



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

**PROPUESTA DE CONTROL Y ESTANDARIZADO DE SILOS PARA  
EMPRESAS QUE USAN COMO MATERIA PRIMA LOS AGREGADOS DEL  
CONCRETO**

**Eduardo Joaquin López Alvarado**

Asesorado por el Ing. José Luis Ola García

Guatemala, octubre de 2019



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE CONTROL Y ESTANDARIZADO DE SILOS PARA  
EMPRESAS QUE USAN COMO MATERIA PRIMA LOS AGREGADOS DEL  
CONCRETO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**EDUARDO JOAQUIN LÓPEZ ALVARADO**

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ LUIS OLA GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2019



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	José Aníbal Silva de los Angeles
EXAMINADOR	Carlos Humberto Pérez Rodríguez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López



**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**PROPUESTA DE CONTROL Y ESTANDARIZADO DE SILOS PARA  
EMPRESAS QUE USAN COMO MATERIA PRIMA LOS AGREGADOS DEL  
CONCRETO**

Tema asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 24 de agosto de 2018.



**Eduardo Joaquin López Alvarado**



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 03 de septiembre de 2019.  
Ref.EPS.DOC.532.07.19.

Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández.

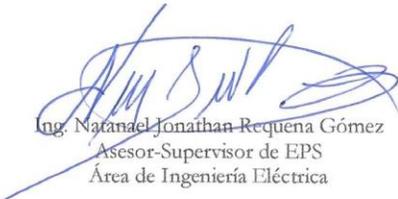
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Eduardo Joaquín López Alvarado** de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Registro Académico No. **201403812** y **CUI 2693 68906 0101**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"PROPUESTA DE CONTROL Y ESTANDARIZACIÓN DE SILOS PARA EMPRESAS QUE USAN COMO MATERIA PRIMA LOS AGREGADOS DE CONCRETO"**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Eléctrica

c.c. Archivo  
NJRG/ra





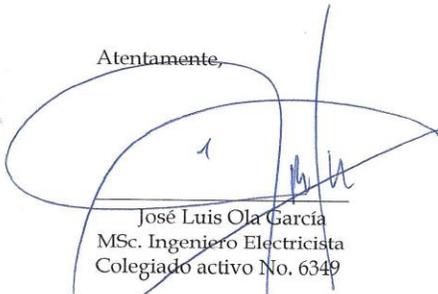
Guatemala, 20 de junio de 2019

Reciba un cordial saludo deseando que sus actividades se realicen exitosamente.

Por este medio informo que, en mi calidad de Asesor, he revisado y aprobado el informe de EPS presentado por el estudiante Eduardo Joaquín Lopez Alvarado titulado "PROPUESTA DE CONTROL Y ESTANDARIZADO DE SILOS PARA EMPRESAS QUE USAN COMO MATERIA PRIMA LOS AGREGADOS DEL CONCRETO.", quien se identifica con carné 201403812, estudiante de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Por lo que cumpliendo con los requisitos solicitados entrego el finiquito correspondiente.

Sin otro particular, me suscribo.

Atentamente,

  
José Luis Ola García  
MSc. Ingeniero Electricista  
Colegiado activo No. 6349

**M.A. José Luis Ola García**  
Ingeniero Electricista & MBA  
Experto en Energías Renovables  
Colegiado 6,349

  
Eduardo Joaquín Lopez Alvarado  
Estudiante de Ingeniería Mecánica Eléctrica



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala 03 de septiembre de 2019.  
Ref.EPS.D.270.07.19.

Ing. Armando Alonso Rivera Castillo  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Rivera Castillo:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado "**PROPUESTA DE CONTROL Y ESTANDARIZACIÓN DE SILOS PARA EMPRESAS QUE USAN COMO MATERIA PRIMA LOS AGREGADOS DE CONCRETO**" que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Eduardo Joaquín López Alvarado**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. José Luis Ola García y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS



/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF. EIME 39. 2019.  
15 de julio 2019.

Señor Director  
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
**PROPUESTA DE CONTROL Y ESTANDARIZACIÓN DE SILOS  
PARA EMPRESAS QUE USAN COMO MATERIA PRIMA LOS  
AGREGADOS DE CONCRETO,** del estudiante; **Eduardo Joaquín  
López Alvarado** que cumple con los requisitos establecidos para tal  
fin.

**Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.**

Atentamente,  
**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
Ing. Otto Fernando Andrino González  
Coordinador de Electrotécnica





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF. EIME 42. 2019.

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 de el estudiante: **EDUARDO JOAQUÍN LÓPEZ ALVARADO** titulado: **PROPUESTA DE CONTROL Y ESTANDARIZACIÓN DE SILOS PARA EMPRESAS QUE USAN COMO MATERIA PRIMA LOS AGREGADOS DE CONCRETO,** procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo



GUATEMALA, 9 DE SEPTIEMBRE 2019.



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 428.2019

La Decana 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 DE CONTROL Y ESTANDARIZADO DE SILOS PARA EMPRESAS QUE USAN COMO MATERIA PRIMA LOS AGREGADOS DEL CONCRETO**, presentado por el estudiante universitario: **Eduardo Joaquín López Alvarado**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana

Guatemala, octubre de 2019



/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** La religión no es lo que uno afirma creer, sino la manera en cómo uno vive.
- Mis padres** Sigfrido López y Luz Patricia Alvarado, por su apoyo, consejos, amor y ejemplo.
- Mis hermanos** Vladimir Antonio y Rocío Tatiana López Alvarado, por ser amigos y confidentes.
- Mis tíos** Emilio Antonio Aguilar Cárcamo y Mario Folgar, nos recibieron en sus brazos y en su casa; sentimos profundamente su ausencia. Carlos Quintanilla, Byron Sagastume, Ennio Vladimir, Yuri Estuardo, Dagoberto, Miguel y Concepción Aguilar Cárcamo, Joaquín Medina, Cedric Rivera, Alfredo Folgar, Edwin Vanegas, Freddy Ruiz, Julio Ruano y Héctor Hernández.
- Mis tías** Iris, Lily y Lucky Alvarado Palencia. Liset, Virginia y Marta Aguilar Cárcamo. Ruth Juárez, Sandra Donado, Julia Barraza, Mélida Monterroso, Vera Molina, Maritza Valdez Matilde Cárcamo, Noelia Palma, Hilda Vanegas, Diana Urriola (q.e.p.d.), Mayra Roldan y Lizet Montenegro.

**A los médicos**

Francisco Emilio Estrada Ligorria y Sergio Fernando Dávila López, porque ellos nos recibieron al nacer. Antonio Wong, Waldemar García, Luis Edmundo Morales, Edgar Carrera y Enrique Grijalva, por sus consejos médicos y su cariño.

**Mis abuelitos**

Encarnación Aguilar Marroquín (q.e.p.d.), Gregorio López Corado (q.e.p.d.), Manuel De Jesús López Aguilar (q.e.p.d.), Joaquín Alvarado.

**Mis abuelitas**

Rosa Cárcamo Marín de Aguilar (q.e.p.d.), María. Esperanza Aguilar Cárcamo, Luz Palencia Arévalo de Alvarado, Aida Yantuche (q.e.p.d.), Paquita Moreno, Flora Arreola (q.e.p.d.), Beatriz Urriola y Abuelita Conchita.

**Mis primos**

Diego Ricardo, Byron Amílcar, Dember Francisco, Diego Alejandro, Kevin Alexander, José Ricardo, Carlos Enrique, Julio Alejandro y Héctor Fernando.

**Mis primas**

Karen y Alba Lucia. Jackeline y Diana, Nadia Belen, Cindy Paola, Katherine Alexandra, Hemly Zuley, Naomi Lonit y Beberly Ximena, Gabriela, Rocío de María y Mauda Giselle.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi casa de estudios, agradezco su formación profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser mi casa de estudios, agradezco su formación profesional.
<b>Mis amigos</b>	Eduardo Orozco, Erick Alvarado, Javier Pellecer, Anderson Pelen, Josué Recinos, Javier Ovalle, Carlos García, Ángel Martínez, German Camey, Alberto Márquez, Pablo Mazariegos, Renato de la Roca, Rodrigo Méndez, Víctor Gonzales, Ozward Loaiza, Abdul Mazariegos, José Larrave, Braian Juárez, Cesi Meléndrez, Marlon López, por su cariño y apoyo incondicional.
<b>Estimada maestra</b>	Mary de Recinos, por sus consejos, regaños y ejemplo.
<b>Mi amor</b>	Kimberly Arlene Mérida Catalán, por ser una ayuda indispensable en mi vida y su amor incondicional.
<b>Ing. José Luis Ola García</b>	Por su valiosa ayuda al asesorarme en mi trabajo de graduación.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. FASE DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. Generalidades de la empresa INTEK.....	1
1.1.1. Información general e historia.....	1
1.1.2. Misión .....	1
1.1.3. Visión.....	1
1.1.4. Departamento de servicios .....	2
1.1.5. Jerarquía organizacional .....	2
1.2. Instrumentación eléctrica.....	2
1.2.1. Características de los instrumentos.....	4
1.2.1.1. Campo de medida ( <i>range</i> ).....	4
1.2.1.2. Alcance ( <i>span</i> ).....	4
1.2.1.3. Exactitud ( <i>accuracy</i> ) .....	5
1.2.1.4. Precisión.....	5
1.2.1.5. Calibración.....	5
1.2.1.6. Zona muerta ( <i>dead band</i> ) .....	6
1.2.1.7. Sensibilidad ( <i>sensitivity</i> ) .....	6
1.2.1.8. Repetibilidad ( <i>repeatability</i> ) .....	6
1.2.1.9. Histéresis ( <i>hysteresis</i> ) .....	6

1.2.1.10.	Trazabilidad.....	7
1.2.1.11.	Ruido eléctrico.....	7
1.2.1.12.	Temperatura de servicio.....	7
1.2.1.13.	Vida útil de servicio .....	8
1.2.1.14.	Transmisores.....	8
1.2.2.	Variables físicas .....	8
1.2.2.1.	Medición de peso .....	8
1.2.2.1.1.	Principios de medición.....	9
1.2.2.2.	Medición de presión .....	10
1.2.2.2.1.	Principios de medición.....	11
1.2.2.3.	Medición de nivel.....	12
1.2.2.3.1.	Principios de medición.....	12
1.2.3.	Lazos de control .....	13
1.2.3.1.	Referencia ( <i>setpoint</i> ) .....	14
1.2.3.2.	Retroalimentación ( <i>feedback</i> ).....	14
1.2.3.3.	Elemento final de control.....	14
1.2.3.4.	Control todo, nada.....	14
1.2.3.5.	Control diferencial .....	15
1.2.3.6.	Control proporcional .....	15
1.2.3.7.	Control derivativo .....	16
1.2.3.8.	Control integrativo .....	16
1.2.4.	Tipos de puentes de medición.....	16
1.2.4.1.	Puente <i>Wheatstone</i> .....	16
1.2.5.	Señales típicas de transmisión de datos .....	18
1.2.6.	Errores en la medición .....	19
1.2.6.1.	Errores sistemáticos.....	19

	1.2.6.2.	Errores aleatorios .....	20
	1.2.7.	Métodos de medición.....	20
	1.2.7.1.	Medición directa.....	20
	1.2.7.2.	Medición indirecta.....	20
1.3.		Automatización .....	21
	1.3.1.	Pirámide de automatización.....	21
	1.3.1.1.	Nivel de campo .....	21
	1.3.1.2.	Nivel de control.....	22
	1.3.1.3.	Nivel de supervisión.....	22
	1.3.1.4.	Nivel de gestión administrativa y logística .....	22
	1.3.2.	Principio de funcionamiento PLC.....	23
	1.3.2.1.	Unidad de memoria .....	24
	1.3.2.2.	Unidad de control.....	24
	1.3.2.3.	Elementos de entrada y salida.....	25
		1.3.2.3.1. Entradas digitales .....	25
		1.3.2.3.2. Entradas análogas.....	26
		1.3.2.3.3. Salidas digitales.....	26
		1.3.2.3.4. Salidas análogas .....	26
	1.3.3.	Lenguajes de programación .....	26
	1.3.3.1.	Diagrama tipo escalera.....	27
	1.3.3.2.	Texto estructurado.....	29
	1.3.4.	Protocolos de comunicación .....	29
	1.3.4.1.	Capas del modelo OSI.....	30
	1.3.4.2.	Ethernet industrial.....	32
		1.3.4.2.1. Trama de Ethernet.....	33
	1.3.5.	Visualización en HMI ( <i>Human Machine Interface</i> )..	34
1.4.		Cortocircuito .....	35
	1.4.1.	Tipos de falla por cortocircuito .....	37

1.4.1.1.	Simétricas (balanceadas) .....	37
1.4.1.2.	Asimétricas (desbalanceadas) .....	37
1.4.2.	Métodos de solución de corto circuito (componentes simétricas) .....	38
1.4.3.	Componentes del cortocircuito .....	41
1.4.4.	Aporte a la falla .....	42
1.4.4.1.	Transformador .....	42
1.4.4.2.	Máquinas síncronas .....	42
1.4.4.3.	Máquinas de inducción.....	42
1.4.4.4.	Empresa de energía eléctrica.....	42
1.4.5.	Análisis del corto circuito .....	43
1.4.6.	Protecciones.....	45
1.4.6.1.	Curvas de protección .....	49
1.5.	Comunicación remota .....	51
1.5.1.	VPN ( <i>Virtual Private Network</i> ) .....	51
1.5.1.1.	Protocolo de seguridad .....	51
1.5.1.2.	Encriptación.....	51
1.5.1.3.	Servidores .....	52
1.6.	Seguridad industrial y ocupacional.....	52
1.6.1.	Normativa .....	52
1.7.	Sistemas de unidades de medición.....	52
1.8.	Consideraciones mecánicas .....	54
1.8.1.	Tipos de carga.....	54
1.8.1.1.	Carga muerta .....	55
1.8.1.2.	Carga viva .....	55
1.8.1.3.	Carga adherida.....	55
1.8.2.	Tipos de esfuerzos .....	55
1.8.2.1.	Tensión.....	56
1.8.2.2.	Compresión .....	56



3.3.	Gestión de seguridad industrial .....	94
3.3.1.	Identificación de riesgos .....	96
3.3.2.	Matriz de riesgos .....	97
3.4.	Desarrollo de la propuesta .....	99
3.4.1.	Programación de PLC .....	99
3.4.2.	Explicación programación en lenguaje <i>ladder</i> .....	100
3.4.3.	Programación HMI .....	101
3.4.4.	Configuración del controlador de peso.....	102
3.4.5.	Dispositivo de comunicación remota .....	104
3.5.	Planificación de tiempos de montaje .....	105
4.	FASE DE ENSEÑANZA, APRENDIZAJE .....	107
4.1.	Planificación de capacitación .....	107
	CONCLUSIONES.....	111
	RECOMENDACIONES .....	113
	BIBLIOGRAFÍA.....	115
	APÉNDICES.....	119
	ANEXOS.....	131

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Jerarquía organizacional .....	2
2.	Sistema de medición .....	4
3.	Puente de <i>Wheatstone</i> .....	17
4.	Pirámide de automatización .....	23
5.	PLC <i>Allen Bradley ControlLogix 1756 L73</i> .....	24
6.	Contador automático en lenguaje <i>Ladder</i> .....	28
7.	Contador automático en lenguaje texto estructurado .....	29
8.	Capas del modelo OSI .....	31
9.	Etapas de cortocircuito.....	36
10.	Sistemas de fasores balanceados .....	40
11.	Representación eléctrica de fallas .....	41
12.	Circuito para análisis del cortocircuito .....	43
13.	Curva de cortocircuito, tres componentes de corriente .....	45
14.	Curva de disparo relé térmico .....	47
15.	Curva de disparo protección magnetotérmica.....	48
16.	Protecciones eléctricas para PLC .....	49
17.	Cantidad de horas de cada falla durante 6 meses .....	60
18.	Costo por falla durante 6 meses .....	62
19.	Estudio económico.....	66
20.	Diagrama de soluciones.....	68
21.	Estructura de soporte para el silo.....	73
22.	Distribución de material granular.....	74
23.	Esfuerzos mecánicos en la estructura.....	75

24.	Análisis estructural de viga .....	76
25.	Arreglo de galgas extensiométricas .....	77
26.	Arreglo eléctrico de cable C2 .....	86
27.	Dimensiones HMI 12,1 pulgadas .....	90
28.	Topología de red.....	91
29.	Válvula tipo iris.....	92
30.	Diagrama de bloques.....	93
31.	Diagrama de bloques.....	94
32.	Instrucción de sumador.....	100
33.	Pantalla principal.....	102
34.	Explicación de mapeo.....	103
35.	Mapeo del controlador HI 4050.....	104

## TABLAS

I.	Estructura de la trama de Ethernet .....	33
II.	Unidades de medición .....	53
III.	Costo total de una hora de no producción .....	61
IV.	Costos de equipos .....	64
V.	Cálculo de la tasa interna de retorno .....	65
VI.	Distribución de la carga .....	79
VII.	Especificaciones de la celda de carga .....	81
VIII.	Comparación entre los tipos de calibración .....	82
IX.	Características caja suma.....	84
X.	Características del controlador de peso.....	84
XI.	Identificación cable C2.....	85
XII.	Características <i>controllogix</i> 1756-L73.....	87
XIII.	Especificaciones de la HMI.....	89
XIV.	Propuesta de formato para recabar de datos .....	95

XV.	Selección de equipo de protección personal.....	96
XVI.	Valoración de riesgo.....	97
XVII.	Matriz de riesgos .....	98
XVIII.	Características de <i>Tosibox Lock 200</i> .....	105
XIX.	Tiempos estipulados de instalación .....	106
XX.	Tiempos del entrenamiento.....	108



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>c.c.</b>	Corriente continua
<b>\$</b>	<i>Dollar</i>
<b>Gbps</b>	<i>Gigabit per second</i>
<b>°C</b>	Grados celsius
<b>±</b>	Más, menos
<b>Mbps</b>	<i>Megabit per second</i>
<b>m</b>	Metro
<b>mA</b>	Miliamperio
<b>mV</b>	Milivoltios
<b>N</b>	Newton
<b>%</b>	Porcentaje
<b>psi</b>	<i>Pound per-square inch</i>
<b>R</b>	Resistencia eléctrica
<b>Ω</b>	Unidad de la resistencia eléctrica
<b>V</b>	Voltios



## GLOSARIO

<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials.
<b>Bar</b>	Unidades de la presión en el sistema internacional.
<b>Carga</b>	El peso que es soportado por una estructura.
<b>Celda</b>	Conjunto eléctrico de elemento que forma un sistema.
<b><i>CPU</i></b>	<i>Central processing unit.</i>
<b>Electromecánico</b>	Elemento que tiene una función eléctrica o mecánica.
<b>Ethernet</b>	Protocolo de comunicación.
<b><i>Firmware</i></b>	Programa permanente en la memoria que es solo de lectura en un equipo.
<b>Galga extensiométrica</b>	Arreglo de cuatro galgas que se colocan en un elemento que se encuentra bajo cargas mecánicas y el cambio de voltaje en la salida es proporcional a la carga aplicada al elemento.
<b>HMI</b>	<i>Human Machine Interface.</i>

<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission.
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
<b><i>Inkscape</i></b>	Programa para crear dibujos vectorizados.
<b>Instrumento</b>	Dispositivo para realizar mediciones, a veces guardar y controlar un valor en observación.
<b>IP</b>	<i>Ingress protection.</i>
<b>Lenguaje Ladder</b>	Lenguaje utilizados para programar las instrucciones en los PLC.
<b>OSI</b>	<i>Open Systems Interconnection.</i>
<b>Patrón</b>	Elemento que se utiliza como modelo para replicar o referenciar.
<b>Peso</b>	Fuerza gravitacional con la cual la tierra atrae a un cuerpo.
<b><i>PLC</i></b>	<i>Programmable Logic Controller.</i>
<b>Proceso</b>	Un sistema organizado que produce los resultados deseados según una planificación.
<b>Retroalimentación</b>	Retorno de una porción de la salida de un circuito hacia la entrada.

<b>Ruido eléctrico</b>	Interferencia y corrientes o voltajes no deseados en un dispositivo o sistema eléctrico.
<b>Salida análoga</b>	Salida en la cual la amplitud es continuamente proporcional al estímulo.
<b>SCADA</b>	<i>Supervisory control and data acquisition.</i>
<b>Señal</b>	Variación de una corriente eléctrica u otra magnitud que se utiliza para transmitir información.
<b>Silo</b>	Elemento tipo contenedor de gran tamaño.
<b>TIR</b>	Tasa interna de retorno.
<b>VPN</b>	<i>Virtual Private Network.</i>
<b>Puente Wheatstone</b>	Circuito eléctrico compuesto por cuatro ramas mayoritariamente resistivas utilizado para medir resistencia eléctrica desconocida comparándola con un valor conocido.



## RESUMEN

Antes de abordar el tema central que se desarrollará, en el primer capítulo se explican varios términos que ayudarán a entender de una mejor manera la propuesta. Además, se dan generalidades de la empresa donde se realizó el Ejercicio Profesional Supervisado.

El proyecto se desarrolló durante los tres meses de Ejercicio Profesional Supervisado, es una propuesta de estandarizado de silos en la cual se incluye un estudio eléctrico, mecánico, estructural y económico. Los estudios se presentan para respaldar al proyecto. En el capítulo 2 se analiza la propuesta desde un punto de vista económico, para obtener datos de rentabilidad del proyecto.

En el capítulo 3, se toman en cuenta todos los factores físicos que afectarán a la propuesta. Se realizan los cálculos necesarios para determinar que: la estructura soportará, que los equipos a instalar sean los adecuados y que el cableado soporte la carga instalada.

En el capítulo 4, está estructurada la fase de enseñanza aprendizaje en la cual se desarrollan entrenamientos para la empresa donde se instale el equipo y de esta manera tener colaboradores con las capacidades necesarias para los puestos que desarrollan.



# OBJETIVOS

## General

Proponer un sistema de control que pueda estandarizar los procesos que se llevan a cabo para aprovechar las ventajas de los equipos que se utilizan logrando así minimizar costos y aumentar productividad y vida de los equipos.

## Específicos

1. Recomendar un plan de mejora ante la necesidad de la empresa para el manejo de los agregados de concreto.
2. Implementar el control y supervisión del proceso con equipos comerciales que no compliquen la implementación y manejo.
3. Desarrollar material de procedimientos, fallas y mantenimiento, que puedan ser utilizados por los colaboradores de la planta.
4. Realizar el estudio económico e impacto de las mejoras y las ventajas que se obtendrán al implementarlo.
5. Diseñar de una manera eficiente la red de comunicación.



## INTRODUCCIÓN

El trabajo de graduación está centrado en el tema de estandarizar, el control industrial para plantas que utilizan agregados del concreto tiene como característica principal la propuesta, el tener un sistema estandarizado que sea fácil de diagnosticar.

Para realizar el análisis de esta propuesta es necesario presentar las causas siguientes: la principal es la cantidad de fallas presentadas en un periodo de seis meses que se realizó el estudio, otra causa es que se desea tener un mejor diagnóstico de las fallas existentes para darles una mejor solución.

La instrumentación juega un papel importante en la industria debido a que en un proceso si algo se puede medir es porque se puede controlar y como elemento principal está el sensor ya que este obtiene la información necesaria luego se transmite, se procesa y finalmente se toman decisiones basadas en los datos obtenidos.

La importancia de la investigación se debe al interés de establecer si es una inversión viable mediante un estudio económico, además, de cuáles son las condiciones y equipos más adecuados mediante los estudios eléctrico y mecánico, además, para dar apoyo a los colaboradores de las plantas donde se realizará la propuesta se incluye entrenamiento de acuerdo a las capacidades y atribuciones de cada uno de los colaboradores. La empresa en la cual se realizó es INTEK en el departamento de servicios.



# **1. FASE DE INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Generalidades de la empresa INTEK**

Somos una empresa fundada en 1991 dedicada al suministro de equipos y servicios relacionados con la distribución de energía, sistemas de control y automatización para la industria.

### **1.1.1. Información general e historia**

INTEK es una empresa fundada en 1991 dedicada al suministro de equipos y servicios relacionados con la distribución de energía y sistemas de control y automatización para la industria.

### **1.1.2. Misión**

Contribuir al desarrollo, productividad y rentabilidad de nuestros clientes, satisfaciendo sus requerimientos de equipos y sistemas eléctricos de distribución, control y automatización, a través de soluciones de alta calidad.

### **1.1.3. Visión**

Ser la empresa líder en la región centroamericana en el suministro de equipos y sistemas eléctricos de distribución y automatización industrial, ofreciendo a nuestros clientes productos y servicios de calidad.

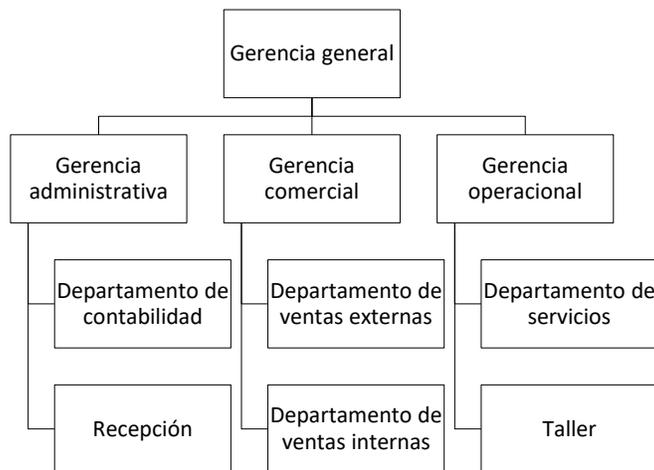
#### 1.1.4. Departamento de servicios

Departamento encargado de la solución y asesoría de problemas de ingeniería. Además, se pueden ofrecer servicios como: solución de fallas, reparaciones, soluciones de seguridad en maquinaria, soporte técnico de calibración y verificaciones, diseño de tableros, mantenimientos y capacitaciones.

#### 1.1.5. Jerarquía organizacional

En la figura 1 se muestra la estructura interna de la empresa en la cual se realizó el proyecto de EPS en el departamento de servicios.

Figura 1. **Jerarquía organizacional**



Fuente: elaboración propia.

## 1.2. Instrumentación eléctrica

Los instrumentos de medición son ampliamente utilizados en la industria para obtener un mejor control de los procesos y tener una visualización de las

variables involucradas. Para lograr un proceso que cumpla con estándares internacionales y alta calidad.

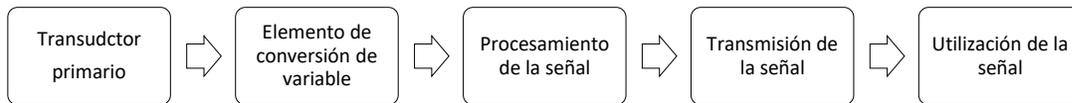
La necesidad de los procesos ha hecho que las formas de medición y las tecnologías tengan que innovar para estar en la vanguardia de las exigencias del mercado actual, por lo tanto se abarca la mayoría de los principios de medición existentes.

Generalmente se habla de los instrumentos de medición como un sistema de medición debido a que estos se componen de diferentes elementos modulares que logran entregar una salida de señal de manera eficiente. En todo proceso de control industrial el transductor es el elemento primario que produce una salida en función de la variable de medición aproximadamente lineal. La salida del transductor primario estará en función de la variable medida, pero la variable medida no siempre está en función de la señal que es requerida, es cuando se hace necesario un elemento que dé la señal requerida, por ejemplo.

Los elementos de procesamiento de señales se utilizan para mejorar la calidad de la salida entre los cuales se puede encontrar el amplificador electrónico ya que por sus características de amplificación mejoran la resolución y sensibilidad de la señal, siendo de gran utilidad cuando la salida del transductor es de baja magnitud.

En empresas dedicadas a productos derivados de los agregados, algo a tomar en cuenta son las partículas de polvo que se desprenden en el proceso, la importancia radica en que el transductor se cubre de estas partículas y disminuye el alcance de la señal, por esto el constante mantenimiento y control son necesarios. Por último, cuando la señal ya fue procesada se utiliza para tomar decisiones.

Figura 2. **Sistema de medición**



Fuente: elaboración propia.

### 1.2.1. **Características de los instrumentos**

La terminología empleada en la siguiente sección se utiliza con la finalidad de que todos los involucrados en el área de instrumentación empleen el mismo lenguaje.

#### 1.2.1.1. **Campo de medida (*range*)**

Conjunto de valores que se encuentran dentro de los límites de los cuales el valor de la variable es recibido, transmitido o indicado. Además, un instrumento se puede calibrar para varios rangos, como por ejemplo un amperímetro que seleccione su rango con la perilla, en este caso se podría decir que el instrumento es multirango.

#### 1.2.1.2. **Alcance (*span*)**

Diferencia existente entre los límites superior e inferior del rango de medida del instrumento. El rango superior se denomina (RS) y el rango inferior (RI), entonces el alcance se determina por la expresión:

$$\text{Alcance} = RS - RI$$

### **1.2.1.3. Exactitud (*accuracy*)**

Para una medición es el grado de aproximación con referencia al valor verdadero y se puede perder debido a condiciones externas del instrumento, además, ayuda a definir el límite de los errores del instrumento a condiciones normales de operación durante un tiempo determinado, la exactitud será variable en todo el rango de medición, aunque normalmente la empresa fabricante especifica lo contrario.

### **1.2.1.4. Precisión**

Cualidad del instrumento para dar lecturas próximas unas a otras bajo las mismas condiciones, esto significa que especifica la dispersión de los datos obtenidos y en la mayoría de los casos los fabricantes hacen los instrumentos para que sean precisos, pero no exactos por lo que se debe de realizar calibraciones para llegar a la exactitud deseada.

### **1.2.1.5. Calibración**

Es un conjunto de operaciones que establecen la relación entre las medidas entregadas por los equipos y los patrones. Esto da como resultado el error que existe en el equipo. Generalmente, luego de realizar la calibración se adjunta un certificado, además, se deben establecer intervalos de calibración en los planes de mantenimiento. Las razones principales para calibrar recurrentemente un equipo son:

- Tener documentos de referencia para las auditorías de seguridad industrial
- Mantener exactitud del instrumento
- Siempre tener equipos con alta fiabilidad

#### **1.2.1.6. Zona muerta (*dead band*)**

Es el rango de valores que no hace variar la salida del instrumento aún cuando se está variando la variable medida.

#### **1.2.1.7. Sensibilidad (*sensitivity*)**

Razón entre cuanto se ve incrementada o reducida la señal de salida en referencia al valor de la variable que está midiendo, ejemplificando: si se tiene un instrumento de rango 0 – 10 psi y el cambio se ve de 5 – 5,5 psi y la señal en salida cambia de 11,5 – 12,5 mA la sensibilidad estará dada por la siguiente expresión:

$$\frac{\frac{12,5 - 11,5}{20 - 4}}{\frac{5,5 - 5}{10}} = \pm 1,25 \text{ mA / psi}$$

#### **1.2.1.8. Repetibilidad (*repeatability*)**

Capacidad de reproducir las salidas de señal del instrumento al medir repetidamente valores en las mismas condiciones de servicio y sentido de variación, la repetibilidad también es un sinónimo de precisión, esto significa que la concentración de valores será mayor lo que significa una menor dispersión.

#### **1.2.1.9. Histéresis (*hysteresis*)**

Diferencia que se puede apreciar cuando la variable recorre la escala ya sea descendente o ascendentemente hacia el mismo valor, ejemplificando: si un medidor de presión 0 – 10 psi, para el valor de la variable de 5 psi si el

medidor se mueve de 0 psi y sube hasta 4,9 psi, pero si el medidor se mueve desde 10 psi baja hasta 5,1 psi entonces el valor se obtiene de la siguiente manera:

$$\frac{5,1 - 4,9}{10 - 0} * 100 = \pm 2 \%$$

#### **1.2.1.10. Trazabilidad**

Es el resultado de efectuar comparaciones con un patrón que luego puede ser relacionado con patrones regionales, nacionales o internaciones mediante una cadena de comparación sin interrupción y con las incertidumbres que conlleva. Por su jerarquía se clasifican en: patrón primario, secundario, de referencia y patrón de trabajo. De acuerdo con la jurisdicción se clasifican en: internacional, nacional, regional y local.

#### **1.2.1.11. Ruido eléctrico**

Cualquier tipo de señal no deseada que distorsiona la transmisión de los datos deseados o no, transmite información útil alguna. Su característica principal es que es aleatorio. Además, se puede generar interna o externamente.

#### **1.2.1.12. Temperatura de servicio**

Rango de temperaturas para las cuales está fabricado el instrumento para operar con normalidad y así lograr trabajar dentro del error establecido.

#### **1.2.1.13. Vida útil de servicio**

Tiempo que se especifica para que el instrumento mantenga sus características y trabaje de manera adecuada sin que se presenten cambios en su comportamiento.

#### **1.2.1.14. Transmisores**

Estos son los que obtienen la variable de proceso por medio del elemento primario y luego convierte la señal para que sea estándar: corriente, voltaje, digital, neumática, hidráulica o de radio.

### **1.2.2. Variables físicas**

Las variables físicas tienen un papel importante en los procesos ya son fundamentales entre lo que se mide y lo que se controla.

#### **1.2.2.1. Medición de peso**

Esta variable es muy importante en los procesos, debido a que si se posee buena precisión y exactitud en el peso se tendrá un proceso estandarizado y de alta calidad.

El peso es proporcional a la fuerza que la tierra atrae un cuerpo, como la tierra no es uniforme entonces dependiendo de dónde se encuentre, así será la gravedad. Como normalmente las calibraciones se realizan con base en patrones de peso, conocido entonces la lectura es independiente del lugar de donde se encuentra. Otro factor que influye en la medida es el empuje del aire, pero es despreciable debido a que es demasiado pequeño. Las unidades del

peso son: libra y gramo. Siendo el kilogramo (Kg), el más utilizado por estar en sistema internacional.

#### **1.2.2.1.1. Principios de medición**

- Comparación con pesos patrón

La balanza clásica posee dos brazos iguales sostenidos por una palanca, tiene un rango de medición de unos pocos gramos hasta varios kilogramos. Además, poseen una gran exactitud. Pero tienen una velocidad lenta de lectura que si el cambio ocurre muy rápido no podrá mostrarlo en la salida.

- Celdas de galgas extensiométricas

Estas celdas se fabrican de un material que se conozca su módulo de elasticidad para que el material de la celda no alcance el límite plástico y se dañe definitivamente. Lo que interesa para el material de la celda es su región de comportamiento lineal que se encuentra en la región plástica del material. Podrán detectar fuerzas axiales de tensión y compresión, pero ignoran las fuerzas laterales.

- Celdas hidráulicas

Su mayor aplicación es para presiones altas, consta de un pistón de área conocida que se desplaza con base en la fuerza que le efectúa la carga que soporta, luego el desplazamiento de fluido es captado por un tubo Bourdon para transmitir de forma directa la medida hacia un manómetro, si la medida se desea de manera digital se coloca un transmisor y se convierte en una señal eléctrica.

- Celdas de carga

Es el conjunto de una celda de los tipos mencionados anteriormente, además, de un puente, encapsulado y accesorios mecánicos para asegurar la celda de carga a la estructura a instalar.

### **1.2.2.2. Medición de presión**

Es de gran importancia monitorear y luego controlar esta variable debido a que un cambio excesivo en esta variable puede significar la pérdida de vidas o pérdidas de equipo.

La presión es la fuerza que se aplica en un área y sus unidades pueden ser: bar, atmósfera, pascal, psi, mmHg, psi. Siendo ( $\text{bar} = \text{N/m}^2$ ), los más utilizados por pertenecer al sistema internacional. Además, existen diferentes tipos de presiones que pueden ser medidas:

- Presión absoluta: hace referencia al cero absoluto de presión.
- Presión atmosférica: es la presión que ejerce la atmosfera terrestre con respecto al nivel del mar.
- Presión relativa: es la diferencia que existe entre la presión atmosférica del lugar donde se está midiendo y la presión absoluta.
- Presión diferencial: es la diferencia entre dos presiones.
- Vacío: es la presión que se mide por debajo de la presión atmosférica teniendo en cuenta que depende de las variaciones de la presión atmosférica.

### 1.2.2.2.1. Principios de medición

- Elementos mecánicos

Estos elementos utilizan el principio de medición directa para realizar la medición.

El tubo Bourdon es delgado, de bronce para presiones bajas y acero para presiones altas, su funcionamiento está basado en que el tubo se deforma por el efecto de la presión que se le ejerce internamente, luego el movimiento es transmitido a una cremallera que luego lo transmite a un piñón y este finalmente lo transmite al eje del indicador de la aguja, por lo que si se excede la presión máxima del tubo Bourdon existirá deformación plástica en el tubo por lo que se deberá de calibrar y ajustar el instrumento.

- Elementos electromecánicos

Estos elementos utilizan una combinación de un elemento mecánico y un transductor eléctrico que genera la señal eléctrica, existen diferentes tipos: resistivos, capacitivos, piezoeléctricos, magnéticos y extensiométricos.

Los elementos resistivos están compuestos de un elemento elástico, que varía la resistencia en función de la presión que se está ejerciendo, luego este movimiento se transmite al circuito de puente *Wheatstone*.

Los elementos capacitivos basan su funcionamiento en la distancia que existe entre las placas de los capacitores y como esto varia la capacitancia.

Los elementos magnéticos utilizan la propiedad de la reluctancia en los enchapados de manera que al variar la presión se acerca o aleja una de las placas del enchapado y esto varía las inductancias, obteniendo así una salida de señal eléctrica.

### **1.2.2.3. Medición de nivel**

Esta variable es importante para mantener un balance entre la materia prima que se requiere y el producto terminado. Para empresas que utilizan materias primas sólidas en grandes cantidades y deben de almacenarlas en silos o tanques, se ven en la necesidad de mantener un monitoreo continuo de sus materias primas para no agotar su producción.

#### **1.2.2.3.1. Principios de medición**

- Detectores de nivel de punto fijo

Los detectores de nivel alto están colocados en la parte alta del tanque y cierran el circuito por medio de un relé cuando el sólido hace contacto con su parte móvil.

El sensor de paletas rotativas tiene un motor que lo hace girar lentamente, luego al entrar en contacto con el sólido se detiene y entonces se abre el relé abriendo el circuito hasta que se liberen las paletas nuevamente.

El detector de vibración consiste en una sonda metálica que vibra, cuando el material entra en contacto con la sonda la vibración se ve amortiguada por lo que el circuito electrónico lo detecta y entonces se abre un relé abriendo el circuito hasta que la sonda regrese a su vibración normal.

- Detectores de nivel continuo

El más empleado es el medidor de báscula, este método requiere que el silo este montado en una plataforma para totalizar el peso del silo, más el peso del contenido, por lo cual es fácil determinar el contenido y nivel donde se encuentra, sin embargo, es un sistema costoso pero muy exacto variando de  $\pm 0,5\%$  a  $\pm 1\%$ .

Un sistema más simple es emplear un motor, poleas y un peso pequeño. El peso baja suavemente hasta entrar en contacto con el contenido del silo y así se pierde tensión en el cable, entonces se invierte el sentido del motor y se determina el nivel del silo. La exactitud es de  $\pm 1\%$ .

Se pueden utilizar también medidores ultrasónicos ya que tiene la característica que esta onda no se ve afectada por el polvo que se genera debido a las materias primas, su funcionamiento se basa en que la onda tiene cierto tiempo de vuelo dependiendo del nivel del material en el silo, su exactitud varia de  $\pm 0,15\%$  a  $\pm 1\%$ .

### **1.2.3. Lazos de control**

Se tienen dos modos básicos para tener control en un proceso: todo, nada o continuo. Pero en ambos casos el fin es el mismo, mantener la variable medida en un rango establecido, variando parámetros en el proceso.

### **1.2.3.1. Referencia (*setpoint*)**

La referencia o entrada es el objetivo por obtener por el control. Este objetivo puede ser: temperatura, flujo, nivel, entre otros. Además, el valor puede ser fijo o variable según lo requiera el proceso.

### **1.2.3.2. Retroalimentación (*feedback*)**

Su función es reducir la diferencia entre la variable de salida y la referencia que se tiene establecida, obteniendo el valor de la variable de salida y este se compara con la referencia y luego se toma la decisión de que se hará.

### **1.2.3.3. Elemento final de control**

Es el elemento en el lazo de control que se encarga de modificar la variable de salida para que se tenga el valor deseado, los elementos finales de control son válvulas generalmente.

### **1.2.3.4. Control todo, nada**

Es la forma más simple de control, la variable medida es comparada con una referencia establecida, cuando la variable está por debajo de la referencia el sistema se enciende y cuando la variable está por encima de la referencia el sistema se apaga, el problema es que si el sistema posee mucha inercia se producirán valores demasiado grandes respecto a la referencia, lo cual hará que se tarde mucho tiempo en llegar al valor deseado.

### **1.2.3.5. Control diferencial**

También llamado todo, nada con retardo, su funcionamiento es similar al anterior pero su diferencia radica en que este control posee una banda muerta de un rango establecido por arriba y por abajo del valor de referencia, por ejemplo, si se tiene un centro de datos que se desea mantener a 22 °C entonces se deja una banda muerta de  $\pm 3$  °C para que el sistema encienda cuando la variable medida este por debajo de 19 °C y encienda cuando esté por encima de 25 °C. En este sistema aún existe inercia.

### **1.2.3.6. Control proporcional**

Este es el más común de los controles continuos. La amplitud de la variable de salida es medida y transformada en señal eléctrica, luego se compara con la referencia, si hay diferencia se corrige variando la variable de entrada, cuando se realiza el cambio de la variable de entrada por ende cambiará la amplitud de la variable de salida hasta que la diferencia entre la variable de salida y la referencia sea cero. La rapidez con que se realiza la corrección dependerá de la inercia del sistema.

Si el sistema posee demasiada ganancia la amplitud de la señal de corrección será proporcional a la ganancia por lo que será grande, esto provoca que la variable de entrada haga una sobrecorrección, lo que hará que el sistema se retarde más en corregir para llegar al nivel de referencia establecido. Sucede que también afecta si la ganancia es muy pequeña por lo que la señal de corrección será muy pequeña y entonces nunca que logrará corregir la señal para que esté en el nivel de referencia establecido.

### **1.2.3.7. Control derivativo**

El control proporcional derivativo fue desarrollado para reducir el tiempo de corrección que ocurre usando solamente proporcional. El control derivativo detecta la tasa de cambio (pendiente de la curva), de la variable medida y aplica una señal que es proporcional a la tasa de cambio también llamada acción anticipada. Además, el control proporcional está actuando al mismo tiempo, por lo cual al momento de obtener las dos señales se logra un mejor tiempo para llegar a la referencia.

### **1.2.3.8. Control integrativo**

El control proporcional integral, también conocido como acción de reinicio, fue desarrollado para cargas con mucha inercia. Aplica corrección según el área que se encuentre bajo la curva de la variable medida. El control integral da una respuesta lenta porque se basa en el pasado de la diferencia que existe entre la variable medida y valor de referencia.

## **1.2.4. Tipos de puentes de medición**

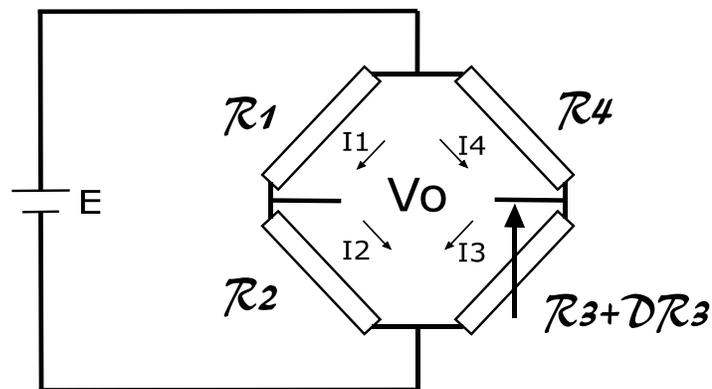
Se puede degradar de nivel de título al puente Wheatstone que es el siguiente a este título, ya que solamente se habla acerca de un puente de medición y gracias

### **1.2.4.1. Puente Wheatstone**

La importancia de los puentes de medición radica en su precisión para obtener las mediciones de pequeños cambios en la señal de entrada. El concepto fundamental del puente se basa en dos divisores de voltaje y la salida

es tomada de los divisores de voltaje, si la relación entre todas las resistencias es la misma entonces el puente esta balanceado y ninguna corriente deberá de fluir por la salida por lo que el detector cero de corriente no detectará nada, pero si solo una es diferente en valor el puente no estará balanceado y fluirá corriente por la salida. Por lo tanto:

Figura 3. Puente de *Wheatstone*



Fuente: elaboración propia, empleando inkscape.

$$E_1 = E_4 \rightarrow I_1 R_1 = I_4 R_4$$

$$I_1 = I_2 = \frac{E_1}{R_1 + R_2} \rightarrow I_3 = I_4 = \frac{E_4}{R_3 + R_4}$$

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \rightarrow R_1 R_3 = R_2 R_4 \rightarrow R_x = R_2 \frac{R_4}{R_1}$$

La ecuación  $R_1 R_3 = R_2 R_4$  expresa el equilibrio para el puente *Wheatstone*, entonces si se conocen al menos tres resistencias la otra puede ser determinada por la última ecuación. La resistencia R2 es denominada rama

patrón y las resistencias R1 y R4 son denominadas rama de relación. El puente *Wheatstone* se emplea para mediciones de  $1\Omega$  hasta rangos de  $M\Omega$ .

Algunos de los errores que pueden afectar la medición pueden ser: poca sensibilidad de parte del detector de cero y el calentamiento por el efecto de disipación de calor ( $I^2R$ ).

### **1.2.5. Señales típicas de transmisión de datos**

Existen varios métodos de transmisión de señales, pero debido a las velocidades de respuesta y mayor precisión se prefiere la transmisión de datos por medio de señal eléctrica. Los tipos de señal utilizados y sus estándares de transmisión de datos son los siguientes:

- La señal de corriente se trabaja en un rango de 4 – 20 mA c.c. aunque también es utilizada en rangos de 1 – 5 mA c.c. o 10 – 50 mA c.c.
- La señal de voltaje se trabaja en un rango de 0 – 10 V c.c.
- La señal digital se trabaja en forma de un tren de impulsos con bits que consisten en 0 y 1, que están en el sistema binario y esto es procesado luego por un microprocesador.
- La señal neumática se trabaja en un rango de 3 – 15 psi y se utiliza principalmente para elementos de control en los que la rapidez es un elemento clave.
- La señal hidráulica se utiliza cuando las presiones de trabajo son elevadas.

- La señal de radio se utiliza para ambientes hostiles o si la distancia de transmisión es demasiado elevada.

### **1.2.6. Errores en la medición**

Debido a la sensibilidad de los datos que envían no se deben admitir errores por lo que de la manera más eficiente se trata de mitigarlos. Además, se busca que los datos tengan: disponibilidad, integridad y confidencialidad. Lo cual es indispensable para las empresas. La principal causa de que los datos no lleguen de manera correcta se debe a los errores que existen en todo el proceso. Existen dos clasificaciones generales: errores sistemáticos y errores aleatorios.

#### **1.2.6.1. Errores sistemáticos**

Se deben a fallos en el instrumento o sistema de medida. Principalmente son factores de fabricación lo que afectan al instrumento, otro factor que influye en los errores sistemáticos son las perturbaciones ambientales. Las fuentes más comunes de errores sistemáticos son:

- Errores de calibración
- Errores de ajuste
- Falsos contactos
- Cambio de temperatura
- Cambio de presión atmosférica
- Cambio de humedad
- Campos eléctricos o magnéticos
- Deterioro del sistema
- Transmisión de la señal

### **1.2.6.2. Errores aleatorios**

Se debe a fallos introducidos por el procedimiento de medida que se sigue. Las fuentes más comunes de errores aleatorios son:

- Ruido eléctrico o mecánico
- Interferencias aleatorias
- Utilización de técnicas estadísticas
- Apreciación de un operador

### **1.2.7. Métodos de medición**

Dependiendo del proceso y la variable a medir se deberá de tomar en consideración si es factible medir la variable directa o indirectamente ya que esto puede afectar no solo la exactitud sino que también el tiempo de la toma de la medición.

#### **1.2.7.1. Medición directa**

Este método es el más simple ya que el valor de la cantidad a ser medida es obtenido sin realizar cálculo alguno. Por ejemplo: utilizando escalas, vernier, micrómetros, entre otros. Es ampliamente utilizado en producción por su rapidez, pero no es exacto ya que depende del operador que realiza la medición.

#### **1.2.7.2. Medición indirecta**

En este método se obtiene alguna medida, pero midiendo alguna otra variable. Por ejemplo: para medir el nivel de un silo, se mide el peso y como se

conoce el área del silo y peso específico del material se puede determinar la altura o nivel del contenido del silo.

### **1.3. Automatización**

El significado de automatizar un proceso es mejorar varios aspectos de algún proceso, reduciendo costos, mejorando calidad, incrementando seguridad, aumentando tiempos de producción, reduciendo tiempos de paro y estandarizar procesos.

#### **1.3.1. Pirámide de automatización**

Es una abstracción de la jerarquía de los niveles que se deben de tener en un proceso automatizado, para tener un mejor control de todo el proceso. Estos niveles conforman la pirámide de automatización. En la figura 4 se puede apreciar de manera más práctica.

##### **1.3.1.1. Nivel de campo**

Es el primer nivel y el más cercano al proceso, donde se encuentran los actuadores que pueden utilizarse para enviar señales de inicio o paro. Además, están los sensores que obtienen los valores de las variables del proceso ya que con base en estos valores se tomarán decisiones. Las señales de los actuadores provienen de las salidas del PLC ya sean análogas o digitales. Las señales de los sensores deben dirigirse a las entradas del PLC ya sean análogas o digitales. El tiempo de reacción de este nivel está en micro o milisegundos.

#### **1.3.1.2. Nivel de control**

Es el segundo nivel, además es donde se encuentran los PLC, HMI, variadores de frecuencia, arrancadores suaves, entre otros. En este nivel se procesan las entradas y salidas del PLC, para monitorear los dispositivos de campo. El tiempo de reacción de este nivel está en segundos.

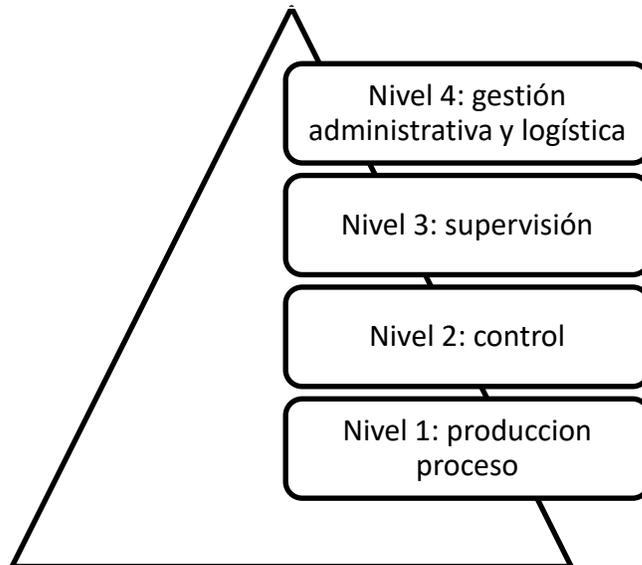
#### **1.3.1.3. Nivel de supervisión**

Es el tercer nivel que se encarga de enlazar y controlar las distintas zonas de trabajo, también está a cargo de controlar los dispositivos del nivel de control y se monitorea con software como SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), esta supervisión se puede lograr incluso de locaciones remotas. El tiempo de reacción de este nivel está en minutos.

#### **1.3.1.4. Nivel de gestión administrativa y logística**

Es el cuarto nivel, su función es vincular la planta con servidores que luego transmiten la información al área de gerencia, esto para determinar tiempos de producción, paros no programados y perdidas en líneas de producción. Y ganancias sobre las producciones. El tiempo de reacción de este nivel está en horas o incluso puede estar en días o meses ya que la logística lleva planificación con base en los datos obtenidos del proceso durante un tiempo prolongado.

Figura 4. **Pirámide de automatización**



Fuente: elaboración propia.

### 1.3.2. Principio de funcionamiento PLC

Por medio de un autómata programable o PLC (*Programmable Logic Controller*), se realizan los procesos de automatización. Un autómata programable consta de cuatro partes principalmente para su funcionamiento: unidad de memoria, unidad de control, protecciones y elementos de entrada y salida. Los autómatas programables están diseñados para trabajar en condiciones extremas como: vibración, humedad, polvo, calor, ruido eléctrico, ruido mecánico y golpes.

Figura 5. **PLC Allen Bradley ControlLogix 1756 L73**



Fuente: elaboración propia, empleando Integrated Architecture Builder.

### 1.3.2.1. **Unidad de memoria**

Las unidades de memoria son utilizadas para almacenar el programa del autómatas programable y los datos que se procesarán, en modelos más recientes las memorias pueden ser expandibles hasta cierto punto, según sean las necesidades del usuario. Poseen dos tipos generales de memoria que pueden ver en la figura 5, una es variable en función de las necesidades que se presentan y la otra es fija en la cual ya viene escrito el programa de fábrica y funciones establecidas.

### 1.3.2.2. **Unidad de control**

También llamada CPU *Central Processing Unit* es la parte inteligente del dispositivo ya que su función es ejecutar las instrucciones del programa, también se encarga de la comunicación de los equipos y gestiona los diferentes errores que pueden surgir.

Su componente base es el microprocesador y su capacidad de cálculo y velocidad están ligados al número y tipo de procesadores, fundamentalmente siempre se realiza un ciclo que se llama escaneo el que consiste en:

- Leer entradas y guardar sus estados en tablas de imágenes.
- Hacer ejecuciones del programa obteniendo los datos necesarios de las entradas, contadores, temporizadores, entre otros. Y colocando lo que convenga en la tabla de salidas.
- Coloca la tabla de salidas en las salidas para que se puedan utilizar.
- Comienza nuevamente el ciclo leyendo las entradas.

El programa se va repitiendo de manera cíclica ya que las modificaciones de las entradas se ven reflejadas en las salidas luego de ser procesadas y haber tomado decisiones.

### **1.3.2.3. Elementos de entrada y salida**

Los elementos de entrada y salida son el medio de comunicación entre el proceso que se requiere controlar y el autómata programable, teniendo dos tipos principales análogas y digitales.

#### **1.3.2.3.1. Entradas digitales**

Estas son del tipo si/no es decir, reciben señales cualitativas, pero no cuantitativas, estas también se pueden clasificar si son de corriente alterna, corriente continua con común positivo, corriente alterna común negativo, además, se pueden tener entradas codificadas. Se utilizan generalmente para: finales de carrera, detectores de proximidad, *encoders*.

#### **1.3.2.3.2. Entradas análogas**

Estas entradas son capaces de captar señales de tensión o corriente entre dos valores ya sea de voltaje o de corriente y asociarles un número que indique el valor obtenido y se utilizan generalmente para la medición de: temperatura, presión, caudal, tensión, corriente y nivel.

#### **1.3.2.3.3. Salidas digitales**

También son del tipo si/no en el caso de las salidas en corriente continua pueden ser ya sea por transistor o por relé. Para corriente alterna pueden ser por triac o por relé. Siendo la más conveniente la de relé porque se encuentra aislada y se puede conectar a diferentes voltajes cada salida, pero en comparación con las otras dos opciones sus tiempos de respuesta son más lentos. Finalmente, también existen salidas codificadas.

#### **1.3.2.3.4. Salidas análogas**

Las salidas análogas pueden dar señales de tensión o de corrientes variables entre dos valores de voltaje o corriente, permitiendo accionar elementos proporcionalmente al valor que se tiene en la salida.

### **1.3.3. Lenguajes de programación**

Los lenguajes de programación se utilizan para expresar los procesos que se llevarán a cabo por la unidad de control del autómata programable. Para este tipo de programación no se utilizan los lenguajes convencionales de programación y esto se debe a que cuando el primer PLC fue lanzado también se lanzaron los lenguajes de programación.

“This part of IEC 61131 specifies the syntax and semantics of a unified suite of programming languages for programmable controllers (PCs). These consist of two textual languages, IL (Instruction List) and ST (Structured Text), and two graphical languages, LD (Ladder Diagram) and FBD (Function Block Diagram).”<sup>1</sup> Para que no existan más lenguajes están estandarizados por la IEC (International Electrotechnical Commission), por lo que se designó la IEC 61131-3 para definir los cinco lenguajes:

- Diagrama de tipo escalera LD (*Ladder diagram*), un lenguaje de diagramas de relé.
- Diagrama de funciones secuenciales SFC (*Sequential function charts*), lenguaje de bloques de funciones secuenciales.
- Diagrama de bloques de funciones FBD (*Function block diagram*), lenguaje de diagramas de bloques secuenciales.
- Texto estructurado ST (*Structured text*), lenguaje de bajo nivel.
- Lista de instrucciones IL (*Instruction list*), lenguaje tipo ensamblador.

#### **1.3.3.1. Diagrama tipo escalera**

Es el más utilizado por los operarios porque es gráfico y sencillo de comprender, además, es soportado por cualquier PLC. La forma en que presenta los datos se caracteriza por tener barras de alimentación de forma que la barra del lado izquierda siempre está con una señal lógica de 1, entonces la energía llega a todos los elementos conectados, pero dependerá del estado de cada uno si deja pasar la energía o no.

Además, se destaca sobre los otros lenguajes ya que si el PLC está conectado en línea con el software se puede realizar una revisión de cómo está

---

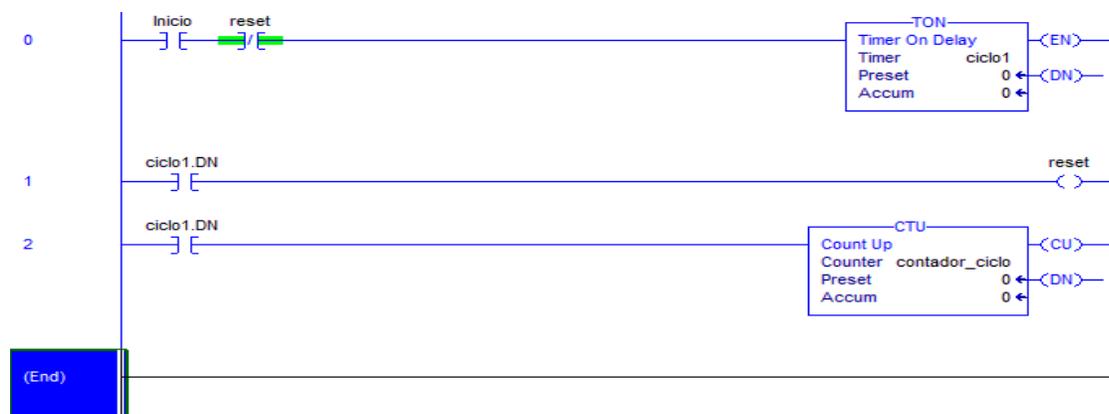
<sup>1</sup> IEC. *International Standard*. p. 16.

trabajando el código con respecto al PLC, entradas y salidas, lo cual es ideal para realizar diagnósticos de falla.

En la figura 6 se muestra que se utiliza el lenguaje de contactos llamado *ladder* para realizar el programa, consta de tres líneas, en la primera línea se tiene el inicio que es una entrada de tipo booleana normalmente abierta en serie con otra entrada del mismo tipo, pero normalmente cerrada, luego al final de la línea se tiene un *timer* tipo TON, lo que indica que es de retardo a la conexión, luego en la siguiente línea se tiene una entrada, pero esta depende del estado del *timer* y la salida es un *reset* mediante el cual se reinicia al *timer*. Finalmente, en la última línea se tiene una entrada que depende del estado del *timer* y la salida es un contador hacia arriba CTU.

De manera simplificada lo que hace el código es que al momento de tener una entrada de valor 1 en inicio el *timer* comienza a contar el tiempo luego de llegado al tiempo establecido activa la entrada llamada ciclo1.DN, la cual envía una señal al contador y además reinicia al *timer* y la cantidad de veces que este ciclo se repita queda registrado en el contador.

Figura 6. **Contador automático en lenguaje *Ladder***



Fuente: elaboración propia, empleando RSLogix 5 000.

### 1.3.3.2. Texto estructurado

Está basado en lenguajes de programación como C, no es muy conocido ya que para utilizarlo requiere conocimientos previos de programación. Su ventaja radica en que se pueden utilizar instrucciones como: *if*, *while*, *for*, *case*, entre otros. Las cuales ayudan a realizar instrucciones que son cíclicas y que pueden utilizarse varias veces como una función como tal.

En la figura 7 se observa que la programación de un contador automático con respecto al lenguaje *Ladder* es mucho más sencillo, por lo que se podría preferir este lenguaje. Pero al momento de buscar fallas de programación el lenguaje de texto estructurado no es eficiente.

Figura 7. **Contador automático en lenguaje texto estructurado**

```
While conta<50 do  
conta := conta+1;  
Exit;  
End_While;
```

Fuente: elaboración propia, empleando RSLogix 5 000.

### 1.3.4. Protocolos de comunicación

La comunicación entre los diferentes equipos que existen para realizar un proceso es esencial debido a que este será más eficiente si se pueden comunicar las diferentes máquinas que se tienen y esto se logra si todas hablan un mismo lenguaje. Actualmente, si se exige a los fabricantes que estandaricen sus puertos y protocolos de comunicación, pero años atrás no, por esta razón

en la industria se encuentran muchos equipos con diferentes puertos y una gran cantidad de protocolos.

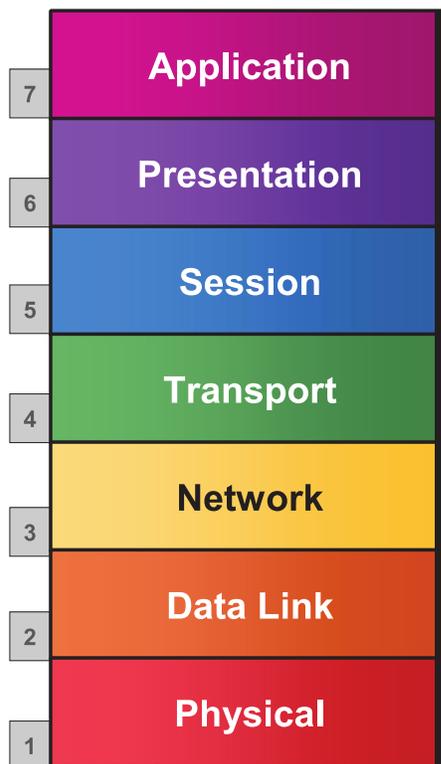
#### **1.3.4.1. Capas del modelo OSI**

El modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) es una abstracción de cómo se deben estandarizar las redes y este modelo posee siete capas que siguen cuatro principios.

- Se crea una capa en la situación que se requiera un diferente nivel de abstracción.
- Cada capa debe cumplir una función bien definida.
- La función de cada capa debe de ser seleccionada tomando en cuenta que el flujo entre capas deberá de ser mínimo.
- El número de capas está sujeto a que la arquitectura no sea difícil de manejar y que dos funciones diferentes no estén en una misma capa.
  
- Niveles del modelo OSI:
  - Primer nivel: define variables físicas como valores de tensión, corriente, frecuencia, entre otros. Valores que son necesarios para lograr una transmisión de datos efectiva por medio cableado o aéreo.
  - Segundo nivel: define el mecanismo de acceso al medio de transmisión, los datos se estructuran en tramas para su correcta interpretación modular, además se comprueba si la transmisión fue exitosa.
  - Tercer nivel: encargado de direccionar los datos que viajan en varias subredes y de controlar que no se creen problemas de congestión.

- Cuarto nivel: encargado de garantizar integridad de los datos, coordina el flujo de datos y determina si los datos llegan correctamente. Para llevar a cabo estas funciones se establece que ambas partes estén listas para el intercambio de datos.
- Quinto nivel: se encarga de controlar la comunicación y de administrar permisos para los usuarios.
- Sexto nivel: se traducen los datos a un lenguaje común.
- Séptimo nivel: son las aplicaciones que los usuarios utilizan para leer, escribir, recibir y enviar datos.

Figura 8. **Capas del modelo OSI**



Fuente: elaboración propia.

#### 1.3.4.2. Ethernet industrial

Originalmente fue desarrollado por Xerox Corporation con el apoyo de Intel Corporation y Digital Equipment Corporation y ha sido la base para fundamentar el estándar IEEE 802.3. *This standard defines Ethernet local area, access and metropolitan area networks. Ethernet is specified at selected speeds of operation; and uses a common media access control (MAC) specification and management information base (MIB). The Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) MAC protocol specifies shared medium (half duplex) operation, as well as full dúplex operation. Speed specific Media Independent Interfaces (MIIs) provide an architectural and optional implementation interface to selected Physical Layer entities (PHY). The Physical Layer encodes frames for transmission and decodes received frames with the modulation specified for the speed of operation, transmission medium and supported link length. Other specified capabilities include: control and management protocols, and the provision of power over selected twisted pair PHY types.*<sup>2</sup> Comprende el nivel uno y dos del modelo de referencia OSI que corresponden a las capas física y de enlace respectivamente, además el Ethernet se ha vuelto el estándar para muchos de los fabricantes de equipos.

Originalmente se utilizaba cable coaxial para realizar la transmisión de datos, pero se ha ido mejorando para que pueda ser utilizado en: par trenzado, fibra óptica, entre otros. Mejorando así las velocidades de transferencia. Actualmente, los más utilizados son cuatro pares trenzados de categoría cinco para asegurar la transmisión en velocidades de 10Mbps. hasta 100Mbps. Utilizando conectores físicos RJ-45 con denominaciones 10BASE-T o 100BASE-TX.

---

<sup>2</sup> IEEE Standards Association. p. 1

También se utiliza la fibra óptica como alternativa cuando existen interferencias electromagnéticas demasiado grandes o las distancias superan los 100 metros, aunque la fibra óptica tiene una diferencia de costo significativa con el cable de cobre tiene la ventaja de que puede extenderse hasta 2 Km si se necesita.

#### 1.3.4.2.1. Trama de Ethernet

En la tabla I se especifica la estructura de la trama de Ethernet.

Tabla I. Estructura de la trama de Ethernet

Campos	Preámbulo	Dirección de destino	Dirección de origen	Tipo	Datos	CRC
Tamaño en bytes	8	6	6	2	46 – 1 500	4

Fuente: elaboración propia.

Este tipo de red es también llamada productor consumidor (*Broadcast*), en la cual todos los que estén conectados a la red reciben los datos que se producen, pero solo los datos que llevan la dirección correcta son aceptados.

A medida que la red se incrementa debido a que crece la industria o el número de equipos, el tráfico también se aumentará llegando incluso a saturar la red, por lo cual a esto se soluciona agregando conmutadores (*switch*) al cual se conectan redes inferiores para que administre el tráfico. Cuando una estación transmite una trama es enviada al *switch* y comprueba si la dirección de destino está dentro de sus estaciones conectadas, si no es así lo envía por medio de *backplane* de alta velocidad (1 Gbps) a la tarjeta que tiene conectada el destino.

Además, los *switch* tipo industrial permiten realizar gestión de calidad de servicio, lo que se busca es dar prioridad a los datos según el tipo que sean, debido a que en la industria se debe priorizar los datos por encima de video o voz, ya que los datos son los que enviarán la información acerca de un sensor que puede ser crucial en un proceso.

### **1.3.5. Visualización en HMI (*Human Machine Interface*)**

La visualización del contenido y la información es muy importante para tener un proceso de manera monitoreada y controlada de riesgos latentes. Generalmente un operador al ver una HMI (*Human Machine Interface*), realiza un escaneo visual empezando de la esquina superior izquierda hacia la derecha hacia abajo, por lo tanto, las alarmas deben de estar en la parte superior de la misma.

Es recomendable que los colores que se utilicen para el fondo de pantalla no sean: color primario, blanco o negro. Los colores óptimos son colores pastel como: gris suave o café suave. Por que proveen contraste para los colores más oscuros o brillantes, que se utilizan para alarmas, botones o indicadores. Además, si se crean múltiples pantallas se deben de utilizar diferentes fondos de pantalla para que se puedan identificar con solo ver el color.

Según estándares se debe de respetar los colores asignados y únicamente para estos elementos.

- Rojo: parada, emergencia o prohibición
- Verde: encendido o condición segura
- Amarillo: precaución
- Azul: operación obligatoria

Cuando se tienen diversas ventanas los botones de navegación están localizados en la parte inferior derecha que consisten de siguiente o anterior, además, si se tiene un sistema grande se crean diversas ventanas específicas, pero se tiene una general para observar todo el sistema. La parte de seguridad es muy importante debido a que dependiendo de la persona que acceda a la pantalla podrá tener diferentes niveles de acceso o visualización.

#### **1.4. Cortocircuito**

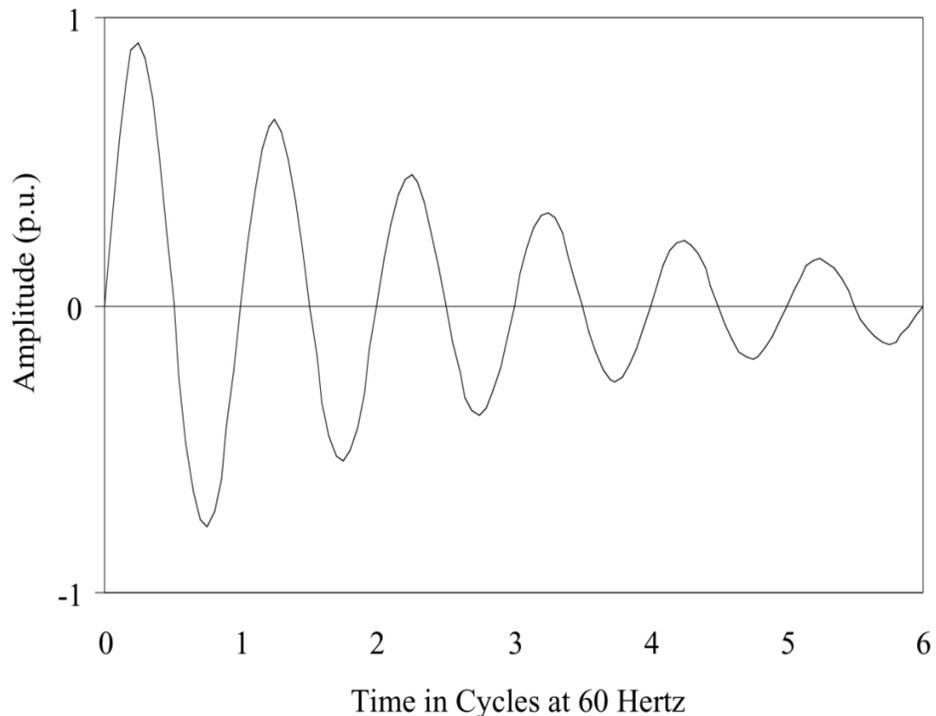
Cualquier evento que interfiere con un flujo normal de corriente es una falla. Pueden existir diversos eventos que las originan:

- Cortocircuitos
- Sobretensiones
- Sobrecargas
- Envejecimiento del aislante
- Descargas electroatmosféricas

El cortocircuito tiene un tiempo de duración en el cual se presentan tres etapas sucesorias como se muestra en la figura 9, antes que los equipos de protección actúen, las etapas se definen a continuación:

- Subtransitoria: su duración es de 0,1 segundos, es una corriente alterna amortiguada que disminuye exponencialmente respecto al tiempo.
- Transitoria: su duración es de 0,1 a 0,3 segundos, es una corriente alterna amortiguada, esta etapa se caracteriza por un decrecimiento más lento con respecto al tiempo.
- Permanente: este régimen es el que permanece hasta que la falla sea eliminada por los equipos de protección.

Figura 9. **Etapas de cortocircuito**



Fuente: *etapas de cortocircuito*. <https://bit.ly/2K2n7JX>. Consulta: noviembre de 2018.

El origen de estas fallas puede ser: humano, eventos naturales o falla de equipos.

La mayoría de las fallas son generadas por descargas electroatmosféricas. En cualquiera de estos casos se deberá de tener protecciones que soporten la corriente nominal de trabajo y las corrientes instantáneas de falla. Si las protecciones no se reconectan luego de una falla se trata de fallas permanentes. Generalmente provocadas por las fallas de fase a tierra.

Por la experiencia adquirida a lo largo de los años se ha demostrado que el 70 u 80 % de fallas son monofásicas a tierra. Aproximadamente en el 5 % de las fallas se encuentran involucradas las tres fases.

#### **1.4.1. Tipos de falla por cortocircuito**

Este tipo de fallas se presentan principalmente en alta tensión, entonces la probabilidad de que suceda en circuitos de baja tensión es pequeña.

##### **1.4.1.1. Simétricas (balanceadas)**

En este tipo de fallas la corriente en las tres fases deberá de ser igual en el instante de corto circuito:

- Cortocircuito trifásico: se presenta cuando las tres fases se ponen en contacto y es el más severo en la mayoría de los casos. La periodicidad con la que aparece este suceso es baja.
- Cortocircuito trifásico a tierra: se presenta cuando las tres fases se ponen en contacto con la tierra, pero es un caso que se da en pocas ocasiones. La periodicidad con la que aparece este suceso es baja.

##### **1.4.1.2. Asimétricas (desbalanceadas)**

En este tipo de fallas la corriente en las tres fases no es igual en el instante de corto circuito:

- Cortocircuito bifásico: se presenta cuando dos fases de las tres existentes se ponen en contacto. La periodicidad con la que aparece este suceso es media.

- Cortocircuito bifásico a tierra: se presenta cuando dos fases de las tres presentes se ponen en contacto con la tierra. La periodicidad con la que aparece este suceso es alta.
- Cortocircuito monofásico a tierra: se presenta cuando una de las tres fases presentes se pone en contacto con la tierra. La periodicidad con la que aparece este suceso es alta.

#### **1.4.2. Métodos de solución de corto circuito (componentes simétricas)**

Para tener un mejor entendimiento del comportamiento de las fallas se emplean método de solución matemática, entre los cuales se destaca el método de las componentes simétricas ya que es exacto.

De manera recurrente se encuentran sistemas trifásicos que alimentan a cargas trifásicas y al mismo tiempo monofásicas, debido a estos arreglos en las industrias se emplean 4 conductores para la alimentación, así por medio del neutro se aseguran niveles de voltaje uniformes. Generalmente los sistemas trifásicos se encuentran equilibrados debido a que las cargas de mayor consumo de potencia son trifásicas y las cargas de menor consumo son las monofásicas, entonces las monofásicas son insignificantes con respecto a las trifásicas. Sin embargo, cuando las cargas en las tres fases dejan de ser iguales se produce un sistema desequilibrado (no simétrico), por lo tanto, las ecuaciones que se utilizaban en sistemas balanceados pierden las condiciones de simetría.

Para el estudio de los sistemas no equilibrados se utiliza el método llamado componentes simétricas que permite convertir un sistema no balanceado en uno balanceado, el método fue desarrollado por Fortescue. En

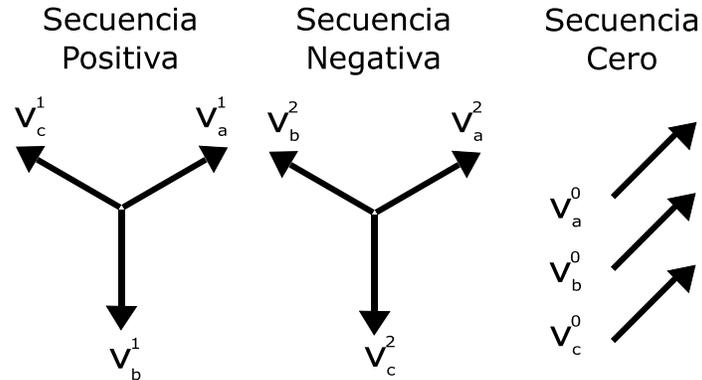
1918 se presentó al *American Institute of Electrical Engineers*, para presentar una de las herramientas que ayudan al estudio de los sistemas polifásicos no equilibrados, siendo la mayoría de los casos sistemas trifásicos.

Se debe de tener muy en cuenta la secuencia de fases para los sistemas no equilibrados ya que dependiendo de la secuencia se puede distribuir la corriente de manera distinta. Sin embargo, se toman las alimentaciones en estado perfecto. En general las componentes simétricas dependen de la componente de corriente a considerar. Normalmente al dar resolución a un problema sistema no balanceado las tres fases se etiquetan como (a, b, c). Las componentes simétricas se pueden designar como un índice: 0 para la secuencia cero, 1(+) para la secuencia positiva y 2(-) para la secuencia negativa.

Conforme al teorema de Fortescue se establece que tres fasores desbalanceados de un sistema trifásico se pueden descomponer en tres sistemas de fasores balanceados, los cuales son:

- -Secuencia cero (0): se compone de tres fasores cuyas magnitudes son iguales y desplazamiento de fase cero con respecto del otro.
- -Secuencia positiva (+): se compone de tres fasores cuyas magnitudes son iguales y desplazamiento de fase  $120^\circ$  con respecto del otro, con una secuencia de fase igual a los fasores originales.
- Secuencia negativa (-): se compone de tres fasores cuyas magnitudes son iguales y desplazamiento de fase  $120^\circ$  con respecto del otro, con una secuencia de fase opuesta a los fasores originales.

Figura 10. **Sistemas de fasores balanceados**



Fuente: elaboración propia, empleando Inkscape.

Las ecuaciones que modelan el método de las componentes simétricas son las siguientes ecuaciones:

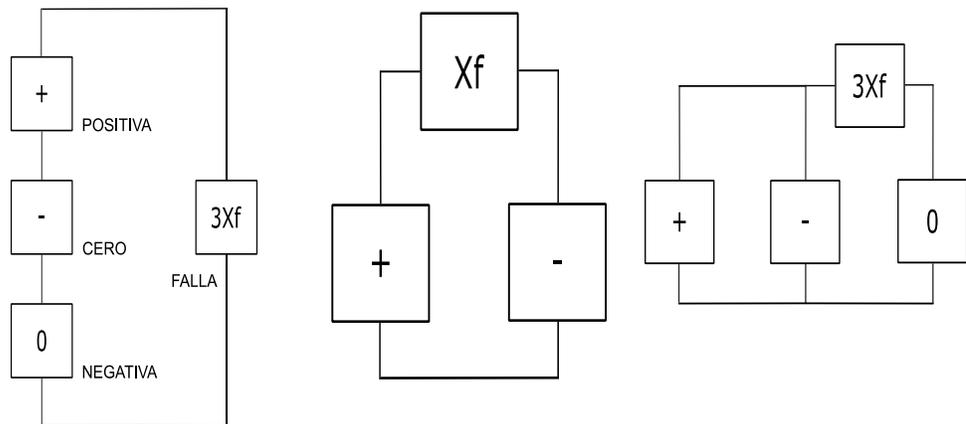
$$V_a = V_a^{(0)} + V_a^{(1)} + V_a^{(2)}$$

$$V_b = V_b^{(0)} + V_b^{(1)} + V_b^{(2)}$$

$$V_c = V_c^{(0)} + V_c^{(1)} + V_c^{(2)}$$

Las secuencias de fase: cero, positiva y negativa. Pueden ser transformadas de su forma fasorial a un circuito eléctrico equivalente. Esto es de utilidad para analizar las fallas existentes en los sistemas trifásicos. Las fallas que ocurren en los sistemas pueden ser: monofásica a tierra, bifásica y bifásica a tierra. De izquierda a derecha, respectivamente. Estos diagramas representan cada una de las fallas para realizar el análisis numérico y el análisis de circuitos eléctricos.

Figura 11. **Representación eléctrica de fallas**



Fuente: elaboración propia, empleando Inkscape.

### 1.4.3. **Componentes del cortocircuito**

Los términos simétrico y asimétrico se utilizan para describir la forma de la corriente alterna respecto del eje cero si los picos positivos y negativos no son simétricos respecto al eje cero entonces será llamada corriente asimétrica.

Es importante resaltar que en el cortocircuito no se tienen únicamente componentes de corriente alterna, sino que también se presentan componentes directas. Al inicio de la falla de cortocircuito la corriente en cualquier sistema inductivo no puede cambiar instantáneamente y para compensar esto se crea la componente DC con características especiales: es igual al valor instantáneo de la componente AC, pero con polaridad opuesta.

Para analizar el cortocircuito de manera precisa se deben utilizar programas complejos, pero se puede calcular de manera general y aproximada con un modelo. El modelo que se utilizará consiste de una fuente de voltaje senoidal ideal, resistencia, inductancia e interruptor.

#### **1.4.4. Aporte a la falla**

La Norma IEEE 141-1993 establece que los siguientes equipos son los que aportan en un evento de falla de cortocircuito, por tanto, las cargas resistivas son despreciables.

##### **1.4.4.1. Transformador**

Tienen un efecto de mitigación en el momento de la falla, esto es debido a su interacción de los campos magnéticos y la reducción de tensión. Para tomar en cuenta en el cálculo, el fabricante proporciona la reactancia de cortocircuito.

##### **1.4.4.2. Máquinas síncronas**

Tienen un efecto de generador en el momento de la falla, aunque no tenga voltaje en sus terminales la inercia lo mantiene en movimiento, lo que lo convierte en generador durante ese lapso.

##### **1.4.4.3. Máquinas de inducción**

Tienen un efecto de generador en el momento de la falla, aunque no tenga voltaje en sus terminales la inercia lo mantiene en movimiento lo que lo convierte en generador durante ese lapso.

##### **1.4.4.4. Empresa de energía eléctrica**

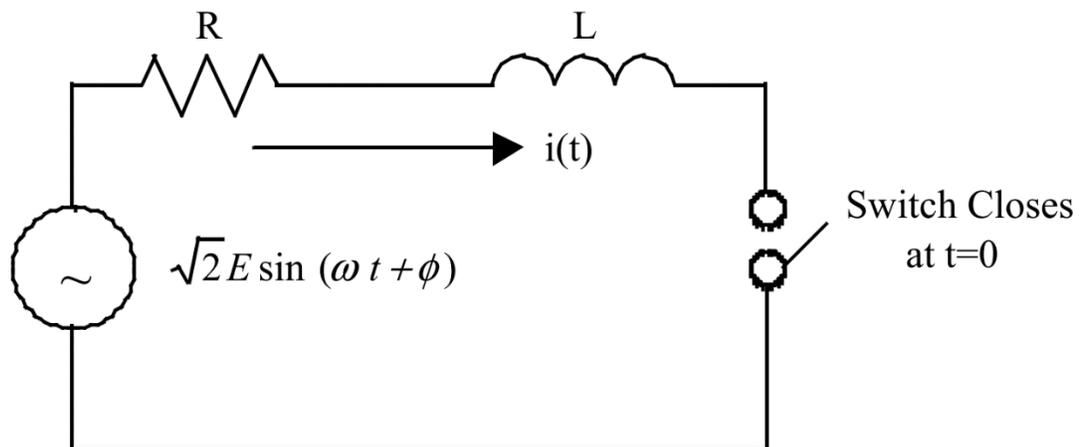
La empresa aporta la mayor parte de la corriente a la falla en lugares donde la demanda de carga es baja, debido a esto se debe de solicitar a la

empresa los datos de potencia de cortocircuito para sistemas trifásicos y monofásicos.

#### 1.4.5. Análisis del cortocircuito

El circuito mostrado en la figura 12 es una representación del circuito de alimentación utilizado en la instalación eléctrica en la cual se encuentran los equipos utilizados.

Figura 12. Circuito para análisis del cortocircuito



Fuente: *Circuito para análisis del cortocircuito*. <https://bit.ly/2K2n7JX>. Consulta: noviembre de 2018.

Donde:

R = es la resistencia del conductor

L = campo magnético del motor, transformador y conductores

Fem = transformador

La ecuación que define el circuito de la figura 12 es la siguiente:

$$Ri + L \frac{di}{dt} = \sqrt{2} E \sin(\omega t + \phi)$$

La ecuación diferencial se resuelve. Para la corriente se obtiene:

$$i = -\frac{\sqrt{2}E}{Z} \sin(\alpha - \phi) e^{-\frac{\omega t R}{X}} + \frac{\sqrt{2}E}{Z} \sin(\omega t + \alpha - \phi)$$

El tiempo esta expresado en ciclos y donde:

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{\omega L}{R} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{X}{R} \right)$$

$$X = \omega L \quad Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$i = -i_{dc} \sin(\alpha - \phi) e^{-\frac{2\pi R t}{X}} + \sqrt{2} I_{ac,rms} \sin(2\pi t + \alpha - \phi)$$

El primer término de la ecuación representa la componente de corriente directa de cortocircuito que se genera en esta falla. La corriente total de falla es la suma de tres corrientes: la corriente alterna de estado estable, la corriente alterna decreciente y la corriente directa decreciente.

$$i = i_{dc\text{decreciente}} + i_{ac\text{decreciente}} + i_{ac\text{estadoestable}}$$

$$i_{dc\text{decreciente}} = (i_{ac\text{estadoestable}}) \sin(\alpha - \phi) e^{-\frac{R\omega t}{X}}$$

$$i_{ac\text{estadoestable}} = \sqrt{2} I_s \sin(\omega t + \alpha - \phi)$$

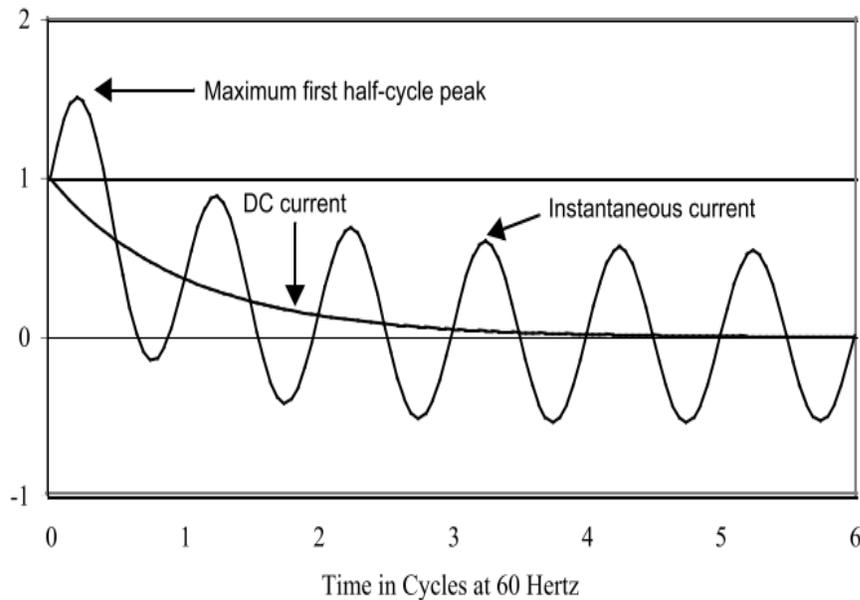
$$i_{ac\text{decreciente}} = \sqrt{2} I_s \sin(\omega t + \alpha - \phi) e^{-kt}$$

Donde:

$I_s$  = es la corriente simétrica en estado estable

t: = es el tiempo en segundos

Figura 13. **Curva de cortocircuito, tres componentes de corriente**



Fuente: *Curva de cortocircuito, tres componentes de corriente*. <https://bit.ly/2K2n7JX>. Consulta: noviembre de 2018.

#### 1.4.6. Protecciones

Las protecciones que debe de tener un autómata programable van desde protecciones físicas hasta eléctricas, entre las cuales se tienen: grado de protección, filtros eléctricos, protecciones de sobrecarga y cortocircuito. Los grados de protección IP hacen referencia a la Norma Internacional IEC 60529 utilizada principalmente en equipo eléctrico y electrónico. Las siglas IP significan *Ingress Protection*. Se utilizan 3 cifras después de las siglas IP las

cuales indican el grado de protección según sea su valor, la estructura es IPXXX que significa:

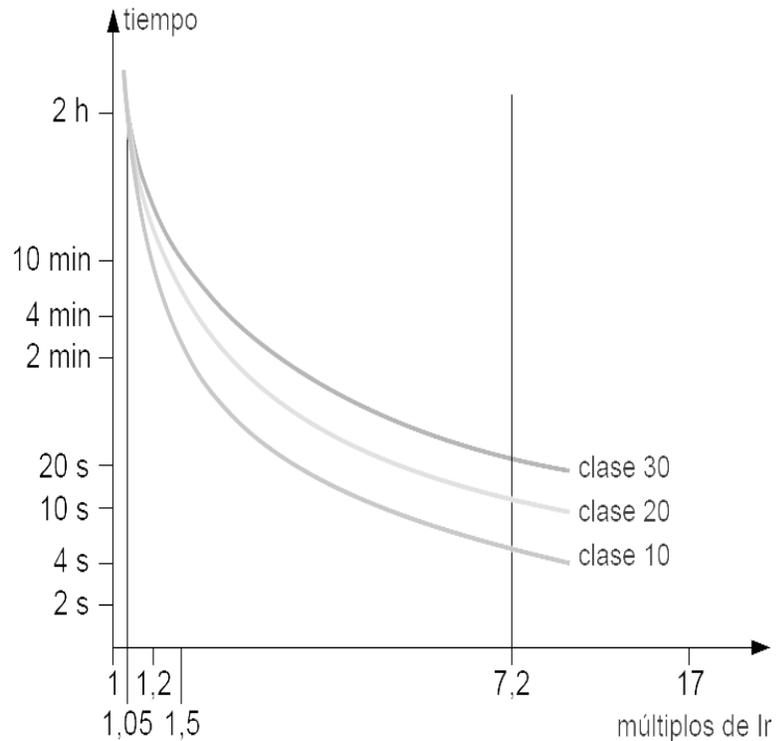
- La primera cifra indica el grado de protección contra el ingreso de partículas sólidas, siendo 1 el más bajo y 6 el más alto.
- La segunda cifra indica el grado de protección contra líquidos, siendo 1 el más bajo y 8 el más alto.
- La tercera cifra indica el grado de protección contra impacto mecánico.

La coordinación de las protecciones consiste en realizar un estudio desde la carga hasta la fuente con diferentes valores de corriente, para determinar sus diferentes tiempos de reacción. Así de esta manera decidir la ubicación de cada una de las protecciones, para garantizar: principalmente protección a las personas, minimizar daños a los equipos y dar continuidad al servicio.

Las protecciones térmicas se utilizan para detectar sobrecargas en el sistema y mitigarlas, esto se refiere a que el equipo está demandando más corriente y se aumenta la temperatura en los conductores debido al incremento de corriente. Entonces las protecciones térmicas tienen en sus contactos láminas de dos metales o también llamadas biláminas que se pueden deformar según la temperatura del conductor. Luego de ocurrida la falla dependiendo del tipo de protección térmica puede que se rearme automáticamente o manualmente. Por lo tanto, este tipo de protecciones se recomiendan para incrementos de corriente en un rango de varios segundos. Se tienen de clase 10, 20, 30. La clase indica la cantidad de segundos, que tolera la sobrecarga que se da en el arranque siendo 10, 20, 30 segundos respectivamente. Luego de este tiempo se activa la protección. También puede ser activada la protección si la corriente supera un valor de 7,2 veces el valor de la corriente

nominal de arranque del motor esto aplica a las 3 clases de protecciones térmicas. En la figura 14 se encuentran las curvas de disparo.

Figura 14. **Curva de disparo relé térmico**

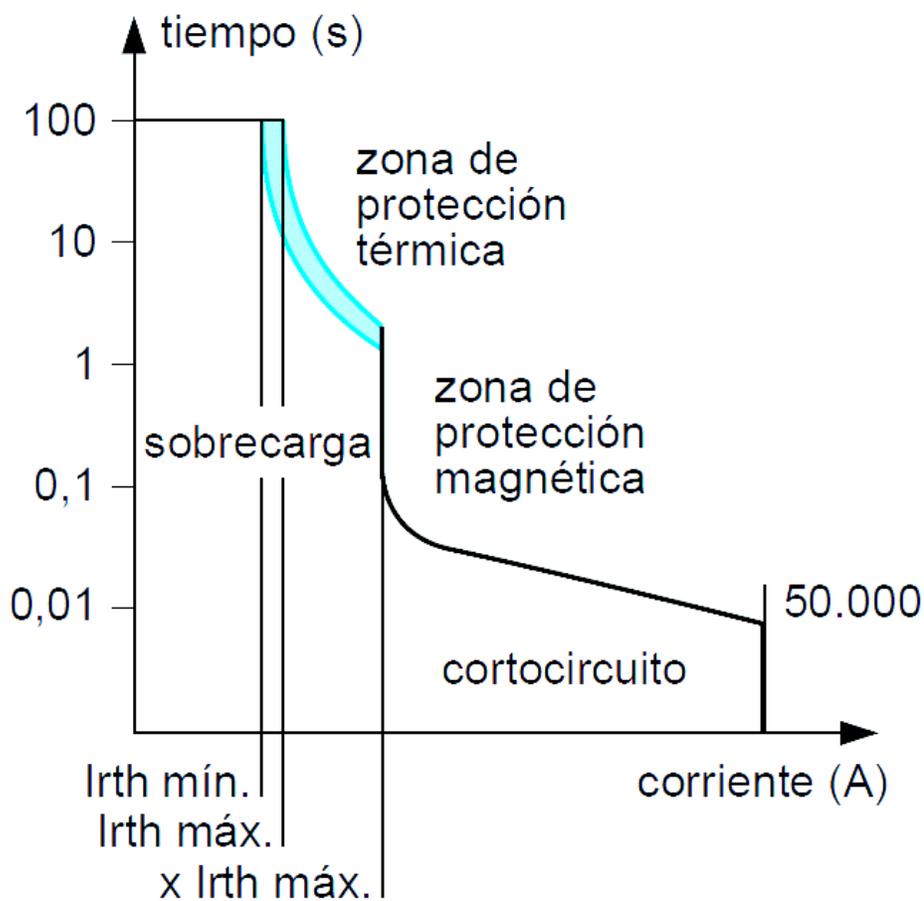


Fuente: *Curva de disparo relé térmico*. <https://bit.ly/2D6WM7x>. Consulta: noviembre de 2018.

Las protecciones magnéticas son dedicadas para la protección de cortocircuitos debido a que son más rápidos que los fusibles y se pueden volver a utilizar. Se puede configurar para que el umbral de disparo sea de tres a quince veces la corriente nominal. En funcionamiento normal la corriente circula por la bobina del electroimán y genera un campo magnético, si el valor del campo es mayor al preestablecido acciona un mecanismo mecánico que abre los contactos del disyuntor. Por lo tanto, este tipo de protecciones se recomiendan para incrementos de corriente en un rango de milisegundos.

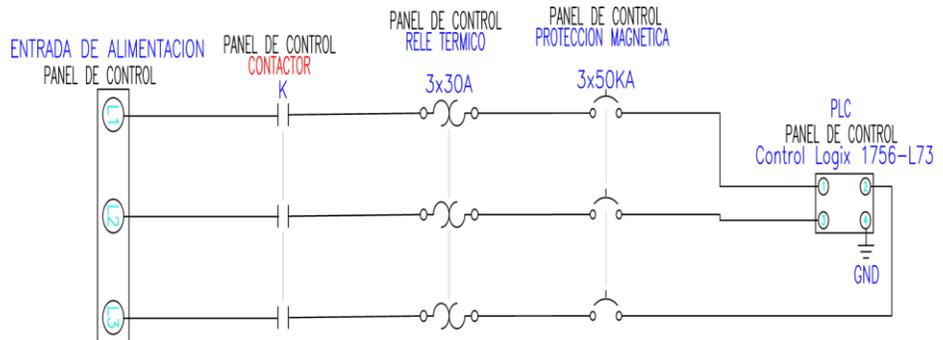
Además, existen protecciones que abarcan tanto la parte de sobrecarga como de cortocircuito, las curvas de estos dispositivos se encuentran en la figura 15. En la figura 16 se observa el diagrama eléctrico de la conexión de las protecciones al panel de control.

Figura 15. **Curva de disparo protección magnetotérmica**



Fuente: *Curva de disparo protección magnetotérmica*. <https://bit.ly/2D6WM7x>. Consulta: noviembre de 2018.

Figura 16. Protecciones eléctricas para PLC



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD Electrical 2018.

#### 1.4.6.1. Curvas de protección

Las curvas de disparo se utilizan como una guía para establecer límites de operación de los equipos, ya que los equipos se comportan diferente según materiales de construcción y ambiente de trabajo. Además, estiman con base en pruebas, los resultados que se esperan modelándolos en forma gráfica y esto aplica para una gran variedad de dispositivos de protección: fusibles, interruptores miniatura, interruptores de caja moldeada, protecciones para motor, fusibles electrónicos, relés de sobrecarga.

La necesidad de las curvas surge debido a que los dispositivos deben de proteger los equipos, pero no deben activarse cuando no se necesitan permitiendo así continuidad en el servicio. Si no se hace un buen dimensionamiento del equipo de protección entonces se pueden tener diferentes resultados. Por ejemplo, un motor que tiene una corriente pico de 30A en el arranque, pero luego va decreciendo, si el equipo de protección actúa tarde el motor sufrirá daños en el aislamiento de los devanados y si el equipo de

protección actúa tempranamente el motor nunca logrará realizar el arranque sin problemas.

Se poseen otras características que son clave y deben ser tomadas en cuenta para el análisis y dimensionamiento de los equipos de protección:

- Capacidad de ruptura de servicio ( $I_{cs}$ ): es la máxima corriente a la que el dispositivo puede interrumpir la corriente sin sufrir daño permanente.
- Capacidad de ruptura máxima ( $I_{cu}$ ): es la máxima corriente que el dispositivo puede interrumpir, pero sufrirá un daño permanente si el valor de la corriente excede a  $I_{cs}$ . Si la corriente excede  $I_{cu}$  el dispositivo no será capaz de interrumpir la corriente de falla y deberá de ser liberada por el dispositivo principal de protección que por diseño tienen una mayor capacidad.
- Corriente soportada de corta duración ( $I_{cw}$ ): es el tiempo que soporta una corriente establecida sin que el equipo presente daño, los valores se definen en los estándares internacionales. Este valor toma importancia si es colocado en serie con otros dispositivos de protección y su selectividad está determinada por el tiempo.
- Tensión nominal de aislamiento ( $U_i$ ): este valor es al que se hace referencia como el voltaje de prueba del dieléctrico y el valor de voltaje de funcionamiento nominal nunca deberá de superar al valor de aislamiento.
- Tensión nominal contra impulsos ( $U_{imp}$ ): es el valor que el equipo es capaz de soportar sobrevoltajes como descargas electroatmosféricas sin sufrir daños.

## **1.5. Comunicación remota**

Para lugares que el ambiente de trabajo es demasiado extremo o las distancias son demasiado largas, no se puede colocar cable para la transmisión de los datos, por lo que se opta por utilizar la comunicación remota que, aunque depende del servicio internet es fiable y segura.

Debido a que los datos que se transmiten por internet deben de viajar de manera encriptada para que no sean vulnerados y se presenten de manera íntegra donde sean requeridos.

### **1.5.1. VPN (*Virtual Private Network*)**

Este tipo de comunicación permite la comunicación segura entre dos puntos y posee tres componentes principales:

#### **1.5.1.1. Protocolo de seguridad**

La función del protocolo es crear una conexión segura e influye en el tipo de encriptación que se utilizará, los protocolos que existen son: PPTP (*Protocol Point To Point*), L2TP (*Layer 2 Tunnel Protocol*), OpenVPN, SSTP, IKEv2.

#### **1.5.1.2. Encriptación**

Este componente va de la mano del protocolo que se utiliza ya que dependiendo del protocolo soportará o no el tipo de encriptación, los métodos de encriptación que existen son: *Triple DES*, *RSA*, *Blowfish*, *Twofish*, *AES*, entre otros. La diferencia entre cada uno es el número de llaves y el tipo de llaves que utilizan, así como la longitud de bits de la encriptación.

### **1.5.1.3. Servidores**

Normalmente cuando se ingresa a un sitio Web se requiere a un servidor por ese sitio, luego el servidor envía la información solicitada, pero cuando se utiliza VPN primero se pasa por el servidor VPN y luego el servidor VPN le envía la información al servidor deseado.

## **1.6. Seguridad industrial y ocupacional**

Es importante para asegurar la prevención, control y eliminación de riesgos dentro de la industria. Para lograr un ambiente seguro para el personal. Esto se logra identificando los riesgos y creando planes para eliminar o reducir los riesgos existentes.

### **1.6.1. Normativa**

El Acuerdo Gubernativo 229-2014 Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional, cobro vigencia el ocho de septiembre de 2015, su objetivo es regular las condiciones generales de salud y seguridad ocupacional en que deben de ejecutar sus labores los trabajadores de patronos privados y del estado, municipalidades e instituciones autónomas, con el fin de proteger la vida, salud e integridad.

## **1.7. Sistemas de unidades de medición**

Debido a que la masa, tiempo y longitud, son fundamentales para la mayoría de otras cantidades físicas, se denominan unidades primarias o fundamentales. Todas las unidades que se pueden dar en términos de las unidades fundamentales se llaman unidades derivadas. Por conveniencia a las

unidades derivadas se las ha definido con nuevos nombres. Por ejemplo, la unidad derivada de la carga es el coulomb, en lugar de usar el nombre dimensional correcto de (A \* s). A continuación, se presenta la tabla II con las unidades de medición fundamentales y algunas de las derivadas.

Tabla II. **Unidades de medición**

Cantidad	Símbolo	Unidad	Composición
Fundamentales			
Longitud	<i>l</i>	Metro	m
Masa	<i>m</i>	kilogramo	kg
Tiempo	<i>t</i>	segundo	s
Corriente eléctrica	<i>i</i>	Ampere	A
Temperatura	T	Kelvin	K
Intensidad luminosa		Candela	cd
Complementarias			
Ángulo plano	<i>B</i>	radian	rad
Ángulo solido	$\Omega$	estereorradián	sr
Derivadas			
Área	A	metro cuadrado	$m^2$
Volumen	V	metro cúbico	$m^3$
Frecuencia	<i>F</i>	Hertz	Hz $\left(\frac{1}{s}\right)$
Densidad	$\rho$	Kilogramo por metro cúbico	$\frac{kg}{m^3}$
Velocidad	<i>v</i>	Metro por segundo	$\frac{m}{s}$
Velocidad angular	$\omega$	Radian por segundo	$\frac{rad}{s}$

Continuación de la tabla II.

Aceleración	<i>a</i>	Metro por segundo al cuadrado	$\frac{m}{s^2}$
Fuerza	<i>F</i>	Newton	$N \left( \frac{kg \cdot m}{s^2} \right)$
Presión	<i>P</i>	Newton por metro cuadrado	$\frac{N}{m^2}$
Trabajo	<i>W</i>	Joule	$J (N \cdot m)$
Potencia	<i>P</i>	watt	$W \left( \frac{J}{s} \right)$
Carga eléctrica	<i>Q</i>	Coulomb	$C (A \cdot s)$
Diferencia de potencial	<i>V</i>	volt	$V \left( \frac{W}{A} \right)$
Inductancia	<i>L</i>	henrio	$H \left( \frac{V \cdot s}{A} \right)$
Luminancia		Candela por metro cuadrado	$\frac{cd}{m^2}$
Capacitancia	<i>C</i>	Faradio	$F \left( \frac{A \cdot s}{V} \right)$
Resistencia eléctrica	<i>R</i>	ohm	$\Omega \left( \frac{V}{A} \right)$

Fuente: elaboración propia.

## 1.8. Consideraciones mecánicas

Como la propuesta involucra una estructura, se deben de tomar en cuenta los elementos mecánicos que la componen.

### 1.8.1. Tipos de carga

La selección del tipo de carga dependerá del diseño de la estructura que se utilice. Tomando en cuenta para el estudio general los dos tipos más comunes de carga, viva y muerta.

### **1.8.1.1. Carga muerta**

Es considerada la carga que esta estacionaria y que no se moverá, normalmente la estructura del sistema que se está trabajando provee la mayor parte del peso muerto la otra parte lo comprenden los dispositivos que se le agregan para realizar tareas específicas como sensores. Esta carga se puede calcular con un margen del 5 % de error.

### **1.8.1.2. Carga viva**

Es considerada la carga que siempre está en movimiento, para maquinaria se determina como el peso de la materia prima que se está utilizando para realizar el proceso y su cálculo no es tan preciso como el de la carga muerta.

### **1.8.1.3. Carga adherida**

Se debe de tomar en cuenta que para maquinaria la forma de llevar la materia prima hacia algún equipo es por medio de bandas transportadoras o tuberías, las cuales en la mayoría de los casos están adheridas al contenedor o silo donde se les procesa, por lo cual se debe de tomar en cuenta la carga extra que representan este tipo de cargas.

## **1.8.2. Tipos de esfuerzos**

Se denomina esfuerzo, a una fuerza que actúa en un área determinada, matemáticamente hablando es el cociente entre esta fuerza y el área. Dependiendo de la dirección de la fuerza con respecto al área se clasifican de distinta manera.

### **1.8.2.1. Tensión**

Es denominado como el esfuerzo que siente un elemento cuando se le aplican fuerzas axiales y estas fuerzas tienden a estirar o alargar el elemento.

### **1.8.2.2. Compresión**

Es denominado como el esfuerzo que siente un elemento cuando se le aplican fuerzas axiales y estas tienden a aplastar el elemento.

### **1.8.2.3. Torsión**

Es denominado como el esfuerzo que siente un elemento cuando se le aplican fuerzas paralelas y tienden a retorcer al elemento.

## **1.9. Agregados del concreto**

Los agregados conforman el mayor porcentaje entre 65 % y 70 % en el concreto por lo que agregan muchas características, además, dependiendo de la aplicación que se dará al concreto la Norma Técnica Guatemalteca NTG-41007 establece los requisitos y calidad de los agregados para ser utilizados.

### **1.9.1. Clasificación**

Se clasifican según su granulometría en fino y grueso, según la NTG-41007 que es equivalente a la Norma ASTM C33/C33-08 pero con modificaciones para ser adecuada a las condiciones de Guatemala. En esta norma se especifica que los agregados finos pueden ser arena natural,

manufacturada o la combinación de ambas. Los agregados gruesos pueden ser grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de alto horno enfriada con aire, concreto de cemento hidráulico triturado o combinación de estos.

El Instituto del Cemento y Concreto en Guatemala (ICCG), en su página de internet cuenta con estándares establecidos para la aplicación de los agregados, son transcripciones de los estándares ASTM, pero con orientación al país de Guatemala.



## **2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA**

### **2.1. Análisis causa, raíz**

El análisis causa, raíz (ACR), es una metodología para identificar las causas de cualquier tipo de falla que ocurra repetidas veces, permitiendo así tomar acciones determinadas y eliminar riesgos hacia personal, maquinaria o algún otro elemento involucrado. Logrando mejorar la seguridad, calidad y costo.

#### **2.1.1. Identificación del problema**

El principal problema es que no se tiene una adecuada monitorización de las variables de proceso. Los factores que inciden en esta problemática es la falta de sensores, indicadores y medios de comunicación. Para tener un mejor control del proceso tanto fuera como dentro del lugar.

#### **2.1.2. Cuantificación de fallas**

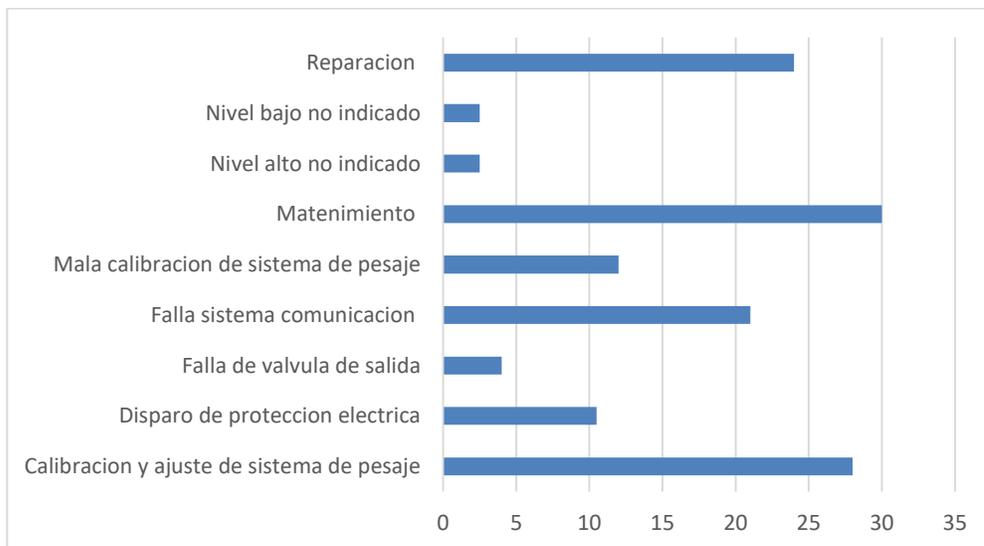
Se realizó una toma de datos durante seis meses de una de las locaciones donde están instalados los contenedores, estos datos fueron procesados, ordenados y cuantificados. Los datos fueron obtenidos de bitácoras, correos electrónicos, minutas de reuniones, registros por computadora resultados de muestreos y registros de mantenimientos. Luego se obtuvo el gráfico de la figura 17, el cual muestra la frecuencia de las fallas durante este tiempo y se determinó que el suceso más recurrente es el mantenimiento preventivo que se debe de dar a los siguientes equipos: celdas de carga, controlador de peso,

válvulas, sistemas de comunicación. Para asegurar su continuo funcionamiento seguido del ajuste del sistema de pesaje para mantener una exactitud establecida en el sistema de celdas de carga y mantener lecturas que sean válidas.

Con los datos obtenidos se puede destacar que, con un proceso mejor controlado, colocando dispositivos de medición que puedan ser interrogados. La frecuencia de las fallas y paros no deseados disminuiría significativamente, ayudando a tener un mejor índice de producción. Esto da lugar a tener mejor control de las variables del proceso, también a las fallas que ocurran pudiendo así identificarlas y mitigarlas de manera más eficiente.

Reduciendo las horas de mantenimiento, reparación, calibración y tiempos muertos de producción. Incrementando así las horas de producción y trabajo continuo.

Figura 17. **Cantidad de horas de cada falla durante 6 meses**



Fuente: elaboración propia.

### 2.1.3. Valoración de fallas

Debido a que las fallas o paros están ligadas a costos de producción se determina un total promedio por hora de paro de producción, tomando en cuenta los datos de la tabla III. Este total será de utilidad para determinar el costo total del suceso ya que en la figura 18 se presenta el costo por falla durante un periodo de seis meses.

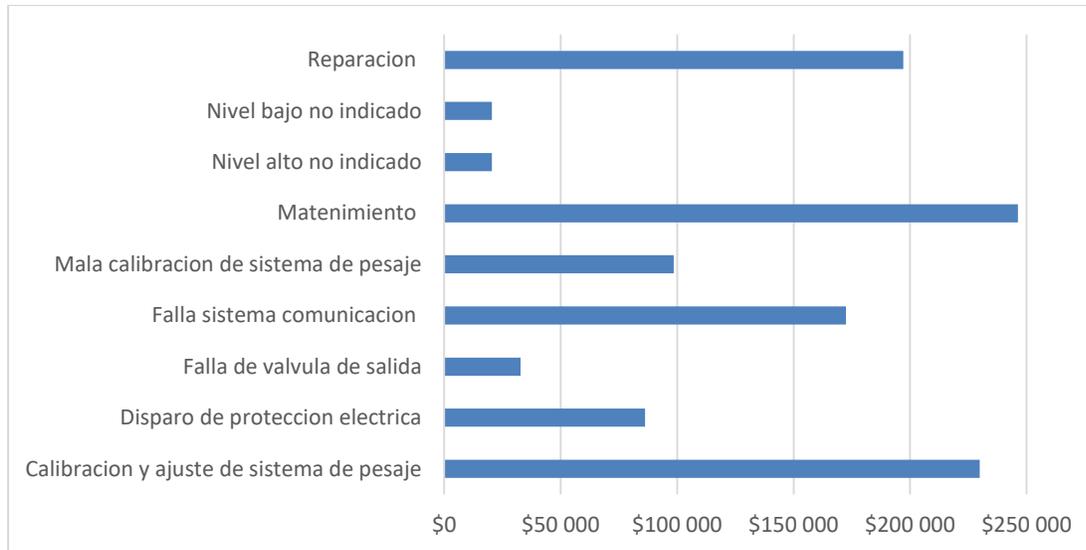
Tabla III. Costo total de una hora de no producción

Costos por mantenimiento promedio	Por hora
Mano de obra	\$ 900,0
Repuestos y materiales promedio	\$2 311,7
Tiempo perdido de producción	\$5 000.0
<b>Total</b>	<b>\$8 211,7</b>

Fuente: elaboración propia.

Los datos de la tabla III son determinados tomando en cuenta costos que se generan, pero que no se cubren durante las horas de parada, por lo tanto, se puede observar el total de pérdida que se tiene durante una hora de que no se tenga producción. El dato de los repuestos y materiales se obtuvo de sacar el valor promedio del costo total de todos los equipos, tomando en cuenta que no se sabe cuál es el que fallará.

Figura 18. Costo por falla durante 6 meses



Fuente: elaboración propia.

En la figura 18, se observa que los costos durante 6 meses son elevados, siendo el mayor gasto debido al mantenimiento que se debe de realizar, seguido de la calibración y el ajuste del sistema de pesaje. Con base en estos datos se puede determinar la necesidad de una mejora del sistema de pesaje.

#### 2.1.4. Definición del problema

El sistema que mayor problema da es el de pesaje, este sistema es el encargado de dar el peso que se encuentra en el silo y teniendo el peso se obtiene la altura del contenido que se encuentra en el silo, el sistema se desajusta cada periodo de tiempo. Debido al desajuste se debe de llevar a cabo una calibración pudiendo ser electrónica o manual, pero solo se posee la manual. Por lo cual se lleva a cabo una calibración manual llevando a cabo un proceso riguroso de aproximadamente dos horas cada vez que se requiere calibración. El proceso de pesaje involucra al personal encargado de

mantenimiento, además, de personal calificado para realizar la calibración y ajuste respectivo.

La inexactitud del sistema de pesaje ocurre cada cierto tiempo en un intervalo de una vez al mes aproximadamente, por lo cual se debe de llevar a cabo la calibración nuevamente. No ocurre en algún momento en específico solamente se vuelve menos exacta con el tiempo. El equipo se encuentra ubicado en la intemperie en la ubicación donde se encuentra el silo de llenado. Además, la falla se clasifica de tipo interna ya que solo afecta las lecturas entregadas, pero no afecta a ningún elemento de manera física.

Las barreras de control tanto físicas como administrativas que se tienen identificadas son: procedimientos, protecciones eléctricas y sensores.

Los procedimientos establecen que se debe hacer en cada situación que se presenta, pero no cubre todos los aspectos debido a que las posibilidades de los diferentes acontecimientos son variadas.

Las protecciones eléctricas actúan cuando existen sobrecargas o cortocircuitos, únicamente entonces esto es parte de su limitación de protección.

Los sensores obtienen la información del nivel del silo, pero solo miden el valor de las variables a las que fueron asignados, por lo que su alcance no les permite determinar de mejor manera el problema que existe.

## **2.2. Estudio económico**

La inversión inicial tiene un costo total en equipos, como se puede observar en la tabla IV, la inversión queda justificada ya que representa un

menor tiempo perdido en mantenimientos, ajustes y calibraciones. Además, reduce tiempos de parada e incrementa la productividad total de la planta.

Tabla IV. **Costos de equipos**

Código	Description	Ud.	Total
1756-GENERIC	Generic1756 Module for covering	3	\$45,00
1756-IB16	10-31 VDC Input 16 Pts (20 Pin)	1	\$413,00
HI6010JB-PC2	Summing box IP66 protection	1	\$490,00
1756-A7	1756 Chassis 7 slots	1	\$582,00
HILPTLB-1.1KLB-43C	Tension load cell type S	3	\$2 370,00
Lock 200	Tosibox remote communication	1	\$910,00
1756-OB16D	19-30 VDC Diagnostic Output 16 Pts (36 Pin)	1	\$937,00
ED motorized iris valve	Electric Valve Series E	1	\$1 000,00
1756-PA75	85-265V AC Power Supply (5V @ 13 Amp)	1	\$1 277,00
HI4050-DR-AC-EIP-N2-N3-N4	Weight Controller	1	\$1 650,00
1756-ENBT	Ethernet 10-100M Bridge Module	1	\$2 573,00
2711P-T12W22A9P	Graphic Terminal, Performance Model	1	\$5,410.00
1756-L73	Logix5573 Controller With 8 Mbytes Memory	1	\$12,663.00
Total		17	\$30 320.00

Fuente: elaboración propia.

En la tabla V se presenta el cálculo de la tasa interna de retorno (TIR). Lo que indica el estudio es que si la TIR es igual a cero, entonces el proyecto se pagara, asimismo, pero no genera ganancia alguna, sucederá entonces que si la TIR es mayor a cero si generará ganancia a lo largo del periodo establecido, siendo 6 meses en este caso. Por lo tanto, se puede decir que la inversión es viable.

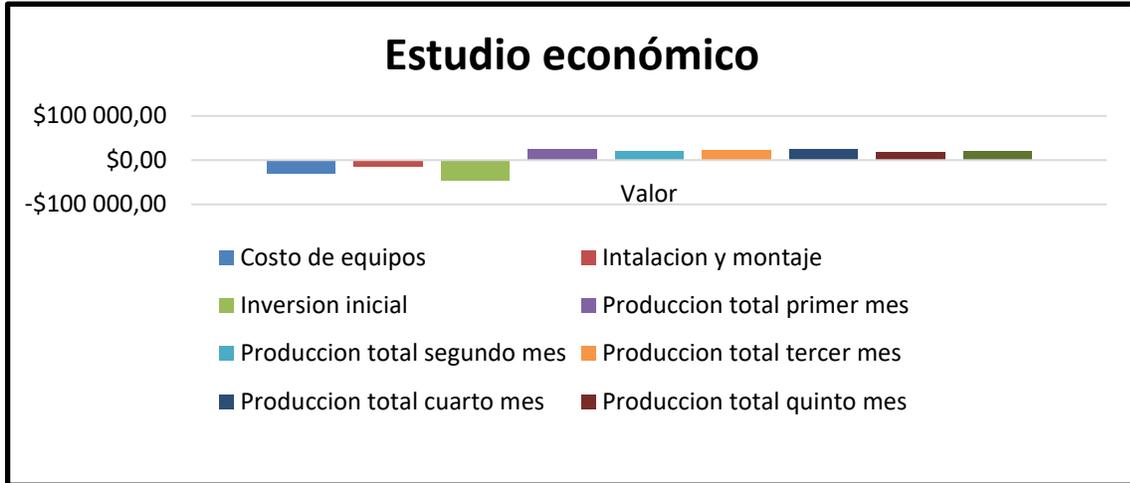
Los datos de la producción total de cada mes toman en cuenta paros de quince minutos al mes para realizar mantenimientos programados, los gastos que generan estos paros están contemplados en la tabla III. En la figura 19 se puede observar gráficamente los datos de la tabla V.

Tabla V. **Cálculo de la tasa interna de retorno**

Descripción	Valor
Costo de equipos	-\$30 320,00
Instalación y montaje	-\$15 000,00
Inversión inicial	-\$45 320,00
Producción total primer mes menos mantenimiento	\$22 947,08
Producción total segundo mes menos mantenimiento	\$18 947,08
Producción total tercer mes menos mantenimiento	\$19 947,08
Producción total cuarto mes menos mantenimiento	\$23 947,08
Producción total quinto mes menos mantenimiento	\$15 947,08
Producción total sexto mes menos mantenimiento	\$17 947,08
TIR (tasa interna de retorno)	39 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Estudio económico



Fuente: elaboración propia.

### **3. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL**

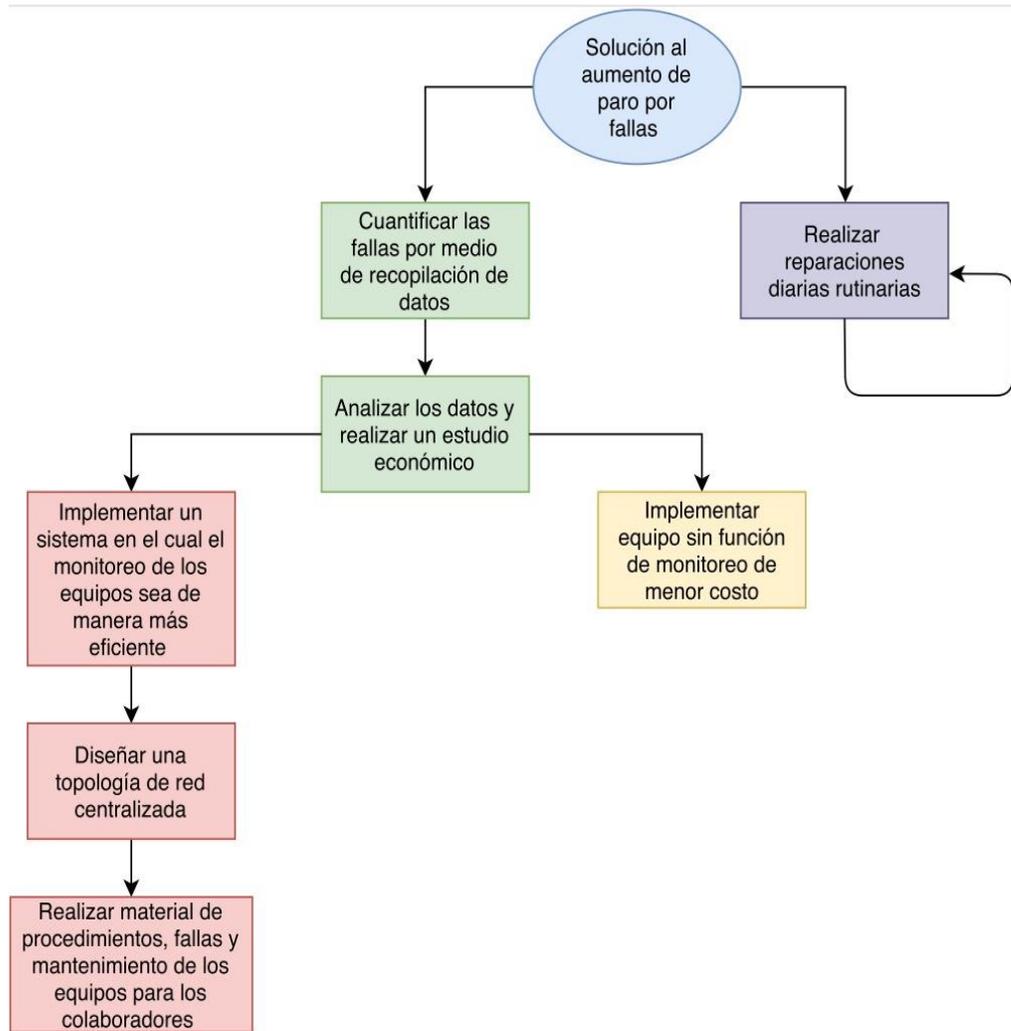
#### **3.1. Diagrama de solución**

Tomando en cuenta los datos obtenidos y el análisis realizado en el diagrama de solución mostrado en la figura 20 se determina que lo siguiente es el mejor plan de mejora a seguir:

- Realizar un análisis de los datos además, de un estudio económico.
- Diseñar una topología de red eficiente y centralizada que permita fácil detección de fallas con los equipos que se utilizarán.
- Elaborar material para los colaboradores que incluya, manuales, procedimientos y prácticas.

En la figura 20 se describe el diagrama de soluciones.

Figura 20. Diagrama de soluciones



Fuente: elaboración propia, empleando Inkscape.

### 3.2. Dimensionamiento de equipos

Tomando en cuenta aspectos mecánicos, eléctricos y estructurales se especificarán las características de cada uno de los equipos y que cumplan con los requerimientos de la propuesta del proyecto.

### **3.2.1. Gabinete**

Debido a que la aplicación es en un ambiente desgastante, se utilizará un gabinete con grado de protección IP66. Los grados de protección se encuentran en los anexos 1, 2 y 3. Basados en el estándar británico EN 60529. *This standard applies to the classification of degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment with a rated voltage not exceeding 72,5 kV.*<sup>3</sup>

Se selecciona un grado de protección seis para el ingreso de sólidos y líquidos lo que asegura que el equipo este totalmente protegido contra el ingreso de polvo y para el ingreso de partículas de agua, su protección será contra lanzamiento de agua en todas las direcciones.

Los gabinetes son lavados para darles mantenimiento y asegurar el buen funcionamiento. Para el ingreso de los cables al gabinete, se utilizará prensa estopa con grado de protección IP68, debido a que los cables tienen cierta movilidad y esto puede afectar.

Obteniendo el grado de protección de cada elemento se pueden comparar entre ellos para determinar el de menor valor, por lo tanto, el elemento que tiene el menor valor de grado de protección es el que impone el grado de protección a todo el gabinete.

### **3.2.2. Conductores**

Se utilizarán conductores tipo THHN (*Termoplastic High Heat Nylon*), que está diseñado para temperatura de hasta noventa grados Celsius y con una protección de nylon para oponerse a la humedad. Este tipo de conductor se

---

<sup>3</sup> IEC. *British Standard*. p. 5.

utilizará para los circuitos de potencia. Se identificarán los conductores de fase con fundas de color rojo, azul y negro. El conductor de neutro se identifica con funda de color blanco. El conductor de tierra puede estar con funda de color verde, verde-amarrillo o sin funda alguna. Esto con base estándar IEC 60446. *This International Standard provides general rules for the use of certain colours or alphanumerics to identify conductors with the aim of avoiding ambiguity and ensuring safe operation. These conductor colours or alphanumerics are intended to be applied in cables or cores, busbars, electrical equipment and installations.*<sup>4</sup>

Se utiliza la potencia aparente en el cálculo de los conductores porque depende del factor de potencia del sistema. Los factores que tomar en cuenta en el cálculo del calibre de los conductores son: la temperatura ambiente, el servicio continuo, el material de la tubería y el número de conductores dentro de la tubería.

La temperatura ambiente del lugar está en un promedio de 25 °C por lo que utilizando este valor como referencia se determina que el valor del factor de corrección por temperatura ambiente es 1,14 con base en la tabla 310.16 proporcionadas por el NEC. La tabla utilizada se encuentra en el anexo 4.

Se determina que por ser una aplicación de tipo industrial será de servicio continuo por lo que el factor de corrección por servicio continuo es 0,8 ya que estará en uso por más de 3 horas continuas. Por ser industria se utilizará tubería metálica galvanizada para transportar los conductores, por lo que el factor de corrección por material de tubería es de 1, debido a que por ser metálica tiene mejor disipación del calor.

---

<sup>4</sup> IEC. *International Standard*. p. 6.

El número de conductores se determina por el número de conductores activos que se lleven dentro de la tubería, para esta aplicación el factor por número de conductores será 0,8 debido a que se tendrán de 4 a 6 conductores por tubería.

$$S = VI_N \quad \rightarrow \quad I_N = \frac{S[VA]}{V[V]}$$

$$I_T = \frac{I_N}{FC_{temp. ambiente} + FC_{servicio continuo} + FC_{material tubería} + FC_{\# conductores}}$$

$$I_N = \frac{100 (PLC) + 174 (válvula) + 7(tosibox) + 50(HMI) + 10(HI4 050)}{240}$$

$$1,42A \times 120 \%(seguridad)$$

$$I_N = 2,046A \quad \rightarrow \quad I_T = \frac{2\ 046}{1,04 \times 0,8 \times 1 \times 0,8} = 3,07 A$$

Con base en los cálculos realizados, tomando en cuenta todos los factores y con la tabla 310.16 del NEC se establece que se puede utilizar un conductor calibre 18 AWG tipo THHN o THHW para realizar la instalación eléctrica de alimentación. Para proteger el conductor flexible en el artículo 240.5 de NEC establece que se debe de proteger con un con dispositivos de sobrecorriente de acuerdo a su ampacidad.

Se sugiere colocar un generador eléctrico de respaldo para tener un sistema que tenga continuidad de servicio y así accionar los equipos de respaldo en caso de un corte de energía o fallo de alimentación.

La corriente de cortocircuito se caracteriza por tener incrementos de manera inmediata y de valores que son equivalentes a varias veces el valor nominal. A continuación, se realiza el cálculo de la corriente de cortocircuito para determinar el valor mínimo que deberá tener la protección. Basados en los datos de la propuesta del proyecto. Para esto se supondrá que la alimentación (el centro de transformación), se encuentra a una distancia considerable, se desprecia la inductancia de los conductores y se toma la falla de fase a tierra como la más desfavorable.

$$I_{cc} = \frac{0,8U}{R}$$

La resistividad del cobre a 20 °C es  $\rho = 0,018mm^2/m$ , el valor de la resistencia R toma en cuenta resistividad, distancia hacia la alimentación, área del conductor. Además, se toma en cuenta la tensión de alimentación U.

$$R = \rho L/S \quad R = 0,018mm^2/m * (28m * 2)/2,08mm^2 \quad R = 0,485 \Omega$$

$$I_{cc} = \frac{0,8(230V)}{0,485\Omega} = 379,4 \text{ Amperios}$$

### 3.2.3. Estructura mecánica

La estructura es la parte encargada de soportar el contenedor en este caso un silo de almacenamiento, además, debe proporcionar estabilidad para obtener lecturas correctas en las celdas de carga.

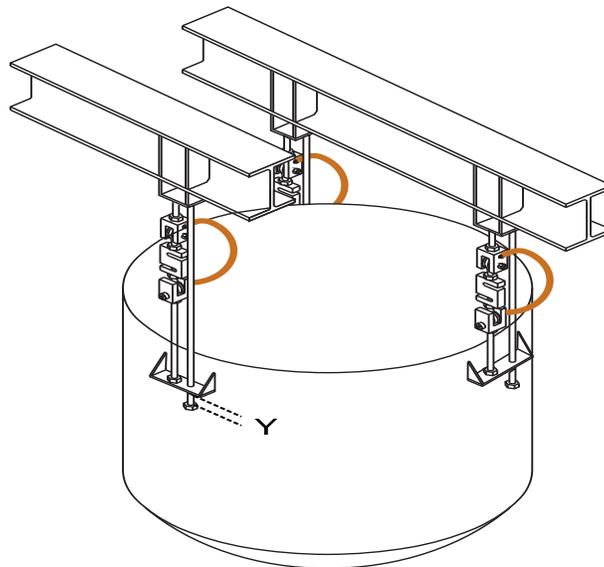
Debe poseer una apropiada puesta a tierra para drenar las fallas de manera adecuada y no dañar las celdas de carga como se observa en la figura 21, unos conductores hacen un puente entre las articulaciones inferior y

superior para que la celda de carga no se vea afectada por descargas de tipo atmosférico o estático.

Una protección mecánica se puede agregar, colocando pernos paralelos al conjunto de celda de carga y soportes. La distancia  $Y$  extra que tienen los pernos con respecto a la celda de carga y soportes, se calcula con base en la carga segura que proporciona el fabricante de la celda, así al momento de colocar una carga mayor a la prevista se tiene una protección y la celda no sufre daño alguno ya que no excede su límite elástico.

El método más conveniente para colocar los soportes es un arreglo de tres soportes colocados  $120^\circ$  entre sí para una distribución equitativa de la carga como se muestra en la figura 21. Internamente se debe de colocar un cono para que el material granular se distribuya de manera correcta en el silo como se muestra en la figura 22.

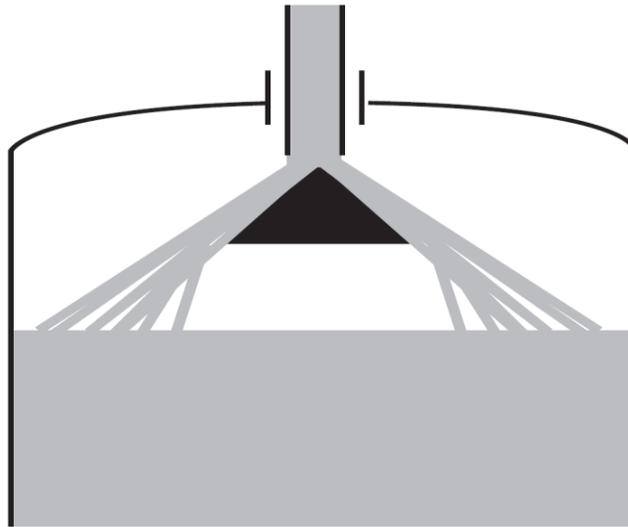
Figura 21. **Estructura de soporte para el silo**



Fuente: *Weigh modules & vessel weighing systems installation and system guidelines.*

<https://bit.ly/2VqeILL>. Consulta: 3 de septiembre de 2018.

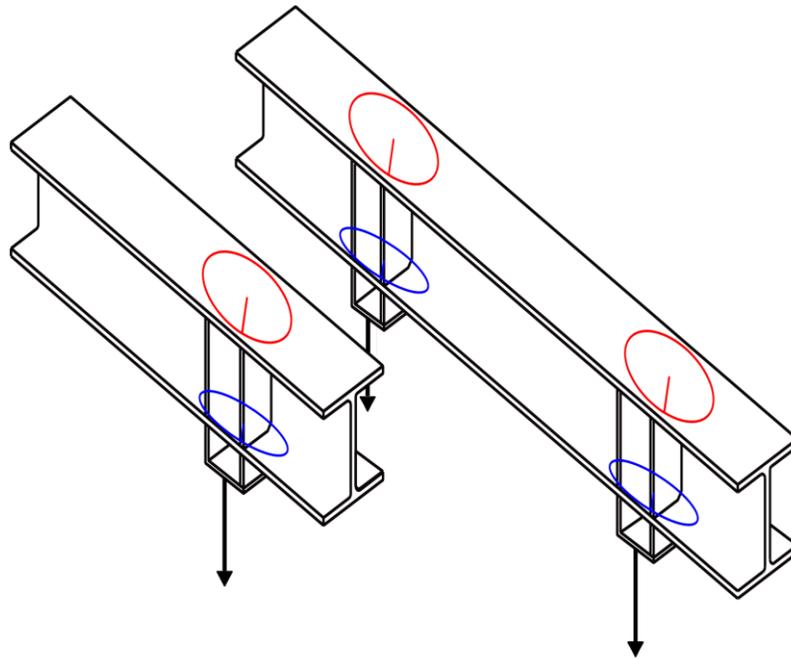
Figura 22. **Distribución de material granular**



Fuente: *Weigh modules & vessel weighing systems installation and system guidelines*.  
<https://bit.ly/2VqeILL>. Consulta: 3 de septiembre de 2018.

La estructura se ve expuesta a flexión, esto quiere decir que posee esfuerzos tanto de compresión como de tensión por lo que las vigas que sostienen el contenedor deben ser capaces de soportar los esfuerzos. En la figura 23, se representan con color rojo los esfuerzos a tensión, con color azul los esfuerzos a compresión y con una flecha la dirección de la fuerza que ejerce el contenedor sobre la estructura.

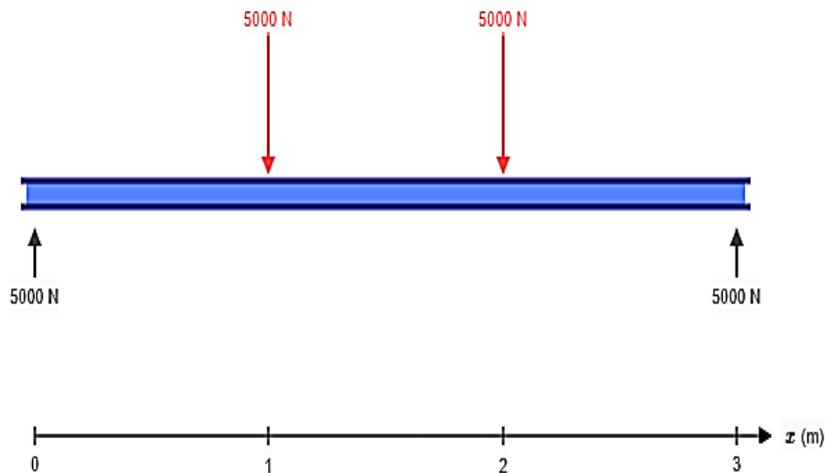
Figura 23. **Esfuerzos mecánicos en la estructura**



Fuente: elaboración propia, empleando Inkscape.

En la figura 24 se representa el elemento estructural de la figura 23 que posee dos fuerzas de tensión, se representa de tal manera que pueda analizarse estructuralmente, mediante el programa *Cloud Engineering software*, se determinan, el valor de las fuerzas a las que estarán expuestos los apoyos y deben soportar en condiciones máximas.

Figura 24. **Análisis estructural de viga**



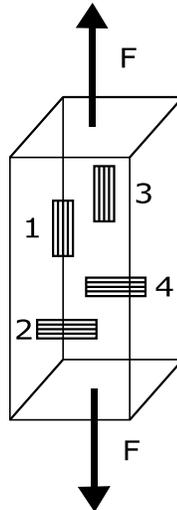
Fuente: elaboración propia, empleando Cloud Engineering software.

Adicional a esto las uniones entre las vigas de soporte y los cargadores donde se instalarán las celdas de carga deben de ser con pernos o soldadura que soporten las fuerzas indicadas anteriormente en la figura 24 que corresponden a las reacciones de 5 000 N cada una en los extremos para soportar el contenedor. Si fuese soldadura que es la mayoría de los casos se debe de utilizar electrodo de penetración para que la soldadura sea lo más resistente, además de utilizar electrodo de presentación para protección de la soldadura de penetración.

### **3.2.4. Celdas de carga**

El arreglo eléctrico interno que posee cada celda de carga es un puente de Wheatstone, el cual está conformado por cuatro galgas extensiométricas las cuales se colocan en el orden mostrado en la figura 25 representativa de la celda de carga. Este arreglo se coloca de tal manera que la celda de carga sea capaz de percibir las deformaciones axiales y transversales al mismo tiempo.

Figura 25. Arreglo de galgas extensiométricas



Fuente: elaboración propia, empleando Inkscape.

Luego se analiza el puente de Wheatstone por el método de superposición variando una resistencia del puente Wheatstone a la vez, para luego obtener el resultado.

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4$$

$$\frac{R_2}{R_2 + R_1 + \sigma R_1} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} = \frac{R}{2R + \sigma R} - \frac{1}{2} = -\frac{\sigma R}{4R + 2\sigma R}$$

$$\frac{R_2 + \sigma R_2}{R_2 + \sigma R_2 + R_1} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} = \frac{R + \sigma R}{2R + \sigma R} - \frac{1}{2} = \frac{\sigma R}{4R + 2\sigma R}$$

$$\frac{R_2}{R_2 + R_1} - \frac{R_3 + \sigma R_3}{R_3 + \sigma R_3 + R_4} = \frac{1}{2} - \frac{R + \sigma R}{2R + \sigma R} = -\frac{\sigma R}{4R + 2\sigma R}$$

$$\frac{R_2}{R_2 + R_1} - \frac{R_3}{R_3 + R_4 + \sigma R_4} = \frac{1}{2} - \frac{R}{2R + \sigma R} = \frac{\sigma R}{4R + 2\sigma R}$$

$$\left(-\frac{\sigma R}{4R + 2\sigma R} + \frac{\sigma R}{4R + 2\sigma R} - \frac{\sigma R}{4R + 2\sigma R} + \frac{\sigma R}{4R + 2\sigma R}\right)$$

$$\left(-\frac{\sigma R_1}{4R_1} + \frac{\sigma R_2}{4R_2} - \frac{\sigma R_3}{4R_3} + \frac{\sigma R_4}{4R_4}\right)x(-1) = \frac{1}{4}\left(\frac{\sigma R_1}{R_1} - \frac{\sigma R_2}{R_2} + \frac{\sigma R_3}{R_3} - \frac{\sigma R_4}{R_4}\right) = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

Los valores del cambio de resistencia  $\sigma R$  se eliminan debido a que el cambio en las galgas es demasiado pequeño con respecto a la resistencia de la galga por lo que se pueden despreciar para realizar el análisis del puente. Además, la deformación unitaria está relacionada entre el cambio de la resistencia y el valor inicial de la resistencia, acompañado de una constante de proporcionalidad que es  $k$  también llamado el factor de galga que para galgas extensiométricas metálicas es de dos pero el fabricante debe de especificarlo.

$$\epsilon \cdot k = \frac{\sigma R}{R_o} \rightarrow \frac{k}{4}(\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4) = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

Además, tiene el módulo de Poisson  $\nu$ , el cual establece una relación entre la deformación transversal y longitudinal que existe en la celda de carga, pero solamente es válido en la región elástica del material, debido a esto se debe establecer un límite de carga. Este valor depende del material de la celda que se trabajará en este caso será un acero inoxidable 17-4ph el cual se establece que tiene un módulo de Poisson en un rango de 0,27 a 0,3.

$$\nu = -\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \rightarrow \epsilon_1 = \epsilon_3 \text{ y } \epsilon_2 = \epsilon_4 \rightarrow \epsilon_2 = -\epsilon_1\nu$$

$$\frac{k}{4}(\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4) = \frac{V_{out}}{V_{in}} \rightarrow \frac{k}{4}(\epsilon_1 - (-\epsilon_1\nu) + \epsilon_1 - (-\epsilon_1\nu)) = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$\frac{k}{4} (2,57\epsilon_1) = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

Finalmente, se obtiene la ecuación de salida de voltaje en la celda de carga de la manera la simplificada.

La carga viva y muerta se utilizan para dimensionar y distribuir de manera adecuada la carga en las celdas.

La carga muerta es el peso que representa la carga que siempre estará presente o visto de otra manera de forma estática, en este caso será el peso del silo más el peso adherido de los componentes como válvulas, indicadores y accesorios extras. La carga viva es la que se encuentra en estado cambiante, pero dentro de límites establecidos y deberá ser dentro de los límites establecidos, debido a que el análisis estructural se realizó con base en estos valores y si se exceden el riesgo de que ocurra un accidente aumenta.

Tabla VI. **Distribución de la carga**

Tipo de carga	Capacidad [Kg]	Descripción
Muerta	300	Peso del contenedor
Muerta	50	Peso adherido al contenedor
Viva	250	Cantidad máxima en el contenedor

Fuente: elaboración propia.

$$capacidad\ minima = \frac{carga\ muerta + carga\ viva}{Núm.\ de\ puntos\ de\ carga}$$

$$capacidad\ minima = \frac{250\ carga\ viva + 300\ carga\ muerta + 50\ carga\ muerta}{3\ celdas\ de\ carga}$$

$$\text{capacidad minima} = \frac{600Kg}{3 \text{ celdas de carga}} = 200 Kg$$

$$Fs (\text{factor de seguridad}) = \frac{\text{capacidad permitida}}{\text{capacidad nominal}} = \frac{\text{nominal} \times 150 \%}{\text{nominal}}$$

$$Fs = \frac{200 \times 150 \%}{200} = 1,5$$

La carga mínima por cada celda de carga a tensión es de 200 Kg, pero no se trabaja en condiciones de frontera por lo que se utiliza un factor de seguridad. Entonces con base en los resultados se debe utilizar celdas de carga de 300 Kg como mínimo, para soportar cargas inesperadas.

Además, el fabricante de celdas de carga especifica un valor seguro de carga, luego un valor máximo seguro de carga mayor al anterior y finalmente un valor último de carga, donde la celda falla mecánicamente el cual es aún mayor al valor anterior.

Si se sobrepasa el valor máximo seguro entonces se excederá el límite elástico que determina en la curva ingenieril esfuerzo y deformación. Este límite indica que cuando el material sometido a esfuerzo tiene deformaciones, pero estas ya no son reversibles. Debido a esto se debe respetar la máxima carga segura, porque de lo contrario existiría daño irreversible e incluso falla mecánica no solamente en las celdas de carga sino que hasta en la estructura misma.

Las celdas de carga que se utilizarán son tipo S según hoja de datos <https://bit.ly/2AvbSTH>, de la empresa *Hardy instruments* con una capacidad de 500 Kg ya que es la capacidad próxima superior a la que se calculó las especificaciones de esta celda se observan en la tabla VII.

Tabla VII. **Especificaciones de la celda de carga**

Especificación	Valor
Modelo	HILPTLB-1.1KLB-4_C
Salida	2 + 0,1 % mV/V
Carga máxima	500Kg
Límite carga segura	200 % Emax
Última carga	300 % Emax
Protección	IP67
Material	Acero inoxidable 17-4PH
Garantía	2 años

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.5. **Calibración**

El proceso de la calibración es importante para ajustar nuevamente la exactitud del instrumento y de esta manera obtener mejores lecturas y tener procesos más eficientes y controlados. La calibración puede ser de dos maneras: manual o electrónica. En la tabla VIII se presentan las principales diferencias, de los dos métodos.

Tabla VIII. **Comparación entre los tipos de calibración**

Características	Tradicional	Electrónico C2
Tiempo del proceso	Horas	Segundos
Proceso estandarizado	Si	Si
Utiliza pesos patrón	Si	No
Es un proceso riesgoso	Si	No
Es trazable	Si	SI
Se contamina el área	Si	No

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.5.1. **Calibración manual**

Primero se verifica el sistema por una inspección visual que todo esté de manera correcta luego se despeja la balanza y no se coloca ningún peso y se hace un captura de Zero en el controlador de peso, después se coloca entre el 80 % a 100 % de la capacidad de la balanza preferiblemente un 100 %, debido a que en la mayoría de aplicaciones el peso es grande se tiene la complicación que no es factible colocar el 100 % o incluso el 80 % de la carga ya que mover esta cantidad de carga es peligroso y demanda demasiado tiempo, además, no se tienen pesos patrones certificados de esta dimensión.

Los beneficios de este tipo de calibración es que si se utilizan pesos patrones certificados entonces la calibración tiene trazabilidad y cumplirá con requerimientos de estándares.

Lo complicado de este método es el manejo inseguro de pesos patrón demasiado grande, que los tiempos de realización de la calibración son

demasiados extensos por lo que los tiempos sin producción se alargan. Si se utilizan pesos patrón como en otros procesos se contaminará el lugar teniendo que realizar una limpieza posterior.

### **3.2.5.2. Calibración electrónica**

Es un método alternativo que se utiliza en aplicaciones donde los pesos patrón serían demasiado grandes y los tiempos de parada son críticos. Este método busca ser igual o más exacto que la calibración manual reduciendo los efectos negativos del manual.

Si el fabricante de la celda de carga hace la calibración con el 100 % del peso entonces toda esta información es reunida y guardada en un chip que acompaña a la celda de carga, como se observa en la figura 26 es el cuadro llamado C2. Además, el fabricante sigue procedimientos extra como, por ejemplo: realizar la calibración de acuerdo con los lineamientos de la ISO9001 y las mediciones se realizan con un voltímetro con adecuado al proceso. Los procedimientos extra ayudan a que se ahorre tiempo en la calibración y que se pueda tener confianza en la calibración realizada.

### **3.2.6. Caja sumadora**

Su función es reunir los cambios individuales de cada una de las celdas de carga y enviar al controlador el cambio de voltaje, además puede verificar el estado de cada una de las celdas de carga, sobre cuál es su valor de salida. La mejor opción es la caja suma HI6010IT-PC2 según hoja de datos <https://bit.ly/2TvhTHe>.

Tabla IX. **Características caja suma**

Material	Policarbonato
Protección	IP66 o Nema 4x
Rango de temperatura	-10 °C a 60 °C
Diámetro de cable	22 a 24 AWG
Garantía	2 años

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.7. **Controlador de peso**

Se utilizará un controlador de peso *Hardy Instruments* que es el encargado de procesar la información enviada por la celda de carga y luego del procesador ya la información puede ser enviada al PLC, para tomar decisiones con esta información. Se utilizará un controlador de peso HI4050 según hoja de datos <https://bit.ly/2Vxwdk2>.

Estos controladores pueden ser pedidos al fabricante de la manera que mejor se adecue a la aplicación por lo que pedirá con las características mostradas en la tabla X.

Tabla X. **Características del controlador de peso**

Atributo	valor
DR	Riel DIN
AC	Fuente de alimentación AC 110-240
EIP	Ethernet/IP Comunicación
N2	No opción de red
N3	No opción auxiliar
Código fFinal	HI 4050-DR-AC-EIP-N2-N3

Fuente: elaboración propia.

Debido a que el ambiente donde esta colada la celda de carga es bastante desgastante el cable de comunicación entre el controlador de peso, la caja suma y la celda de carga. Se utiliza un cable especializado que está protegido contra ingreso de humedad y tiene una impedancia constante.

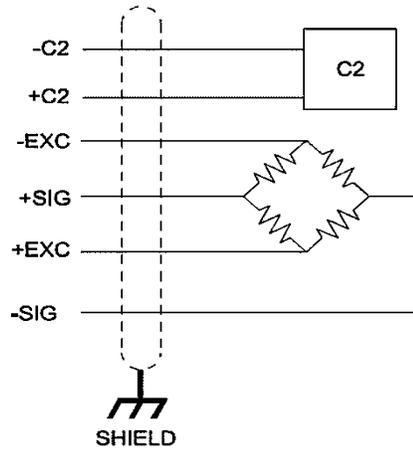
El cable C2 de la empresa *Hardy instruments* cumple con los requerimientos que se muestran en la hoja de datos <https://bit.ly/2R5pJdT>, tales como tener una cubierta exterior que lo protege de la humedad que es de un material de vinil. Además, posee una pantalla mecánica de cobre que aísla eléctricamente los conductores internos para que no se sean afectados por señales externas que es algo típico en las industrias. También posee una cubierta de mylar que le agrega resistencia al cable, este material es duradero, ofrece resistencia al corte, además se mantiene flexible y no envejece. Posee siete conductores calibre 22 los cuales están identificados por color como se muestra en la tabla XI.

Tabla XI. **Identificación cable C2**

Excitación +	Verde
Excitación -	Negro
Señal +	Blanco
Señal -	Rojo
C2+	Gris
C2-	Violeta
Blindaje	Amarillo

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Arreglo eléctrico de cable C2**



Fuente: *An explanation of traditional and C2 calibration/validation method & use.*

<https://bit.ly/2Tv0q1H>. Consulta: 20 de septiembre de 2018.

Con base en las lecturas de las celdas de carga se puede obtener el nivel dentro del contenedor, se sabe que el contenedor es cilíndrico además se conoce el peso específico del material entonces de acuerdo con las ecuaciones se puede determinar  $d$  que es la altura del contenido dentro del contenedor.

$$V = \text{área} \times \text{profundidad} = \pi r^2 \times d$$

$$P_{\text{especifico}} = \frac{W}{V} \text{ o } \rho \times g \rightarrow V = \frac{W}{P_{\text{especifico}}} \rightarrow \pi r^2 \times d = \frac{W}{\rho \times g}$$

$$d = \frac{W}{\rho \times g \times \pi r^2}$$

### 3.2.8. Controlador lógico programable (PLC)

Es el encargado de realizar las acciones programadas en su software utilizando el hardware como el medio. Se utilizará un controlador Allen-Bradley 1756-L73 según catálogo <https://bit.ly/2TnfgXM>, debido a que es el módulo que se utilizará para la presentación de la propuesta, además, cuenta con un chasis donde se pueden incorporar más módulos de expansión si se desea, como entradas o salidas tanto digitales como análogas, comunicación o algún módulo de seguridad. Cuenta con una pequeña pantalla para su monitorización. Estos controladores de la marca Allen-Bradley se caracterizan por ser robustos al trabajar aun en condiciones exigentes. Además, de tener una alta compatibilidad con equipos que desempeñan funciones específicas de otras marcas. Poseen la capacidad de programarse en diferentes lenguajes de programación. Tienen una gama de productos que se dedica a la seguridad industrial para una mayor confiabilidad.

Tabla XII. **Características controlLogix 1756-L73**

Característica	Descripción
Comunicación	Ethernet/IP
Programación	En línea o fuera de línea
Lenguaje de programación	<i>Ladder</i> , texto estructurado, SFC y DBF
Memoria de usuario	8 Mb
Máximo de I/O	128 000
Tamaño de slot	1
Peso aproximado	0,25 kg
Temperatura de operación	0 a 60 °C
Temperatura no operación	85 a -40 °C
Consumo	2,5 W
Vibración	10 - 500 Hz

Fuente: elaboración propia.

Para el módulo de entrada solo se utilizará uno de dieciséis entradas digitales para las alarmas, este módulo ocupa un espacio (*slot*), en el chasis se utilizará el módulo 1756-IB16, según catálogo <https://bit.ly/2NF52nk>. Entradas análogas no se tendrán.

Las salidas que se tendrán son: válvula tipo iris, banda transportadora y motor de la bomba abastecedora. Para lo cual se utilizará un módulo de salidas digitales de ocho que ocupa otro espacio en el chasis utilizando el módulo 1756-OB8, según catálogo <https://bit.ly/2NF52nk>.

La comunicación se realizará utilizando un módulo Ethernet de cobre el cual se utilizará para conectarse al *switch* industrial y estar en contacto con los diagnósticos del PLC. Este también ocupa otro espacio en el chasis y es el número 1756-ENBT, según catálogo <https://bit.ly/2F8tFUB>.

El chasis depende del número de módulos a agregar, además del espacio que cada uno ocupa, para el equipo anteriormente seleccionado se utilizará un chasis de cuatro espacios modelo 1756-A4, según catálogo <https://bit.ly/2Rv2F7v>. La función del chasis es distribuir la alimentación a cada uno de los módulos colocados en este, así como brindar una comunicación a altas velocidades entre módulos.

Además, se debe colocar una fuente de alimentación para los equipos la cual alimentará a todos los módulos a través del chasis. Número 1756-PA72, según catálogo <https://bit.ly/2F7C9v9>.

### 3.2.9. Interfaz gráfica de trabajo

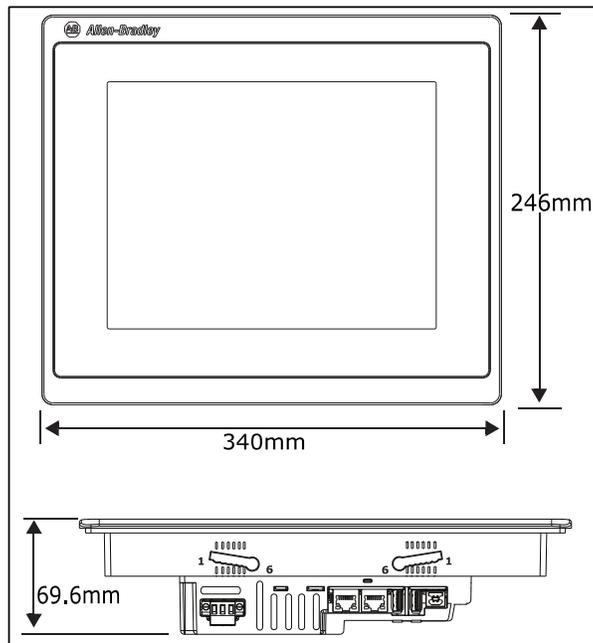
La pantalla HMI (*Human Machine Interface*) que es la interfaz gráfica, estará ubicada dentro de la sala de control de la empresa y desde donde se encuentra se puede poner en operación todo el proceso y monitorear valores y errores que ocurran. Se utilizará una pantalla PanelView Plus 7 Performance con una pantalla de 12,1 pulgadas medidas diagonalmente para apreciar con mejor detalle los datos mostrados en la pantalla. Las características de la pantalla se presentan en la tabla XIII, debido a estos datos se toma como la opción adecuada para la aplicación.

Tabla XIII. Especificaciones de la HMI

Atributo	Valor
Tipo de entrada	<i>Touchscreen</i>
Tamaño diagonal de la pantalla	12,1 pulgadas
Área de vista	261 x 163 mm
Brillo	300 cd/m <sup>2</sup>
Duración de la batería	4 años mínimo
Memoria de usuario	80 Mb
Memoria de sistema	512 Mb RAM y 512 Mb almacenamiento
Puertos USB	Dos puertos 2.0 tipo A y un puerto 2,0 tipo B
Sistema operativo	<i>Windows CE, PDF reader, office viewers</i>
Puertos Ethernet	Dos puertos 10/100 base-T Soportan DLR
Software	<i>FactoryTalk View Studio for Machine Edition</i>
Peso aproximado	2,54 Kg
Fuente	24 VDC
Consumo	50 W

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Dimensiones HMI 12,1 pulgadas



Fuente: *PanelView Plus 7 Performance Terminals*. <https://bit.ly/2CMwKHI>. Consulta: 18 de septiembre de 2018.

### 3.2.10. Topología de la red de comunicación

Se utiliza el protocolo Ethernet/IP para realizar las comunicaciones de toda la red industrial debido a que de esta manera al conectarse con cada equipo se puede obtener toda la información de este por medio de un único cable, reduciendo así costos y tiempos de instalación. Esto presenta una mayor continuidad de servicio debido a que si se realiza un cambio de componente únicamente se conecta a la red el sustituto y automáticamente queda configurado en cuestión de minutos.

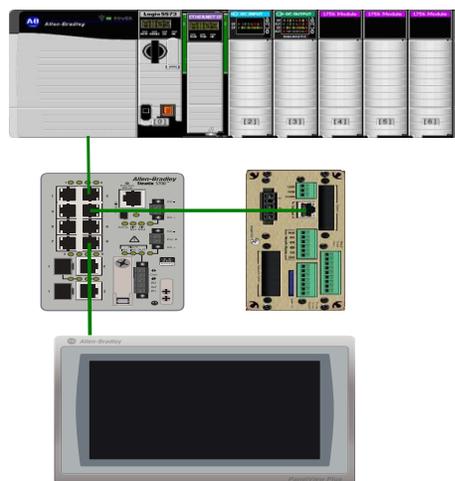
Otra ventaja es la facilidad en el diagnóstico de problemas esto quiere decir, que rápidamente se puede determinar la fuente de la falla. También es

posible realizar mantenimientos preventivos como una calibración desde las oficinas.

Significa una reducción considerable de conductores porque solo se necesita la conexión de la comunicación para cada equipo, lo que permite tener paneles más sencillos y reducir el número de PLC y a la vez reducción de costos, pero se debe realizar una buena topología debido a que si el cable de comunicación falla todos los equipos fallarán.

Una topología de red define como una red de comunicación usada para comunicarse y define la manera en que se conectan entre si los nodos. Para esta aplicación se utilizará una topología de red tipo estrella porque todas las comunicaciones convergen hacia el *switch*. Esta topología de red fue seleccionada sobre las otras debido a que el diagnóstico de los equipos es de una manera más eficiente y si algún equipo falla no afectará los otros conectados a la red.

Figura 28. **Topología de red**

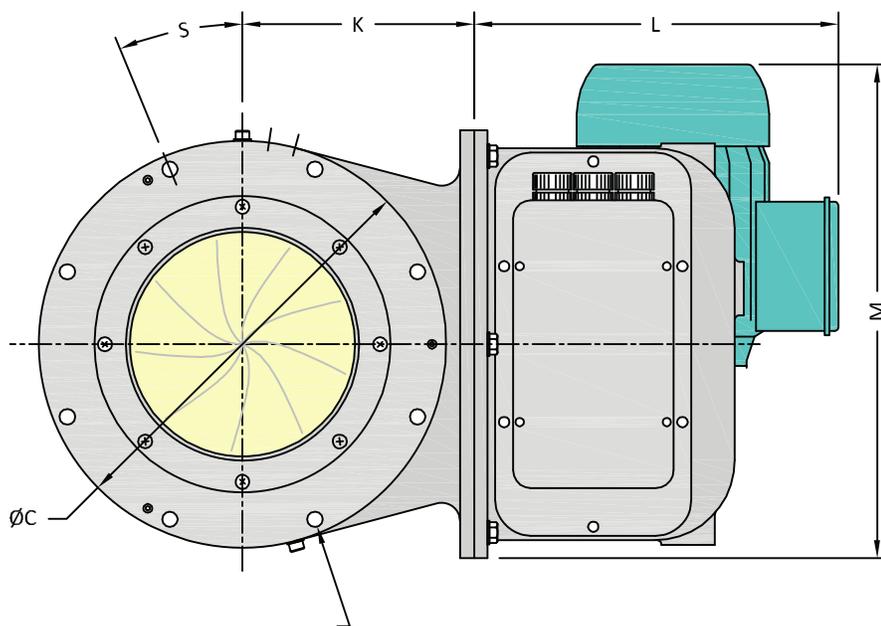


Fuente: elaboración propia, empleando integrated architecture builder.

### 3.2.11. Válvula de control

La válvula que se utilizará en este lazo de control es de tipo iris, la cual puede regular el flujo del contenido en el silo mediante la regulación de apertura de compuertas mediante un motor eléctrico de inducción, como el motor tiene doble sentido de giro, si algo se atasca en el proceso de cierre solamente se invierte el giro y automáticamente se libera, luego se invierte nuevamente y se logra cerrar.

Figura 29. Válvula tipo iris

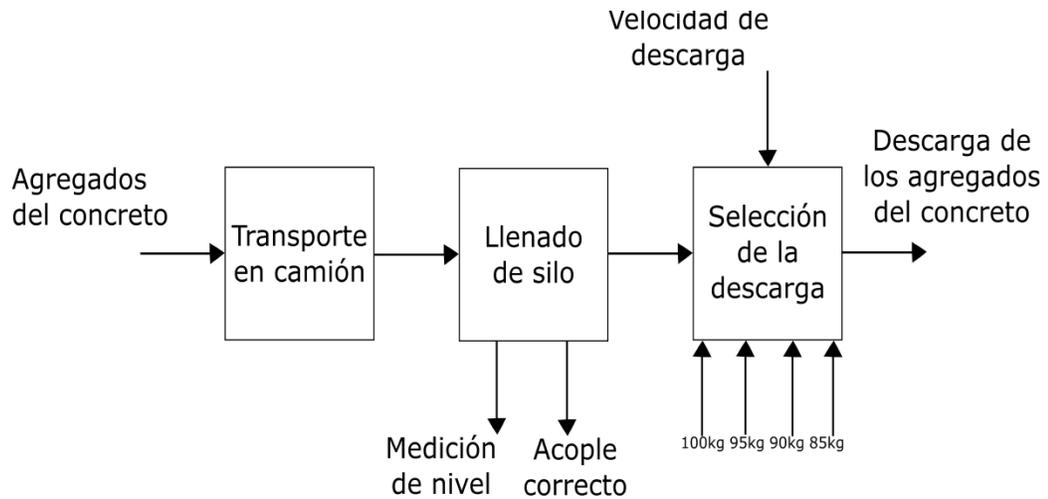


Fuente: *Válvula tipo iris*. <https://bit.ly/2RtQBnf>. Consulta: septiembre de 2018.

### 3.2.12. Función de transferencia

Para realizar la función de transferencia primero se realizó un diagrama de bloques del proceso para tener una mejor visualización del proyecto y su funcionamiento el cual se observa en la figura 30.

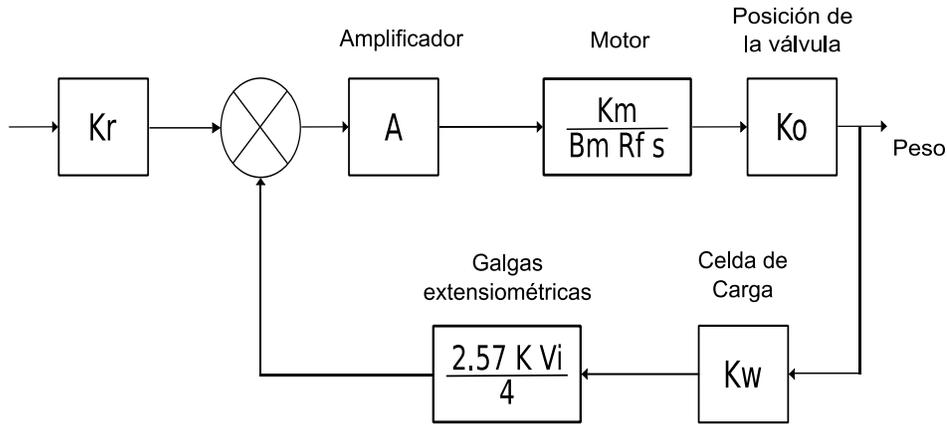
Figura 30. Diagrama de bloques



Fuente: elaboración propia, empleando Inkscape.

Se desarrolló el sistema de control automático en lazo cerrado, por sus características de retroalimentación, disminuirá el error y mejora el control del sistema diseñado. Para realizar el modelo se tomaron en cuenta los factores involucrados. Se utilizaron algunas constantes de aproximación al no contar con valores conocidos, estas constantes, determinaron las mismas luego de obtener los valores de los fabricantes de los equipos. La representación se realizó con un sistema de bloques el cual se muestra en la figura 31.

Figura 31. Diagrama de bloques



Fuente: elaboración propia, empleando Inkscape.

Luego de simplificar los bloques se obtiene la función de transferencia.

$$\frac{4AK_mK_\theta K_R}{4B_mR_f s + 2,57 V_{in}AK_MK_\theta K K_w}$$

Es importante resaltar que el comportamiento de la función de transferencia modela una forma exponencial de la forma  $e^{-at}$  debido a que el sistema no oscilará al momento de llegar al setpoint, ya que no se puede agregar más contenido al silo únicamente ir quitando.

### 3.3. Gestión de seguridad industrial

El objetivo principal de la planificación de la seguridad industrial y laboral es prevenir los riesgos ya que estos pueden tener como consecuencias: incapacidades físicas parciales o completas, pérdida de salario, dolor físico, consecuencias familiares, tiempos de paro para la empresa, baja de calidad en productos, gastos médicos, entre otros.

Los riesgos existentes en esta situación son de tipo mecánico, eléctrico y físico. Riesgo mecánico: debido a que se tienen mecanismos en movimiento en el lugar de trabajo. Riesgo eléctrico: debido a que algún equipo que no esté aterrizado de manera correcto a tierra no drenará la falla a tierra si no que lo hará hacia una persona si se encuentra en contacto con el equipo, también existe la posibilidad que alguna persona no siga las indicaciones de usar el equipo de protección y ocurra una descarga eléctrica a través de la persona. Riesgo físico: debido a que se trabaja con polvo y alguna partícula puede ingresar a los ojos causando daño a la persona que se encuentre en el lugar, como existen camiones en el lugar de descarga existe la posibilidad de aplastamiento.

Luego de ocurrido el incidente se debe tener un formato empresarial como el mostrado en la tabla XIV, en el cual se debe de recabar los datos de todo el proceso del incidente: inicio, desarrollo y final. Luego con base en esta información obtenida se realiza un análisis de costos para determinar cuánto fue el monto del incidente.

**Tabla XIV. Propuesta de formato para recabar de datos**

Información requerida	Información recolectada
Fecha	Datos de colaboradores
Hora del incidente	Datos de colaboradores
Parte afectada del trabajador	Datos de colaboradores
Puesto del afectado	Datos de colaboradores
Tiempo de ausencia del afectado	Datos de colaboradores
Valoración económica de danos materiales	Datos de colaboradores
Gasto por contratar otra persona, si se requiere	Datos de colaboradores
Gasto por traslado de paciente, si se requiere	Datos de colaboradores

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.1. Identificación de riesgos

Los riesgos se pueden identificar por área específica y brindar una solución o una medida de protección para minimizar el daño en algún operario. El objetivo principal de identificar los riesgos es para luego tomar medidas de mitigación de riesgos. Si los riesgos no son mitigados por alguna razón se deben de identificar adecuadamente para hacer saber a los colaboradores las áreas de mayor riesgo.

Tabla XV. Selección de equipo de protección personal

EPP específico	Riesgo por cubrir.	Criterio de elección (circunstancias que determinan el EPP específico que se debe utilizar).
Casco	Caída de elementos.	Debido a que son contenedores de gran altura.
Botas de acero	Caída de elementos.	Debido a que son contenedores de gran altura.
Lentes	Partículas sueltas en el aire.	Debido a que son contenedores que manejan agregados de concreto.
Guantes	Elementos mecánicos en movimiento.	Debido a que se tiene maquinaria en el lugar.
Orejeras	Exceso de niveles de ruido.	Debido a las máquinas que generan mucho ruido cuando están realizando su trabajo.
Mascarilla para con filtro de polvo	Partículas sueltas en el aire.	Debido a que son contenedores que manejan agregados de concreto.

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.2. Matriz de riesgos

Se debe de hacer una valoración de riesgo utilizando métodos cualitativos y cuantitativos quedando a discreción de la empresa para hacer su propia valoración, luego se realiza una matriz de riesgos donde se resumen los posibles riesgos evaluados y en la mayoría de los casos esta matriz es la que se presenta en las auditorías para determinar el estado de la empresa en el tema de la seguridad y salud ocupacional. Además, la matriz de riesgos se utiliza para elaborar un plan para mitigar o minimizar los riesgos existentes.

Tabla XVI. **Valoración de riesgo**

Nivel de riesgo Probabilidad	Consecuencia		
	Menor	Intermedio	Mayor
25 %	Despreciable	Tolerable	Soportable
50 %	Tolerable	Soportable	Moderado
75 %	Soportable	Moderado	Importante
100 %	Moderado	Importante	Intolerable

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Matriz de riesgos**

Operador de planta		Operador de planta		Operador de mantenimiento	Puesto
Realizar descarga del silo	Realizar acople de camión a válvula	Realizar pruebas eléctricas a paneles	Realizar pruebas eléctricas a paneles	Realizar pruebas eléctricas a paneles	Actividad
Daño físico por ingreso de partículas		Daño físico por aplastamiento o por atascamiento		Identificación de riesgos	
Daño que requiere atención inmediata		Daño que requiere atención inmediata		Riesgo	
Mayor	Mayor	Mayor	Mayor	Mayor	Severidad
100 %	75 %	50 %	50 %	50 %	Probabilidad
Intolerable	Importante	Moderado	Moderado	Moderado	Nivel de riesgo
Supervisor Seguridad industrial	Supervisor Seguridad industrial	Supervisor Seguridad industrial	Supervisor Seguridad industrial	Supervisor Seguridad industrial	Responsable
Uso obligatorio de EPP	Uso obligatorio de EPP	Uso obligatorio de guantes para medio voltaje	Uso obligatorio de guantes para medio voltaje	Uso obligatorio de guantes para medio voltaje	Descripción
día/mes/año	día/mes/año	día/mes/año	día/mes/año	día/mes/año	Fecha

Fuente: elaboración propia.

### **3.4. Desarrollo de la propuesta**

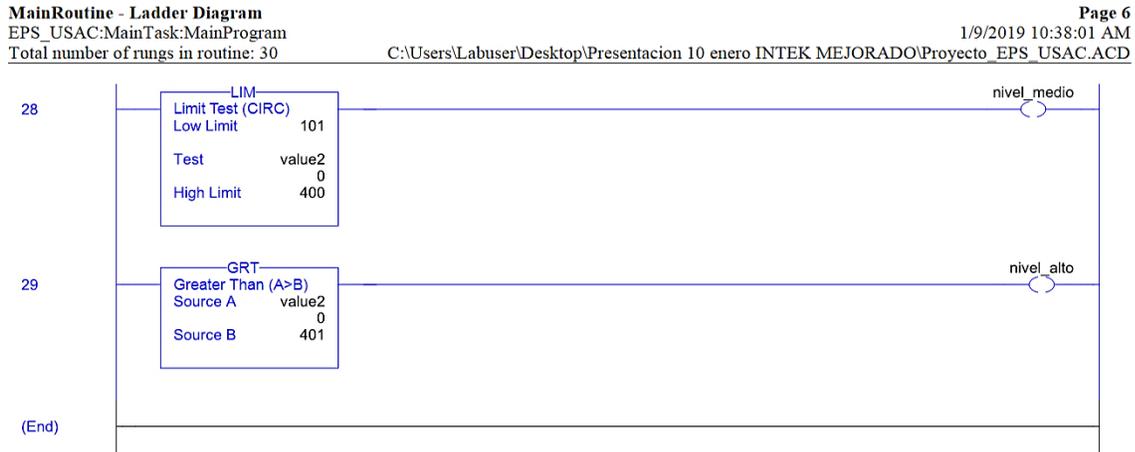
Luego de tomar la decisión de cada uno de los equipos, se realiza la propuesta mediante la programación de los equipos que comprenden: el controlador lógico programable (PLC), Interfaz gráfica (HMI) y el controlador de peso. Incluyendo la explicación de la programación en cada uno de los casos

#### **3.4.1. Programación de PLC**

La programación se realizó en lenguaje *Ladder*, la razón principal es porque se puede realizar de mejor manera la búsqueda de errores. Se utilizó el programa Studio 5000 *Logix Designer*, este programa brinda la ventaja de tener instrucciones lo que ayuda a programar de manera modular y reutilizar el código. Otra ventaja es que se deja hacer ediciones en línea, así que no se tienen que detener el proceso para hacer la edición de alguna y modificar el *Ladder* original.

El programa tiene como función principal mantener controlado el abastecimiento de la descarga requerida, por ejemplo, si se pide una descarga de un valor específico en kilogramos entonces la programación obtiene este valor y regula la velocidad con que va entregando el contenido en el silo con base en el peso obtenido del controlador de peso también con base en el peso se regula la apertura de la válvula de control. Se colocará en la figura 32 una parte del código que se utilizó para la programación total de la propuesta, en el apéndice se puede ver el código *Ladder* completo, así como las etiquetas (*tags*), utilizadas en la programación.

Figura 32. Instrucción de sumador



Fuente: elaboración propia, empleando RSLogix 5000.

### 3.4.2. Explicación programación en lenguaje *Ladder*

En los apéndices de 5 al 10 se encuentran las líneas de programación utilizadas en el proyecto. Se explicará de manera simplificada la función de las líneas de código:

- La línea 0 tiene una función llamada COP que copia el valor de una variable a otra, esto se realiza debido a que el controlador de peso envía la variable en un tipo *double*, pero en el PLC se necesita tipo real.
- Las líneas 1 a la 4 tienen la función de interpretar el valor de la variable en el PLC y enviarlo al controlador de peso.
- Las líneas de la 5 a la 8 se utilizan para almacenar valores que el usuario ingresa.
- Las líneas 10 y 11 se utilizan para generar un ciclo, este ciclo tendrá como fin aumentar el valor en un contador que se utilizará para visualizar el llenado del silo.

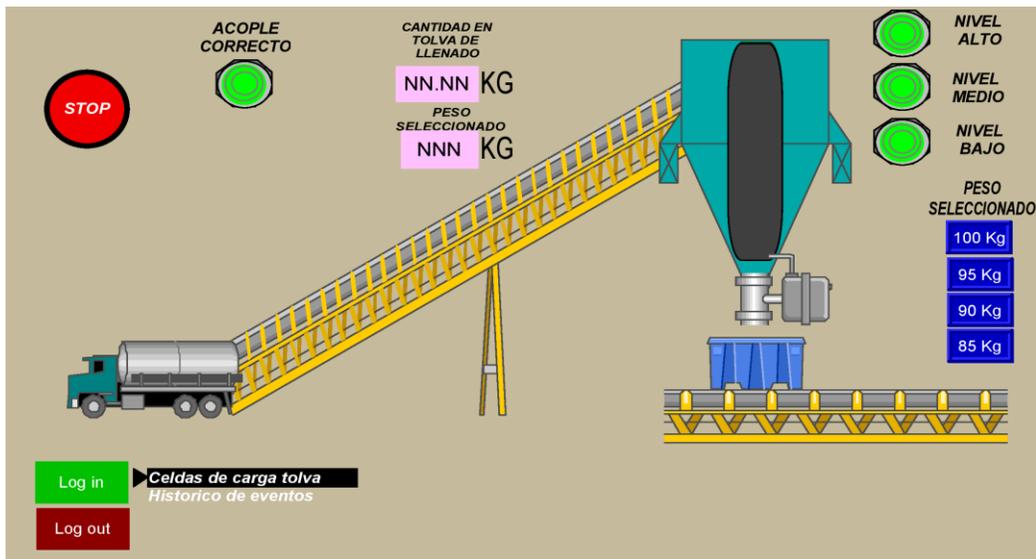
- Las líneas 12 a la 15 se utilizan para establecer límites para el proceso de llenado, ósea un nivel alto.
- La línea 17 y 18 se utilizan para generar un ciclo, este ciclo tendrá como fin disminuir el valor de un contador que se utilizará para visualizar el despacho del silo.
- Las líneas 21 a la 23 se utilizan para establecer las velocidades con que el contador de despacho disminuirá.
- La línea 25 establece las metas a las que debe llegar cierto valor para activar las velocidades de las líneas 21 a la 23.
- La línea 26 tiene como fin reestablecer los valores necesarios para que se pueda realizar un despacho nuevamente.
- Las líneas 27 a la 29 se utilizan para establecer límites visuales (alarmas), de los niveles alto, medio y bajo.

### **3.4.3. Programación HMI**

Las pantallas utilizadas para mostrar los datos se clasifican en la pantalla principal y dos subpantallas. La pantalla principal siempre se está mostrando para estar monitoreando los datos, pero si se quiere tener acceso a las demás pantallas dependerá de su inicio de sesión, luego de iniciar sesión cada usuario tiene un nivel de acceso y dependerá de este nivel la cantidad de datos que puede visualizar y acciones que puedan realizar. El funcionamiento de la pantalla principal se puede observar en el siguiente enlace: <https://youtu.be/m8jml3wPVEo>.

En las subpantallas se tiene una pantalla general donde se visualiza todo el proceso y se puede ingresar a cada una de las áreas específicas para fácil acceso. La pantalla principal se colocará en la figura 33, sin embargo, las demás subpantallas se colocarán en el apéndice.

Figura 33. Pantalla principal



Fuente: elaboración propia, empleando FactoryTalk Studio ME.

#### 3.4.4. Configuración del controlador de peso

El controlador de peso tiene la característica de mapeo, es la capacidad de direccionar los valores entrantes o salientes a los diferentes puertos que se tienen, además, de hacer operaciones lógicas entre estos valores. El mapeo que se presenta en la figura 34 indica que el destino del valor será el puerto Ethernet con una variable tipo *float* y la fuente de la información será el peso neto del controlador, finalmente en la flecha tres se observa el botón de mapeo para efectuar lo antes mencionado o deshacer mapeo, lo cual es funcional para eliminar mapeos que ya no se desean.

El mapeo se realiza comunicándose con el controlador por medio de su dirección IP, brindando un mejor soporte para detección de fallas y diagnóstico de puertos y configuración.

Figura 34. Explicación de mapeo

Center of Zero\*

Select One Destination [HELP](#)

Instrument Setup:

Network:  ← 1

Control:

Scratchpad:

Select Sources

Network:

Process Data:  Select ← 2

Control:

Scratchpad:

Operators: equal [=] and [\*] or [+] not [~] comma [,]

Map Unmap ← 3

---

**Map:**  
 Click [here](#) for a list of mapping symbols. Click [here](#) for a technical paper on mapping.  
 EFO0=HF11  
 2 / 511 terms mapped  
 Click [here](#) for an expanded map

---

HFO - Float Variables  
 The 8 Float Variables (HFO0-HFO7) are saved in non-volatile memory, and can be entered below:

0:	<input type="text" value="10.000000"/>	1:	<input type="text" value="0.000000"/>	2:	<input type="text" value="0.000000"/>	3:	<input type="text" value="0.000000"/>
4:	<input type="text" value="0.000000"/>	5:	<input type="text" value="0.000000"/>	6:	<input type="text" value="0.000000"/>	7:	<input type="text" value="0.000000"/>

Fuente: *explicación de mapeo*. <https://bit.ly/2F8Hd2L>. Consulta: septiembre de 2018.

Para el proyecto se utilizaron cinco mapeos que se presentan en la figura 35, compuestos de: dos salidas y tres entradas. Presentados en orden descendente respectivamente.

- Salida a puerto Ethernet con variable tipo *float* procedente del peso neto.
- Salida a puerto Ethernet con variable tipo *float* procedente del peso bruto.
- Entrada hacia la tara del peso procedente del puerto Ethernet con variable tipo booleana.
- Entrada hacia el cambio de unidades procedente del puerto Ethernet con variable tipo booleana.

- Entrada hacia el Zero procedente del puerto Ethernet con variable tipo booleana.

Figura 35. **Mapeo del controlador HI 4050**

Map:

```
HFO8 (Tare Weight) = +EI0.0 (Ethernet/IP Boolean Input)
JSO2 (Unit) = +EI1.0 (Ethernet/IP Boolean Input)
HO2.1 (Zero Command) = +EI2.0 (Ethernet/IP Boolean Input)
EFO0 (Ethernet/IP float out) = +HFI0 (gross weight)
EFO1 (Ethernet/IP float out) = +HFI1 (net weight)
```

Fuente: *Mapeo del controlador HI 4050*. <https://bit.ly/2VvJjOK>. Consulta: septiembre de 2018.

La configuración completa del controlador de peso HI-4050 se encuentra disponible en el siguiente enlace: <https://youtu.be/4mA7Jxe3pbk>.

### **3.4.5. Dispositivo de comunicación remota**

Debido a que la ubicación donde se encuentra colocado el equipo esta retirada y no es apta para llevar cables de comunicación se tomó la decisión de utilizar un dispositivo de comunicación remota llamado *Tosibox*, el cual posee un chip de telefonía móvil con el cual se conecta a la red para realizar la transmisión de los datos. La particularidad de este equipo es que tiene altos niveles de seguridad y encriptación. Ya que su comunicación se da de punto a punto porque solamente el que posee la llave puede ver la información que llega de manera encriptada. Lo cual es ideal para la transmisión de datos tan importantes como los de un proceso de alguna planta.

Tabla XVIII. **Características de Tosibox Lock 200**

Puerto USB	USB tipo A 2.0
Puerto RJ-45	1 puerto WAN, 3 puerto LAN
Firewall	Amigable y propio
Peso	530 g
Protección	IP20
Temperatura de operación	-20 °C a 50 °C
Material	Aluminio

Fuente: elaboración propia.

### **3.5. Planificación de tiempos de montaje**

Los tiempos para la realización del montaje tanto eléctrico como mecánico se presentan en la tabla XIX, tomando en cuenta que si no se debe de hacer la preparación previa del terreno incluyendo: nivelación de terreno, instalación y medición de red de tierras, cimentación de estructura, instalación y armado de estructura. Se puede ahorrar cinco semanas de trabajo por lo que solamente se realizaría la verificación de la nivelación y los demás pasos para dejar tener un sistema funcional.

Tabla XIX. **Tiempos estipulados de instalación**

Actividad/tiempo (semanas)	1	2	3	4	5	6	7	8
Nivelación de terreno	■	■						
Instalación y medición de red de tierras			■					
Cimentación de estructura	■	■						
Instalación y armado de estructura				■	■			
Verificación de nivelación						■		
Pruebas estructura metálica						■		
Instalación celdas de carga						■		
Instalar panel eléctrico con equipos						■		
Pruebas eléctricas a equipos							■	
Instalar red de comunicación							■	
Pruebas a red de comunicación							■	
Instalación de contenedor							■	
Instalación de válvula iris								■
Pruebas a todo el sistema								■

Fuente: elaboración propia.

## **4. FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE**

### **4.1. Planificación de capacitación**

Luego de terminar la fase de instalación de los equipos se procede a realizar la capacitación a los operarios, para que los equipos puedan operar de manera adecuada sin interrupción logrando así alcanzar los objetivos esperados de los equipos en funcionamiento y obtener la máxima funcionalidad.

Para esto se llevarán a cabo un conjunto de actividades orientadas hacia el personal operativo que se tenga en el lugar, ya que ellos son los que estarán en constante manejo de los equipos. Las actividades incluyen: manejo, configuración, mantenimiento, diagnóstico de fallas y como proceder para garantías o reparaciones del equipo industrial. La información que se recopilará en el lugar de trabajo será el siguiente:

- Código de colaborador
- Edad y experiencia laboral
- Puesto de cada de los colaboradores
- Conocimientos de los equipos industriales
- Conocimientos de seguridad industrial
- Conocimientos de mantenimiento

La información obtenida anteriormente será utilizada para formular un plan de capacitación orientado a todas las personas que estarán presentes. Si por algún motivo los colaboradores de la empresa no tienen ningún conocimiento se proporciona material digital para que puedan enriquecerse de nuevos

conocimientos y lograr el nivel mínimo esperado de conocimiento para que se pueda tener máxima comprensión en los entrenamientos.

Se utilizará una técnica demostrativa para realizar la capacitación ya que posee ciertas ventajas como: propiciar la participación, complementar tanto la parte teórica como práctica, aclarar dudas que permite una mejor retentiva del conocimiento adquirido. El recurso didáctico que se utilizará para brindar el contenido es audiovisual por medio de explicación con los equipos.

Una de las ventajas de la capacitación es que se impartirá en el lugar donde se utilizará el equipo, por lo tanto, se podrán realizar visitas de campo al lugar donde estará instalado el equipo. Los aspectos que se buscan mejorar en el lugar de trabajo son:

- Lectura de manuales
- Utilizar de manera correcta el equipo de protección
- Diagnosticar fallas en los equipos
- Toma de acciones correctas
- Realizar mantenimientos adecuados

Tabla XX. **Tiempos del entrenamiento**

Actividad/Tiempo (semanas)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Recopilación de datos	■									
Coordinación y planificación final del entrenamiento		■								
Entrenamiento #1: lectura de manuales			■							
Entrenamiento #2: utilización correcta del EPP				■						
Entrenamiento #3: diagnóstico de fallas					■	■				
Entrenamiento #4: toma de acciones correctas							■	■		
Entrenamiento #5: realización de mantenimiento adecuados									■	■

Fuente: elaboración propia.

El contenido de cada entrenamiento esta resumido a continuación y la duración promedio de cada entrenamiento es de 2,5 horas cada día:

- Lectura de manuales: siempre que exista una actividad nueva para los colaboradores lo mejor es instruirse con manuales, además de contenido gráfico y así facilitar la comprensión para realizar la actividad de manera correcta, eficiente y sin que ocurra algún percance. Cabe resaltar que cada uno de los fabricantes cuenta con documentación específica de sus equipos. Tanto en texto como en video.
- Utilizar de manera correcta el equipo de protección personal (EPP): esto contribuye a minimizar el número de incidentes en el lugar de trabajo ya que ayuda a que los colaboradores se mantengan concentrados en su labor y no en los riesgos que existen. Además, esto da continuidad en el proceso y no existan paros en la producción, lo cual aumenta la productividad de la planta en general.
- Diagnosticar fallas en los equipos: logrando una mejor detección de fallas se puede identificar el origen de una manera más eficiente y ayuda a darle solución al problema más rápidamente, esto se logra a través de la conectividad y diagnóstico que presentan los equipos utilizados.
- Toma de acciones correctas: durante un proceso normal de operación se requiere que los sistemas estén funcionando en óptimas condiciones, pero si se activan las alarmas se deben tomar decisiones en cuestiones de segundos para reestablecer el sistema a condiciones normales de operación o se puede tener un paro inesperado, por lo tanto, los colaboradores deben de estar preparados para este tipo de situaciones.
- Realizar mantenimientos adecuados: se desea crear una cultura de prevención y no de reparación, ya que es más conveniente parar 15 minutos el equipo para revisar y ajustarlo a tener que parar durante 5 horas para realizar una reparación.



## CONCLUSIONES

1. El plan de mejora incluyó un estudio económico, mecánico y eléctrico. Los cuales dieron los resultados suficientes para sustentar la propuesta del proyecto.
2. Las marcas utilizadas fueron Allen Bradley para el PLC y la HMI y *Hardy Instruments* para las celdas de carga y procesador de peso. Seleccionando estas marcas debido a su facilidad de instalación, configuración y compatibilidad.
3. Se planificaron cinco entrenamientos con un promedio de duración de una semana y media cada uno y dos horas al día con el fin de preparar a los colaboradores para situaciones esperadas e inesperadas. Los entrenamientos están adecuados a las capacidades de los colaboradores y se utilizan los recursos proporcionados por los fabricantes de los equipos como fuente de la información.
4. El estudio económico dio como resultado un valor de TIR de 39 % lo cual indica que la inversión se puede realizar ya que el valor es positivo y no se tendrán pérdidas económicas. Además, esto supondrá un ahorro ya que no se tendrán gastos de calibración y ajuste que era el segundo gasto de acuerdo con la información adquirida durante seis meses.
5. El protocolo ethernet permite la eficiencia en la comunicación entre PLC y los equipos, además, de una respuesta rápida cuando se interroga al equipo, permitiendo realizar mejores diagnósticos.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar innovaciones tecnológicas como implementar en los equipos el internet de las cosas para tener un mejor control y procesamiento de datos de todo el proceso.
2. Concretar los mantenimientos establecidos en el tiempo fijado para que la operación de los equipos sea la esperada ya que el ambiente de trabajo es desgastante.
3. Brindar capacitaciones a los nuevos colaboradores que se integran al grupo de trabajo.
4. Actualizar periódicamente el *firmware* de los equipos que lo requieran para seguridad de la empresa y del equipo.
5. Verificar la integridad de la estructura mecánica, realizando pruebas.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Allen-Bradley. *Logix5000 Controllers General Instructions*. Rockwell Automation, 2018. 106 p.
2. ———. *Logix5000 Controllers Ladder diagram*. Rockwell Automation, 2009. 19 p.
3. British Standard. *BS EN 60529 Degrees of protection provided by enclosures*. British: BS. 1992. 5 p.
4. Centro Español de Metrología. *Metrología: Procedimiento de calibración*. España, Madrid: CEM, ca. 2005. 6, 7 p.
5. ———. *Vocabulario Internacional de Metrología: conceptos fundamentales y generales y términos asociados*. 3a ed. España, Madrid: CEM. 2012. 16, 17 p.
6. CREUS SOLÉ, Antonio. *Instrumentación industrial*. 8a ed. México, D.F.: Alfaomega. 2011. 21 p.
7. ———. *Instrumentos industriales: su ajuste y calibración*. 3a ed. México, D.F.: Alfaomega. 2009. 28, 30 p.
8. Feedback. In: *Dictionary of Engineering*. New York: Mc Graw Hill. 2003. p. 212.

9. GERÍN, Merlin. *Manual Electrotécnico: Telesquemario, Tecnologías de Control Industrial*. 2a ed. España: Schneider Electric España. 1999. 126 p.
10. Hardy Process Solutions C2 Cable. San Diego, California, Disponible [en línea] <<https://www.hardysolutions.com/tenants/hardy/documents/C2%20Cable%20Datasheet%200318.pdf>>. [Consulta octubre 2018].
11. Health and Safety Executive. *Safety signs and signals*. 3a ed. London: HSE. 2015. 7 p.
12. HOSSAIN, Akram. & ZAMAN, Tanima. *HMI desing: an analysis of a good display for seamless integration between user understanding and automatic controls*. *American Society for Engineering Education* [en línea] <<https://peer.asee.org/21454>>. [Consulta octubre 2018].
13. HURTADO, José, *Introducción a las redes de comunicación industrial*. España: LES, 2001. pág. 9.
14. IEC International Standard. *60446 Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification*. Geneva, Switzerland: IEC, 2007. 6 p.
15. IEEE Standards Association. *IEEE Standard for Ethernet*. New York: IEEE. 2012. 2, 3 p.

16. International Standard. 61131-1: *Programmable controllers: parte 1, General information*. Switzerland: IEC. 2003. 9 p.
17. ———. *Programmable controllers: parte 3, programming languages*. Switzerland: IEC. 2003. 16 p.
18. Load Cell and book. A technical Overview and Selection guide. USA: PCB. 2014. pág. 4, 5.
19. Ministerio de Trabajo y Previsión Social. *Acuerdo Gubernativo Núm. 229-2014*. Guatemala, 23 de julio de 2014.
20. MORRIS, Alan. *Principios de mediciones e instrumentación*. 1a. ed. México, D.F.: Pearson educación. 2002. 6, 7 p.
21. National Fire Protection Association. *National Electrical Code*. 54<sup>th</sup> ed. Massachuseus: NFPA. 2017. 59 p.
22. Rice Lake Weighing Systems, Weigh Modules & Vessel Weighing systems, EEUU: ISGS, 1997. 10, 50 p.
23. RODGER, Jeffery, An explanation on traditional an C2 calibration/validation methods & use. Hardy Process Solutions. 2017. pág. 3, 4, 5.
24. Universidad de Oviedo. Comunicaciones industrials. Ingeniería de Sistemas y Automática -ISA- 2006 0.0.1-33. pág. 3,4,5,8,11.



## APÉNDICES

### Apéndice 1. Etiquetas utilizadas en la programación

<i>TYPE</i>	<i>NAME</i>	<i>DATATYPE</i>
TAG	Local:0:C	AB:1 756_DO_DC_Diag:C:0
TAG	Local:0:I	AB:1 756_DO_DC_Diag:I:0
TAG	Local:0:O	AB:1 756_DO:O:0
TAG	Local:2:C	AB:1 756_DI_DC_Diag:C:0
TAG	Local:2:I	AB:1 756_DI_DC_Diag:I:0
TAG	Local:4:C	AB:1 756_DO_DC_Diag:C:0
TAG	Local:4:I	AB:1 756_DO_DC_Diag:I:0
TAG	Local:4:O	AB:1 756_DO:O:0
TAG	Local:7:C	AB:1 756_AO6_Float:C:0
TAG	Local:7:I	AB:1 756_AO6_Float:I:0
TAG	Local:7:O	AB:1 756_AO6_Float:O:0
TAG	Local:8:C	AB:1 756_AI6_Float:C:0
TAG	Local:8:I	AB:1 756_AI6_Float:I:0
TAG	HI_4 050:C	_0102:Hardy4000Series_B8CD7447:C:0
TAG	HI_4 050:I	_0102:Hardy4000Series_D71801D4:I:0
TAG	HI_4 050:O	_0102:Hardy4000Series_0DB04C67:O:0

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Etiquetas utilizadas en la programación**

<i>TYPE</i>	<i>NAME</i>	<i>DATATYPE</i>
ALIAS	acople_listo	
TAG	alerta_llenado	<i>BOOL</i>
ALIAS	analoga_salida	
TAG	apertura_valvula	<i>DINT</i>
ALIAS	BotonC2	
ALIAS	Botoncambiounidad	
ALIAS	Botontara	
ALIAS	Botonzero	
ALIAS	boton_de_inicializado	
TAG	<i>bypass_hmi</i>	<i>BOOL</i>
TAG	<i>count1</i>	<i>COUNTER</i>
TAG	<i>count2</i>	<i>COUNTER</i>
TAG	HMI_control	<i>BOOL</i>
TAG	<i>level2</i>	<i>BOOL</i>
TAG	mant	<i>BOOL</i>
TAG	maximo_nivel_silo	<i>DINT</i>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Etiquetas utilizadas en la programación**

<i>TYPE</i>	<i>NAME</i>	<i>DATATYPE</i>
TAG	meta1	DINT
TAG	meta2	DINT
TAG	meta3	DINT
TAG	negativorequerido	DINT
TAG	nivel_alto	<i>BOOL</i>
TAG	nivel_bajo	<i>BOOL</i>
TAG	nivel_medio	<i>BOOL</i>
ALIAS	nivel_seguro	
TAG	pesobruto	REAL
TAG	pesoneto	REAL
ALIAS	peso_100kg	
ALIAS	peso_85kg	
ALIAS	peso_90kg	
ALIAS	peso_95kg	
TAG	peso_requerido_user	DINT
TAG	refvalue	DINT

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Etiquetas utilizadas en la programación**

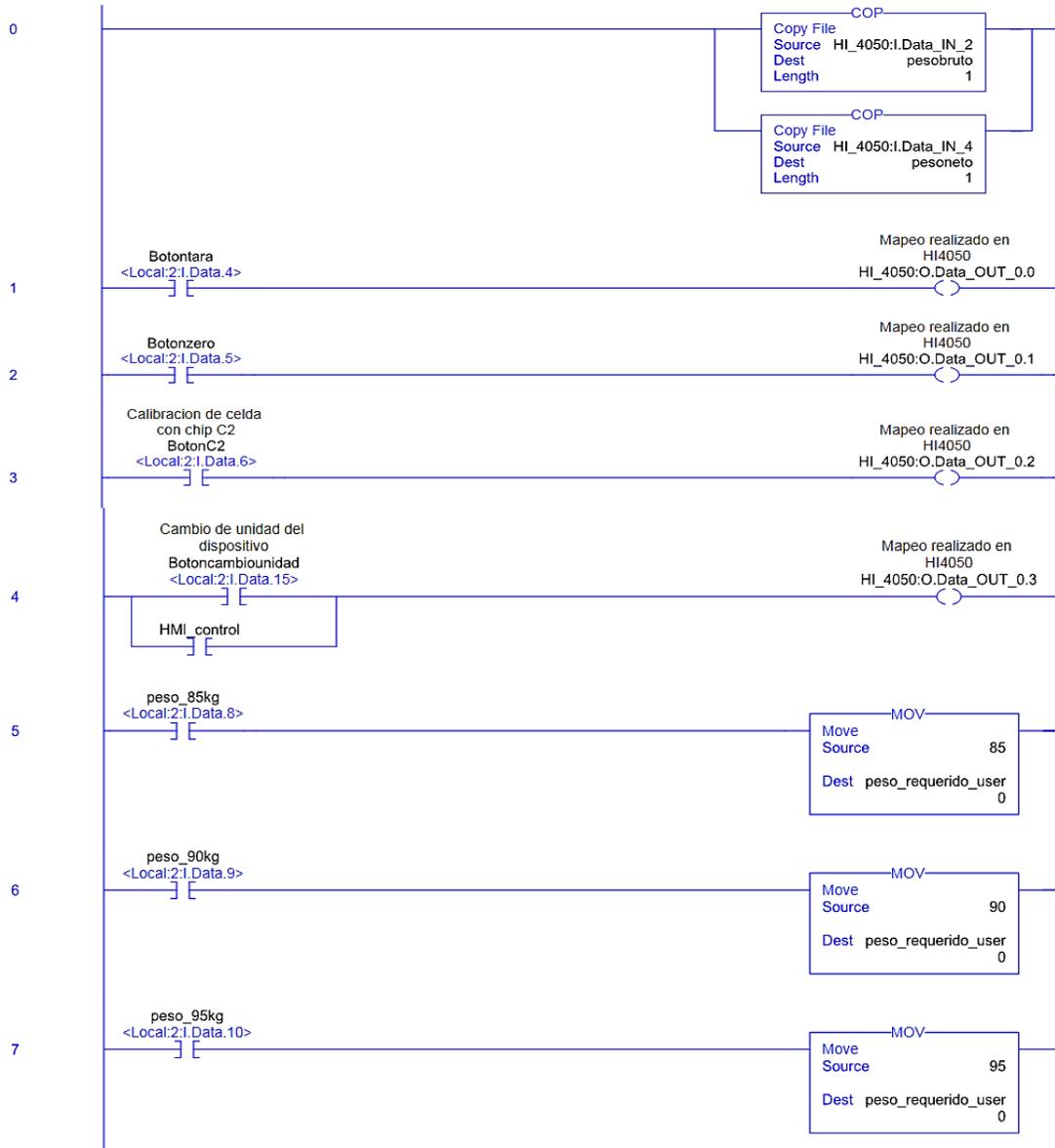
<i>TYPE</i>	<i>NAME</i>	<i>DATATYPE</i>
TAG	resta1	DINT
TAG	resta2	DINT
TAG	resultado_analogo	DINT
TAG	securelevel	BOOL
TAG	stop_ctd	BOOL
TAG	stop_ctd2	BOOL
ALIAS	stop_general	
TAG	stop_time1	<i>BOOL</i>
TAG	stop_time2	<i>BOOL</i>
TAG	time1	<i>TIMER</i>
TAG	time2	<i>TIMER</i>
TAG	value1	DINT
TAG	value2	DINT
TAG	velo_max_silo	DINT
TAG	wait_end	<i>BOOL</i>

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 5. Programación del controlador en lenguaje *Ladder*

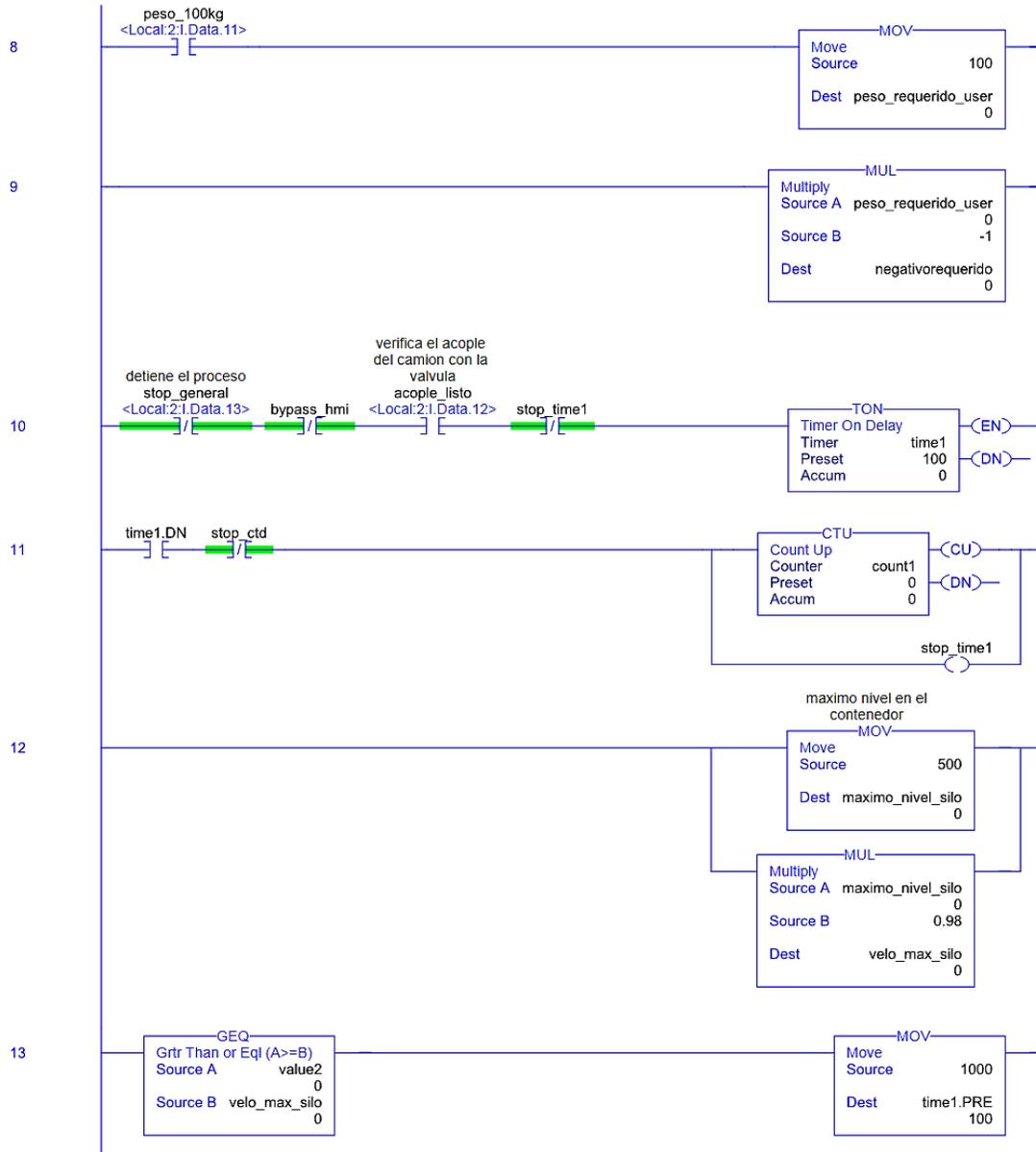
**MainRoutine - Ladder Diagram**  
 EPS\_USAC:MainTask:MainProgram  
 Total number of rungs in routine: 30

**Page 1**  
 1/9/2019 10:37:58 AM  
 C:\Users\Labuser\Desktop\Presentacion 10 enero INTEK MEJORADO\Proyecto\_EPS\_USAC.ACD



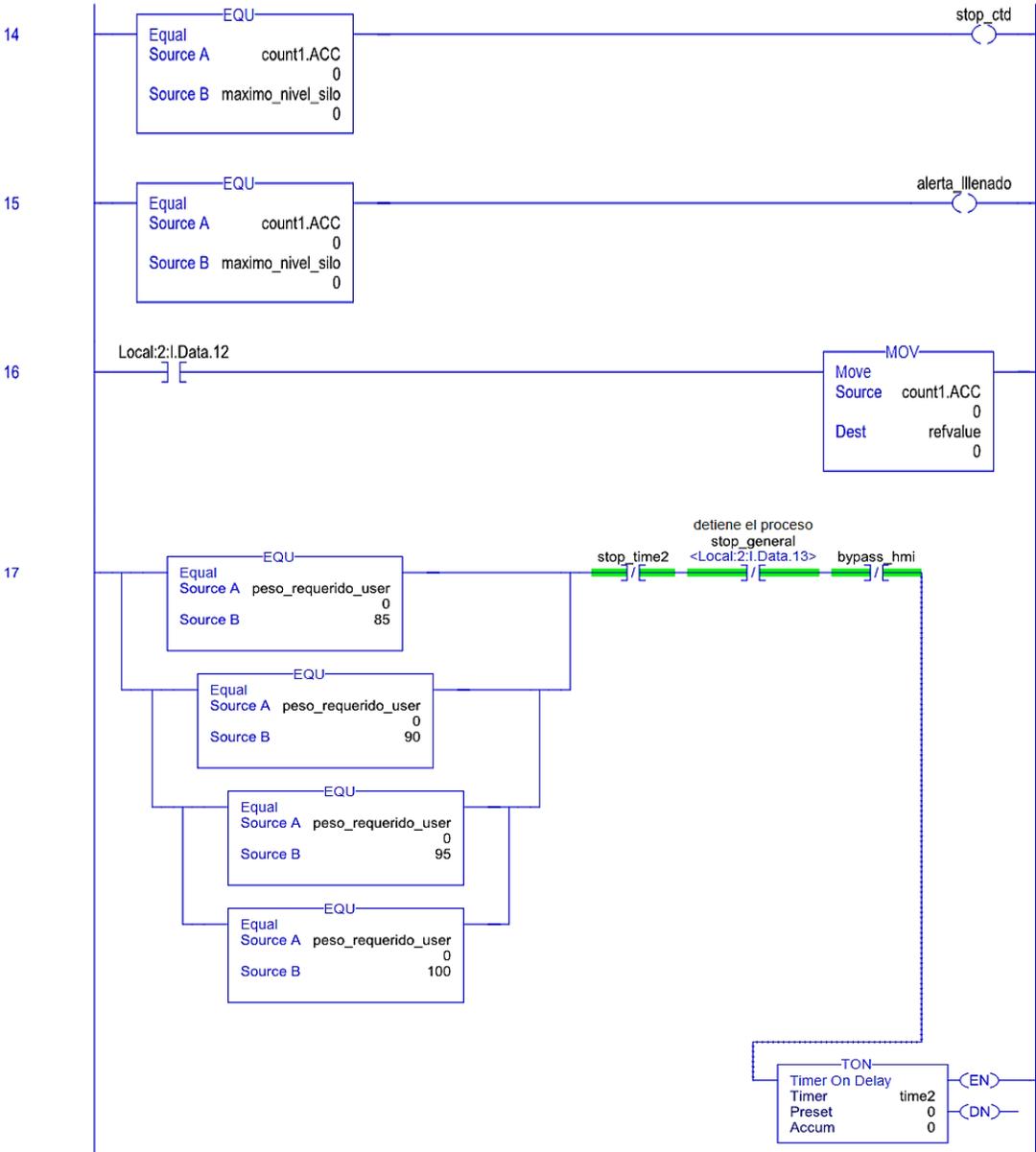
Fuente: elaboración propia, empleando RSLogix 5000.

## Apéndice 6. Programación del controlador en lenguaje *Ladder*



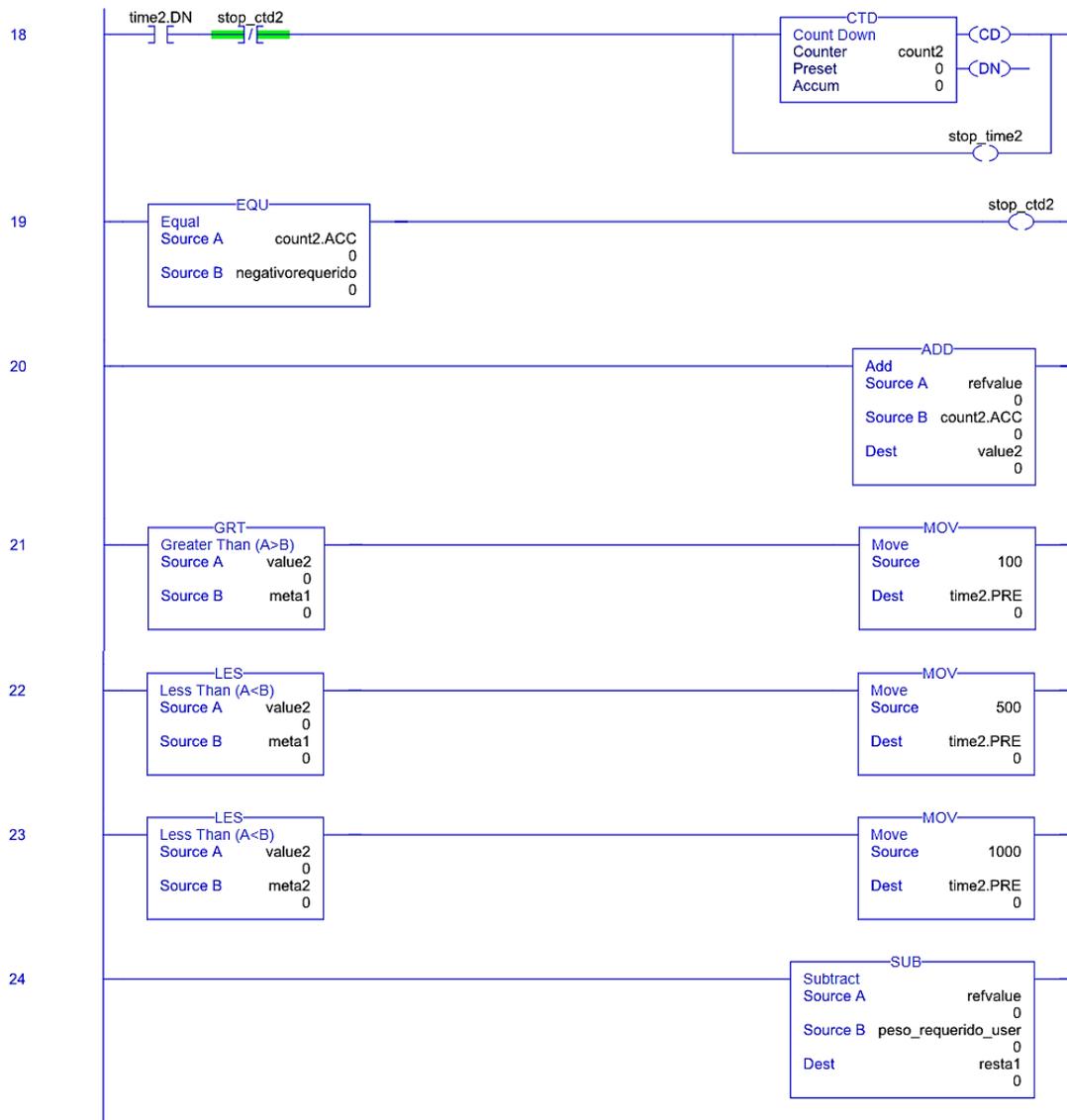
Fuente: elaboración propia, empleando RSLogix 5000.

### Apéndice 7. Programación del controlador en lenguaje Ladder



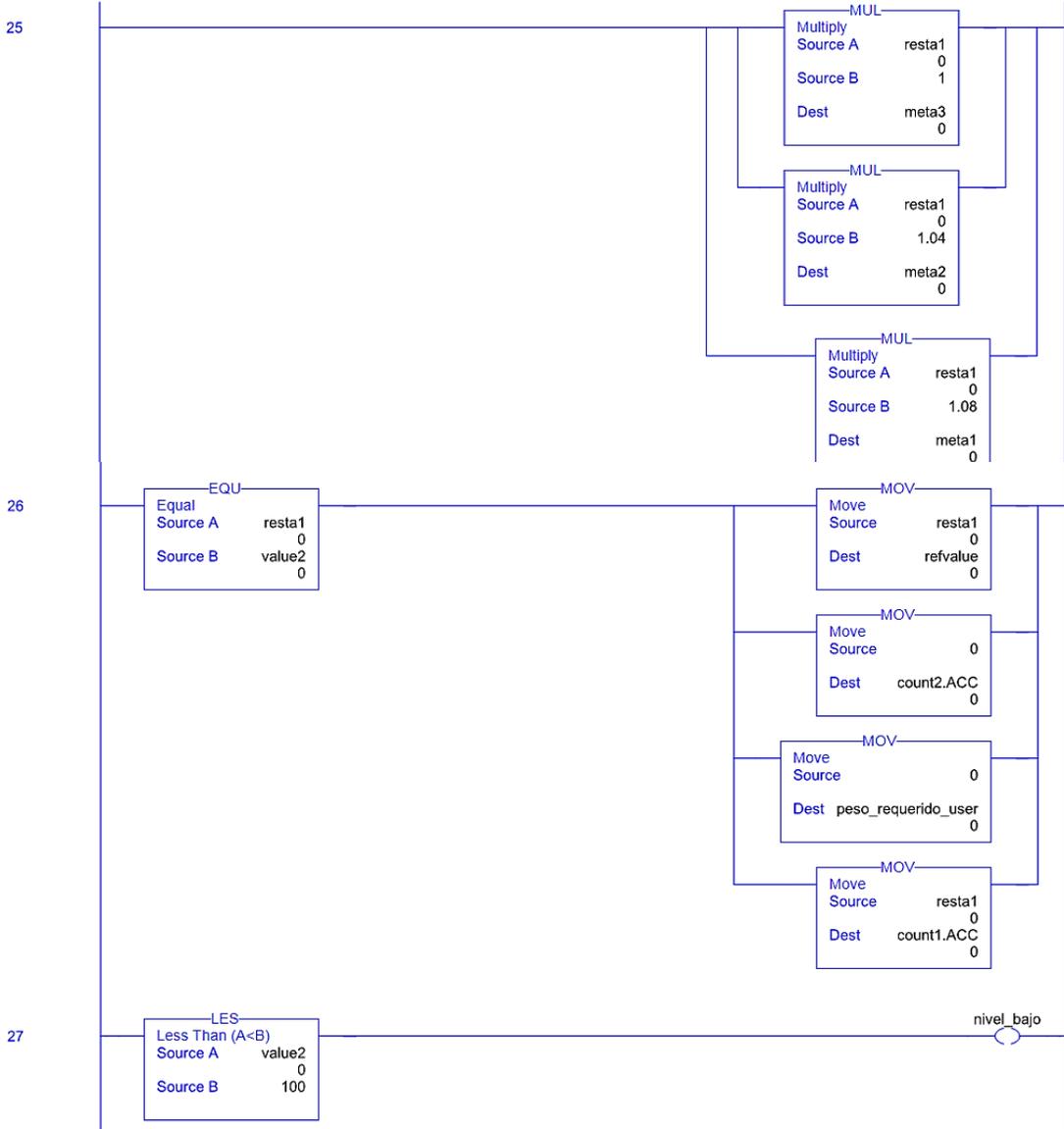
Fuente: elaboración propia, empleando RSLogix 5000.

## Apéndice 8. Programación del controlador en lenguaje *Ladder*



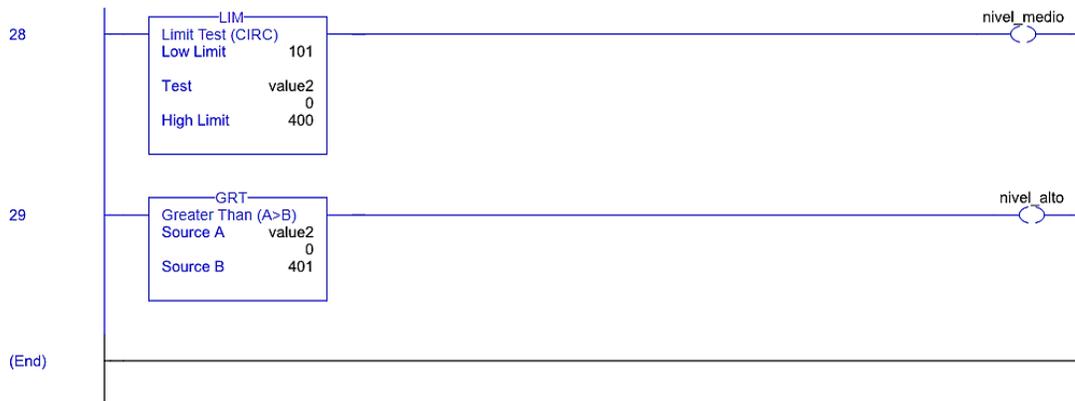
Fuente: elaboración propia, empleando RSLogix 5000.

Apéndice 9. Programación del controlador en lenguaje Ladder



Fuente: elaboración propia, empleando RSLogix 5000.

## Apéndice 10. Programación del controlador en lenguaje *Ladder*



Fuente: elaboración propia, empleando RSLogix 5000.

## Apéndice 11. Pantalla de monitoreo de celdas de carga

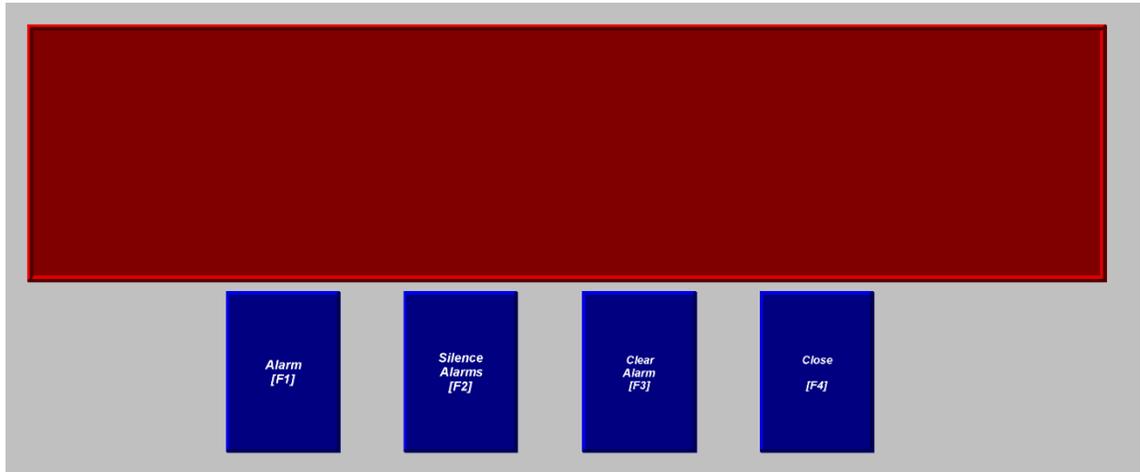
**Monitoreo - Celdas de carga silo**

Peso	Celda 1	Celda 2	Celda 3
Neto	N.NNNN	N.NNNN	N.NNNN
Bruto	N.NNNN	N.NNNN	N.NNNN
Ultima calibracion C2	N.NN		

Se recomienda realizar la calibración periódicamente durante cada mantenimiento programado

Fuente: elaboración propia, empleando FactoryTalk Studio ME.

## Apéndice 12. Pantalla de monitoreo de alarmas

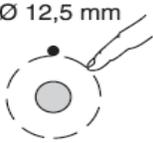
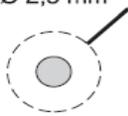
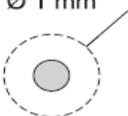
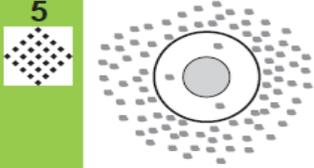
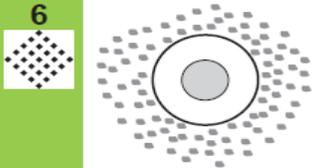


Fuente: elaboración propia, empleando FactoryTalk Studio ME.



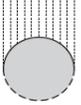
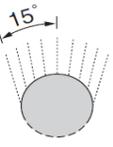
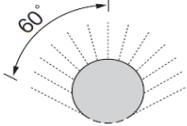
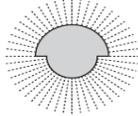
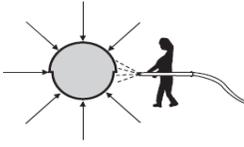
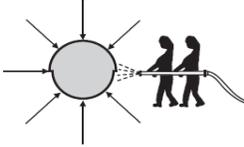
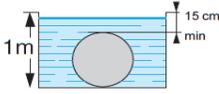
## ANEXOS

### Anexo 1. Primera cifra protección IP

0	Non-protected		Non-protected
1	Ø 50 mm 	Protected against the penetration of solid objects having a diameter greater than or equal to 50 mm	Protected against direct contact with the back of the hand (accidental contacts).
2	Ø 12,5 mm 	Protected against the penetration of solid objects having a diameter greater than or equal to 12.5 mm.	Protected against direct finger contact.
3	Ø 2,5 mm 	Protected against the penetration of solid objects having a diameter greater than or equal to 2.5 mm.	Protected against direct contact with a Ø 2.5 mm tool.
4	Ø 1 mm 	Protected against the penetration of solid objects having a diameter greater than or equal to 1 mm.	Protected against direct contact with a Ø 1 mm wire.
5		Dust protected (no harmful deposits).	Protected against direct contact with a Ø 1 mm wire.
6		Dust tight.	Protected against direct contact with a Ø 1 mm wire.

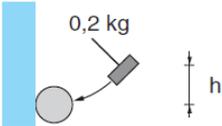
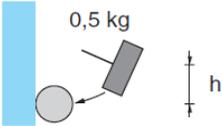
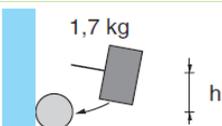
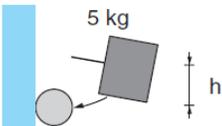
Fuente: *Primera cifra protección IP*. <https://bit.ly/2TrtW8n>. Consulta: noviembre de 2018.

## Anexo 2. Segunda cifra protección IP

<b>0</b>	Non-protected	
<b>1</b> 		Protected against vertical dripping water, (condensation).
<b>2</b>		Protected against dripping water at an angle of up to 15°.
<b>3</b> 		Protected against rain at an angle of up to 60°.
<b>4</b> 		Protected against splashing water in all directions.
<b>5</b>  		Protected against water jets in all directions.
<b>6</b>		Protected against powerful jets of water and waves.
<b>7</b>  		Protected against the effects of temporary immersion.
<b>8</b>   		Protected against the effects of prolonged immersion under specified conditions.

Fuente: Segunda cifra protección IP. <https://bit.ly/2TrtW8n>. Consulta: noviembre de 2018.

### Anexo 3. Tercera cifra protección IP

		h (cm)	Energy (J)
00	Non-protected		
01		7.5	0.15
02		10	0.2
03		17.5	0.35
04		25	0.5
05		35	0.7
06		20	1
07		40	2
08		30	5
09		20	10
10		40	20

Fuente: Tercera cifra protección IP. <https://bit.ly/2TrtW8n>. Consulta: noviembre de 2018.

Anexo 4. **Tabla de amperajes**

**For ambient temperatures other than 30°C (86°F), multiply the allowable ampacities specified in the ampacity tables by the appropriate correction factor shown below.**

Ambient Temperature (°C)	Temperature Rating of Conductor			Ambient Temperature (°F)
	60°C	75°C	90°C	
10 or less	1.29	1.20	1.15	50 or less
11–15	1.22	1.15	1.12	51–59
16–20	1.15	1.11	1.08	60–68
21–25	1.08	1.05	1.04	69–77
26–30	1.00	1.00	1.00	78–86
31–35	0.91	0.94	0.96	87–95
36–40	0.82	0.88	0.91	96–104
41–45	0.71	0.82	0.87	105–113
46–50	0.58	0.75	0.82	114–122
51–55	0.41	0.67	0.76	123–131
56–60	—	0.58	0.71	132–140
61–65	—	0.47	0.65	141–149
66–70	—	0.33	0.58	150–158
71–75	—	—	0.50	159–167
76–80	—	—	0.41	168–176
81–85	—	—	0.29	177–185

Fuente: *Tabla de amperajes*. <https://bit.ly/2AtQUos>. Consulta: noviembre de 2018.