fueron posicionados dentro de la bodega de almacenaje y uno en la tolva de despacho 1.

El cable de los cuatro filtros ubicados en las bodegas de almacenaje llegan desde el centro de control de motores (CCM) hasta los puntos diferentes donde están ubicados los filtros físicamente; se utilizó tubería MT de $\frac{3}{4}$ " para llegar a los diferentes puntos del filtro número 5 localizado en la tolva de despacho.

El motor que se utiliza en los filtros es un motor que posee una capacidad de 2 HP, su capacidad en kilowatts es de 1,4914 kW. Para el control de los filtros se utilizó un *measuring device for pressure differential* (MDPE). Este es un dispositivo de medición para la presión diferencial. Se utiliza para control los tiempos de descarga de aire, posee tiempos de descarga predeterminados que pueden ser visualizados en el anexo 2. Para la alimentación del control de los filtros se utilizaron 3 cables calibre #14AWG y un cable calibre #14AWG para conexión a tierra.

En la figura 37(B) se muestra el filtro colectores de polvo poligonal para atmósferas explosivas, y en la figura 37(A) se muestra el dispositivo de medición para presión diferencial (MDPE).

Figura 39. **Filtros WAM**



Fuente: *manual de usuario filtro WAM*. p. 59.

2.3.7. **Alimentación del transformador seco de 15 kVA**

El trabajo inicia desde la cometa principal, donde se utiliza un y una conexión en secundario de 480/277v; este transformador posee una configuración delta-estrella.

Esta conexión posee una *breaker* principal de protección de 3200 A, este es para la protección para todo el establecimiento de Terpac LTDA. De este *breaker* principal se extrae un ramal hacia uno de 800 A ubicado en el cuarto eléctrico de las instalaciones de Terpac LTDA; el *breaker* de protección es exclusivamente para uso de las nuevas instalaciones de almacenaje y despacho de granos, ubicadas en los Bin 3 y Bin 4, así como su control de funcionamiento. Ya ubicado el *breaker* de protección para las nuevas instalaciones, se extrae un ramal trifásico que viaja a través de tuberías de 4 pulgadas, como se puede observar en la figura 1.

Esta conexión viaja a través de la tubería que atraviesa el despacho de los Bin 1 y 2, hasta llegar a un puente telescópico que une las dos fases de despacho. La conexión viaja por el puente telescópico hasta llegar a la nueva bodega de almacenamiento, donde la conexión viaja hasta el centro de control de motores o MCC (por sus siglas en inglés, *motor center control*).

Al llegar al MCC la conexión, a través de la tubería de 4 pulgadas ingresa por un costado al MCC; esto se realiza de esta manera para evitar entradas de agua por gravedad en perforaciones al centro de control, cumpliendo con normas de seguridad eléctrica, las conexiones entran al MCC donde a través de una escalerilla metálica son trasladados hacia un tablero Eaton como se muestra en la figura 2(A), el cual está diseñada bajo las normas NEMA, NEC, NOM 367 y calificado a prueba de sismos. El tablero incluye un *breaker* de 3x100A para protección dentro del MCC.

Del *breaker* de 3x100 A se utiliza una conexión trifásica en cable calibre 250 MCM, donde por fase se utilizan tres cables. Donde la conexión viaja hasta un transformador seco de 15 kVA trifásico con una conexión en el primario de 480 v y una conexión en el secundario de 240/120, como se muestra en la figura 37.

Figura 40. **Transformador seco de 15kVA**



Fuente: *catálogo Cuttler Hammer*. p. 87.

De este transformador seco se realiza una conexión hacia un gabinete de interconexión localizada dentro del centro de control de motores; la conexión se realiza a través de una tubería de 1'' desde el transformador hasta el gabinete. Esta conexión se realiza con cable calibre #6AWG.

Dentro del gabinete de conexión se encuentra seccionado en cuatro diferentes partes, la primera es la de iluminación; la segunda sección es la fuerza; la tercera es la de oficinas, y por último la cuarta sección es la alimentación eléctrica del compresor que se utiliza en los filtros de succión presentados.

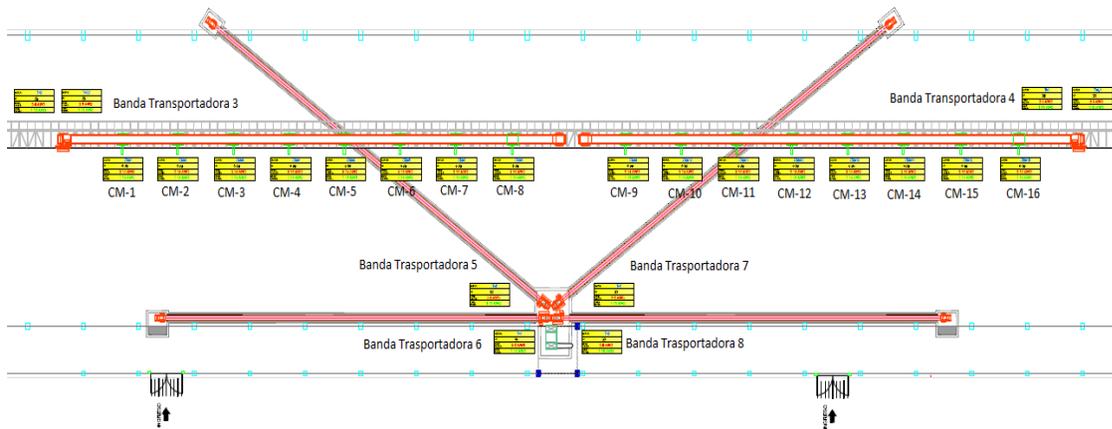
2.3.8. Ubicación de motores

En la figura 41 se presenta la ubicación de las compuertas motorizadas (CM-1 a CM-16), así como la ubicación de las bandas internas para el despacho de grano (T-5 a T-8) y las dos bandas de almacenaje (T-3 y T-4).

En la figura 39 se presenta la ubicación de las bandas iniciales de almacenaje (T-1 y T-2), la válvula eléctrica 1 (VN-1), el carro de almacenaje y

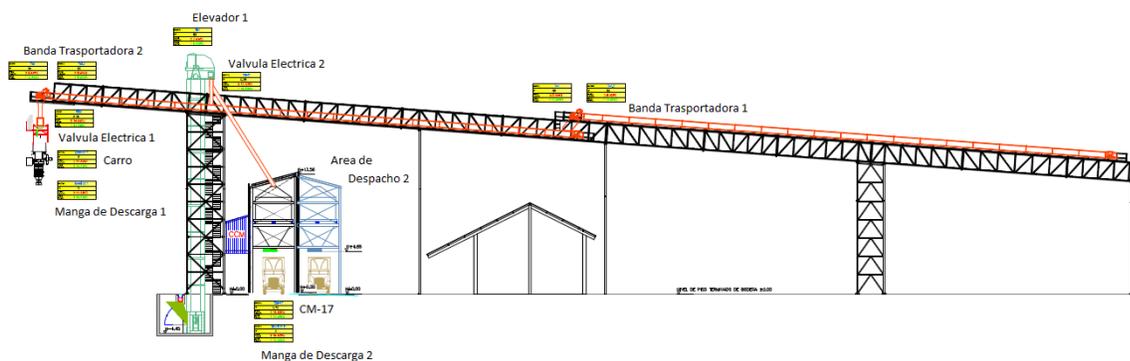
su manga de descarga. Por otro parte, se observa el elevador (E-1), junto a la válvula eléctrica 2 (VN-2) para despacho, así como la compuerta mecánica (CM-17) para despacho así como su respectiva manga de descarga.

Figura 41. **Ubicación de motores dentro de bodega de almacenaje**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

Figura 42. **Ubicación de los motores fuera de la bodega de almacenaje**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

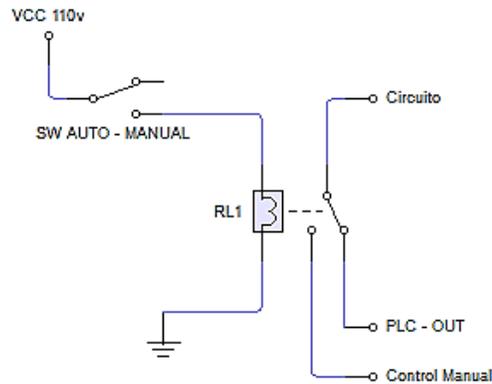
3. SISTEMA AUTOMÁTICO DE ALMACENAJE Y DESPACHO DE GRANOS

El diseño de automatización de todo el proceso para el almacenaje y despacho de grano se tomó como primer punto por razones de seguridad y respaldo el proceso; se podrá realizar de dos maneras: la primera será un proceso de control automático y la segunda un proceso de control manual; esto se realizará a través de un selector manual de dos posiciones que comandará cuál de las dos opciones de control será utilizado. Adicionalmente, se contará con sistema de selección programado.

Para realizar la automatización se empleará un controlador lógico programable (PLC), para realizar todo el proceso automático de almacenaje y distribución de granos. Para que el proceso sea automático, dejando también la opción de que el proceso se pueda realizar manualmente, se utilizará un selector de dos contactos donde se podrá seleccionar entre un procedimiento automático o manual. Donde la conexión de este selector comandará un juego de relés de dos posiciones.

Las conexiones físicas se dividirán en dos posiciones distintas conectadas hacia los relés de 2 posiciones, donde el automático está presente en la conexión, normalmente cerrado (NC) y la conexión manual estará en la conexiones, normalmente abierto (NO); así se aísla cada modo de control del procedimiento, para evitar que las señales, en el momento de estar trabajando manualmente, no afecten los puertos de salida del PLC, causando que estos se quemen y dejen de funcionar o causando un mal funcionamiento. A continuación se presenta un diagrama a realizar:

Figura 43. **Circuito de relevación**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

Después de realizar el análisis de conexiones al PLC se tiene lo siguiente:

- El PLC tendrá 104 *inputs* (entradas) hacia él para realizar un monitoreo especializado de todo el proceso.
- El PLC tendrá 76 *outputs* (salidas) hacia el sistema; de esta manera el PLC tendrá el control del funcionamiento del proceso.

Continuando con la propuesta, el siguiente paso es hacer un listado de sensores para el proceso de almacenaje y distribución de granos.

Primero se propone la instalación de sensores de giro para las bandas de distribución, así como en el elevador para la descarga de grano; se utilizarán sensores de atasco para control de movimiento, así como la utilización de sensores térmicos para evitar sobrecalentamiento en los motores en todo el circuito de almacenaje y distribución de granos.

Para las válvulas eléctricas que componen el circuito se propone utilizar de igual manera el sensor térmico para protección del sistema, así como sensores de posición para tener conocimiento de la posición exacta en que se encuentra la válvula y así tener un mejor control del sistema.

De igual manera, se propone utilizar el sensor térmico para las compuertas motorizadas, y los sensores de posición, para tener conocimiento si las compuertas motorizadas se encuentran no solo en funcionamiento, sino también tener conocimiento si estas se encuentran abiertas o cerradas, para el almacenaje de granos, en sus bodegas correspondientes.

Para el siguiente paso se propone utilizar un carrito manejado automáticamente, así como controlado manual, dependiendo del control seleccionado. Se propone utilizar un carrito automático para tener control en qué compuerta se va a descargar; este carrito contará con un moco de descarga que se utilizará para almacenar el grano; se propone utilizar una manga telescópica controlada por el PLC para descargar granos en las bodegas de almacenaje, así como de un sensor vertical para evitar un desperdicio de granos cuando se descarga. Todo esto contará con sensores de marcha y contramarcha para tener conocimiento del movimiento del carrito.

Otra solución para tener conocimiento de la posición del carrito de descarga es utilizar sensores de proximidad ubicados en cada compuerta, y así saber si el carrito se encuentra en posición para empezar el almacenaje de granos. Este carrito utilizará para su control un variador de frecuencia para movilizarse, así como para detenerse en la posición deseada.

Por último se propone utilizar un segundo y tercer modo para cada posición de descarga, para la distribución del grano en el país. Estos modos

contarán con el mismo sistema de manga telescópica del carrito; se utilizan para la descarga en los camiones; también se utiliza un sensor vertical para evitar el desperdicio de granos. Además, estas compuertas de descarga contarán con sensores de nivel que indicarán si la cámara de descarga se encuentra con producto y la cantidad exacta en gramos. Así como un sensor de posición para indicar si debajo de la manga telescópica se encuentra un camión para iniciar la descarga.

3.1. Protecciones y conexiones de control

Todo sistema electrónico debe poseer ciertas condiciones para que su función sea la adecuada, así como un sistema de control eléctrico para garantizar el buen funcionamiento del sistema completo. Por lo que se tomaron en cuenta las siguientes condiciones.

3.1.1. Sistema de puesta a tierra

El sistema de tierras y sus valores serán permanentes e invariables. El sistema de puesta a tierra se compone de electrodos marca Faragauss y el cable de cobre forrado de calibre No. 1/0 AWG para conectar tableros y equipo metálico no tensionado y cable de cobre forrado de calibre número 1/0 AWG para la conexión entre electrodos de puesta a tierra y estarán unidas por medio de soldadura exotérmica.

El conductor de puesta a tierra será enterrado directamente para entrelazar los electrodos de puesta a tierra y de cada electrodo hasta el gabinete acoplador y de este gabinete hasta la estructura de bodega. Estos sistemas de puesta a tierra tendrán una resistencia de 10 ohms en tiempo de estiaje y de 5 ohms en tiempo de lluvias, como máximo y será invariable.

La resistencia eléctrica total del sistema de tierra debe conservarse en un valor (incluyendo todos los elementos que forman el sistema) menor a 25 Ω para subestaciones hasta 250 kVA y 34,5 kV, 10 Ω en subestaciones mayores de 250 kVA y hasta 34,5 kV y de 5 Ω en subestaciones que operen con tensiones mayores a 34,5 kV.

Deben efectuarse las pruebas necesarias para comprobar que los valores reales de la resistencia a tierra de la malla se ajustan a los valores que da el diseño; asimismo, repetir periódicamente estas pruebas para comprobar que se conservan las condiciones originales, a través del tiempo y de preferencia en época de estiaje, para verificar que se mantienen dentro de los límites aceptables

3.1.2. Material y equipo utilizado

Todo el material y equipo del proyectado y a utilizar en el presente diseño, serán fabricados bajo normas eléctricas; por lo que deberán cumplir con su respectiva norma oficial del NEC.

3.1.2.1. Canalizaciones

Se utilizará tubería *conduit* galvanizada pared gruesa en instalaciones visibles y a la intemperie. La canalización de conductores para circuitos derivados y equipos de fuerza motriz será tubería *conduit* galvanizada pared gruesa en instalaciones visibles y la intemperie. En tramos de 3,048 mts y diámetro mínimo de 12,75 mm.

Las canalizaciones estarán fijas a la estructura y no se montarán juntas o sujetas a otras instalaciones, tales como plomería, aire acondicionado, estructura de plafones, entre otros.

Las curvas de las tuberías *conduit* serán prefabricadas para evitar la disminución en las secciones y los radios de dichas curvas estarán de acuerdo con el diámetro de la tubería. Por cada 20 mts de longitud en las tuberías, estas tendrán que registrarse y en ningún caso se harán de ángulo recto o varios dobleces equivalentes. Las tuberías que rematen en registros, cajas, gabinetes, etc., se acoplarán a estas con dos contratuercas y un monitor.

Todas las tuberías que se instalen no serán de diámetro interior menor a 12,75 mm; toda tubería será taponeada en sus extremos tanto de salida como de entrada, para evitar introducciones de cuerpos extraños que posteriormente impidan el cableado.

Todas las tuberías instaladas en forma aparente deberán sujetarse mediante abrazaderas, taquetes y tornillos, quedando a una distancia no mayor de 1,50 mts entre sí. Las tuberías deberán fijarse o soportarse por lo menos a cada 3,00 mts y a no más de 90 cm de cada registro, caja de conexión, gabinete o accesorio.

3.1.2.2. Conductores

Todos los conductores serán de cable de cobre aislado con una cubierta de THHW-LS, 90 °C, 600V máximos de C.A., retardadores de la flama y de baja emisión de humos. Además, los conductores al momento de su instalación serán continuos de registro de conexión a otro igual, sin empalmes o conexiones dentro de las canalizaciones.

Todas las canalizaciones del tipo tubería deberán estar guiadas y se harán previo a la instalación de los conductores; a estos se les aplicará un producto que facilite su instalación o deslizamiento dentro del tubo, tal como talco u otro producto similar.

Todos los conductores instalados en una misma tubería no deberán de ocupar más del 40 % de la sección interior de la tubería; además, se les corregirá su capacidad de acuerdo con el número de conductores y temperatura ambiente.

El calibre mínimo a utilizar en los conductores será de 14 AWG y se utilizará el siguiente código de colores para conductores:

- Fase: azul o negro
- Neutro: gris o blanco
- Tierra: verde o desnudo

Todos los conductores que se conectan a tableros deberán estar perfectamente ordenados y marcados con el circuito que se le haya asignado con anillos de plástico o etiquetas autoadheribles. Todo tablero deberá tener rotulada su clave y el área de influencia, así como la zona de influencia de cada circuito.

De acuerdo con la norma, todo motor cuya protección no esté a la vista del operador tendrá un interruptor de seguridad tipo navaja sin fusibles para efectos de mantenimiento, para evitar accidente alguno al operador; pero como en el diseño se considera equipo Siemens en el CCM, estos cuentan con sistema para colocación de candado; así que no será necesaria la instalación de un seccionador junto a cada motor.

3.1.2.3. Sistema de control

El tipo de control de los equipos se considera de manera manual con enclavamientos físicos cableados en el CCM para su mejor manejo. Se considera controlar todos los motores con botoneras dobles con arranque-paro

desde puesta de CCM y controlar todas las compuertas y cajas de direcciones con selectores desde misma puerta de CCM.

Los enclavamientos que se consideran son los siguientes:

- Para almacenaje de grano:
 - La banda transportadora 1 (T1) no encenderá si no está en funcionamiento la banda transportadora 2 (T2).
 - La banda transportadora 2 (T2) no encenderá si no está en funcionamiento la banda transportadora 3 (T3) o banda transportadora 4 (T4) y esto dependerá de la válvula eléctrica 1 (VN1), es decir, que si la válvula está posicionada para la T3 la T2 no iniciará su funcionamiento sino hasta que la T3 esté en funcionamiento, sin importar si la T4 lo está.
 - En el caso de que esté almacenando en la bodega y llegara a parar su funcionamiento la T3 por alguna razón, inmediatamente se apagarán todos los equipos anteriores a este.
 - Las compuertas motorizadas (CM) de la 1 a la 16 no iniciarán su funcionamiento de abrirse hasta que el carro esté posicionado en alguna de las compuertas y solo esa compuerta se podrá abrir; en caso de que el carro esté posicionado en la caída libre, al final no abrirá ninguna de las 16 compuertas.
 - En caso se encuentre en proceso de almacenaje en una compuerta específica y el carro llegara a moverse de esta por

alguna razón, la compuerta en cuestión se cerrará automáticamente; esto por no detectar la posición del carro.

- Para el despacho del grano:
 - Se deberá iniciar el funcionamiento del elevador de carga (E1) y hasta que este se encuentre en funcionamiento, se podrá iniciar el funcionamiento de las bandas transportadoras 5, 6, 7 y 8 (T5, T6, T7 y T8) pero no se podrá encender más de dos bandas transportadoras a la vez. Estas deben permanecer del mismo lado de la bodega, es decir, si se inicia la T5, únicamente se podrá iniciar T6, dejando T7 y T8 sin iniciar y viceversa con el otro lado.
 - Al detectar llena la tolva de despacho se detendrán las bandas transportadoras (T5, T6, T7 y T8) y quedará en funcionamiento el elevador de carga (E1) para que se vacíe y no quede con producto.

3.1.3. Etapa de almacenaje de granos

Actualmente, el almacenaje se ha convertido en una práctica de elevado contenido técnico, gracias a la acumulación de experiencias a lo largo de miles de años. Asociar el almacenaje con la política actual de implantar reservas reguladoras debe llevar a conservar científicamente los granos, y a solucionar múltiples factores físicos, químicos y biológicos que se encuentran íntimamente conectados con esta compleja actividad.

3.1.3.1. Transporte de grano

Sistemas de transporte mediante turbina se utilizan para mover el grano de un lugar a otro. El sistema de transporte de turbina requiere que el grano se introduzca en el sistema mediante una tolva por encima del inyector o una válvula rotativa.

3.1.3.1.1. Bandas transportadoras

Se inicia el diseño de las bandas transportadoras con la conexión de un paro de emergencia; este está conectado en serie con el circuito de control. Al pulsar el botón de parada de emergencia se interrumpe el circuito y elimina el poder desde el relé que mantiene el circuito energizado. El concepto es el mismo para un circuito de fase único energizado, tres circuitos de fase y para voltajes más altos. Este difiere del botón de parado, ya que el botón de parada se coloca generalmente junto al botón de inicio. Es del mismo tamaño que el botón de inicio y si se pulsa el circuito se restablece de manera que se puede reiniciar si se desea.

El botón de parada de emergencia (a menudo hay más de uno para grandes piezas de un equipo) es más grande y muy visible. En general se encuentra donde pueda ser fácilmente visible y pueda ser presionado por el operador del equipo o por un espectador. Una vez que se pulsa, las cerraduras del botón de parada de emergencia se bloquean en su posición y no se restablecerá hasta que se haga manualmente por el operador. El circuito está roto y el equipo no se podrá reiniciar hasta que el botón de parada de emergencia se reinicie.

Este paro de emergencia posee una señal directa hacia el módulo de entradas del PLC. Luego del paro de emergencia se utilizará un botón tipo pulsador para realizar la marcha de la banda específica, en paralelo a la conexión del botón tipo pulsador se configura un juego de contactores para realizar un enclave y dejar mantenido el pulso de marcha hasta que se presione el botón tipo pulsador de paro; este enclave se realiza con los contactos normalmente cerrados del RATX y RATX.X, correspondientes a los *relays* de marcha para la banda. La nomenclatura “RA” hace referencia a un *relays* con bobina 110 VAC con dos contactos normalmente cerrados y abiertos.

Al terminar el enclave de marcha, se prosigue a la primera condición de funcionamiento del sistema correspondiente para la banda transportadora 1 y 2, (T1 y T2); esta primera condición, en el caso de T1, indica que esta banda no iniciará su marcha hasta que T2 se encuentre en marcha. Para el caso de T2, su condición indica que no iniciará su marcha si no se inicia la marcha de T3 o T4. Adicionalmente, la válvula eléctrica 1 (VN1) debe estar posicionada para la banda que iniciará su marcha. Para lograr esta condición se utiliza un contacto normalmente abierto de RAT2.2 (para el caso de T1) y RAT3 o RAT4 junto con RA VN1 T3 o bien RA VN1 T4 (para el caso de T2).

Las bandas T3 y T4 tienen como condición de marcha que VN1 esté seleccionada hacia una de ellas; en el caso de T3 tiene como condición a RN VN1 T3; en el caso de T4, posee la condición de RN VN1 T4. Estos corresponden a los *relays* de la válvula que se acciona en el momento de elegir una banda.

El siguiente paso es el *relays* de acople para el sistema automático o manual, descrito al inicio del capítulo; este *relays* posee un contacto normalmente cerrado correspondiente al mando manual.

El contacto normalmente abierto corresponde al mando automático a través del PLC; este *relays* de acople es activado por un selector de dos posiciones, donde el operador seleccionará el modo de control que necesite según su operación. Cabe mencionar que si el selector se encuentra posicionado para control automático o por el PLC, este posee una programación equivalente para que se cumplan las condiciones descritas anteriormente.

Para continuar con el diseño del sistema, el común del *relays* de acople se encuentra conectado a las bobina del *relays* RAT y RAT, correspondientes a los de marcha. Para cerrar el circuito se conecta al contacto normalmente cerrado correspondiente al *relays* del sensor de atasco. El sensor de atasco que se utiliza es un sensor capacitivo de placas; estas están diseñadas para detectar la acumulación de producto dentro de la banda, mandando una señal hacia su *relays* de acople. Este sensor de atasco también posee un cableado hacia el módulo de entradas del PLC, con el propósito de tener un sistema de control completo del sistema.

Otro sistema de protección que se utiliza en las bandas transportadoras es el uso de *relays* térmicos diseñados para proteger motores eléctricos. Estos operan en el principio de monitorear la corriente del circuito arrancador motor y, cuando la corriente excede de unas condiciones prefijadas, o no pasa corriente por alguna fase; el aparato iniciará el circuito de disparo que desconectará la potencia del arrancador (normalmente un contactor) protegiendo así al circuito y al motor.

La conexión de este térmico inicia con un contacto normalmente cerrado proveniente de RAT que deja pasar la corriente únicamente al momento de presionar el botón de marcha cumpliendo con todas las condiciones de operación; luego estos activan la bobina del contactor del motor, dirigiéndose al

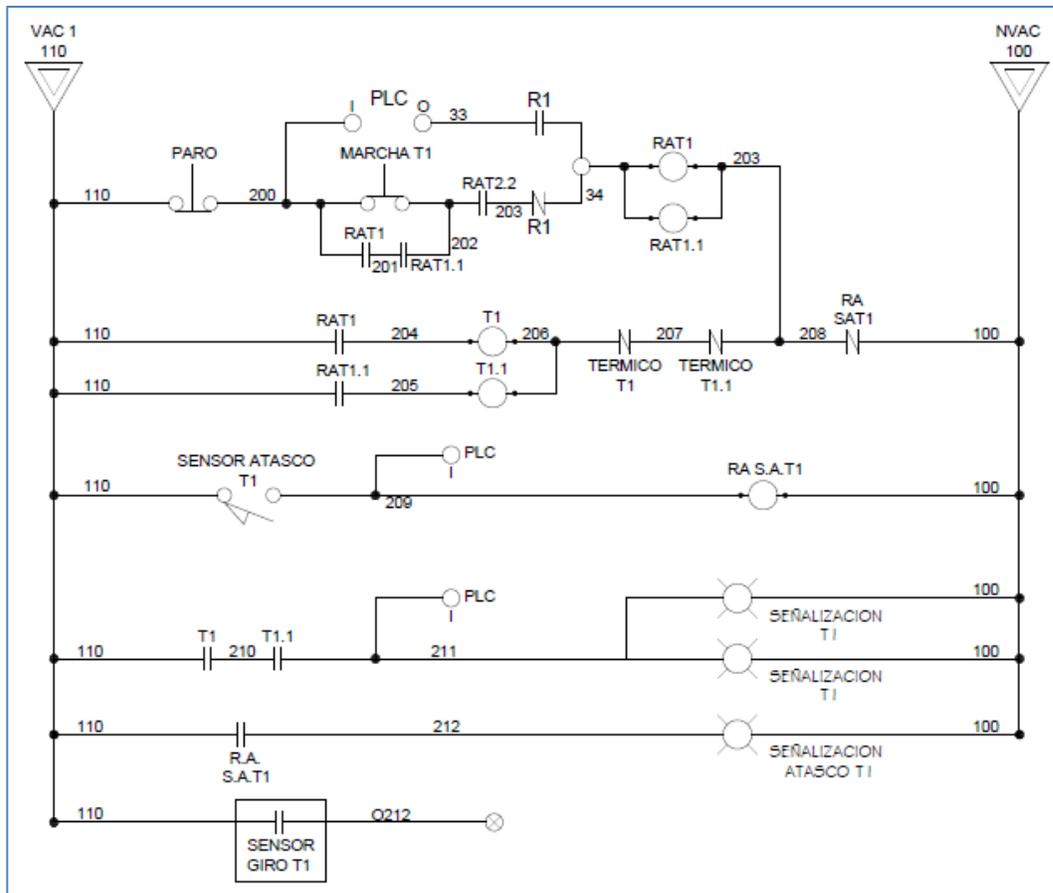
contacto normalmente cerrado de los térmicos; estos cambiarán su estado únicamente cuando ocurra un problema.

Esta conexión termina uniéndose al contacto normalmente cerrado del *relays* de sensor de atasco. El sensor de atasco que se utiliza en las bandas es un dispositivo electrónico que posee sensores de posición ubicados a 15 cm de la banda.

Al momento que el producto que cae a la banda sobrepase la cantidad que puede transportar, este se acumulará al detectar esta acumulación; los sensores de posición enviarán una señal hacia el *relays* del sensor de atasco, deteniendo el proceso e indicando a través de una luz piloto que la banda se encuentra en estado de atasco. De cumplirse todas las condiciones, la banda correspondiente iniciará su marcha.

Por último, cada banda transportadora posee un sensor de giro o rotación, donde esta unidad es usada para detectar las bajas de velocidad en las unidades giratorias debido a los derrapes de las bandas de embragues, rompimiento de las bandas transportadores o cadenas, y protección de motores en el caso de sobrecargas mecánicas. Este control es efectuado por el controlador CRTP, el cual es un circuito electrónico que está protegido por una cubierta de plástico que tiene un conector Undecal y un sensor que puede ser inductivo, capacitivo o fotoeléctrico. El diseño completo se puede observar en la figura 42.

Figura 44. **Banda transportadora**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

3.1.3.1.2. **Válvula eléctrica 1 (VE-1)**

El diseño de la válvula eléctrica se inicia con un sensor MicroSwitch con palanca marca Vasto serie VZ-5108, que trabaja a 240 VAC y posee una capacidad de trabajo de 10 A. La función de este sensor es conocer la posición actual de la válvula eléctrica, la VE-1; posee dos posiciones, la primera es la banda transportadora 3 (T3), dejando como segunda posición la banda 4 (T4).

El *microswitch* posee un contacto normalmente cerrado, y al momento de detectar una posición, este contacto se abre cortando la señal hacia CCM. Esta señal posee una conexión hacia un módulo de entradas del PLC,

Luego del contacto normalmente cerrado se utilizará un botón tipo *selector* de 2 posiciones con retorno al centro; este selecciona el movimiento entre T3 o T4 de la VE-1, en forma paralela a la conexión del botón se configura un juego de contactores para realizar un enclave y dejar mantenido el pulso de movimiento hasta que la compuerta física activa el *microswitch*, abriendo el contacto, indicando que VE1 se encuentra en la posición de T3 o T4, según sea el caso seleccionado con el botón tipo *selector*; este enclave se realiza con los contactos normalmente abiertos del VN1A y VN1B, correspondientes a los *relays* de marcha para la válvula. VN1A corresponde al *relays* del movimiento hacia T3 y VN1B corresponde al *relays* del movimiento hacia T4.

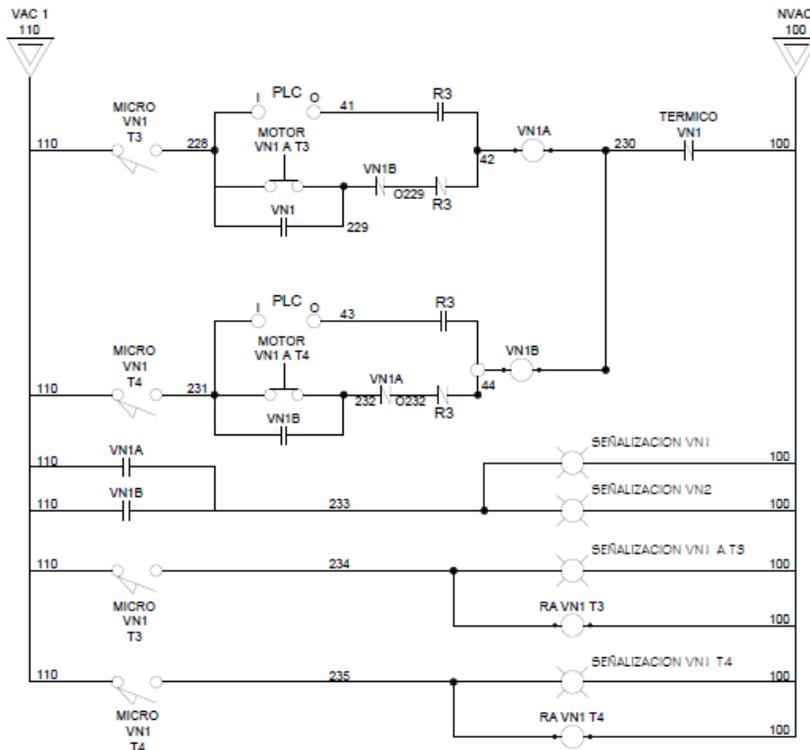
Seguido a este enclave del movimiento, se presenta la primera y única condición de trabajo de la válvula; esta condición indica que la válvula podrá realizar un único movimiento hacia T3 o hacia T4; la válvula será incapaz de realizar ambos movimientos; estas condiciones se realizan utilizando un contacto normalmente cerrado de VN1A para el caso que se seleccione el movimiento hacia T4. De igual manera, el movimiento hacia T3 poseerá un contacto normalmente cerrado de VN1B. Al momento de seleccionar una posición el contacto se abrirá, evitando que la válvula realice un movimiento no seleccionado.

El siguiente paso es el *relay* de acople para el sistema automático o manual; este *relay* posee un contacto normalmente cerrado correspondiente al mando manual. El contacto normalmente abierto corresponde al mando automático a través del PLC; este *relay* de acople es activado por un selector

de dos posiciones, donde el operador seleccionará el modo de control que necesite, según su operación. Cabe mencionar que si el selector se encuentra posicionado para control automático por el PLC, este posee una programación equivalente para que se cumpla la condición descrita anteriormente.

Para continuar con el diseño del sistema, el común del *relay* de acople se encuentra conectado a las bobinas del relay VN1A y VN1B, correspondientes a los relays de movimiento. Para cerrar el circuito se conecta al contacto normalmente cerrado, correspondiente al *relays* del sensor térmico de VE-1, el cual al detectar un incremento de temperatura en el funcionamiento de la válvula, cambia su estado, enviando una señal hacia un *relays* que abre el circuito, deteniendo el movimiento de la válvula.

Figura 45. Válvula eléctrica



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

3.1.3.2. Almacenaje de grano

El almacenamiento a granel es una práctica común. Este método tiene la ventaja que es mecanizable, aunado a que la manipulación de granos y semillas es rápida. Por el contrario, la posibilidad de ataque por roedores aumenta y hay poca protección contra la einfestación.

3.1.3.2.1. Compuertas motorizadas

Para el almacenaje de grano se inicia con las compuertas, el complejo de almacenaje consta de 16 compuertas motorizadas de descarga, representadas desde CM1 a la CM16. El diseño de la compuerta inicia con un sensor inductivo de proximidad; este sensor es un interruptor electrónico que trabaja contactos, enviando una señal 110 VAC al detectar metal de la compuerta; se seleccionó un sensor inductivo debido a que la posición física de la compuerta es en el exterior, por lo que cualquier sensor mecánico tendría contacto con la lluvia o con un material sólido en el ambiente, el cual puede deteriorar el funcionamiento del sensor.

La función de este sensor es conocer la posición actual de la compuerta motorizada; las compuertas poseen dos posiciones: la primera es la posición de compuerta cerrada, dejando como segunda posición la compuerta abierta. El sensor inductivo posee un contacto normalmente cerrado, y al momento de detectar una posición, este contacto se abre cortando la señal hacia CCM. Esta señal posee una conexión hacia un módulo de entradas del PLC,

Luego del contacto normalmente cerrado se utilizará un botón tipo *selector* de 2 posiciones con retorno al centro; este selecciona el movimiento entre abierto o cerrado de las compuertas, en paralelo a la conexión del botón

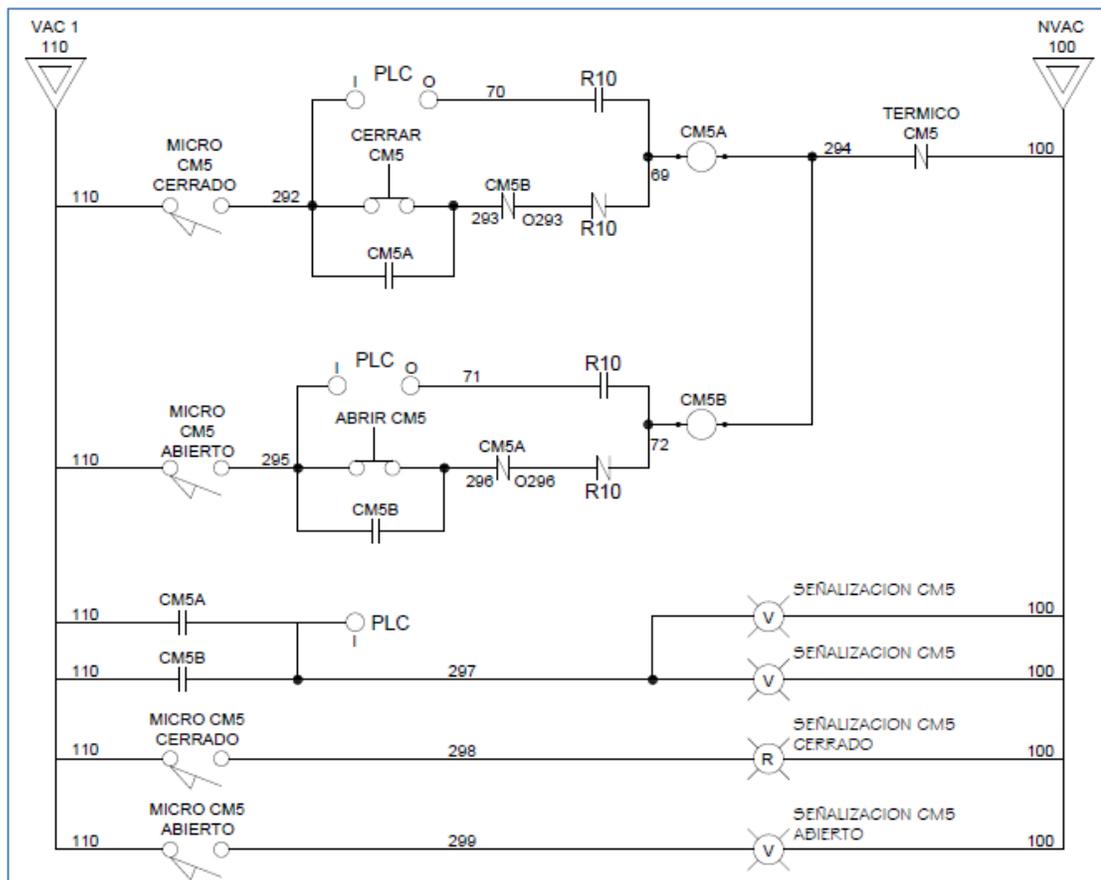
se configura un juego de contactores para realizar un enlace y dejar mantenido el pulso de movimiento hasta que la compuerta física activa el sensor inductivo abriendo el contacto, indicando que la compuerta se encuentra en la posición de abierto o cerrado, según sea el caso seleccionado con el botón tipo *selector*; este enlace se realiza con los contactos normalmente abiertos del CMXA y CMXB, correspondientes a los *relays* de marcha para las compuertas. CMXA corresponde al *relays* del movimiento abriendo y CMXB al *relays* del movimiento cerrando.

En seguida, se presenta la primera condición; esta indica que las compuertas podrán realizar un único movimiento abriendo o cerrando; las compuertas serán incapaces de realizar ambos movimientos; estas condiciones se realizan utilizando un contacto normalmente cerrado de CMXA para el caso que se seleccione el movimiento cerrando. De igual manera, el movimiento de al abrirse poseerá un contacto normalmente cerrado de CMXB. Al momento seleccionar una posición el contacto se abrirá, evitando que la compuerta realice un movimiento no seleccionado.

El siguiente paso es el *relays* de acople para el sistema automático o manual; este *relays* posee un contacto normalmente cerrado correspondiente al mando manual. El contacto normalmente abierto corresponde al mando automático a través del PLC; este *relays* de acople es activado por un selector de dos posiciones, donde el operador seleccionará el modo de control que necesite según su operación. Cabe mencionar que si el selector se encuentra posicionado para control automático o control por el PLC; este posee una programación equivalente para que se cumpla la condición descrita anteriormente.

Para continuar con el diseño del sistema, el común del *relay* de acople se encuentra conectado a las bobinas del relay CMXA y CMXB, correspondientes a los *relays* de movimiento. Para cerrar el circuito se conecta al contacto normalmente cerrado correspondiente al *relay* del sensor térmico de CMX, el cual al detectar un incremento de temperatura en el funcionamiento de la válvula, cambia su estado enviando una señal hacia un *relay* que abre el circuito,

Figura 46. Compuerta motorizada



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

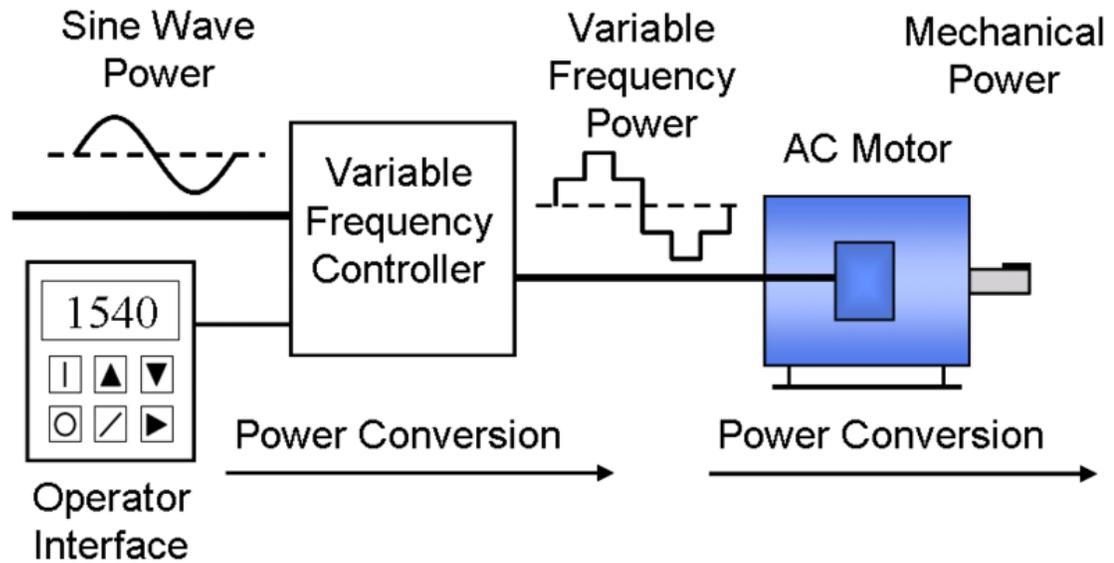
3.1.3.2.2. Carro de descarga

El diseño propuesto para el carro consta de un mecanismo con variador de frecuencia (VFD), dado que el carro requiere moverse a una mínima velocidad para trasladarse de compuerta a compuerta, cargando la manga de descarga. Un VFD es un equipo electrónico para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad. El objetivo es realizar rampas de aceleración y desaceleración para el movimiento del carro, dando 10 segundos para la rampa de aceleración o arranque, y dejando 5 segundos para la rampa de desaceleración o frenado. El tiempo aproximado entre compuertas motorizadas es de 45 segundos.

El VFD posee dos modos de operación, el manual y el automático; el modo manual consta de pulsos provenientes de botones pulsadores que le indican al VFD cuándo iniciar el movimiento del carro de descarga y cuándo parar el movimiento del carro; de la misma manera se posee un control de marcha y contramarcha del motor del carro, utilizando dos botones pulsadores y dos contactores que posteriormente se conectan al guardamotor de protección; el funcionamiento de marcha y contramarcha indica si el carro se mueve hacia la derecha o hacia la izquierda, dependiendo de la posición solicitada para el funcionamiento del proceso de almacenaje.

Figura 47. Variador de frecuencia



Fuente: Catálogo LS isystem. p. 54.

3.1.3.2.3. Manga de descarga 1

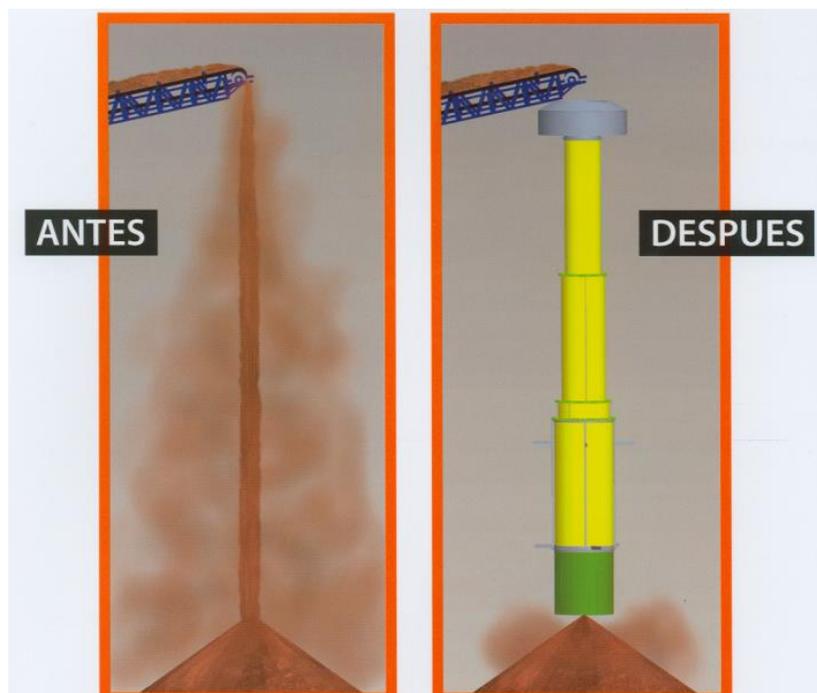
El objetivo principal de este equipo es solucionar los problemas de polvo, pérdidas de material en el acopio de grano, al momento de descargar el material desde las bandas transportadoras situadas a gran altura, creando grandes taludes.

Así pues, se pretende solucionar problemas tan importantes como la contaminación ambiental y también otros problemas derivados del polvo como: problemas de salud, de falta de visibilidad (causa de accidentes) y deterioro de elementos móviles entre otros. La manga está constituida por una estructura metálica en el extremo superior, la cual facilita la admisión del material por su forma interior cónica (recubierta de material antiabrasivo).

En esta estructura se encuentran los equipos de elevación y control de la manga. De ella cuelgan los cilindros telescópicos de material termoplástico resistente a la abrasión que canalizan el material.

La manga posee un funcionamiento automático, donde puede estar controlada mediante un control de relevación que ejecute las acciones de estirar o encoger la manga en función de la distancia entre el talud de material y la boca de salida de la manga. Esta distancia se mide mediante unos sensores verticales colocados en la parte inferior de la manga cuya función es detectar la proximidad del material con la manga; esta distancia se mantendrá estirando o encogiendo la manga automáticamente, minimizando así una más el efecto del polvo.

Figura 48. **Manga de almacenaje**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

3.1.3.2.4. Posicionamiento de almacenaje

Como parte fundamental del proceso de almacenaje, es necesario tener conocimiento de la posición física que posee el carro junto a su manga de almacenaje. Por lo que en este diseño se propone la utilización de un sensor inductivo de proximidad, el cual es un interruptor electrónico que trabaja sin contacto.

Estos sensores no solo proporcionan una señal ON/OFF sino también una señal análoga proporcional a la distancia. Este proceso lo logra creando un campo magnético cambiante de alta frecuencia mediante una bobina, la cual forma parte de un circuito de resonancia. Si una pieza de metal entra en la zona del campo magnético cambiante, se generan pérdidas por corrientes circulantes en la pieza. Esto hace que el circuito de resonancia se altere, generando una señal.

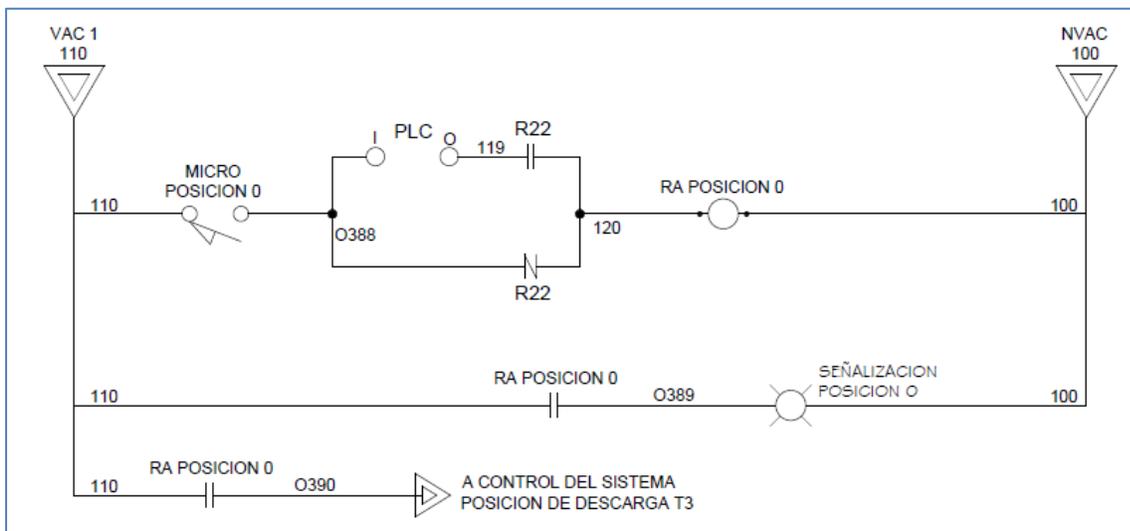
En el circuito propuesto se utiliza la señal generada por el circuito de resonancia, al detectar el material metálico del carro de almacenaje, la señal es enviada directamente hacia el módulo de entradas del PLC, donde este le asigna un valor virtual, usado para identificar la posición actual del carro de almacenaje. Posteriormente es utilizado el juego de *relay* de acople para el sistema automático o manual; este *relay* posee un contacto normalmente cerrado correspondiente al mando manual.

El contacto normalmente abierto corresponde al mando automático a través del PLC. El contacto del común se encuentra conectado hacia la bobina de posición RA posición X, donde X es la posición de 0 a 17.

Las posiciones 0 y 17 son llamadas de alivio; su función de descargar el material sobrante de la banda a un compartimiento donde se podrá reubicar.

El diseño propuesto utiliza un contacto normalmente abierto del *relay* de posición para indicar visualmente a través de una luz piloto la posición del carro de descarga. Conjuntamente, el contacto normalmente abierto es utilizado para enviar una señal al control del sistema de posición para indicar qué compuerta debe ser abierta para iniciar el proceso de almacenaje.

Figura 49. **Posicionamiento de almacenaje**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

3.1.4. Etapa de despacho

Es el lugar en el cual se hacen los pedidos, o la compra de los granos.

3.1.4.1. Transporte de grano

El grano se transporta en tubos los cuales llevan los granos a su destino, para seguir con su proceso.

3.1.4.1.1. Bandas transportadoras

Se inicia el diseño de las bandas transportadoras con la conexión de la primera condición de funcionamiento de las bandas transportadoras; la primera condición indica que para que cualquiera de las bandas transportadoras de la 5 a la 8 (T5 a T8) inicie su funcionamiento; la válvula eléctrica 2 (VE-2) debe estar seleccionada hacia la banda transportadora 2 (T2); paralelo a esta condición se utiliza una condición más, utilizando el contacto normalmente cerrado del sensor de tolva alto, este es un sensor de proximidad instalado en la parte superior de la tolva de despacho, y se utiliza para indicar cuándo la tolva se encuentra llena de producto; al momento de estar llena esta, indica que las bandas paren su funcionamiento.

Al finalizar las primeras condiciones se procede a la conexión del paro de emergencia, este paro está conectado en serie con el circuito de control. Al pulsar el botón de parada de emergencia; se interrumpe el circuito y elimina el poder desde el relé que mantiene el circuito energizado.

Este paro de emergencia posee una señal directa hacia el módulo de entradas del PLC. Luego del paro de emergencia se utilizará un botón tipo

pulsador para realizar la marcha de la banda específica; paralelo a la conexión del botón tipo pulsador se configura un juego de contactores para realizar un enlace y dejar mantenido el pulso de marcha hasta que se presione el botón tipo pulsador de paro; este enlace se realiza con los contactos normalmente cerrados del TX, correspondientes a los *relays* de marcha para la banda.

Al terminar el enlace de marcha, se continúa a la segunda condición de funcionamiento del sistema correspondiente para las bandas transportadoras; esta condición indica que estas bandas no iniciarán su marcha hasta que E-1 se encuentre en marcha.

El siguiente paso es el *relay* de acople para el sistema automático o manual; este *relay* posee un contacto normalmente cerrado correspondiente al mando manual. El contacto normalmente abierto corresponde al mando automático a través del PLC; este *relay* de acople es activado por un selector de dos posiciones, donde el operador seleccionará el modo de control que necesite según su operación. Cabe mencionar que si el selector se encuentra posicionado para control automático o control por el PLC, este posee una programación equivalente para que se cumplan las condiciones descritas anteriormente.

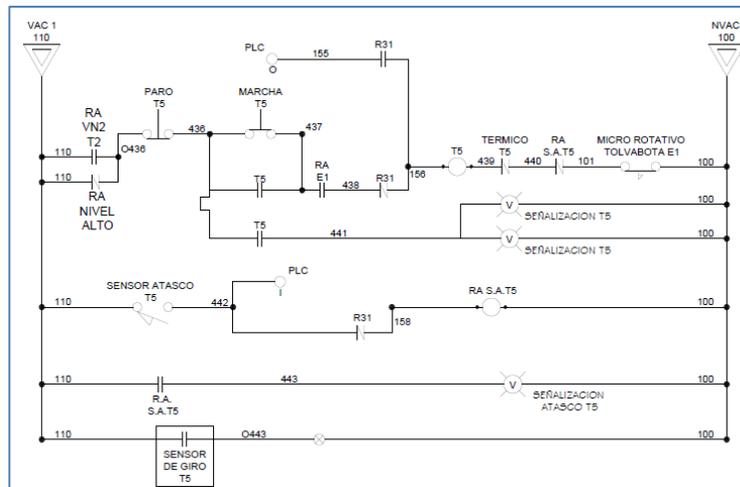
Para continuar con el diseño del sistema, el común del *relay* de acople se encuentra conectado a las bobinas del *relay* TX, correspondientes a los *relays* de marcha. Para cerrar el circuito se conecta al contacto normalmente cerrado, correspondiente al *relay* del sensor de atasco.

Otro sistema de protección que se utiliza en las bandas transportadoras es el uso de *relays* térmicos que son diseñados para proteger motores eléctricos. La conexión de este térmico inicia con un contacto normalmente

cerrado proveniente de TX que deja pasar la corriente únicamente al momento de presionar el botón de marcha cumpliendo con todas las condiciones de operación; luego estos activan la bobina del contactor del motor, dirigiéndose al contacto normalmente cerrado de los térmicos; estos cambiarán su estado únicamente cuando ocurra un problema.

La conexión prosigue conectándose al contacto normalmente cerrado del *relay* de sensor de atasco. El sensor de atasco que se utiliza en las bandas es un dispositivo electrónico que posee sensores de posición ubicados a 15 cm de la banda. De cumplirse todas las condiciones, la banda correspondiente iniciará su marcha. Por último cada banda transportadora posee un sensor de giro o rotación, que es usada para detectar las bajas de velocidad en las unidades giratorias, debido a los derrapes de las bandas de embragues o rompimiento de las bandas transportadores o cadenas, lo cual le da protección ante fallas mecánicas.

Figura 50. **Bandas de despacho**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

3.1.4.1.2. **Elevador de carga 1 (E-1)**

Se inicia el diseño del elevador de carga con la conexión del paro de emergencia; este paro está conectado en serie con el circuito de control. Al pulsar el botón de parada de emergencia se interrumpe el circuito. Este paro de emergencia posee una señal directa hacia el módulo de entradas del PLC. Luego del paro de emergencia se utilizará un botón tipo pulsador para realizar la marcha de la banda específica; en paralelo a la conexión del botón tipo pulsador se configura un juego de contactores para realizar un enclave y dejar mantenido el pulso de marcha hasta que se presione el botón tipo pulsador de paro; este enclave se realiza con los contactos normalmente cerrados del E1, correspondientes a los *relays* de marcha para el elevador de carga.

Al terminar el enclave de marcha, se prosigue a las condiciones de funcionamiento del sistema correspondiente al elevador de carga. Las condiciones del elevador están basadas en la posición de la válvula eléctrica 2 (VE-2); esta posee dos posiciones: la primera posición es la posición de despacho con la válvula eléctrica 3 (VE-3) y la segunda es la de almacenaje.

El elevador utiliza estas posiciones para sus condiciones de trabajo, cuando VE-2 se encuentra posicionada en despacho, el elevador inicia su funcionamiento sin problema, cuando VE-2 está seleccionada para almacenaje, el elevador posee como condición la banda transportadora 2 (T-2), para que el elevador inicie su funcionamiento, primero debe iniciar T-2, de lo contrario el elevador no iniciará su funcionamiento.

Esto se logra a través de los contactos normalmente abiertos de la VE-2 y T2; para la primera condición se utiliza el contacto normalmente abierto de VN2B, y para la segunda condición se utiliza un contacto normalmente abierto de VN2A en serie con el contacto normalmente abierto de RAT2. De esa manera se logra controlar el funcionamiento del elevador, dependiendo del objetivo del usuario, usar el elevador para despacho o para almacenar de nuevo el producto.

El siguiente paso es el *relay* de acople para el sistema automático o manual; este posee un contacto normalmente cerrado correspondiente al mando manual. El contacto normalmente abierto corresponde al mando automático a través del PLC; este *relay* de acople es activado por un selector de dos posiciones, donde el operador seleccionará el modo de control que necesite según su operación. Cabe mencionar que si el selector se encuentra posicionado para control automático o control por el PLC, el cual posee una

programación equivalente para que se cumplan las condiciones descritas anteriormente.

Para continuar con el diseño del sistema, el común del *relay* de acople se encuentra conectado a las bobina del *relay* RAE1, correspondientes a los *relays* de marcha. Para cerrar el circuito se conecta al contacto normalmente cerrado, correspondiente al *relay* del sensor de atasco.

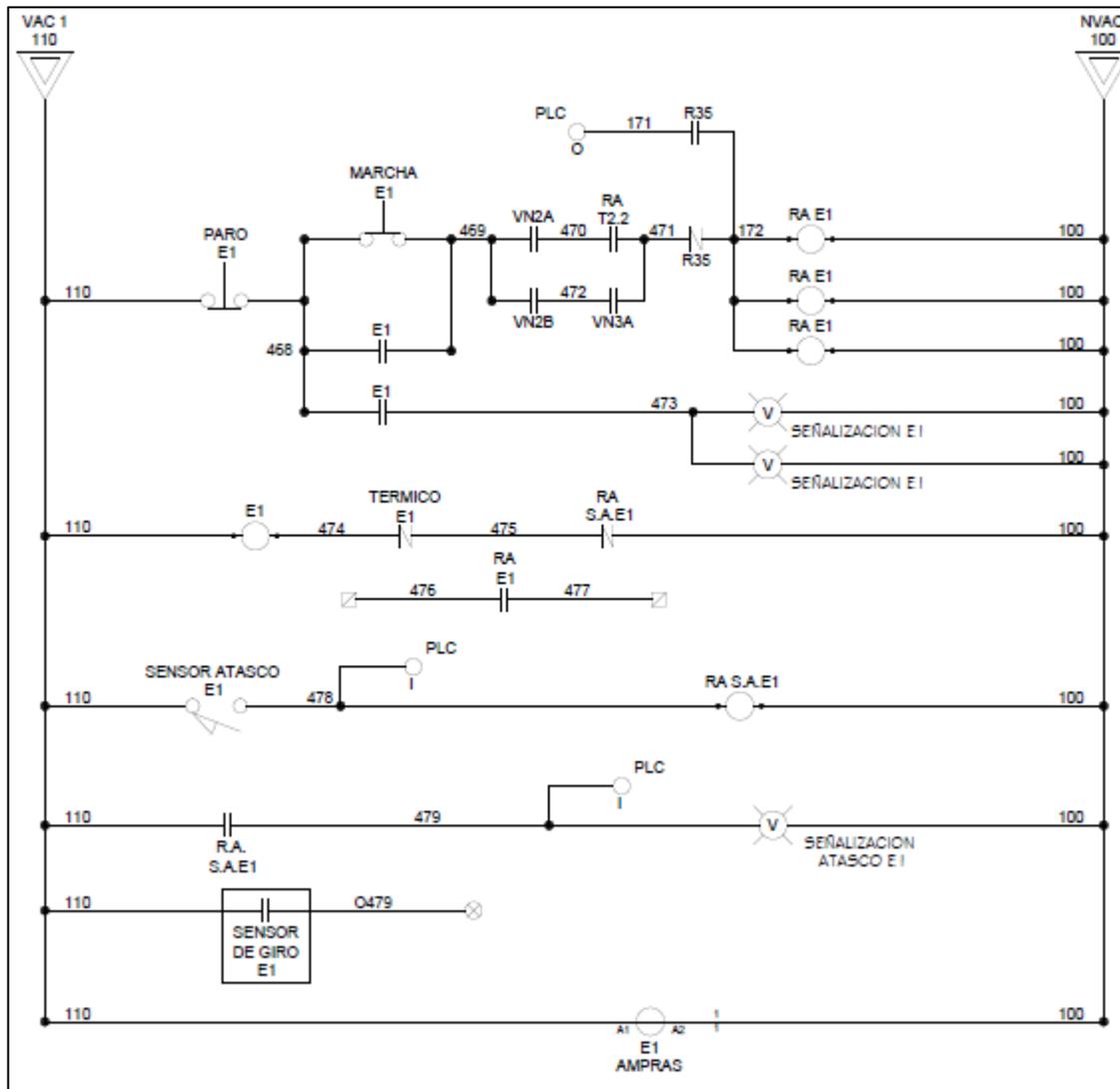
Otro sistema de protección que se utiliza en el elevador de carga es el uso de *relays* térmicos diseñados para proteger motores eléctricos. La conexión de este térmico inicia con la bobina E1, que deja pasar la corriente únicamente al momento de presionar el botón de marcha, cumpliendo con todas las condiciones de operación; luego estos activan la bobina del contactor del motor, dirigiéndose al contacto normalmente cerrado de los térmicos; estos cambiarán su estado únicamente cuando ocurra un problema.

Esta conexión prosigue conectándose al contacto normalmente cerrado del *relay* de sensor de atasco. El sensor de atasco que se utiliza en el elevador es un dispositivo electrónico que posee sensores de posición ubicados a 15 cm de paletas del elevador. De cumplirse todas las condiciones, el elevador correspondiente iniciará su marcha.

Como último dispositivo de protección del elevador, este posee un sensor de giro o rotación, que es usado para detectar las bajas de velocidad en las unidades giratorias debido a los derrapes de las bandas de embragues o rompimiento las cadenas de carga; es una protección de motores en el caso de sobrecargas mecánicas.

Para finalizar el circuito de control, el elevador posee unas donas de medición en sus líneas de alimentación; estas se utilizan para medir el consumo a través de un amperímetro.

Figura 51. Elevador de carga (E-1)



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

3.1.4.1.3. Válvula eléctrica 2 (VE-2)

El diseño de la válvula eléctrica inicia con un sensor MicroSwitch con palanca marca Vasto serie VZ-5108, que trabaja a 240 VAC y posee una capacidad de trabajo de 10A. La función de este sensor es conocer la posición actual de la válvula eléctrica; la VE-2 posee dos posiciones, la primera es la válvula eléctrica 3 (VE-3), dejando como segunda posición la banda 2 (T-2). El *microswitch* posee un contacto normalmente cerrado, y al momento de detectar una posición este contacto se abre cortando la señal hacia cuarto de control. Esta señal posee una conexión hacia un módulo de entradas del PLC,

Luego del contacto normalmente cerrado se utilizará un botón tipo *selector* de 2 posiciones con retorno al centro; este selecciona el movimiento entre tolva (VE-3) o T2; en paralelo a la conexión del botón se configura un juego de contactores para realizar un enclave y dejar mantenido el pulso de movimiento hasta que la compuerta física activa el *microswitch* abriendo el contacto, indicando que VE-2 se encuentra en la posición de tolva o T2, según sea el caso seleccionado con el botón tipo selector; este enclave se realiza con los contactos normalmente abiertos del VN2A y VN2B, correspondientes a los *relays* de marcha para la válvula. VN2A se refiere al *relay* del movimiento hacia T2 y VN2B, al *relay* del movimiento hacia la tolva.

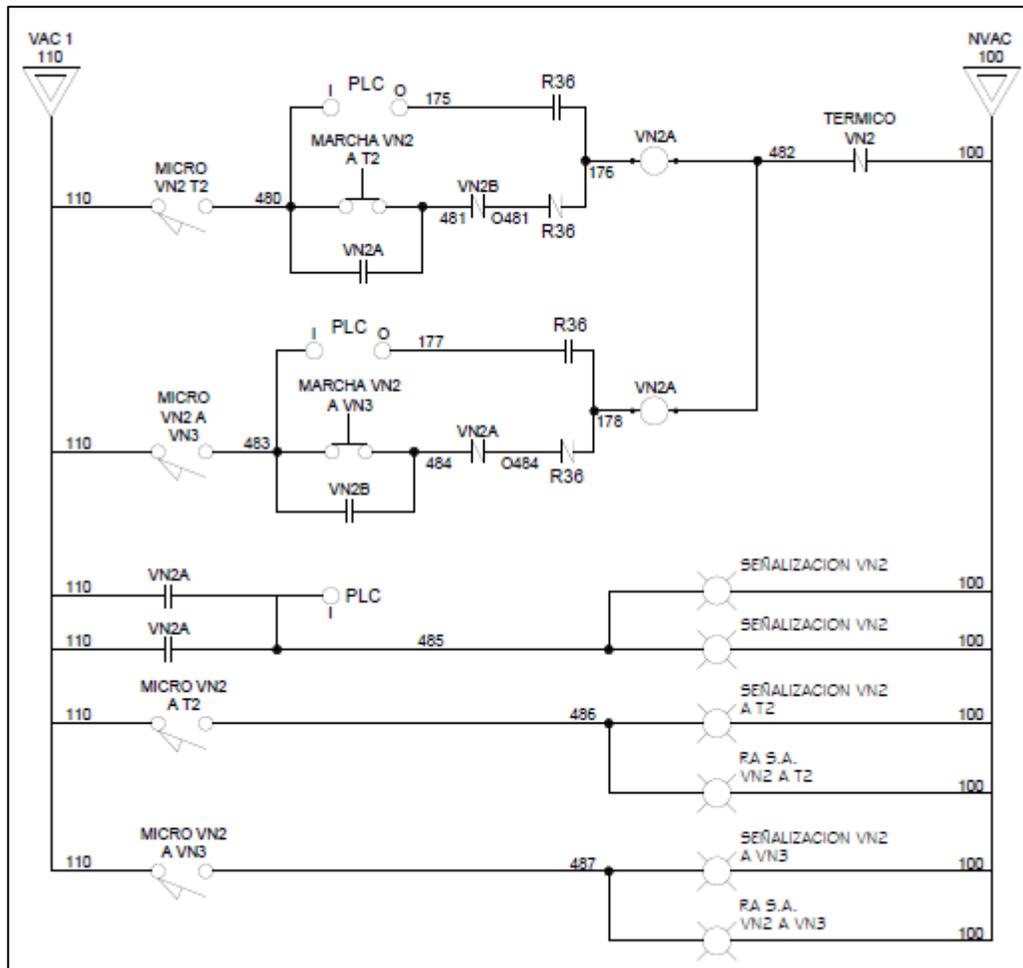
Seguido a este enclave del movimiento, se presenta la primera y única condición de trabajo de la válvula; esta indica que la válvula podrá realizar un único movimiento hacia T2 o hacia la tolva; la válvula será incapaz de realizar ambos movimientos; estas condiciones se realizan utilizando un contacto normalmente cerrado de VN2A para el caso que se seleccione el movimiento hacia la tolva.

De igual manera, el movimiento hacia T2 poseerá un contacto normalmente cerrado de VN2B. Al momento de seleccionar una posición el contacto se abrirá, evitando que la válvula realice un movimiento no seleccionado.

El siguiente paso es el *relay* de acople para el sistema automático o manual; este *relay* posee un contacto normalmente cerrado correspondiente al mando manual. El contacto normalmente abierto corresponde al mando automático a través del PLC; este *relay* de acople es activado por un selector de dos posiciones, donde el operador seleccionará el modo de control que necesite según su operación. Cabe mencionar que si el selector se encuentra posicionado para control automático o control por el PLC, este posee una programación equivalente para que se cumpla la condición descrita anteriormente.

Para continuar con el diseño del sistema, el común del *relay* de acople se encuentra conectado a las bobinas del *relay* VN2A y VN2B, correspondientes a los *relays* de movimiento. Para cerrar el circuito se conecta al contacto normalmente cerrado correspondiente al *relay* del sensor térmico de VE-2, el cual al detectar un incremento de temperatura en el funcionamiento de la válvula cambia su estado, enviando una señal hacia un *relay* que abre el circuito, deteniendo el movimiento de la válvula.

Figura 52. Válvula eléctrica 2 (VE-2)



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

3.1.4.2. Despacho de granos

Es el lugar donde se piden los granos, son descargados en camiones y enviados para su distribución.

3.1.4.2.1. Válvula eléctrica 3 (VE-3)

El diseño de la válvula eléctrica inicia con un sensor *microswitch*, al igual que las válvulas anteriores y su principal función es conocer la posición actual de la válvula eléctrica; la VE-3 posee dos posiciones, la primera posición es la banda transportadora 9 (T-9), dejando como segunda posición la compuerta motorizada 17 (CM-17). El *microswitch* posee un contacto normalmente cerrado, y al momento de detectar una posición, este se abre cortando la señal hacia cuarto de control. Esta señal posee una conexión hacia un módulo de entradas del PLC.

Luego del contacto normalmente cerrado se utilizará un botón tipo selector de 2 posiciones, con retorno al centro; este selecciona el movimiento entre banda transportadora (T-9) o CM-17; en paralelo a la conexión del botón se configura un juego de contactores para realizar un enclave y dejar mantenido el pulso de movimiento hasta que la compuerta física activa el *microswitch* abriendo el contacto, indicando que VE-3 se encuentra en la posición de T-9 o CM-17, según sea el caso seleccionado con el botón tipo selector; este enclave se realiza con los contactos normalmente abiertos del VN3A y VN3B, referentes a los *relays* de marcha para la válvula. VN3A corresponde al *relay* del movimiento hacia T-9 y VN3B, al *relay* del movimiento hacia compuerta de despacho.

Seguido a este enclave del movimiento, se presenta la primera y única condición de trabajo de la válvula; esta indica que la válvula podrá realizar un único movimiento hacia T-9 o hacia la compuerta; la válvula será incapaz de realizar ambos movimientos; esta condición se realiza utilizando un contacto normalmente cerrado de VN3A para el caso que se seleccione el movimiento hacia compuerta.

De igual manera, el movimiento hacia T-9 poseerá un contacto normalmente cerrado de VN3B. Al momento de seleccionar una posición el contacto se abrirá, evitando que la válvula realice un movimiento no seleccionado.

El siguiente paso es el *relay* de acople para el sistema automático o sistema manual; este posee un contacto normalmente cerrado correspondiente al mando manual. El contacto normalmente abierto corresponde al mando automático a través del PLC; este *relay* de acople es activado por un selector de dos posiciones, donde el operador seleccionará el modo de control que necesite según su operación. Cabe mencionar que si el selector se encuentra posicionado para control automático o por el PLC, este posee una programación equivalente para que se cumpla la condición descrita anteriormente.

Para continuar con el diseño del sistema, el común del *relay* de acople se encuentra conectado a las bobinas del *relay* VN3A y VN3B, correspondientes a los *relays* de movimiento. Para cerrar el circuito se conecta al contacto normalmente cerrado correspondiente al *relay* del sensor térmico de VE-3, el cual al detectar un incremento de temperatura en el funcionamiento de la válvula, cambia su estado enviando una señal hacia un *relay* que abre el circuito. El diagrama eléctrico de VE-3, se presenta en la figura 50.

3.1.4.2.2. Banda transportadora T-9

Se inicia el diseño de las bandas transportadoras con la conexión de la primera condición de funcionamiento de dichas bandas; esto indica que para que la banda transportadora 9 (T-9) inicie su funcionamiento, la válvula eléctrica 3 (VE-3) debe estar seleccionada hacia la banda transportadora 9 (T-9).

Paralelo a esta condición se utiliza una condición más: utilizar el contacto normalmente cerrado del sensor de tolva alto; este es un sensor de proximidad instalado en la parte superior de la tolva de despacho, y se utiliza para indicar cuándo la tolva se encuentra llena de producto; al momento de estar llena esta indica que las bandas paren su funcionamiento. Al finalizar las primeras condiciones se procede a la conexión del paro de emergencia; este paro está conectado en serie con el circuito de control. Al pulsar el botón de parada de emergencia se interrumpe el circuito y elimina el poder desde el relé que mantiene el circuito energizado.

Este paro de emergencia posee una señal directa hacia el módulo de entradas del PLC. Luego del paro de emergencia se utilizará un botón tipo pulsador para realizar la marcha de la banda específica; en paralelo a la conexión del botón tipo pulsador se configura un juego de contactores para realizar un enclave y dejar mantenido el pulso de marcha hasta que se presione el botón tipo pulsador de paro; este enclave se realiza con los contactos normalmente cerrados del T9, correspondientes a los *relays* de marcha para la banda.

El siguiente paso es el *relay* de acople para el sistema automático o manual; este posee un contacto normalmente cerrado correspondiente al mando manual. El contacto normalmente abierto corresponde al mando automático a través del PLC; este *relay* de acople es activado por un selector de dos posiciones, donde el operador seleccionará el modo de control que necesite según su operación. Cabe mencionar que si el selector se encuentra posicionado para control automático o control por el PLC, este posee una programación equivalente para que se cumplan las condiciones descritas anteriormente.

Para continuar con el diseño del sistema, el común del *relay* de acople se encuentra conectado a las bobina del relay T9, correspondiente a los *relays* de marcha. Para cerrar el circuito se conecta al contacto normalmente cerrado correspondiente al *relay* del sensor de atasco.

Otro sistema de protección que se utiliza en las bandas transportadoras es el uso de *relays* térmicos que son diseñados para proteger motores eléctricos. La conexión de este térmico inicia con un contacto normalmente cerrado proveniente de T9, que deja pasar la corriente únicamente al momento de presionar el botón de marcha, cumpliendo con todas las condiciones de operación; luego estos activan la bobina del contactor del motor, dirigiéndose al contacto normalmente cerrado de los térmicos; estos cambiarán su estado únicamente cuando ocurra un problema.

Esta conexión prosigue conectándose al contacto normalmente cerrado del *relay* de sensor de atasco. El sensor de atasco que se utiliza en las bandas es un dispositivo electrónico que posee sensores de posición ubicados a 15 cm de la banda. De cumplirse todas las condiciones, la banda correspondiente iniciará su marcha. Por último, cada banda transportadora posee un sensor de giro o rotación, que es usada para detectar las bajas de velocidad en las unidades giratorias, debido a los derrapes de las bandas de embragues, rompimiento de las bandas transportadores o cadenas, lo cual le da protección ante fallas mecánicas. El diagrama eléctrico de T-9 se puede apreciar observando la figura 48.

3.1.4.2.3. Tolva de despacho

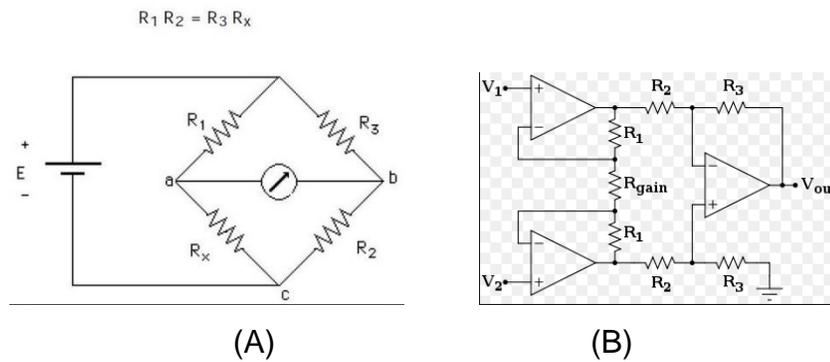
La tolva de despacho es el espacio físico donde se almacena el producto antes de ser despachado; en la tolva se pesa el producto y se lleva el control de

la cantidad despachada en los camiones de despacho. El control de cantidad se realiza a través de celdas de carga, el cual es un transductor utilizado para convertir una fuerza en una señal eléctrica. Esta conversión es indirecta y se realiza en dos etapas. Mediante un dispositivo mecánico, la fuerza que se desea medir deforma una galga extensiométrica.

La galga extensiométrica convierte el desplazamiento o deformación en señales eléctricas. Una celda de carga por lo general se compone de cuatro galgas extensiométricas conectadas en una configuración tipo puente de Wheatstone, el cual es un circuito electrónico diseñado para encontrar la resistencia o impedancia de un componente, sabiendo la de otros tres componentes (figura 53). Sin embargo es posible adquirir celdas de carga con solo 1 o 2 galgas extensiométricas. La señal eléctrica de salida es típicamente del orden de unos pocos milivoltios y debe ser amplificada mediante un amplificador de instrumentación antes de que pueda ser utilizada,

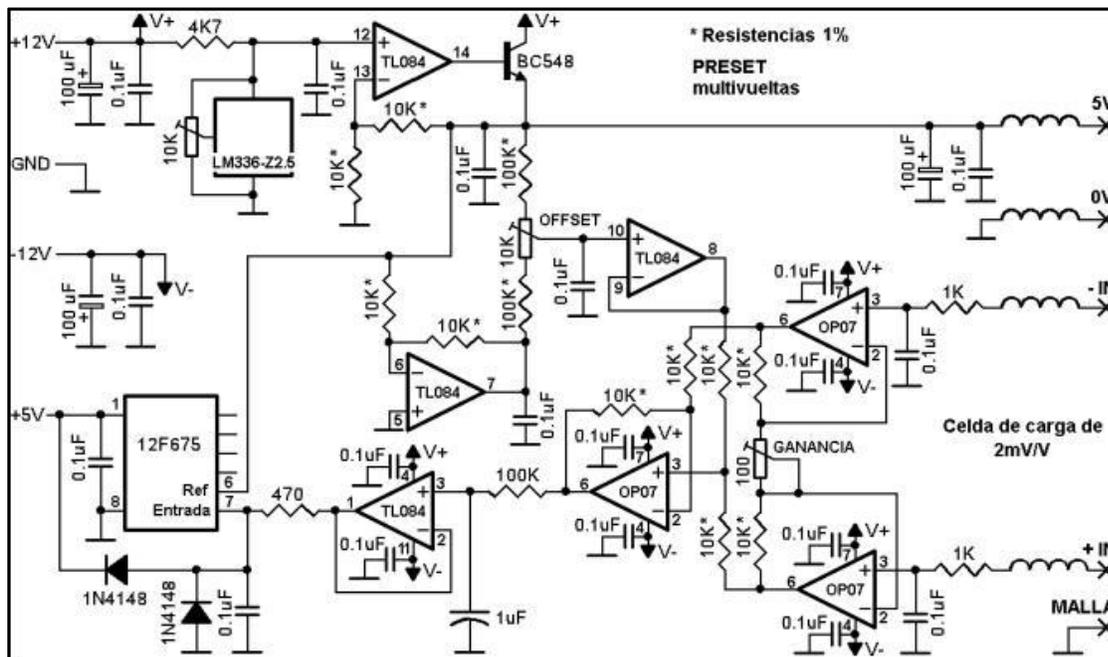
El amplificador de instrumentación es un dispositivo creado a partir de amplificadores operacionales, los cuales son dispositivos electrónicos que poseen dos entradas y una salida; la salida es la diferencia de las dos entradas multiplicada por un factor de ganancia (G). La salida del transductor se conecta en un algoritmo para calcular la fuerza aplicada al transductor. Así se obtiene la cantidad de producto que se entrega para despacho. En el diseño se consideran dos tolvas de despacho, las cuales tienen su propia compuerta motorizada.

Figura 53. **Puente Wheatstone y amplificador de instrumentación**



Fuente: www.unet.edu. Consulta: 24 de noviembre de 2014.

Figura 54. **Celda de carga**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

3.1.4.2.4. Compuertas motorizadas

Para el despacho de grano inicia con las compuertas, el complejo de despacho consta de 2 compuertas motorizadas de descarga, representadas como CM17 y CM18. El diseño de la compuerta inicia con un sensor *microswitch* con palanca. La función de este sensor es conocer la posición actual de la compuerta motorizada, las compuertas poseen dos posiciones; la primera es la posición de compuerta cerrada, dejando como segunda posición la compuerta abierta. El *microswitch* posee un contacto normalmente cerrado, y al momento de detectar una posición, este contacto se abre cortando la señal hacia CCM. Esta señal posee una conexión hacia un módulo de entradas del PLC.

Luego del contacto normalmente cerrado se utilizará un botón tipo selector de 2 posiciones con retorno al centro; este selecciona el movimiento entre abierto o cerrado de las compuertas; en paralelo a la conexión del botón se configura un juego de contactores para realizar un enclave y dejar mantenido el pulso de movimiento hasta que la compuerta física activa el *microswitch* abriendo el contacto, indicando que la compuerta se encuentra en la posición de abierto o cerrado, según sea el caso seleccionado con el botón tipo selector; este enclave se realiza con los contactos normalmente abiertos del CMXA y CMXB, correspondientes a los *relays* de marcha para las compuertas. CMXA corresponde al *relay* del movimiento abriendo y CMXB corresponde al *relay* del movimiento cerrando.

Seguido a este enclave del movimiento, se presenta la primera condición; esta indica que las compuertas podrán realizar un único movimiento abriendo o cerrando; las compuertas serán incapaces de realizar ambos movimientos; estas condiciones se realizan utilizando un contacto normalmente cerrado de

CMXA para el caso que se seleccione el movimiento cerrando. De igual manera, el movimiento de abriendo poseerá un contacto normalmente cerrado de CMXB. Al momento de seleccionar una posición, el contacto se abrirá, evitando que la compuerta realice un movimiento no seleccionado.

El siguiente paso es el *relay* de acople para el sistema automático o manual; este es un *relay* que posee un contacto normalmente cerrado correspondiente al mando manual. El contacto normalmente abierto corresponde al mando automático a través del PLC; este *relay* de acople es activado por un selector de dos posiciones, donde el operador seleccionará el modo de control que necesite, según su operación. Cabe mencionar que si el selector se encuentra posicionado para control automático o control por el PLC, este posee una programación equivalente para que se cumpla la condición descrita anteriormente.

Para continuar con el diseño del sistema, el común del *relay* de acople se encuentra conectado a las bobinas del *relay* CMXA y CMXB, correspondientes a los *relay* de movimiento. Para cerrar el circuito se conecta al contacto normalmente cerrado, correspondiente al *relay* del sensor térmico de CMX, el cual al detectar un incremento de temperatura en el funcionamiento de la válvula, este cambia su estado enviando una señal hacia un *relay* que abre el circuito, El diagrama eléctrico de CM17 y CM18 se puede observar en la figura 44.

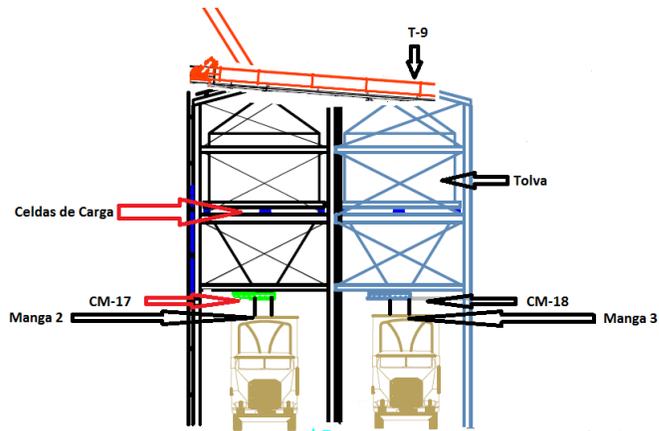
3.1.4.2.5. Mangas de descarga

El objetivo principal de este equipo es solucionar los problemas de polvo y pérdidas de material en el acopio de grano, al descargar material desde las compuertas de despacho situadas a cierta altura, creando taludes en los camiones de despacho.

Así pues, se pretende solucionar problemas tan importantes como la contaminación ambiental y también otros derivados del polvo como problemas de salud, falta de visibilidad (causa de accidentes) y deterioro de elementos móviles entre otros. La manga está constituida por una estructura metálica en el extremo superior, la cual facilita la admisión del material por su forma interior cónica (recubierta de material antiabrasivo). En esta estructura se encuentran los equipos de elevación y control de la manga. De esta estructura cuelgan los cilindros telescópicos de material termoplástico, resistente a la abrasión que canaliza el material.

La manga posee un funcionamiento automático, donde puede estar controlada mediante un control de relevación que ejecute las acciones de estirar o encoger la manga, en función de la distancia entre el talud en el camión de despacho y la boca de salida de la manga. Esta distancia se mide mediante unos sensores verticales colocados en la parte inferior de la manga, la función de estos es detectar la proximidad del material con la manga; esta distancia se mantendrá estirando o encogiendo la manga automáticamente, minimizando así una más el efecto del polvo.

Figura 55. Área de despacho



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

3.2. Sistema de control SLC 500

SLC 500 es un PLC basado en chasis, familia modular de controladores y E/S. Con múltiples opciones de procesador, numerosas opciones de suministro de energía y la amplia capacidad de E/S, la familia SLC 500 ofrece una potente solución para gama media independiente o control industrial distribuida. Como una de las primeras funciones completas de controladores pequeños en el mercado, sigue siendo el estándar de oro en controladores lógicos más de una década después de su introducción.

3.2.1. Características del SLC 500

La familia SLC 500 posee las siguientes características:

- Hasta 64 K palabras de datos configurables y memoria de programa.
- Control de hasta 4096 4096 señales de entrada y salida.

- Configura hasta tres chasis locales, con 30 módulos de E/S o locales de comunicación máxima.
- Supervisa y controla de forma remota las E/S a través de ControlNet, DeviceNet, y los vínculos de E/S remotas universales (requiere módulo escáner de E/S).
- Los puertos para EtherNet / IP [™], DH +, DH- , comunicación 485 o RS-232.
- Módulos de comunicación disponibles ofrecen opciones adicionales de comunicación.
- Módulos especializados soportan aplicaciones de control de movimiento simples.
- El apoyo continuo y la inversión de ingeniería en curso para una amplia base instalada.
-

3.2.2. Interfaces de comunicación

La interfaz de comunicación permitirá añadir otro puerto de comunicaciones al controlador SLC 500. Esto añade la capacidad de la red más allá de los puertos disponibles a bordo.

Algunos módulos proporcionan una interfaz entre un puerto del controlador y otro enlace de comunicación con un protocolo diferente. Otros módulos se comunican con el procesador SLC sobre el plano posterior del sistema.

3.2.2.1. Controladores

Los controladores proporcionan una gama de opciones en la memoria, la capacidad de E/S, el conjunto de instrucciones, y puertos de comunicación,

para que pueda adaptar un sistema de control a sus necesidades exactas a la aplicación. Los controladores tienen una fuerte historia y fiabilidad que cubre cientos de miles de instalaciones en una amplia gama de aplicaciones.

3.2.2.2. Módulos de entrada y salida

Las entradas y salidas ofrecen una gama completa de la tecnología digital, analógica y especial de E/S para una amplia variedad de aplicaciones. Puede utilizar los módulos de E/S en una E/S locales chasis de un controlador SLC 500. O bien, utilizar un módulo adaptador de comunicación de E/S para colocar de E/S en un chasis en una ubicación remota desde el controlador.

3.2.2.3. Aplicaciones

La familia SLC 500 proporciona rentabilidad, control fiable en cientos de miles de aplicaciones en todo el mundo, desde un parque de diversiones y micro cervecerías a los procesos farmacéuticos y alimenticios. Es muy adecuado para aplicaciones en las que no se justifica el tamaño y la sobrecarga de un tamaño completo del sistema tradicional, PLC.

SLC 500 controladores son ideales para aplicaciones en equipos de manufactura, en los siguientes tipos de máquinas:

- Maquinaria de embalaje
- Transportadores y otra maquinaria de manejo de materiales
- Máquinas-herramientas
- Maquinaria textil
- Los productos alimenticios de maquinaria
- Productos farmacéuticos maquinaria

3.2.3. Manejo, instalación y conexión

El manejo, instalación y conexión es una parte fundamental, ya que sin ello no funcionaría.

3.2.3.1. Contactos de confirmación

En la mayoría de los procesos industriales una avería o parada en alguno de los elementos que lo integran puede traer como consecuencia pérdidas económicas importantes; si en la programación del mismo no se han tenido en cuenta estas posibilidades, esto es, la incidencia que en el resto del proceso puede tener la paralización o incorrecto funcionamiento de una sola máquina.

Un procedimiento utilizado para corregir esta posibilidad es el usar contactos de confirmación, esto es, contactos de determinada parte de un proceso situados sobre otra parte de ese mismo proceso, que condiciona su parada o marcha.

3.2.3.2. Acoplamiento directo e indirecto de cargas

En algunos casos, cuando el consumo de una carga es muy pequeño se puede acoplar esta directamente a la salida, como es el caso del tubo fluorescente y de una lámpara. En el resto de los casos el mando ha de hacerse a través de relés, contactores, electroválvulas, entre otros.

3.2.3.3. Acoplamiento de actuadores de gran consumo

Cuando el consumo de intensidad, por ejemplo, de la bobina de un contactor que controla un determinado motor es superior a la que puede soportar un contacto de salida del PLC, los procedimientos que se pueden seguir son los siguientes:

- Utilizar dos o más contactos de salida puenteados o unidos. Este procedimiento no es recomendable, en general, debido al valor que económicamente representa un contacto de salida. Una manera de realizar esto es situar un relé intermedio, K1, y cuyo consumo de intensidad sea aceptada por el contacto de salida del PLC; el contacto de dicho relé en serie con la bobina del contactor K2 sí puede soportar esa intensidad.

3.2.3.4. Instalación de controlador

Una correcta instalación del controlador implica necesariamente tener en cuenta factores como: condiciones ambientales del entorno físico donde se va a situar, distribución de componentes en el armario que lo va a contener y una buena alimentación y un cableado correcto. Asimismo, es necesario su puesta a punto y un eficaz mantenimiento

3.2.3.5. Condiciones ambientales del entorno

Normalmente y salvo indicación expresa, el entorno en donde se sitúe el PLC habrá de reunir las condiciones físicas siguientes:

- Ausencia de vibraciones, golpes, entre otros.
- No exposición directa a los rayos solares o focos caloríficos intensos, así como a temperaturas que sobrepasen los 50 °C – 60 °C, aproximadamente.
- No elegir lugares donde la temperatura descienda en algún momento por debajo de 5 °C o donde los bruscos cambios pueden dar origen a condensaciones.
- Tampoco es posible situarlos en ambientes en donde la humedad relativa se encuentre aproximadamente por debajo del 20 % o por encima del 90 %.
- Ausencia de polvo y ambientes salinos.
- Ausencia de gases corrosivos.
- Por seguridad es necesario un ambiente exento de gases inflamables.
- Ha de evitarse situarlo junto a líneas de alta tensión, siendo la distancia variable en función del valor de dicha tensión.

3.2.3.6. Distribución de componentes

Es norma que el PLC se sitúe en un armario metálico. Antes de elegir el mismo se ha de conocer si este necesita ventilador incorporado para forzar la ventilación del aire, debido a que la temperatura ambiente supere la especificada, o bien si se prevén problemas de condensación, para incorporar un elemento generador de calor que la elimine.

Tanto si es así como si no, este se elegirá del tamaño adecuado para que contenga de una forma despejada, no solo el PLC, sino todos los elementos que se encuentren junto a él, de modo que se pueda realizar un correcto trabajo en las operaciones de cableado y mantenimiento. Los elementos a que se hace alusión pueden ser los siguientes:

- Interruptor o interruptores de alimentación
- Las protecciones correspondientes
- Relés, contactores, entre otros.
- Fuentes de alimentación
- Regletas de borneras
- Canaletas de cableado

El PLC puede situarse en distintas posiciones, pero, en general, este se sitúa verticalmente sobre riel DIN o placa perforada. En cuanto a su distribución, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los elementos disipadores de calor se situarán en la parte superior del armario, principalmente el PLC y las fuentes de alimentación, para así facilitar la disipación del calor generado al exterior.
- Los elementos electromecánicos como, por ejemplo, relés, contactores, etc., son generadores de campos magnéticos debido a sus bobinas, por lo que es recomendable alejarlos lo más posible, al igual que, los transformadores estarán lo más alejados posible de cualquier parte de los PLC.

3.2.3.7. Cableado

Para un correcto cableado hay que tener en cuenta unas reglas mínimas, entre las que se encuentran:

- Separar los cables que conducen CC de los de CA para evitar interferencias.

- Separar los cables de las entradas de los de las salidas.
- Si es posible, separar los conductores de las E/S analógicas de las digitales.
- Los cables de potencia que alimentan a contactores, fuentes de alimentación, entre otros., discurrirán por canaleta distinta de los cables de E/S.

En cuanto al cableado externo, es de tener en cuenta lo siguiente:

- Los cables de alimentación y los de E/S discurrirán por distinto tubo o canaleta, siendo recomendable entre ambos grupos de cables una distancia mínima de 30 cm, si discurren paralelos.

En el caso de que esto no sea posible, se situarán placas metálicas conectadas a tierra, que separen dentro de la canaleta los distintos tipos de cables.

3.2.3.8. Alimentación

La alimentación a los PLC es otro factor importante a tener en cuenta. Cuatro son las partes que se pueden considerar:

- Tensión estable del valor adecuado y exento en lo posible de picos provocados por otros aparatos de la instalación.
- Protecciones contra sobrecargas y cortocircuitos por medio de interruptores magnetotérmicos, fusibles, entre otros., así como contra derivaciones a tierra por medio de interruptores diferenciales.

- Tierra de valor adecuado y debidamente señalizada mediante conductor amarillo-verde. Valor adecuado entre 3 a 5 ohms.
- Circuito de mando que permita conectar y desconectar en el momento preciso el circuito o parte del mismo.

3.2.4. Módulos de entrada y salida

Dada la aplicación que se desea realizar para obtener un control del proceso de almacenaje y despacho de granos, lo primero que se presentará es un listado de las señales de entrada y las de salida, que son necesarias para el control automatizado.

3.2.4.1. Señales de entrada

El sistema presentado para la propuesta es de lazo cerrado, por lo cual las señales de entrada son utilizadas como señales de confirmación para que el sistema monitoree y accione. A continuación se presenta un listado con las señales de entrada necesarias para obtener un monitoreo del sistema de almacenaje y despacho de granos. En ella se explica la señal de confirmación, así como la máquina a la cual hacen referencia. De igual manera se especifica el calibre de cable de conexión a utilizar, como su respectiva identificación para el diagrama de control.

Tabla IV. Señales de entrada

Sistema automático		Cable # de control automático de CCM a PLC (Entradas)	
Concepto	Maquina	No. de Etiqueta	Calibre de Cable
Señal de paro de emergencia	T1	200	14
Sensor de atasco	T1	209	14
Señal de confirmación	T1 / T1.1	211	14
Sensor de atasco	T2	224	14
Señal de confirmación	T2 / T2.1	226	14
Señal hacia T3	VN1	228	14
Señal hacia T4	VN1	231	14
Señal de confirmación	VN1A/VN1B	233	14
Sensor de atasco	T3	244	14
Señal de confirmación	T3 / T3.1	246	14
Sensor de atasco	T4	256	14
Señal de confirmación	T4 / T4.1	258	14
Señal de arranque cerrado	CM1	260	14
Señal arranque abierto	CM1	263	14
Señal de confirmación	CM1A/CM1B	265	14
Señal de arranque cerrado	CM2	268	14
Señal de arranque abierto	CM2	271	14
Señal de confirmación	CM2A/CM2B	273	14
Señal de arranque cerrado	CM3	276	14
Señal de arranque abierto	CM3	279	14
Señal de confirmación	CM3A/CM3B	281	14
Señal de arranque cerrado	CM4	284	14
Señal de arranque abierto	CM4	287	14
Señal de confirmación	CM4A/CM4B	289	14
Señal de arranque cerrado	CM5	292	14
Señal de arranque abierto	CM5	295	14
Señal de confirmación	CM5A/CM5B	297	14
Señal de arranque cerrado	CM6	300	14

Continuación de la tabla IV

Señal de arranque abierto	CM6	303	14
Señal de confirmación	CM6A/CM6B	305	14
Señal de arranque cerrado	CM7	308	14
Señal de arranque abierto	CM7	311	14
Señal de confirmación	CM7A/CM7B	313	14
Señal de arranque cerrado	CM8	316	14
Señal de arranque abierto	CM8	319	14
Señal de confirmación	CM8A/CM8B	321	14
Señal de arranque cerrado	CM9	324	14
Señal de arranque abierto	CM9	327	14
Señal de confirmación	CM9A/CM9B	329	14
Señal de arranque cerrado	CM10	332	14
Señal de arranque abierto	CM10	335	14
Señal de confirmación	CM10A/CM10B	337	14
Señal de arranque cerrado	CM11	340	14
Señal de arranque abierto	CM11	343	14
Señal de confirmación	CM11A/CM11B	345	14
Señal de arranque cerrado	CM12	348	14
Señal de arranque abierto	CM12	351	14
Señal de confirmación	CM12A/CM12B	353	14
Señal de arranque cerrado	CM13	356	14
Señal de arranque abierto	CM13	359	14
Señal de confirmación	CM13A/CM13B	361	14
Señal de arranque cerrado	CM14	364	14
Señal de arranque abierto	CM14	367	14
Señal de confirmación	CM14A/CM14B	369	14
Señal de arranque cerrado	CM15	372	14
Señal de arranque abierto	CM15	375	14
Señal de confirmación	CM15A/CM15B	377	14
Señal arranque cerrado	CM16	380	14
Señal de arranque abierto	CM16	383	14
Señal de confirmación	CM16A/CM16B	385	14

Continuación de la tabla IV

Señal posición alivio 1	Descarga	0388	14
Señal de posición 1	Descarga	388	14
Señal de posición 2	Descarga	391	14
Señal de posición 3	Descarga	394	14
Señal de posición 4	Descarga	397	14
Señal de posición 5	Descarga	400	14
Señal de posición 6	Descarga	403	14
Señal de posición 7	Descarga	406	14
Señal de posición 8	Descarga	409	14
Señal de posición 9	Descarga	412	14
Señal de posición 10	Descarga	415	14
Señal deposición 11	Descarga	418	14
Señal de posición 12	Descarga	421	14
Señal de posición 13	Descarga	424	14
Señal de posición 14	Descarga	427	14
Señal de posición 15	Descarga	430	14
Señal de posición 16	Descarga	433	14
Señal posición alivio 2	Descarga	436	14
Sensor atasco	T5	442	14
Sensor atasco	T6	450	14
Sensor atasco	T7	458	14
Sensor atasco	T8	466	14
Sensor de atasco	E1	478	14
Señal de confirmación	R.A. S.A.E1	479	14
Señal hacia T2	VN2	480	14
Señal hacia VN3	VN2	483	14
Señal de confirmación	VN2A/VN2B	485	14
Señal de arranque cerrado	CM17	497	14
Señal de arranque abierto	CM17	500	14
Señal de confirmación	CM17A/CM17B	502	14
Sensor de nivel alto a tolva	VN3	495	14

Fuente: elaboración propia.

3.2.4.2. Señales de salida

Utilizando los valores de entrada y la respuesta obtenida (la retroalimentación), se determina la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control con base en la salida deseada. Estas acciones son comandadas por las señales de salida del controlador, por lo que a continuación se presenta un listado de puntos donde el PLC debe tener el control.

Tabla V. Señales de salida

Sistema automático		Cable # de control automático de CCM a PLC (salidas)	
Concepto	Maquina	Núm. de etiqueta	Calibre de cable
Señal de marcha (control PLC)	T1	33	14
Señal de marcha (control PLC)	T2	37	14
Señal de marcha hacia T3 (control PLC)	VN1	41	14
Señal de marcha hacia T4 (control PLC)	VN1	43	14
Señal de marcha (control PLC)	T3	45	14
Señal de marcha (control PLC)	T4	49	14
Señal arranque cerrado (control PLC)	CM1	53	14
Señal arranque abierto (control PLC)	CM1	55	14
Señal arranque cerrado (control PLC)	CM2	57	14

Continuación de la tabla V.

Señal arranque abierto (control PLC)	CM2	59	14
Señal arranque cerrado (control PLC)	CM3	61	14
Señal arranque abierto (control PLC)	CM3	63	14
Señal arranque cerrado (control PLC)	CM4	65	14
Señal arranque abierto (control PLC)	CM4	67	14
Señal arranque cerrado (control PLC)	CM5	70	14
Señal arranque abierto (control PLC)	CM5	71	14
Señal arranque cerrado (control PLC)	CM6	73	14
Señal arranque abierto (control PLC)	CM6	75	14
Señal arranque cerrado (control PLC)	CM7	77	14
Señal arranque abierto (control PLC)	CM7	79	14
Señal arranque cerrado (control PLC)	CM8	81	14
Señal arranque abierto (control PLC)	CM8	83	14
Señal arranque cerrado (control PLC)	CM9	85	14
Señal arranque abierto (control PLC)	CM9	87	14
Señal arranque cerrado (control PLC)	CM10	89	14

Continuación de la tabla V.

Señal arranque abierto (control PLC)	CM10	91	14
Señal arranque cerrado (control PLC)	CM11	93	14
Señal arranque abierto (control PLC)	CM11	95	14
Señal arranque cerrado (control PLC)	CM12	97	14
Señal arranque abierto (control PLC)	CM12	99	14
Señal arranque cerrado (control PLC)	CM13	102	14
Señal arranque abierto (control PLC)	CM13	104	14
Señal arranque cerrado (control PLC)	CM14	106	14
Señal arranque abierto (control PLC)	CM14	108	14
Señal arranque cerrado (control PLC)	CM15	111	14
Señal arranque abierto (control PLC)	CM15	113	14
Señal arranque cerrado (control PLC)	CM16	115	14
Señal arranque abierto (control PLC)	CM16	117	14
Señal de posición alivio 1 (control PLC)	Descarga	119	14
Señal de posición 1 (control PLC)	Descarga	121	14
Señal de posición 2 (control PLC)	Descarga	123	14

Continuación de la tabla V.

Señal de posición 3 (control PLC)	Descarga	125	14
Señal de posición 4 (control PLC)	Descarga	127	14
Señal de posición 5 (control PLC)	Descarga	129	14
Señal de posición 6 (control PLC)	Descarga	131	14
Señal de posición 7 (control PLC)	Descarga	133	14
Señal de posición 8 (control PLC)	Descarga	135	14
Señal de posición 9 (control PLC)	Descarga	137	14
Señal de posición 10 (control PLC)	Descarga	139	14
Señal de posición 11 (control PLC)	Descarga	141	14
Señal de posición 12 (control PLC)	Descarga	143	14
Señal de posición 13 (control PLC)	Descarga	145	14
Señal de posición 14 (control PLC)	Descarga	147	14
Señal de posición 15 (control PLC)	Descarga	149	14
Señal de posición 16 (control PLC)	Descarga	151	14
Señal de posición alivio 2 (control PLC)	Descarga	153	14
Señal de marcha (control PLC)	T5	155	14

Continuación de la tabla V.

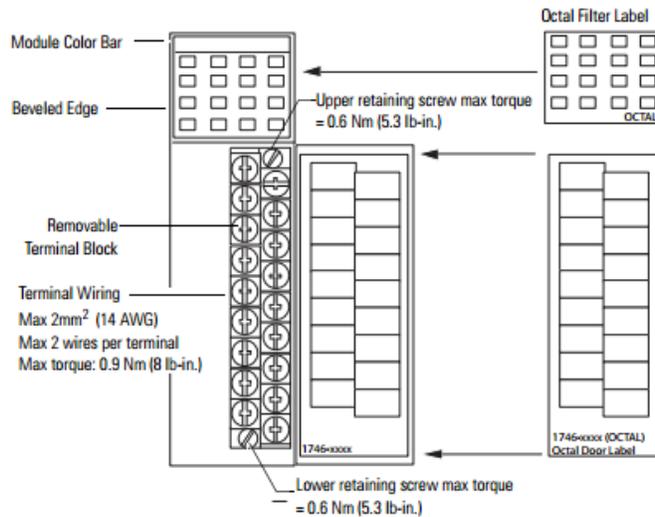
Señal de marcha (control PLC)	T6	159	14
Señal de marcha (control PLC)	T7	163	14
Señal de marcha (control PLC)	T8	167	14
Señal de marcha (control PLC)	E1	171	14
Señal de marcha hacia T2 (control PLC)	VN2	175	14
Señal de marcha hacia VN3 (control PLC)	VN2	177	14
Señal arranque cerrado (control PLC)	CM17	183	14
Señal arranque abierto (control PLC)	CM17	185	14
Señal de marcha (control PLC)	VN3	179	14
Señal de marcha (control PLC)	Carro	187	14
Señal de contramarcha (control PLC)	Carro	189	14

Fuente: elaboración propia.

3.2.4.3. Módulos del PLC

Después de obtener el listado de señales de entrada y salida, es evidente que es necesario agregar módulos de entrada y salida (E/S) al SLC 500, cada módulo de E/S de la serie SLC 500 posee 16 pines de conexión (figura 56), por lo que es necesario agregar 6 módulos I/O SLC 500 para señales de entrada y 4 I/O SLC 500 para señales de salida.

Figura 56. **Módulo de E/S de la serie SLC 500**



Fuente: BRADLEY, Allan. *Installation instructions "SLC 500 digital I/O Modules"* p. 56.

3.2.4.4. **Código de programación**

La programación de un PLC se realiza mediante periféricos de autómatas, como puede ser un PC, una consola de programación, un grabador EPROM, entre otros.

El programa que más se ha utilizado hasta ahora ha sido el "*RSLogix 500 programming software*" en sus diferentes versiones; este es el elegido para esta aplicación a la hora de programar el autómatas; por tanto está en manos del usuario conocer el manejo de este para practicar.

El segundo paso en la programación de un autómatas; es la elaboración de un esquema de contactos del proceso a controlar basándose en el SLC 500. Un diagrama de relés o esquema de contactos consiste en una línea vertical a la izquierda que se llama "barra de bus" y de líneas paralelas que parten de ella

denominadas “líneas de construcción”. En las líneas de instrucción se colocan los relés o contactos, que pueden corresponder con estados del sistema o con condiciones de ejecución.

Las combinaciones lógicas de estos contactos determinan cuándo y cómo se ejecutan las instrucciones del esquema, situadas al final de las líneas de instrucción. Todos los contactos, a efectos de programación, llevan asignados una dirección de bit, a excepción de los contactos que representan los estados del sistema, que llevan asignados una dirección de canal.

Toda contacto del diagrama de relés está *ON* - *OFF* dependiendo del estado del bit operando asignado. Una condición normalmente abierta está en *ON* si el bit asignado está en encendido, y en *OFF* si está apagado.

Una condición normalmente cerrada está en *ON* si el bit asignado está en *OFF*, y en *OFF* si el bit asignado está en *ON*. Generalizando, se utiliza una condición normalmente abierta si se desea hacer algo cuando un bit esté en *ON* y se utiliza una condición normalmente cerrada si se desea hacer algo cuando un bit esté en *OFF*.

Con estos sencillos pasos se puede elaborar cualquier tipo de diagrama. Dos últimas consideraciones a tener en cuenta son:

- Las instrucciones de salida no pueden representarse más de una vez en el esquema de contactos, por lo que si se tienen varios estados que realizan la misma acción, se realizara una “or” con los contactos asociados que activen esa salida.
- Los esquemas de contactos siempre deben acabar con la instrucción “*END*”.

4. CONCEPTOS ECONÓMICOS EN LA PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE SISTEMA AUTOMATIZADO

El propósito de conocer los conceptos económicos a tomar en cuenta en la planificación tiene como fin ampliar la visión del ingeniero encargado del diseño del sistema en otra perspectiva, para que al momento de la evaluación de las alternativas posibles de sistemas a implementar, no se vea limitado únicamente por los aspectos tecnológicos, sino que previo análisis económico y financiero de las alternativas, pueda encontrar la solución óptima tanto técnica como económica, para que esta se acerque lo mayor posible a la red ideal buscada.

4.1. Conceptos de ingeniería económica aplicados al diseño de sistema automatizado

Conforme el aparato industrial se volvía más complejo, las técnicas se adaptaron y se volvieron más específicas. Por lo tanto, la ingeniería económico o análisis económico en la ingeniería, se convirtió en:

- Conjunto de técnicas para tomar decisiones de índole económica en el ámbito industrial, considerando siempre el valor del dinero a través del tiempo.
- Disciplina que se preocupa de los aspectos económicos de la ingeniería; implica la evaluación sistemática de los costos y beneficios de los proyectos técnicos propuestos.

4.1.1. Principios para el estudio económico de proyectos

El principio más importante en la ingeniería económica es el hecho de que una cantidad de dinero puede tener una serie de valores equivalentes y potenciales, aunque solo tenga realmente existencia y valor en un momento determinado. Para definir con precisión una cantidad de dinero debe indicarse su monto en relación con la fecha de estudio.

Esta característica de equivalencia del dinero permite comparar cantidades diferentes, expresándolas en relación con una misma fecha, o de cualquier otro equivalente de acuerdo con el tiempo. Para realizar estas equivalencias de dinero en el tiempo existen ecuaciones matemáticas y tablas de factores que permiten convertir una cantidad de dinero a una fecha cualquiera, en una suma equivalente para otra.

Básicamente hay tres tiempos que interesan en el estudio económico: el presente, el futuro y períodos de tiempo equivalentes o anualidades, porque es en estos, cuando en los proyectos existen actividades de ingresos (se reciben ganancias), gastos (se hacen pagos por mantenimiento, operación, entre otros.) o se realizan inversiones.

4.1.1.1. Factores de conversión

Es posible traducir cantidades de dinero en cantidades equivalentes en relación con una fecha común determinando su valor presente (VP) o su valor futuro (VF) por medio de factores. Una cantidad única de dinero puede expresarse asimismo como una anualidad. Se entiende por suma de anualidades una serie de pagos a realizarse por año.

Para una referencia fácil, las fórmulas empleadas en los cálculos se reúnen en la tabla VI.

Tabla VI. Factores económicos

Encontrar	Dado	Factor	Ecuación	Fórmula
P	F	(P/F, i, n)	$P = F(P/F, i, n)$	$P = F \cdot \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$
F	P	(F/P, i, n)	$F = P(F/P, i, n)$	$F = P \cdot (1+i)^n$
P	A	(P/A, i, n)	$P = A(P/A, i, n)$	$P = A \cdot \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \right]$
A	P	(A/P, i, n)	$A = P(A/P, i, n)$	$A = P \cdot \left[\frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$
A	F	(A/F, i, n)	$A = F(A/F, i, n)$	$A = F \cdot \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right]$
F	A	(F/A, i, n)	$F = A(F/A, i, n)$	$F = A \cdot \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right]$

Fuente: BLANK, Leland T; TARQUIN, Anthony J. *Ingeniería económica*. p. 56.

Donde:

i = tipo de interés

n = número de periodo (generalmente en años)

F = valor futuro

P = valor presente

A = anualidad

Esta notación es fácil de utilizar para recordar la forma como pueden derivarse los factores. Por ejemplo, el factor A/F puede ser derivado multiplicando las fórmulas de los factores P/F y A/P. En términos de ecuación, esto es:

$$A = F \left(\frac{P}{F}, i, n \right) * \left(\frac{A}{P}, i, n \right)$$

$$A = F \left(\frac{A}{F}, i, n \right)$$

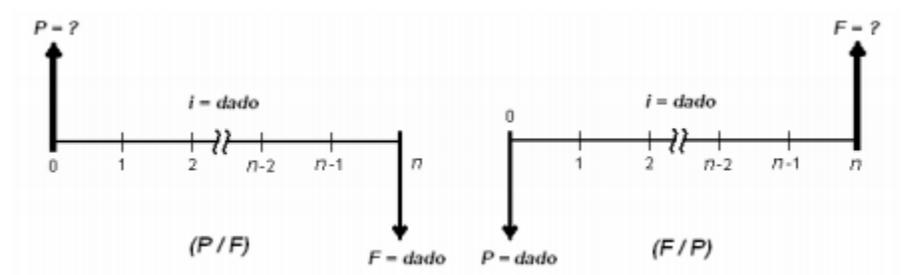
Con el fin de simplificar los cálculos rutinarios de la ingeniería económica que involucran factores, se han creado tablas de valores de los factores para tasas de interés y periodos de tiempo diferentes, las cuales se pueden encontrar en cualquier texto de ingeniería económica.

4.1.1.2. Uso de factores de conversión

Existen dos factores llamados de pago único: el valor presente de un pago único (P/F,i,n) y la cantidad compuesta de un pago único (F/P,i,n). El primer factor determina el valor presente P de una cantidad futura dada, F, después de N años (o períodos) a partir de una inversión única con una tasa de interés “i” compuesta anualmente (o por período).

Si se multiplica el segundo factor por P, se produce la suma futura F de una inversión inicial “P” después de “n” años a una tasa de interés i. En la figura 57 se detalla el diagrama de flujo de efectivo para estos factores.

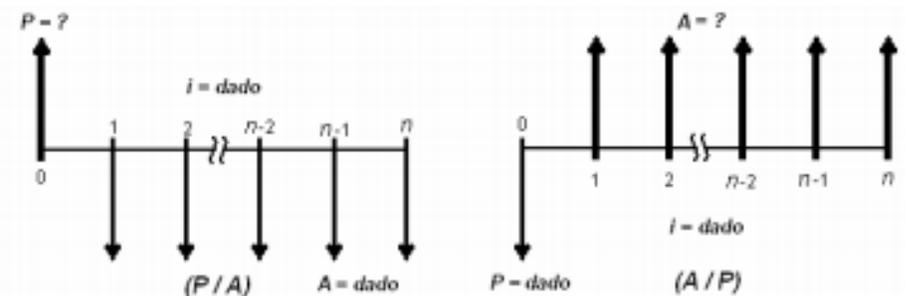
Figura 57. Diagrama de flujo de factores de pago único



Fuente: BLANK, Leland T; TARQUIN, Anthony J. *Ingeniería económica*. p. 86.

El siguiente grupo de factores está formado por: el valor presente de una serie uniforme ($P/A, i, n$) y la recuperación de capital ($A/P, i, n$). El primer factor dará el valor presente P de una serie anual uniforme equivalente A que empieza al final del año 1 y se extiende durante N años a una tasa de interés i . El segundo factor produce el valor anual uniforme equivalente A durante N años de una inversión dada P cuando la tasa de interés es i . En la figura 58 se detalla el diagrama de flujo de efectivo para estos factores.

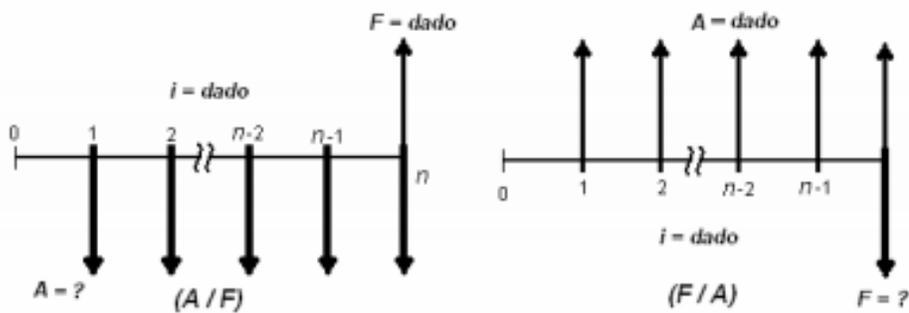
Figura 58. Diagrama de flujo I



Fuente: BLANK, Leland T; TARQUIN, Anthony J. *Ingeniería económica*. p. 90.

El último grupo de factores es formado por el fondo de amortización $(A/F, i, n)$ y la cantidad compuesta de una serie uniforme $(F/A, i, n)$. El primer factor se utiliza para determinar la serie de valor anual uniforme que sería equivalente a un valor futuro determinado F . El segundo factor al multiplicarse por una suma anual uniforme A dada, produce el valor futuro de la serie uniforme. En la figura 59 se detalla el diagrama de flujo de efectivo para estos factores.

Figura 59. Diagrama de flujo II



Fuente: BLANK, Leland T; TARQUIN, Anthony J. *Ingeniería económica*. p. 92.

Todos los factores descritos anteriormente son importantes y serán buenas herramientas en estudios de factibilidad económica de proyectos, únicamente si son utilizados correctamente.

Si se desea hacer un estudio económico para ver cuál de las alternativas es más rentable o menos costosa, se deben trasladar todos los ingresos, gastos, inversiones, entre otros, que se den durante el período de vida útil del proyecto a una fecha específica: al presente o a anualidades, y esto se realiza con los factores y de la forma descrita anteriormente.

Otra regla, sumamente importante, es evaluar los proyectos en periodos de vida iguales, por ejemplo: si la alternativa “A” tiene una vida útil de 3 años y la alternativa “B” tiene una de 4 años, se debe sacar el MCM (mínimo común múltiplo) de las dos y trabajarlas de esa forma; en este caso sería analizar ambas en un período de 12 años, y se evalúa de la siguiente forma:

- En el año 0 se hace la inversión de las dos alternativas.
- En los años 3, 6 y 9 se hace la reinversión de la alternativa A.
- En los años 4 y 8 se hace la reinversión de la alternativa B.
- En el año 12 se culminan las dos alternativas, teniendo la alternativa A tres reinversiones y la alternativa B únicamente dos.

4.1.2. Modelo de depreciación de equipo

La depreciación es el mecanismo mediante el cual se reconoce el desgaste que sufre un bien por el uso que se haga de él. Cuando un activo es utilizado para generar ingresos, este sufre un desgaste normal durante su vida útil que el final lo lleva a ser inutilizable. Al ingreso generado por el activo usado se le debe incorporar el gasto correspondiente desgaste, que ese activo ha sufrido para poder generar el ingreso, puesto que como según señala un elemental principio económico, no puede haber ingreso sin haber incurrido en un gasto, y el desgaste de un activo por su uso, es uno de los gastos que al final permiten generar un determinado ingreso.

4.1.2.1. Introducción

La depreciación es la reducción en el valor de un activo. Los modelos de depreciación utilizan reglas, tasas y fórmulas aprobadas por el gobierno para representar el valor actual en libros de la compañía. El monto de la depreciación D_t , calculado de ordinario en forma anual, no refleja necesariamente el patrón del uso real del activo durante su posesión. A continuación se definen algunos términos comúnmente utilizados:

- Costo inicial: es el costo instalado del activo que incluye el precio de compra, las comisiones de entrega e instalación y otros costos directos depreciables en los cuales se incurre a fin de preparar el activo para su uso.
- Valor en libros: representa la inversión restante, no depreciada en los libros contables después de que el monto total de cargos de depreciación a la fecha han sido estados de base.
- Período de recuperación: es la vida depreciable, N , del activo en años para fines de depreciación. Este valor puede ser diferente de la vida productiva estimada, debido a que las leyes gubernamentales regulan los periodos de recuperación y depreciación permisibles.
- Valor de mercado: es la cantidad estimada posible, si un activo fuera vendido en el mercado abierto.
- Tasa de depreciación o tasa de recuperación: es la fracción del costo inicial que se elimina por depreciación cada año. Esta tasa d_t puede ser

la misma cada año o ser diferente para cada año del periodo de recuperación.

- Valor de salvamento: es el valor estimado de intercambio o de mercado al final de la vida útil del activo.

4.1.2.2. Depreciación en línea recta (LR)

El modelo en línea recta es un método de depreciación utilizado como el estándar de comparación para la mayoría de los demás métodos. Obtiene su nombre del hecho de que el valor en libros se reduce linealmente en el tiempo, puesto que la tasa de depreciación es la misma cada año: 1 sobre el periodo de recuperación. Por consiguiente, $d = 1/n$. La depreciación anual se determina multiplicando el costo inicial menos el valor de salvamento estimado por la tasa de depreciación d , que equivale a dividir por el período de recuperación n . ecuación:

$$D_t = (B - VS) * d$$

$$D_t = \frac{B - VS}{n}$$

Donde:

t = año ($t = 1, 2, \dots, n$)

D_t = cargo anual de depreciación

B = costo inicial o base no ajustada

VS = valor de salvamento estimado

d = tasa de depreciación (igual para todos los años)

n = periodo de recuperación o vida depreciable esperada

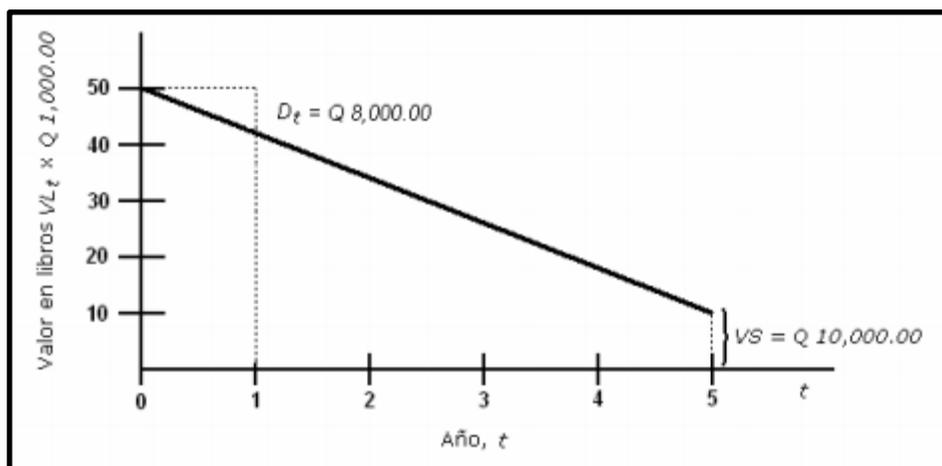
Dado que el activo se deprecia por la misma cantidad cada año, el valor en libras después de t años de servicio, (valor en libras VL_t), será igual a la base no ajustada o costo inicial B menos la depreciación anual multiplicada por t , es decir la depreciación total acumulada.

Anteriormente se definió D_t como la tasa de depreciación para un año específico t . No obstante, el modelo de depreciación en línea recta (LR) tiene la misma tasa para todos los años, dando la ecuación:

$$D_t = \frac{1}{n}$$

El modelo de depreciación en línea recta (LR) normalmente es ilustrado como se presenta en la figura 60, en la cual se muestra el valor en libras de un activo en cada determinado año y con un valor de salvamento al final del periodo. El activo, tomado como ejemplo, tiene un costo inicial de Q 50 000,00 con un valor de salvamento estimado en Q 10 000,00 después de 5 años.

Figura 60. **Gráfico del valor en libras de un activo depreciado**



Fuente: elaboración propia.

La importancia del estudio de la depreciación de activos en el diseño del sistema automatizado radica en que la mayoría de los equipos son activos fijos y como parte del estudio económico es necesario incluir los gastos de depreciación por dos motivos importantes:

- El equipo, al estar siendo depreciado periódicamente, no disminuye el pago del impuesto sobre la renta, lo cual al final reduce los gastos de mantenimiento y operación de la red.
- Al concluir el periodo de vida útil del sistema se puede recuperar parte de la inversión, si se venden los equipos depreciados. La diferencia del precio de venta a valor de mercado y el valor de salvamento es una utilidad neta más al proyecto.

4.1.3. Flujo efectivo

Los flujos de efectivo se describen como las entradas y salidas reales de dinero. Toda persona o compañía tiene entradas de efectivo: recaudos e ingreso (entradas) y desembolsos de efectivo: gastos y costos (salidas). Estas entradas y desembolsos son los flujos de efectivo, en los cuales las entradas de efectivo se representan en general con signo positivo y las salidas con signo negativo. Los flujos de efectivo ocurren durante periodos de tiempos específicos, tales como un mes o un año.

Un diagrama de flujo de efectivo es simplemente una representación gráfica de los flujos de efectivo trazados en una escala de tiempo. Por ejemplo considérese el siguiente proyecto: un inversionista compra equipo por Q 13 000, se estima que se tiene un gasto anual de Q 1 600 por operación y mantenimiento, y se determina que el equipo tiene una vida útil de 5 años;

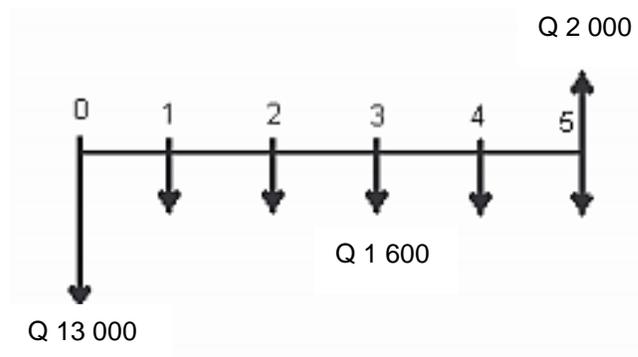
después de este periodo el equipo tiene un valor de salvamento de Q 2 000. En la tabla VII y figura 61 se detalla el flujo y el diagrama de efectivo del proyecto respectivamente.

Tabla VII. **Flujo efectivo del proyecto**

Año	Entradas	Salidas	Flujo de efectivo
0		Q -13 000,00	Q -13 000,00
1		Q -1 600,00	Q -1 600,00
2		Q -1 600,00	Q -1 600,00
3		Q -1 600,00	Q -1 600,00
3		Q -1 600,00	Q -1 600,00
4		Q -1 600,00	Q -1 600,00
5	Q 2 000, 00	Q -1 600,00	Q 400,00

Fuente: elaboración propia.

Figura 61. **Diagrama de flujo efectivo del proyecto**



Fuente: elaboración propia.

4.1.4. Retorno de inversión

Para que cualquier inversión sea rentable, el inversionista debe esperar recibir más dinero de la suma invertida. En otras palabras, debe ser posible obtener una tasa de retorno o un retorno sobre la inversión. Durante un determinado periodo de tiempo, la tasa de retorno (TR) se calcula como:

$$TR = \left(\frac{\text{Ganancia neta} - \text{Inversión original}}{\text{Inversión original}} \right) * 100 \%$$

El numerador puede llamarse utilidad, ingreso neto, o con muchos términos diversos. El término tasa de retorno se utiliza comúnmente cuando se estima la rentabilidad de una alternativa propuesta o cuando se evalúan los resultados de un proyecto o inversión.

Las alternativas de inversión de los proyectos se evalúan sobre el pronóstico de que puede esperarse una TR razonable. Alguna tasa razonable debe, por consiguiente, ser establecida y utilizada en la fase de criterios de selección del enfoque de estudio de ingeniería económica.

La tasa razonable se denomina tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) y es más alta que la tasa esperada de un banco o alguna inversión segura que comprenda un riesgo mínimo de inversión. También se hace referencia a la TMAR como la tasa base para proyectos; es decir, para que un proyecto sea considerado financieramente viable, la TR esperada debe igualar o exceder la TMAR o tasa base.

4.1.4.1. Cálculo de TR para un proyecto único

En la sección anterior se explicó el método para calcular la tasa de retorno sobre una inversión cuando solamente hay un factor de ingeniería económica involucrado. En el caso de un proyecto, existe más de un factor involucrado a evaluar.

Para determinar la tasa de retorno i de los flujos de efectivo de un proyecto, se debe definir la relación TR. El valor presente de las inversiones o desembolsos, VP_D se iguala al valor presente de los ingresos, VP_R . En forma equivalente, los dos pueden restarse e igualarse a cero. Es decir,

$$\begin{aligned}VP_D &= VP_R \\0 &= -VP_D + VP_R\end{aligned}$$

El enfoque de valor anual utiliza los valores VA en la misma forma para resolver para i :

$$\begin{aligned}VA_D &= VA_R \\0 &= -VA_D + VA_R\end{aligned}$$

El valor i que hace estas ecuaciones numéricamente correctas es la raíz de la relación TR. Se hace referencia a este valor i mediante otros términos adicionales a la tasa de retorno: tasa interna de retorno (TIR), tasa de retorno de equilibrio, índice de rentabilidad y retorno sobre la inversión (RSI). Estos se representan por la notación i^* (i estrella).

Existen dos métodos para la evaluación de la tasa de retorno en un proyecto:

- Cálculo de la tasa de retorno utilizando una ecuación de valor presente
- Cálculo de la tasa de retorno utilizando una ecuación de valor anual

4.1.4.1.1. Cálculo de la TR utilizando la ecuación de valor presente

En este método se utiliza una ecuación de valor presente como base para calcular la tasa de retorno sobre una inversión del proyecto. En los cálculos de la tasa de retorno el objetivo es encontrar la tasa de interés i^* a la cual la cantidad presente y la cantidad futura son equivalentes.

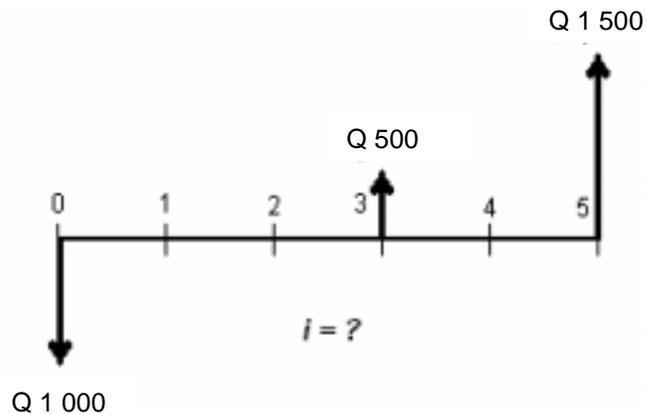
La columna vertebral del método de la tasa de retorno es la relación TR. Por ejemplo si alguien invierte Q 1 000 en un proyecto ahora y le prometen un pago de Q 500 dentro de tres años y otro de Q 1 500 en cinco años a partir de ahora, la relación de la tasa de retorno utilizando VP es:

$$1\ 000 = 500 \left(\frac{P}{F}, i', 3 \right) + 1\ 500 \left(\frac{P}{F}, i', 5 \right)$$
$$0 = -1\ 000 + 500 \left(\frac{P}{F}, i', 3 \right) + 1\ 500 \left(\frac{P}{F}, i', 5 \right)$$

La ecuación anterior aplica la forma general de la ecuación de la TR, que será utilizada en la fijación de todos los cálculos de la tasa de retorno basados en valor presente. La ecuación se resuelve para i y se $i^* = 16,9\ %$. Puesto que, en general, en un proyecto dado, hay entradas y desembolsos involucrados, puede encontrarse un valor de i^* ; además, la tasa de retorno siempre será mayor que cero si la cantidad total de los ingresos es mayor que la cantidad

total de los desembolsos, cuando se considera el valor del dinero en el tiempo. La figura 62 detalla el flujo de efectivo del ejemplo desarrollado.

Figura 62. **Flujo efectivo para el cual debe determinarse un valor i**



Fuente: elaboración propia.

Por tanto, para los cálculos TR se puede escoger VP, VA, o cualquier otra ecuación de equivalencia. En general, es mejor acostumbrarse a utilizar uno solo de los métodos con el fin de evitar errores. Si i^* se determina utilizando una hoja de cálculo, es muy probable que sea aproximada con los cálculos basados en VP y no el los basados en VA.

4.1.4.2. Evaluación de tasa de retorno para alternativas múltiples de proyecto

Para poder evaluar la tasa de retorno para varias alternativas se requieren dos elementos: una serie incremental del flujo de efectivo y un MCM de las alternativas a estudiar:

Para evaluar dos alternativas se realiza el siguiente procedimiento:

- Ordenar las alternativas por tamaño de la inversión inicial empezando con la más baja. Desarrollar el flujo de efectivo y las series incrementales del flujo de efectivo utilizando el MCM de años, suponiendo la reinversión en alternativas.
- Dibujar un diagrama de flujo de efectivo incremental (como ayuda gráfica).
- Establecer la ecuación VP para los flujos de efectivo incrementales y determinar el retorno i^*_{B-A} utilizando ensayo y error manual o ingresando los valores del flujo incremental del paso 2 en un sistema de hoja de cálculo para determinar i^*_{B-A} .
- Si $i^*_{B-A} < \text{TMAR}$, seleccionar la alternativa A. Si $i^*_{B-A} > \text{TMAR}$, se justifica la inversión adicional; seleccione la alternativa B.

Por ejemplo, para el proceso automático está considerada la compra de un sensor inductivo y cuenta con dos opciones de diferentes marcas, presentando cada una de ellas las siguientes características:

Tabla VIII. **Comparación de características de los equipos**

	Marca "N"	Marca "M"
Costo Inicial, \$	500	310
Desembolsos anuales, \$	65	140
Valor de salvamento, \$	85	0
Vida, años	3	6

Fuente: elaboración propia.

Determinar cuál de los dos equipos debe seleccionarse si la TMAR es de 15 % anual.

Solución:

Tabla IX. **Determinación del flujo de efectivo**

Año	Flujo efectivo, marca "M" (A)	Flujo efectivo, marca "N" (B)	Flujo efectivo, Incremental (B-A)
0	-310	-500	-190
1	-140	-65	75
2	-140	-65	75
3	-140	-65	75
4	-140	-415	-275
5	-140	-65	75
6	-140	-65	75
		85	85
	-1150	-1155	-5

Fuente: elaboración propia.

La ecuación de tasa de retorno basada en el VP de los flujos de efectivo incrementales es:

$$0 = -190 + 75 \left(\frac{P}{A}, i, 6 \right) - 275 \left(\frac{P}{F}, i, 3 \right) + 85 \left(\frac{P}{F}, i, 6 \right)$$

Solucionando la ecuación anterior, se tiene que $i^*_{t-s} = 12,65 \%$; como la tasa de retorno es de 12,65 % y es menor que la TMAR de 15 %, debe comprarse el equipo de marca "M" (la de menor costo inicial).

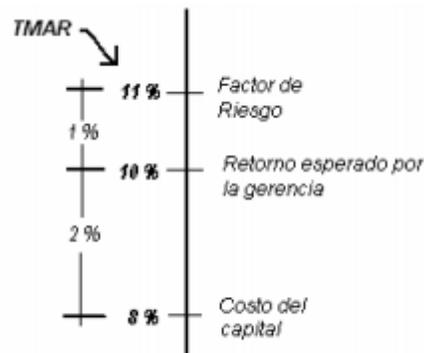
4.1.4.3. Determinación de una tasa mínima atractiva de retorno

En la determinación de una tasa mínima atractiva de retorno influyen esencialmente tres factores que se deben considerar:

- Costo del capital: en la mayoría de situaciones, un alto porcentaje de la inversión es financiada por bancos, los cuales fijan una tasa de interés por el préstamo; este interés debe ser la base para el establecimiento de la TMAR.
- El retorno esperado por la gerencia: existe una tasa de interés establecida como mínima en toda empresa para aprobar la inversión de un proyecto; esta tasa se establece según políticas e intereses de cada empresa.
- Factor de riesgo agregado: cualquier negocio o empresa tiene un nivel de riesgo según sea el tipo de producto o servicio que ofrece, este dependerá directamente del mercado. Si el mercado del producto es seguro, su factor de riesgo será menor; en bancos por ejemplo, el valor del dinero está asegurado, es por eso que la tasa de interés a recibir es baja; por el contrario si el mercado no es tan seguro, se debe utilizar un factor de riesgo bastante alto.

Tomando en cuenta estos tres factores importantes, se puede decidir la tasa mínima de retorno.

Figura 63. **Relación de los factores para la estimación de TMAR**



Fuente: BLANK, Leland; TARQUIN, Anthony J. *Ingeniería económica*. p. 98.

4.2. **Recurso económico y factor de tiempo: criterios de optimización**

Un proceso de optimización consiste en escoger aquella solución que mejor cumpla un determinado criterio de optimización, generalmente un criterio económico. En la mayoría de los casos, el objetivo de planificación del sistema es seleccionar el sistema automático de mínimo costo que satisfaga una demanda dada con un grado de servicio especificado.

Este objetivo, costo del sistema, excluye como objetivos otros factores económicos, como podrían ser beneficios producidos por el sistema. En la práctica, estos factores se consideran en forma implícita cuando se analizan diferentes soluciones alternativas, pero no son tratadas habitualmente como un objetivo de la planificación. El primero de ellos, beneficios producidos, porque generalmente son difíciles de cuantificar. El segundo, distribución de capital limitado, es un objetivo muy atractivo para un planificador, pero infrecuentemente en los estudios reales.

A estos objetivos podría añadirse una función multiobjetivo que incluyera todos o parte de los objetivos indicados. Este será el óptimo, si no fuera por la dificultad de manejo de funciones que pueden estar enfrentadas entre sí; el sistema de mínimo costo no tiene por qué ser la que produzca mayores beneficios.

Fijando como objetivo de la planificación el costo mínimo de la red, existen varias formas de expresar estos costos. Existen dos métodos básicos para tratar factores de costos:

- Uso de primeros costos (evaluación directa de inversiones): este método considera simplemente los costos incurridos en la adquisición de los equipos y su instalación, sin tener en cuenta ni su vida útil ni su costo de mantenimiento.
- Uso de cargas anuales, o valor presente de cargas anuales, que sí incluirán todos los elementos anteriores.

La elección del método adecuado dependerá del objetivo particular del estudio así como del tipo de modelo considerado.

4.2.1. Tipos de modelos

El factor tiempo es un elemento fundamental en el dimensionado y optimización del sistema.

Sin embargo, existen diferentes alternativas para definir el factor tiempo en el criterio de optimización, cuando se está modelando un problema. Según ellas, se pueden clasificar los modelos en: estáticos, dinámicos y a corto plazo.

4.2.1.1. Modelos estáticos

Estos modelos se caracterizan por no considerar explícitamente el parámetro tiempo. El objetivo de estos modelos es encontrar el sistema óptimo para una demanda dada, o lo que es lo mismo, para una fecha específica, ignorando la evolución de la red.

Para ello, todas las variables implicadas en el modelo deben tomar valores para la fecha especificada. El problema de estos modelos es cómo representar un problema que es dinámico mediante modelos estáticos.

Es evidente que estos son mucho más sencillos que los dinámicos y en determinadas ocasiones, la solución alcanzada mediante modelos estáticos puede ser suficientemente buena.

El procedimiento de resolución, será la subdivisión del período de estudio (por ejemplo año 0, 5, 10, 15 para un estudio a 15 años), y la búsqueda de soluciones estáticas para esos cortes en el tiempo.

Evidentemente, se debe considerar una cierta relación entre dichas soluciones estáticas: por ejemplo, la solución para el año 10 debe considerar como una restricción, la solución alcanzada en el año 5 en caso de un estudio de la evolución de equipo electrónico, o las soluciones alcanzadas para el año 15 en el estudio contrario, fijar primero el sistema final y decidir la evolución hacia ella.

En cualquier caso, la validez de estos procedimientos depende básicamente de dos factores: el crecimiento del sistema y los cambios previsibles de estructura. El primero influye de una manera directa.

De hecho, si la producción no creciera, la solución estática coincidiría con la dinámica cuando la red no cambiara de estructura.

Respecto del segundo factor, la solución óptima del sistema debería incluir el análisis de cambio de sistema automático, cuando la estructura vieja esté formada por equipos obsoletos o viejos que deban ser sustituidos o cuando los equipos nuevos tengan diferentes características de las existentes.

Estos modelos también serán adecuados para aquellos estudios a muy largo plazo en que se intenta definir una estructura objetivo.

En los casos de crecimiento continuado de demanda o estudios a medio plazo, el uso de estos modelos estáticos requerirá métodos iterativos de reconsideración de soluciones y evaluaciones creadas de ellos. Para estos modelos, los métodos de costos utilizados son:

- Primeros costos (PC), cuando se trate de optimizar inversiones iniciales.
- Cargas anuales (CA), cuando se desee incluir los efectos de las amortizaciones de los equipos y gastos periódicos como costos de mantenimiento y operación.

Generalmente, se prefiere este segundo método para los modelos estáticos, ya que permite introducir el factor vida útil del equipo y considerar los gastos incurridos por operación.

4.2.1.2. Modelos dinámicos

En oposición a modelos estáticos, los dinámicos se caracterizan por considerar explícitamente el factor tiempo. Su objetivo es encontrar la evolución óptima del sistema, a lo largo de un período de estudio a partir de la situación actual.

Los modelos dinámicos pueden plantearse de dos formas diferentes atendiendo al sistema final:

- Modelos de horizonte definido: son aquellos en los que el estado del sistema final del período de estudio ha sido definido *a priori* mediante un estudio estático. El objetivo de este proceso es determinar la evolución óptima del sistema desde su estado actual hasta el sistema objetivo definido para el final de período.
- Modelos de horizonte indefinido. se caracterizan porque el sistema al final del período de estudio no está definido *a priori* sino que es resultado del estudio dinámico.

Estos modelos representan mejor el problema del sistema real, sin embargo son más difíciles de resolver. Se debe buscar un equilibrio entre precisión y complejidad de solución. Un problema importante en estos estudios es el conocimiento de la longitud del periodo de estudio. Debe estar definido al comenzar el estudio. Por una parte, debe ser suficientemente largo para cubrir el período óptimo de llenado de cada equipo considerado, pero no tan largo que impida obtener previsiones fiables de demanda, así como previsiones de tecnología disponibles y sus costos. Típicamente, se suelen considerar periodos de estudio entre 10 y 20 años.

Es interesante señalar que para sistemas con fuertes crecimientos cercanos al momento actual, debe escogerse períodos de estudio más cortos, ya que los períodos óptimos del llenado también son más cortos.

Otro problema en este tipo de modelos, independientemente de la longitud del periodo de estudio, es la dificultad de definir las últimas instalaciones.

Esto se hace habitualmente basándose en presunciones de comportamiento del sistema posteriormente al final del período señalado de estudio. Dependiendo de las características del sistema en estudio dos hipótesis básicas suelen ser consideradas:

- Crecimiento nulo tras el final de periodo de estudio
- Uniformidad de crecimiento con la última parte del periodo

El impacto de la decisión tomada será tanto menor cuanto más largo sea el período considerado. El método de costeo adecuado para estos modelos es el valor actual de cargas anuales (VACA) o de primeros costos (VAPC). Generalmente, el primero de ellos suele ser elegido debido a que permite considerar todos los costos implicados, sean inversiones iniciales o costos recurrentes; la vida útil de los equipos y el efecto del tiempo en las inversiones, y todo ello sobre una base común.

El problema de estos métodos es la selección del período de acumulación de cargas. Una hipótesis frecuentemente utilizada es considerar igual al periodo de estudio.

4.2.1.3. Modelos a corto plazo

El objetivo de estos modelos es encontrar la solución óptima a un problema de proceso, teniendo en cuenta el máximo uso del proceso existente.

El período de estudio que cubren estos modelos es el orden de 2 a 4 años pero suelen incluir una ponderación aproximada de las soluciones a largo plazo, obtenida quizás de la aplicación de los otros modelos, con el fin de incrementar la calidad de los resultados obtenidos.

Los modelos a corto plazo permiten considerar en forma detallada diversos aspectos de los problemas que deben ser limitados en los otros modelos debido a la complejidad que introducen en los algoritmos de solución. El criterio de costo adecuado para este tipo de modelos es valor actual de cargas anuales (VACA) y menos frecuentemente el valor actual de primeros costos (VAPC).

4.3. Modelo económico del sistema automático para almacenaje y despacho de granos

A continuación se presenta un modelo para el despacho de granos.

4.3.1. Almacenaje manual

En la actualidad, el almacenaje de grano posee un proceso manual, del cual almacena 1 000 toneladas en las bodegas Bin 3 y Bin 4; cada vez que un barco atraque en el muelle, el proceso tiene una duración de 5 días, desde que el barco atraque en puerto hasta que se retira, dejando almacenado todo el grano. Este proceso se repite aproximadamente 3 veces por mes, dando un total de 3 000 toneladas de grano almacenado mensual.

El proceso posee un gasto neto, de sueldos a operarios de barco, hasta operarios del CCM (cuarto de control de motores), así como gastos de peaje en muelle y seguridad portuaria, dando un gasto por almacenaje mensual, que incluye un mantenimiento de maquinaria, cada 20 días, lo cual agrega un gasto de mantenimiento al proceso mensual, así como un gasto administrativo para control del proceso de almacenaje.

Para el buen funcionamiento del proceso de almacenaje de grano, el proceso necesita de 9 personas para operar en cada ocasión que es necesario almacenar el grano. El proceso inicia con el operario del barco, quien es el encargado de transportar el barco desde la costa de desembarque hasta el muelle; este operario posee un sueldo de \$ 208,33 por movimiento de barco.

Al momento de tener el barco en muelle son necesarios dos operarios que operen el CCM a través de accionamientos manuales para trasladar el grano desde el barco hasta la bodega de almacenamiento; cada operario posee un sueldo de \$ 166,67 por manejo del CCM y por descarga de producto. Las excavadoras se encargan de transportar el grano dentro de la bodega y acomodarlo para su almacenaje; para este proceso se utilizan 2 operarios de maquinaria, cada uno posee un sueldo de \$ 166,67 por manejo de excavadora en cada almacenaje de producto.

Adicionalmente para poder acomodar el producto de las bodegas se utiliza 1 operario de posición, quien se encarga de ordenar a las excavadoras y mantener un control de almacenaje; este operario posee un sueldo de \$ 138,89 cada vez que se debe acomodar producto en bodega. El siguiente operario necesario para el funcionamiento del almacenaje de granos, es el personal de mantenimiento, este se encarga de mantener en óptimas condiciones el equipo

eléctrico y mecánico. El operario de mantenimiento tiene un sueldo mensual de \$ 500,00 mensuales.

Adicionalmente a los operarios, es necesario contar un personal de seguridad y un supervisor; el personal de seguridad será el encargado de vigilar el perímetro de la bodega, dejando ingresar únicamente a personal autorizado; este agente posee un sueldo mensual de \$ 458,33, el supervisor es el encargado de garantizar que cada operario realizó su correspondiente labor y garantizar el cumplimiento de las labores en los tiempos designados.

Este supervisor posee un sueldo de \$ 750,00 mensuales, el conocer el costo de cada operario, se elabora un cuadro de costos anuales por almacenaje en funcionamiento.

Tabla X. **Costos del proceso de almacenaje de grano de manera manual**

Almacenaje de grano	
Sueldos de operarios	
Puesto	Costo
Operario de barco I	-\$7 500,00
Operario de maquinaria I	-\$6 000,00
Operario de maquinaria II	-\$6 000,00
Operario de CCM I	-\$6 000,00
Operario de CCM II	-\$6 000,00
Operario de posición	-\$5 000,00
Operario de mantenimiento	-\$6 000,00
Seguridad	-\$5 500,00
Supervisor I	-\$9 000,00

Continuación de la tabla X.

Muelle	
Actividad	Costo
Tiempo en Muelle	-\$180 000,00
Seguridad Portuaria	-\$8 000,00
Administración	-\$18 000,00
Mantenimiento	
Máquina	Costo
Máquina I	-\$5 000,00
Máquina II	-\$5 000,00
Bandas Transportadoras	-\$6 000,00
Equipo Eléctrico	-\$4 000,00
Equipo Mecánico	-\$5 000,00
SubTotal	-\$288 000,00

Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Despacho manual

Para el buen funcionamiento del proceso de despacho de grano, el proceso necesita de 9 personas para poder operar en cada ocasión que se necesita almacenar el grano. El proceso inicia con el operario de tolva, quien es el encargado del despacho directo desde la tolva a los camiones de distribución; este operario posee un sueldo de \$ 208,33 por despacho de toda la bodega. Al momento de tener despacho de granos son necesarios dos operarios que operen los montacargas y trasladar el grano desde la bodega hasta las bandas transportadoras de despacho; cada operario posee un sueldo de \$ 208,33 por manejo del montacargas y por descarga de producto.

Las bandas transportadoras se encargan de transportar el grano dentro de la bodega y acomodarlo dentro del elevador que llenará la tolva de grano, y así despachar a los camiones de distribución; para este proceso utiliza 1

operario de CCM, que posee un sueldo de \$ 166,67 por manejo de bandas transportadoras, y elevador de carga. Los siguientes operarios necesarios para el funcionamiento del despacho de granos, son los encargados del transporte de los camiones desde la tolva de despacho hasta las básculas de peso, quienes determinan la cantidad de producto que se transporta, luego el camiones de distribución son entregados a los pilotos.

Los operarios de transporte tienen un sueldo de \$ 166,67 por bodega despachada. El siguiente operario necesario para el funcionamiento del despacho de granos, es el personal de mantenimiento; este se encarga de mantener en óptimas condiciones el equipo eléctrico y mecánico. El operario de mantenimiento tiene un sueldo mensual de \$ 500,00 mensuales.

Adicionalmente a los operarios es necesario contar personal de seguridad y supervisor; el personal de seguridad será el encargado de vigilar el despacho de grano de la bodega y que solo personal autorizado movilice los camiones de distribución durante el despacho; este agente posee un sueldo mensual de \$ 458,33; el supervisor es el encargado de garantizar que cada operario realice su correspondiente labor y garantizar el cumplimiento de las labores en los tiempos designados. Este supervisor posee un sueldo de \$ 750,00 mensuales. Al tener el costo de cada operario, se elabora un cuadro de costos anuales, por mantener el proceso de despacho en funcionamiento.

Tabla XI. **Costos del proceso de despacho de grano de manera manual**

Despacho de grano	
Sueldos de operarios	
Puesto	Costo
Operario de tolva	-\$7 500,00
Operario de montacargas I	-\$7 500,00
Operario de montacargas II	-\$7 500,00
Operario de transporte I	-\$6 000,00
Operario de transporte II	-\$6 000,00
Operario de CCM I	-\$6 000,00
Operario de mantenimiento	-\$6 000,00
Seguridad	-\$5 500,00
Supervisor I	-\$9 000,00
Mantenimiento	
Máquina	Costo
Elevador de carga	-\$6 000,00
Equipo eléctrico	-\$4 000,00
Equipo mecánico	-\$5 000,00
Tolva	-\$4 000,00
Montacargas I	-\$5 000,00
Montacargas II	-\$5 000,00
Transporte I	-\$3 000,00
Transporte II	-\$3 000,00
Sub-total	-\$96 000,00

Fuente: elaboración propia.

4.3.3. Almacenaje automático

El proceso propuesto de un sistema automático se ha calculado para almacenar 1000 toneladas en las bodegas Bin 3 y Bin 4; cada vez que un barco atraanca en el muelle, el proceso tiene una duración de 3 días, desde que el barco atraanca en puerto hasta que se retira, dejando almacenado todo el grano.

Este proceso se repite aproximadamente 3 veces por mes, por lo tanto se alacena un total de 3,000 toneladas de grano almacenado mensual.

Al igual que en el modo manual, el modo automático posee un gasto neto, de sueldos a operarios de barco, hasta operarios del CCM (cuarto de control de motores), así como gastos de peaje en muelle y seguridad portuaria, dando un gasto por almacenaje mensual, que incluye un mantenimiento de maquinaria, cada 20 días, lo cual agrega un gasto de mantenimiento al proceso mensual, así como gastos administrativos para control del proceso de almacenaje.

Para el buen funcionamiento del proceso de almacenaje de grano, el proceso necesita de 6 personas para operar en cada ocasión que es necesario almacenar el grano. El proceso inicia con el operario del barco, quien es el encargado de transportar el barco desde la costa de desembarque hasta el muelle, este operario posee un sueldo de \$ 208,33 por movimiento de barco. Al momento de tener barco en muelle es necesario un operario que opere el CCM a través de accionamientos manuales para trasladar el grano desde el barco hasta la bodega de almacenamiento; el operario posee un sueldo de \$ 166,67 por manejo del CCM y por descarga de producto.

Las excavadoras se encargan de transportar el grano dentro de la bodega y acomodarlo para su almacenaje; para este proceso se utiliza un operario de maquinaria; este posee un sueldo de \$ 166,67 por manejo de excavadora en cada almacenaje de producto. Adicionalmente, gracias al proceso con sensores se ha eliminado el operario de posición, quien se encargaba de ordenar a las excavadoras y mantener un control de almacenaje; este operario poseía un sueldo de \$ 138,89 cada vez que se tenía que acomodar producto en bodega, el cual ya no es un gasto.

El siguiente operario necesario para el funcionamiento del almacenaje de granos es el personal de mantenimiento, encargado de mantener en óptimas condiciones el equipo eléctrico y mecánico. El operario de mantenimiento tiene un sueldo mensual de \$ 500,00 mensuales.

Adicionalmente a los operarios es necesario contar con personal de seguridad y supervisión; el personal de seguridad será el encargado de vigilar el perímetro de la bodega, dejando ingresar únicamente a personal autorizado; este agente posee un sueldo mensual de \$ 458,33; el supervisor es el encargado de garantizar que cada operario realice su correspondiente trabajo y cumpla con sus labores en los tiempos designados. Este supervisor posee un sueldo de \$ 750,00 mensuales. Al conocer el costo de cada operario, se muestra un cuadro de gastos anuales para el mantenimiento de almacenaje en funcionamiento.

Tabla XII. **Costos del proceso de almacenaje de grano de manera automática**

Almacenaje de grano	
Sueldos de operarios	
Puesto	Costo
Operario de barco	-\$7 500,00
Operario de máquina	-\$6 000,00
Operario de CCM	-\$6 000,00
Operario de mantenimiento	-\$6,000,00
Seguridad	-\$5 500,00
Supervisor	-\$9 000,00
Muelle	
Actividad	Costo
	-
Tiempo de muelle	\$108,000,00
Seguridad portuaria	-\$8 000,00
Administración	-\$18 000,00

Continuación de tabla XII

Mantenimiento	
Máquina I	Costo
Bandas transportadoras	-\$6 000,00
Carro transportador	-\$5 000,00
Manga telescópica	-\$5 000,00
Equipo eléctrico	-\$4 000,00
Equipo mecánico	-\$5 000,00
Sub-Total	-\$199 000,00

Fuente: elaboración propia.

4.3.4. Despacho automático

Para el buen funcionamiento del proceso de despacho de grano, se necesita de 7 personas para operar en cada ocasión que se necesita almacenar el grano. El proceso inicia con el operario de tolva, quien es el encargado del despacho directo desde la tolva a los camiones de distribución; este operario posee un sueldo de \$ 208,33 por despacho de toda la bodega.

Las bandas transportadoras se encargan de transportar el grano dentro de la bodega y acomodarlo dentro del elevador que llenará la tolva de grano, y así poder despachar a los camiones de distribución; para este proceso utiliza un operario de CCM, que posee un sueldo de \$ 166,67 por supervisión de bandas transportadoras y elevador de carga, ya que el proceso será automático.

Los siguientes operarios requeridos para el funcionamiento del despacho de granos, son los encargados del transporte de los camiones desde la tolva de despacho hasta las básculas de peso, las cuales se encargan de

determinar la cantidad de producto que se transporta, luego los camiones de distribución son entregados a los pilotos.

Los operarios de transporte tienen un sueldo de \$ 166,67 por bodega despachada. El siguiente operario necesario para el funcionamiento del despacho de granos, es el personal de mantenimiento, el cual se encarga de mantener en óptimas condiciones el equipo eléctrico y mecánico. El operario de mantenimiento tiene un sueldo mensual de \$ 500,00 mensuales.

Adicionalmente a los operarios es necesario contar con personal de seguridad supervisión, el personal de seguridad será el encargado de vigilar el despacho de grano de la bodega y que solo personal autorizado movilice los camiones de distribución durante el despacho; este agente posee un sueldo mensual de \$ 458,33, el supervisor es el encargado de garantizar que cada operario haya realizado su correspondiente tarea y garantizar el cumplimiento de las labores en los tiempos designados. Este supervisor posee un sueldo de \$ 750,00 mensuales. Al tener el costo de cada operario, se elabora un cuadro de costos anuales por mantener el proceso de despacho en funcionamiento.

Tabla XIII. **Costos del proceso de despacho de grano de manera automática**

Despacho de grano	
Sueldos de operarios	
Puesto	Costo
Operario de tolva	-\$7,500,00
Operario de CCM	-\$6,000,00
Operario de transporte I	-\$6,000,00
Operario de transporte II	-\$6,000,00
Operario de mantenimiento	-\$6,000,00
Seguridad	-\$5,500,00
Supervisor	-\$9,000,00

Continuación de la tabla XIII.

Mantenimiento	
Máquina	Costo
Elevador de carga	
Bandas transportadoras	-\$3 500,00
Tolva	-\$4 000,00
Manga telescópica	-\$5 000,00
Equipo eléctrico	-\$4 000,00
Equipo mecánico	-\$5 000,00
Sub-Total	-\$67 500,00

Fuente: elaboración propia.

4.3.5. Rentabilidad del proyecto

Si se sabe que el proyecto busca automatizar el proceso manual, al realizar los cálculos respectivos para costear el cambio en el proceso, incluyendo los sensores, motores, equipos autónomos, mano de obra, etc., la inversión que se debe realizar para dicho cambio es de \$ 875 000,00. Este precio garantiza que el proceso actual quedará automatizado, aumentando el tiempo de despacho de grano; por lo que se podrá almacenar mayor cantidad de grano mensualmente, dando como resultado en las ventas una ganancia de \$ 3 250 000,00 anuales.

Obtenido el costo del proceso de almacenaje y despacho de granos de manera manual y automática, se puede encontrar la diferencia económica que este cambio representa. Como se puede observar, el costo total para mantener en funcionamiento el proceso en modo manual es \$ 384 000,00. En cuanto al proceso automático, el costo que se tendría por mantener en funcionamiento el proceso de modo automático sería de \$ 266 500,00, dando una diferencia de \$ 117 500,00.

Esta diferencia demuestra que el proceso automático posee un tiempo de retorno de inversión de 7,446 años. Por lo que la terminal de granos recuperará su inversión en 7 años, 5 meses, 11 días; se puede redondear a 7 años y 6 meses. A partir de este tiempo las ganancias para la empresa aumentarán.

El índice de retorno sobre la inversión es un indicador financiero que mide la rentabilidad de una inversión; es decir, la relación que existe entre la utilidad neta o la ganancia obtenida, y la inversión.

La fórmula del índice de retorno sobre la inversión es:

$$TR = \left(\frac{\text{Ganancia neta} - \text{Inversión original}}{\text{Inversión original}} \right) * 100 \%$$

$$TR = \left(\frac{3,250,000 - 875,000}{875,000} \right) * 100 \%$$

$$TR = (2.7143) * 100 \%$$

$$TR = 271,43 \%$$

Como se puede observar, el resultado es positivo; si el resultado no hubiera sido positivo, significaría que la inversión no es viable, por lo cual no se recomendaría y se debe buscar una mejor opción. Si TR hubiera sido cero significa que la ganancia es igual a los gastos. Pero el resultado es positivo; lo que significa que la inversión propuesta presenta ganancias en lo invertido, por lo que se concluye que la inversión para automatizar el proceso de almacenaje y despacho de granos es viable.

Tabla XIV. Costos totales

PROCESO MANUAL				PROCESO AUTOMÁTICO			
Almacenaje de Grano		Despacho de Grano		Almacenaje de Grano		Despacho de Grano	
Sueldos de Operarios		Sueldos de Operarios		Sueldos de Operarios		Sueldos de Operarios	
Puesto	Costo	Puesto	Costo	Puesto	Costo	Puesto	Costo
Operario de Barco I	-\$7,500.00	Operario de Tolva	-\$7,500.00	Operario de Barco	-\$7,500.00	Operario de Tolva	-\$7,500.00
Operario de Maquinaria I	-\$6,000.00	Operario de Montacarga I	-\$7,500.00	Operario de Maquina	-\$6,000.00	Operario de CCM	-\$6,000.00
Operario de Maquinaria II	-\$6,000.00	Operario de Montacarga II	-\$7,500.00	Operario de CCM	-\$6,000.00	Operario de Transporte I	-\$6,000.00
Operario de CCM I	-\$6,000.00	Operario de Transporte I	-\$6,000.00	Operario de Mantenimiento	-\$6,000.00	Operario de Transporte II	-\$6,000.00
Operario de CCM II	-\$6,000.00	Operario de Transporte II	-\$6,000.00	Seguridad	-\$5,500.00	Operario de Mantenimiento	-\$6,000.00
Operario de Posicion	-\$5,000.00	Operario de CCM I	-\$6,000.00	Supervisor	-\$9,000.00	Seguridad	-\$5,500.00
Operario de Mantenimiento	-\$6,000.00	Operario de Mantenimiento	-\$6,000.00	Muelle		Supervisor	-\$9,000.00
Seguridad	-\$5,500.00	Seguridad	-\$5,500.00	Actividad	Costo	Mantenimiento	Costo
Supervisor I	-\$9,000.00	Supervisor I	-\$9,000.00	Tiempo de Muelle	-\$108,000.00	Maquina	Costo
Muelle		Mantenimiento		Seguridad Portuaria	-\$8,000.00	Elevador de Carga	
Actividad	Costo	Maquina	Costo	Administracion	-\$18,000.00	Bandas Transportadoras	-\$3,500.00
Tiempo en Muelle	-\$180,000.00	Elevador de Carga	-\$6,000.00	Mantenimiento		Tolva	-\$4,000.00
Seguridad Portuaria	-\$8,000.00	Equipo Electrico	-\$4,000.00	Maquina I	Costo	Manga Telescopica	-\$5,000.00
Administracion	-\$18,000.00	Equipo Mecanico	-\$5,000.00	Bandas Transportadoras	-\$6,000.00	Equipo Electrico	-\$4,000.00
Mantenimiento				Carro Transportador	-\$5,000.00	Equipo Mecanico	-\$5,000.00
Maquina	Costo	Montacarga I	-\$5,000.00	Manga Telescopica	-\$5,000.00		
Maquina I	-\$5,000.00	Montacarga II	-\$5,000.00	Equipo Electrico	-\$4,000.00		
Maquina II	-\$5,000.00	Transporte I	-\$3,000.00	Equipo Mecanico	-\$5,000.00		
Bandas Transportadoras	-\$6,000.00	Transporte II	-\$3,000.00	Sub-Total	-\$199,000.00	Sub-Total	-\$67,500.00
Equipo Electrico	-\$4,000.00			Total		Total	-\$266,500.00
Equipo Mecanico	-\$5,000.00						
Sub-Total	-\$288,000.00	Sub-total	-\$96,000.00				
Total		Total	-\$384,000.00				

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. La necesidad básica de implementar una mejoría en productividad a los procesos industriales, ha llevado a un éxito los sistemas automatizados.
2. Al momento de implementar un proceso automatizado es indispensable buscar que la tecnología que se va a utilizar sea de alta disponibilidad, escalabilidad, seguridad y adaptabilidad.
3. El correcto dimensionamiento del equipo eléctrico y sus protecciones es fundamental para la operación del sistema automático
4. El sistema automático propuesto para el almacenaje y despacho de granos, muestra que es posible obtener un mejor funcionamiento de cada equipo, con una menor cantidad de interacción humana.
5. Uno de los elementos fundamentales de la ingeniería económica son los flujos efectivos, pues constituyen la base para evaluar proyectos, equipo y alternativas de inversión.

RECOMENDACIONES

1. Antes de iniciar el proceso automático y para garantizar que el equipo no presente problemas es importante comprobar el funcionamiento de todo el equipo de manera manual.
2. Es importante estar atento a las alarmas que posee el sistema automático, para corregir el problema lo más pronto posible y así no afectar la producción.
3. Es importante capacitar al personal para minimizar los riesgos que el equipo automático pueda presentar, para obtener un correcto funcionamiento del equipo.
4. Para mantener los equipos mecánico y eléctrico en condiciones de funcionamiento, es importante establecer un calendario de actividades de mantenimiento.
5. Debido a las condiciones de trabajo con el grano es importante establecer un mantenimiento eléctrico al menos cada 2 meses.

BIBLIOGRAFÍA

1. BLANK, Leland T; TARQUIN, Anthony J. *Ingeniería económica*. 4a. ed. Turquía: McGraw-Hill, 1999. 158 p.
2. BRADLEY, Allen. *SLC 500 Control System*. [en línea]. <<http://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers/SLC-500>>. [Consulta: enero de 2014].
3. _____. *SLC 500 Digital I/O Modules*. [en línea]. <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1746-in027_-en-p.pdf>. [Consulta: febrero de 2014].
4. _____. *Controlador Logix 5000*. [en línea]. <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1756-rm003_-es-p.pdf>. [Consulta: febrero de 2014].
5. HELLRIEGEL, Don; JACKSON, Susan E; SLOCUM, John W. *Administración: un enfoque basado en competencias*. 9a. ed. Alemania: Thomson, 2002. 223 p.
6. KATSUHIKO, Ogata. *Ingeniería de control moderna*. 3a. ed. Prentiss Hall Hispanoamericana S. A. 1998. 112 p.
7. KUO, Benjamin. *Sistemas de control automatic*. 7a. ed. Prentice Hall Hispanoamericana S. A. 1996.147 p.

8. NFPA 70: *National Electrical Code, NEC*. Estados Unidos: MacGraw-Hill's Handbook, 2008. 1220 p.
9. *Principles for estimating universal service costs*. [en línea]. <<http://www.purc.org/primary/jamison/principles.pdf>>. [Consulta: mayo de 2014].
10. *Rockwell Automation*. [en línea]. <<http://www.rockwellautomation.com/rockwellautomation/products-technologies/control-systems/overview.page?>>. [Consulta: febrero de 2014].
11. Siemens. [en línea]. <<http://www.siemens.com/entry/cc/en/#product-search>>. [Consulta: noviembre de 2013].
12. *Sistemas de control*. [en línea]. <http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/ramirez_r_o/capitulo2.pdf>. [Consulta: enero de 2014].
13. XMP *Series, Integral Industrial Controller*. [en línea]: <http://www.prst.ru/docs/xinje/paneli-vstroen-plc-xp_xmp-18.pdf>. [Consulta: enero de 2014].