



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: PROPUESTA DE REDUCCIÓN DEL RIESGO EN UN  
MÓDULO DEMOSTRATIVO DE UN PROCESO, INTEGRANDO  
DISPOSITIVOS Y CONTROLADORES DE SEGURIDAD**

**AUTORES: LARA GUATEMAL JUAN GABRIEL  
PÁEZ GONCALVES JOHANN BERNARD**

**DIRECTOR: ING. CHACÓN ENCALADA LUIS ALEJANDRO MSC.**

**SANGOLQUÍ**

**2017**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL  
CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación "**PROPUESTA DE REDUCCIÓN DEL RIESGO EN UN MÓDULO DEMOSTRATIVO DE UN PROCESO, INTEGRANDO DISPOSITIVOS Y CONTROLADORES DE SEGURIDAD**", realizado por los señores **JUAN GABRIEL LARA GUATEMAL** y **JOHANN BERNARD PAEZ GONCALVES**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **JUAN GABRIEL LARA GUATEMAL** y **JOHANN BERNARD PAEZ GONCALVES** para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, agosto del 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luis A. Chacón Encalada', is written over a horizontal line. Below the line, the name and title are printed.

Ing. Luis Alejandro Chacón Encalada  
DIRECTOR



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL  
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, *JUAN GABRIEL LARA GUATEMAL*, con cédula de identidad N. 1720744307 y *JOHANN BERNARD PAEZ GONCALVES*, con cédula de identidad N. 1722787924 declaramos que este trabajo de titulación "*PROPUESTA DE REDUCCIÓN DEL RIESGO EN UN MÓDULO DEMOSTRATIVO DE UN PROCESO, INTEGRANDO DISPOSITIVOS Y CONTROLADORES DE SEGURIDAD*", ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, agosto del 2017

Juan Gabriel Lara Guatemal  
CC. 1720744307

Johann Bernard Páez Goncalves  
CC. 1722787924



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL  
AUTORIZACIÓN**

Nosotros, *JUAN GABRIEL LARA GUATEMAL* y *JOHANN BERNARD PAEZ GONCALVES*, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**PROPUESTA DE REDUCCIÓN DEL RIESGO EN UN MÓDULO DEMOSTRATIVO DE UN PROCESO, INTEGRANDO DISPOSITIVOS Y CONTROLADORES DE SEGURIDAD**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, agosto del 2017

Juan Gabriel Lara Guatemal  
CC. 1720744307

Johann Bernard Páez Goncalves  
CC. 1722787924

## **DEDICATORIA**

Dedico exclusivamente esta tesis a mis padres que tanto sueñan con la superación de sus hijos, por desear que uno siga siempre aprendiendo y adquiriendo conocimientos, pero sin olvidar la importancia de los valores y ser una buena persona, por apoyarme y entenderme en esos momentos difíciles después de tanto estudiar y noches sin dormir.

Johann B. Páez Goncalves

Dedico este trabajo de tesis a mis padres pilares fundamentales en mi educación académica y humana, a mi compañera de viaje en este mundo Erika por su apoyo incondicional siempre y a la estrella que ha inspirado aún más mi vida Juan Sebastián, son todos los motivos para mi desarrollo personal.

Juan G. Lara Guatemal

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, agradezco a Dios, por darme fuerza y sabiduría cada día en mi etapa de formación profesional, permitiéndome seguir adelante y alcanzar una de mis metas.

Agradezco a mis padres por apoyarme cada momento e insistir en alcanzar este logro que no fue fácil, y mantener su confianza que lo lograría, por formarme y educarme de la manera correcta permitiendo ser la persona que soy hoy en día.

A mis profesores que se encargaron de compartir su conocimiento, experiencia y sobre todo la amistad haciendo el camino del aprendizaje mucho más acogedor.

A todos mis amigos dentro y fuera de la universidad por saber sacarte una sonrisa en esos momentos difíciles.

Johann B. Páez Goncalves

Agradezco a Dios por la fortaleza que me ha permitido culminar con mi formación profesional.

Agradezco a mis padres y a mi familia que han sabido entender mi ausencia como sacrificio para alcanzar esta meta.

Agradezco a todos esos buenos amigos que fueron parte de la vida universitaria, en especial a mi compañero del presente trabajo, gracias por tu paciencia y apoyo.

A todos los profesores que han ofrecido su amistad y brindado su experiencia para la formación de un profesional integral.

Juan G. Lara Guatemal

## TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
TABLA DE CONTENIDOS .....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABLAS .....	xiv
LISTA DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
<b>CAPÍTULO 1 INFORMACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>1</b>
1.1.    Introducción .....	1
1.2.    Antecedentes .....	2
1.3.    Justificación e importancia.....	4
1.4.    Alcance del proyecto.....	6
1.5.    Objetivos .....	8
1.5.1.    General.....	8
1.5.2.    Específico.....	8
<b>CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
2.1.    Seguridad industrial .....	9
2.1.1.    Introducción .....	9
2.1.2.    Definición .....	9
2.1.3.    Seguridad .....	10
2.1.4.    Riesgo y peligro .....	10
2.1.5.    Clasificación de factores de riesgos ocupacionales .....	10
2.2.    Normas y reglamento de seguridad y salud en Ecuador .....	11
2.3.    Análisis de riesgos .....	13
2.3.1.    Norma IEC 61508.....	15
2.4.    Seguridad en máquinas .....	18
2.5.    Norma ISA SP 101.....	20
<b>CAPÍTULO 3 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA UNA PLANTA DE JABÓN .....</b>	<b>22</b>
3.1.    Análisis del riesgo.....	22
3.1.1.    Fase de definición .....	22
3.1.1.1.    Objetivo.....	23
3.1.1.2.    Alcance .....	23
3.1.1.3.    Equipo de trabajo .....	23
3.1.2.    Fase de preparación.....	23
3.1.2.1.    Almacenamiento de materia prima .....	23

3.1.2.2.	Refinamiento de la materia prima.....	24
3.1.2.3.	Saponificación.....	25
3.1.2.4.	Secado y Pulverización.....	25
3.1.2.5.	Homogenización y creación de bloques.....	26
3.1.2.6.	Corte.....	26
3.1.2.7.	Empacado.....	27
3.1.2.8.	Definición de herramientas de evaluación del riesgo.....	27
3.1.3.	Fase de examinación.....	27
3.1.3.1.	División de sistema.....	27
3.1.3.2.	Análisis del riesgo.....	32
3.1.3.3.	Definición de la función de seguridad.....	32
3.2.	Análisis de riesgo del módulo.....	39
3.2.1.	Fase de definición.....	39
3.2.1.1.	Objetivo.....	39
3.2.1.2.	Alcance.....	39
3.2.1.3.	Equipo de trabajo.....	39
3.2.2.	Fase de preparación.....	39
3.2.2.1.	Almacén.....	39
3.2.2.2.	Estación de corte.....	40
3.2.2.3.	Estación de prensado.....	40
3.2.2.4.	Estación de empacado.....	40
3.2.3.	Fase de examinación.....	41
3.2.3.1.	División del sistema.....	41
3.2.4.	Análisis de riesgo.....	42
3.2.4.1.	Definición de la función de seguridad.....	42
3.3.	Análisis en software SISTEMA.....	45
<b>CAPÍTULO 4 DISEÑO DEL MÓDULO DEMOSTRATIVO.....</b>		<b>47</b>
4.1	Metodología de diseño Pahl y Beitz.....	47
4.1.1	Introducción.....	47
4.1.2	Etapas de diseño.....	47
4.2	Clasificación de las necesidades.....	49
4.3	Diseño conceptual.....	55
4.3.1	Especificaciones de la banda transportadora.....	56
4.3.2	Especificaciones del sistema neumático.....	56
4.3.3	Estándares del sistema HMI.....	57
4.3.3.1	Filosofía del HMI.....	57
4.3.3.2	Guía de estilo.....	58
4.3.4	Plataforma de diseño HMI.....	63
4.3.5	Herramienta de desarrollo de interfaz.....	64
4.3.6	Gestión de alarmas.....	64
4.3.7	Requerimientos para la red.....	66
4.3.8	Requerimientos operativos.....	66

4.4	Diseño de materialización.....	66
4.4.1	Dimensionamiento de los motores.....	66
4.4.2	Dimensionamiento circuitos de fuerza.....	67
4.4.3	Equipos de control .....	71
4.4.4	Equipos de red.....	73
4.4.5	Fuente de voltaje DC .....	74
4.4.6	Dimensionamiento de las canaletas .....	75
4.5	Diseño de detalle.....	76
4.5.1	Diseño de esquemas eléctricos y neumáticos .....	76
4.5.2	Diseño de la consola .....	77
4.5.3	Caracterización del hardware.....	78
4.5.4	Caracterización del software.....	78
4.5.5	Diseño HMI .....	79
4.5.5.1	Diseño de pantallas .....	80
4.5.5.2	Resumen del HMI.....	87
4.5.6	Diseño de la red .....	88
4.5.6.1.	Red ethernet LAN .....	88
4.5.6.2.	Direccionamiento.....	89
4.5.7	Diseño del programa del proceso.....	90
<b>CAPÍTULO 5 IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DEMOSTRATIVO .....</b>		<b>92</b>
5.1.	Implementación del módulo .....	92
5.2.	Parámetros de la estructura mecánica .....	92
5.3.	Distribución de elementos.....	93
5.4.	Cableado y etiquetado de equipos.....	95
5.5.	Señalización de Seguridad .....	96
5.6.	Módulo completo .....	97
5.7.	Implementación de la arquitectura del software .....	97
5.7.1.	Identificación de los espacios, elementos y requerimientos funcionales.....	98
5.7.2.	Modelos de Plantillas .....	99
5.7.3.	Modelo de planta.....	102
5.7.3.1.	Plataforma .....	102
5.7.3.2.	Motor de la aplicación .....	103
5.7.3.3.	Protocolo de comunicación PLC-HMI .....	103
5.7.3.4.	Motor de visualización.....	104
5.7.3.5.	Variables .....	105
5.7.4.	Modelo de seguridad.....	105
5.7.5.	Modelo de implementación.....	105
5.8.	Implementación del HMI .....	106
5.8.1.	Pantallas .....	106
5.8.2.	Estaciones .....	107
5.8.3.	Control .....	108
5.8.4.	Mantenimiento .....	108

5.8.5.	Alarmas .....	109
5.8.6.	Conexiones.....	110
5.8.7.	Reportes .....	111
5.9.	Implementación de seguridades .....	112
5.9.1.	Conexión de dispositivos .....	113
5.9.1.1.	Seguridades en estación 1 .....	113
5.9.1.2.	Seguridades en estación 2 .....	115
5.9.1.3.	Seguridades en estación 3 .....	115
5.9.1.4.	Seguridades en tablero de control .....	116
5.9.2.	Programa del controlador de seguridad .....	118
CAPÍTULO 6 APLICACIONES Y RESULTADOS DEL MÓDULO .....		120
6.1.	Funcionamiento de la maqueta .....	120
6.1.1.	Procedimientos de parada .....	120
6.1.2.	Procedimientos de funcionamiento .....	121
6.1.3.	Procedimientos de fallo.....	122
6.2.	Análisis de operación de la maqueta.....	123
6.3.	Frecuencia de situaciones de riesgo .....	125
6.4.	Diagnóstico de los sistemas de seguridad integrados .....	129
6.4.1.	Estación de corte .....	129
6.4.2.	Estación de prensado de marca .....	130
6.4.3.	Estación de prensado empacado .....	131
6.5.	Funcionamiento de los sistemas de seguridad integrados.....	132
6.6.	Cumplimiento del reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo .....	135
CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		136
7.1.	Conclusión .....	136
7.2.	Recomendación.....	137
BIBLIOGRAFÍA .....		138
ANEXOS .....		142

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Pasos para el análisis de riesgos y operatividad del sistema .....	14
Figura 2 Partes de la fase de examinación .....	15
Figura 3 Gráfico de riesgo .....	18
Figura 4 Gráfico de riesgo esquema cuantitativo.....	18
Figura 5 Línea de seguridad marca Schneider Electric .....	20
Figura 6 Ciclo de vida de la norma ISA SP 101 .....	21
Figura 7 Fases del método HAZOP .....	22
Figura 8 Flujo de procesos de manufactura de jabón .....	23
Figura 9 Almacenamiento de materia prima.....	24
Figura 10 Refinación de la materia prima.....	24
Figura 11 Saponificación .....	25
Figura 12 Secado y pulverizado.....	25
Figura 13 Homogenización y creación de bloques .....	26
Figura 14 Corte y empaçado .....	26
Figura 15 Plantilla de evaluación de riesgos.....	27
Figura 16 Funciones de seguridad para generación de vapor .....	33
Figura 17 Funciones de seguridad para refinación etapa 1, 2 y 3.....	34
Figura 18 Funciones de seguridad para saponificación .....	35
Figura 19 Funciones de seguridad del atomizador .....	36
Figura 20 Funciones de seguridad de la cámara de vacío.....	37
Figura 21 Funciones de seguridad de corte y empaquetado .....	38
Figura 22 Flujo del proceso de la maqueta .....	39
Figura 23 Estación de corte de jabón .....	40
Figura 24 Estación de prensado .....	40
Figura 25 Estaciones de la maqueta de producción de jabón .....	41
Figura 26 Funciones de seguridad de corte.....	43
Figura 27 Funciones de seguridad de prensado de marca.....	44
Figura 28 Funciones de seguridad de empaçado .....	45
Figura 29 Distribución de etapas, funciones de seguridad y elementos .....	46
Figura 30 Diagrama Pahl y Beitz.....	48
Figura 31 Jerarquización de necesidades .....	50
Figura 32 Matriz de necesidades – métricas .....	53
Figura 33 Jerarquía de pantallas.....	59
Figura 34 Propuesta de distribución de elementos en pantalla .....	60
Figura 35 Diagrama de la navegación entre pantallas .....	61
Figura 36 Arquitectura de ArchestrA.....	63
Figura 37 Nivel de integración de InTouch .....	64
Figura 38 Arquitectura de la consola del sistema .....	78
Figura 39 Modelamiento de la planta virtual en ArchestrA.....	79
Figura 40 Directrices para el diseño del interfaz .....	80

Figura 41 Proceso de diseño de pantallas .....	80
Figura 42 Distribución de ventana inicial desbloqueada .....	82
Figura 43 Ventana emergente de eventos .....	83
Figura 44 Ventana emergente de control y monitoreo.....	83
Figura 45 Ventana emergente de eventos .....	86
Figura 46 Plantilla para generación de reportes de alarmas .....	86
Figura 47 Botón para acceso de la ventana de ayuda .....	87
Figura 48 Arquitectura de la red .....	89
Figura 49 Flujo del proceso de producción.....	90
Figura 50 Flujo del proceso de alarma en tablero y estación 1, 2 y 3.....	91
Figura 51 Módulo implementado (vista superior) .....	93
Figura 52 Módulo implementado (vista frontal).....	93
Figura 53 Distribución de los elementos .....	94
Figura 54 Elementos de la puerta del tablero.....	94
Figura 55 Conectores macho/hembra del módulo .....	95
Figura 56 Módulo de seguridad implementado .....	97
Figura 57 Proceso para implementación de la arquitectura en ArcestrA.....	97
Figura 58 Elementos exclusivos de ArcestrA.....	100
Figura 59 Plantillas utilizadas .....	101
Figura 60 Parámetros de variables .....	101
Figura 61 Modelo de planta digital .....	102
Figura 62 Configuración plataforma.....	102
Figura 63 Configuración del motor de aplicación .....	103
Figura 64 Configuración del DASMBTCP.....	104
Figura 65 Asignación de tópico en ArcestrA – SuiteLink .....	104
Figura 66 Arquitectura del software implementada.....	106
Figura 67 Pantalla principal .....	106
Figura 68 Pantalla emergente de control.....	107
Figura 69 Pantalla estación 1 .....	107
Figura 70 Navegación en interfaz .....	108
Figura 71 Ventana emergente de mantenimiento .....	109
Figura 72 Ventana emergente de alarmas .....	109
Figura 73 Ventana de histórico de alarmas.....	110
Figura 74 Ventana de conexiones .....	111
Figura 75 Ventana de reportes .....	112
Figura 76 Representación de conexión de elementos de seguridad en estación 1 .....	114
Figura 77 Representación de conexión de elementos de seguridad en estación 2.....	115
Figura 78 Representación de conexión de elementos de seguridad en estación 3.....	116
Figura 79 Representación de conexión de elementos de seguridad en tablero.....	117
Figura 80 Elementos de seguridad implementados .....	117
Figura 81 Programa de seguridad .....	119
Figura 82 Proceso de funcionamiento de la maqueta de seguridad .....	121

Figura 83 Resultado de efectividad de la maqueta .....	124
Figura 84 Sistema integrado de seguridad estación de corte .....	129
Figura 85 Sistema integrado de seguridad estación de prensado de marca .....	130
Figura 86 Sistema integrado de seguridad estación de empacado .....	131

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Consecuencias y beneficios .....	5
Tabla 2	Ejemplos de riesgos mecánicos por prevenir.....	7
Tabla 3	Palabras guía para revisar desviaciones.....	14
Tabla 4	Clasificación de la magnitud del riesgo.....	16
Tabla 5	Clasificación de la exposición al riesgo.....	17
Tabla 6	Clasificación de la posibilidad de eliminación del riesgo.....	17
Tabla 7	Clasificación de la estimación de probabilidad .....	17
Tabla 8	Subsistema generación de vapor.....	28
Tabla 9	Subsistema refinación etapa1.....	28
Tabla 10	Subsistema refinación etapa2.....	29
Tabla 11	Subsistema refinación etapa3.....	29
Tabla 12	Subsistema saponificación.....	30
Tabla 13	Subsistema atomización.....	31
Tabla 14	Subsistema de vacío.....	31
Tabla 15	Subsistema corte y empacado.....	32
Tabla 16	Estación de corte.....	41
Tabla 17	Estación de prensado de marca.....	42
Tabla 18	Estación de empacado.....	42
Tabla 19	Necesidades del producto .....	51
Tabla 20	Métricas de las necesidades .....	51
Tabla 21	Especificaciones objetivo.....	54
Tabla 22	Parámetros de valoración, ítem 15.....	55
Tabla 23	Parámetros de valoración, ítem 16.....	55
Tabla 24	Parámetros de valoración, ítem 20.....	55
Tabla 25	Características banda transportadora .....	56
Tabla 26	Características del sistema neumático .....	56
Tabla 27	Paleta de colores a utilizar HMI.....	62
Tabla 28	Libro de alarmas .....	65
Tabla 29	Clasificación de alarmas por su severidad.....	65
Tabla 30	Especificaciones de placa del motor.....	68
Tabla 31	Características de contacto auxiliar de seguridad .....	69
Tabla 32	Comparativa entre guardamotores .....	70
Tabla 33	Comparativa entre contactos auxiliares para guardamotores.....	70
Tabla 34	Comparativa entre variadores .....	70
Tabla 35	Señales de entrada utilizadas .....	71
Tabla 36	Señales de salida utilizadas.....	71
Tabla 37	Comparativa entre controladores .....	72
Tabla 38	Sensores de seguridad.....	73
Tabla 39	Comparativa entre modelos de controladores de seguridad .....	73
Tabla 40	Comparativa entre switches.....	73

Tabla 41 Dispositivos conectados a fuente DC .....	74
Tabla 42 Comparativa entre fuentes DC.....	75
Tabla 43 Colores para cableado .....	77
Tabla 44 Función de las pantallas .....	81
Tabla 45 Características del texto utilizados en pantallas.....	84
Tabla 46 Significado de indicadores .....	84
Tabla 47 Variables relevantes del sistema .....	85
Tabla 48 Descripción final del diseño HMI.....	87
Tabla 49 Direccionamiento de IP.....	90
Tabla 50 Dimensiones elementos en módulo .....	92
Tabla 51 Señales de seguridad utilizadas.....	96
Tabla 52 Elementos de cada área en ArcestrA .....	98
Tabla 53 Plantillas del proyecto.....	100
Tabla 54 Usuarios de la galaxia .....	105
Tabla 55 Elementos de seguridad implementados .....	112
Tabla 56 Tiempos promedio de producción por estaciones en segundos .....	123
Tabla 57 Resultados de producción de la máquina.....	124
Tabla 58 Tasa de fallos en la estación de corte.....	126
Tabla 59 Tasa de fallos en la estación de prensado de marca.....	127
Tabla 60 Tasa de fallos en la estación de empacado.....	128
Tabla 61 PFH <sub>D</sub> de los equipos de seguridad de la estación de corte.....	129
Tabla 62 Relación entre PFH <sub>D</sub> y SIL .....	130
Tabla 63 PFH <sub>D</sub> de los equipos de seguridad de la estación de prensado de marca.....	131
Tabla 64 PFH <sub>D</sub> de los equipos de seguridad de la estación de empacado.....	132
Tabla 65 Resultados de pruebas en estación de corte .....	132
Tabla 66 Resultados de pruebas en estación de prensado.....	133
Tabla 67 Resultados de pruebas en estación de empacado .....	134

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Diagrama P&ID del proceso de jabón.....	142
Anexo B. Análisis de desviaciones de variables de la planta de jabón.....	143
Anexo C. Definición del SIL requerido de la planta de jabón.....	144
Anexo D. Análisis de desviaciones de variables del módulo .....	145
Anexo E. Definición del SIL requerido del módulo .....	146
Anexo F. Reporte de análisis de funciones de seguridad en software .....	147
Anexo G. Diagrama de conexión.....	148
Anexo H. Distribución de elementos en tablero .....	149
Anexo I. Diagrama neumático .....	150

## RESUMEN

Todos los días los trabajadores de las fábricas están propensos a sufrir accidentes laborales ya sea que pueda resultar en su muerte o lesiones graves, por lo que es necesario un análisis de los niveles de integridad de seguridad (SIL) en las plantas, de tal manera que indiquen que nivel de seguridad debe tener su proceso y las recomendaciones que debe tomar para mantener un ambiente seguro, lo que una vez teniendo en cuenta estos parámetros se procede a la implementación de protocolos o dispositivos de seguridad que cumplan con estos niveles. De manera que la mayoría de las industrias en Ecuador apenas llegan a cumplir los requisitos de un ambiente seguro determinado por el IEES, sin preocuparse efectivamente con sus trabajadores y en otros casos por negligencia propia de ellos, se producen varios accidentes laborales, por lo que mediante un módulo demostrativo de un sub-proceso que contenga las debidas seguridades, se pretende concientizar y mostrar los riesgos existentes en una fábrica y que existen varias soluciones para mantener seguro un ambiente riesgoso, debido a que existen líneas especializadas que producen dispositivos de seguridad ya certificados con niveles de seguridad SIL 2 y 3 evitando pérdidas de vidas o bienes.

### **Palabras Clave:**

- SIL
- PREVENTA
- HAZOP
- MODBUS
- SCADA
- ARCHESTRA

## **ABSTRACT**

Every day factory workers are susceptible to occupational accidents whether they result in serious injury or even death, so an analysis of safety integrity levels (SIL) is required in plants to indicate what level of safety your process should have and what recommendations you must take to maintain a safe environment, which, once you consider these parameters, proceed to implement protocols or security devices that comply with these levels. Because most of the industries in Ecuador tend barely to meet the requirements of a safe environment determined by the IEES, without really worrying with their workers and in other cases because of their own negligence, several accidents occur, which, through a demonstrative module of a sub-process that contains the necessary safeguards, is intended to raise awareness and show the existing risks in a factory and for that, there are several solutions to keep a risky environment safe, since there are specialized lines that produce safety devices already certified with SIL 2 and 3 avoiding loss of life or economic.

### **Key Words:**

- SIL
- PREVENTA
- HAZOP
- MODBUS
- SCADA
- ARCHESTRA

## CAPÍTULO 1

### INFORMACIÓN DEL PROYECTO

#### 1.1. Introducción

El desarrollo tecnológico nunca se detiene, lo que provee mejores equipos para las industrias, automatizando sus sistemas y aumentando su producción, pero a su vez al tener máquinas realizando los trabajos más pesados y minuciosos a lo largo de las diferentes plantas, son necesarios la implementación de protocolos y dispositivos de seguridad que mantengan a los operarios y las mismas máquinas seguras ante posibles accidentes.

Debido a la gran cantidad de accidentes laborales, según la OIT (Organización Internacional del Trabajo), a cada 15 segundos, 115 trabajadores sufren accidentes laborales (OIT, 2013), teniendo en cuenta que esta cifra es alarmante, y son necesarias mejores medidas de seguridad, que mantengan al personal en un ambiente seguro. Es necesario tomar en cuenta que los accidentes son perjudiciosos tanto para el accidentado como para la empresa que está a cargo, lo que siempre va acarrear en problemas económicos y sociales.

Se necesita apuntar a uno de los sectores laborales el que el Ecuador y sus fábricas en general mismo con las nuevas normas de seguridad y salud, aún existen muchos ambientes de trabajo que no se encuentran debidamente protegidos librando a los trabajadores de los riesgos que puedan presentarse. Una de las soluciones que se propone es el análisis de los indicadores de seguridad SIL que permitirán saber qué nivel de seguridad es necesario implementar en la fábrica para mantener seguro tanto a sus trabajadores como sus equipos.

Para el cumplimiento de niveles de seguridad más avanzados, es necesaria la implementación de equipos especializados para seguridad, por lo que se quiere mostrar sobre un módulo demostrativo, la inseguridad que se puede presentar en un área de trabajo automatizada, y como ciertos dispositivos de seguridad podrían mantener un ambiente más seguro para los trabajadores evitando accidentes laborales y manteniendo una producción continua.

## 1.2. Antecedentes

El desarrollo industrial en el mundo trajo el incremento de accidentes laborales, obligando a aumentar las medidas de seguridad, donde la responsabilidad de esta seguridad recae en los empresarios como en los operarios. La Revolución Industrial marca el inicio de la seguridad industrial con la aparición de mecanismos que aumentaron los accidentes en el trabajo, tal que en 1871 el cincuenta por ciento de los trabajadores morían antes de los veinte años. (Ramírez, 2005)

Paulatinamente se han ido mejorando las condiciones para los trabajadores y creando organizaciones que regulan normas para mejorar su seguridad, en la actualidad también empresas se enfocan en la automatización de sistemas de seguridad integrados en máquinas ofreciendo a los operarios ambientes seguros.

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), es una organización mundialmente comprometida a la estandarización de los campos eléctricos y electrónicos. En 1988 la IEC con el estándar 61508, *Seguridad funcional Eléctrica/ Electrónica/ Electrónica programable de sistemas relacionados con seguridad (E/E/PE)*. En su apartado 5, *Ejemplos y Métodos para Determinar los Niveles Integrados de Seguridad (SIL)*, permite definir los métodos para determinar de forma cuantitativa y cualitativa los SIL, siendo una de ellas la metodología HAZOP, analizando los eventos de riesgos posibles (Pepperl+Fuchs, 2016). En la definición de SIL se definen valores enteros comprendidos en un rango de 1 a 4 los cuales corresponden a:

- SIL 1: Protección baja de la instalación y la producción.
- SIL 2: Protección importante de la instalación, la producción y los empleados.
- SIL 3: Protección importante para la comunidad y los empleados.
- SIL 4: Protección importante de la comunidad reducción de riesgo al máximo.

Desde el 2008 según la Constitución de la República, el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS), a través del Seguro General de Riesgos de Trabajo, es responsable de aplicar el seguro universal obligatorio en Ecuador, brindando desde el primer día, protección en riesgos laborales a los trabajadores(as) que han sufrido algún tipo de percance como accidentes de trabajo o enfermedades profesionales; a su vez capacita, supervisa y audita a las empresas para que cumplan con las normas técnicas de

prevención de esos accidentes laborales y enfermedades (IESS, 2011). Esta entidad certifica si las empresas cumplen con los reglamentos de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), realizando las auditorias para mantener un ambiente seguro.

En el año 2010 se empieza a aplicar los Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional (OHSAS), que son estándares de la Serie de Evaluación de la Seguridad y Salud en el Trabajo creadas por la British Standard Institution (BSI), específicamente el estándar OHSAS:18001 que trata sobre los requisitos necesarios para el cumplimiento de la normativa, basándose en una metodología conocida como Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA), donde se busca una mejora continua en la empresa.

Uno de los objetivos de OHSAS es establecer un sistema de gestión de la SST para eliminar o minimizar los riesgos al personal y a otras partes interesadas, que podrían estar expuestas a peligros para la SST asociados con sus actividades (INEN, 2010). Con esto se vuelven más rigurosos los estándares necesarios por cumplir para mantener un ambiente seguro en el trabajo y las certificaciones nacionales de seguridad industrial.

El IESS regula el cumplimiento del decreto 2393, en las Disposiciones Generales, en el inciso 3 del artículo 5, por intermedio de las Dependencias de Riesgos del Trabajo debe: *“Realizar estudios e investigaciones sobre prevención de riesgos y mejoramiento del medio ambiente laboral”*. (Decreto Ejecutivo 2393, 1988).

Los equipos industriales y máquinas en su mayoría son de fácil manipulación en su estructura o control, provocando un aumento de riesgo a los operarios en dichas zonas de trabajo, por tal motivo en el Registro Oficial No.249 Capítulo IV, artículo 15, en los incisos e y f, prohíbe a los operadores:

*e) Alterar, cambiar, reparar o accionar máquinas, instalaciones, sistemas eléctricos, etc., sin conocimientos técnicos o sin previa autorización superior.*

*f) Modificar o dejar inoperantes mecanismos de protección en maquinarias o instalaciones.* (REGISTRO OFICIAL No. 249, 2008)

Según la información del IESS al 2014, las atenciones médicas por accidentes de trabajo variaron de 2.075 (enero 2014) a 3.612 (diciembre 2014), creciendo en 74%. (IESS, 2014)

El IESS establece en la resolución CD-513 en el capítulo IV artículo 16: *El derecho a las prestaciones originadas por accidente de trabajo se genera desde el primer día de labor del trabajador, bajo relación de dependencia o sin ella.* A pesar de una adecuada capacitación, la falta de experiencia podría originar accidentes, que dependiendo de su índice de gravedad mostrado en la tabla de la resolución en el capítulo XI artículo 57, ocasionaría pérdidas económicas en la empresa, al tener que pagar altas indemnizaciones. (IESS, 2016)

La empresa SEIUS S.A., se ubica en el cantón Rumiñahui, desde el año 2004, está dirigida al área de ingeniería, construcción, supervisión y gerencia de proyectos eléctricos y de automatización, desarrollados en diferentes sectores productivos del Ecuador, buscando ampliar sus proyectos ofreciendo nuevos equipos de la marca de Schneider Electric de la línea Preventa de controladores y módulos de seguridad que se enfocan a la seguridad integrada en máquinas, permitiendo la reducción de riesgos y como consecuencia evitando gastos imprevistos a causa de estos.

### **1.3. Justificación e importancia**

El uso de las máquinas puede implicar riesgos para la seguridad tanto a nivel de usuarios como a las instalaciones, provocando pérdidas humanas o importantes gastos en la producción; ante situaciones así, los riesgos asociados deben reducirse a cualquier costo, priorizando la seguridad del usuario sobre la máquina, que cumpla con las condiciones para un funcionamiento seguro. Debe ser posible cuantificar la reducción de riesgos utilizando la unidad SIL establecida por la IEC.

De acuerdo con el decreto ejecutivo 2393, establecida por el Seguro General de Riesgos en el Trabajo del IESS, el presente trabajo se justifica pues, se podrá tomar como base para la prevención de riesgos mecánicos en las industrias, estableciendo la integración de dispositivos electrónicos de seguridad en máquinas.

Con el correcto diseño del sistema de seguridad integrada en máquinas, se evitará que se puedan hacer en estas manipulaciones peligrosas o acceder a zonas de riesgo, permitiendo a los operarios realizar sus labores de forma segura de tal forma que los

mecanismos de protección integrados permitan trabajar bajo las condiciones seguras que se establecen las normas nacionales e internacionales.

Los índices establecidos por el IESS al 2014 descritos en los antecedentes, se podrán disminuir con la integración adecuada de dispositivos de seguridad, además de evitar intervenciones incensarías que perturbe el desarrollo del trabajo como investigaciones de accidentes del trabajo.

Debido a los reglamentos más rigurosos de SST regulados por el IESS, las empresas buscan cumplir con las normas de seguridad para lograr estar certificadas y evitar problemas legales que pueden llegar a costar principalmente pérdidas humanas o económicas.

Para despertar el interés a las diferentes empresas sobre la importancia de implementar estos dispositivos de seguridad en la industria ecuatoriana, es necesario demostrar que la inversión reduzca el índice de accidentes y a su vez genere un ahorro económico.

Las pruebas y los ensayos realizados podrán comprobar los puntos de beneficios mostrados en la Tabla 1, que hoy en día son obligatorios para mantener un ambiente seguro según los reglamentos de SST.

**Tabla 1**  
**Consecuencias y beneficios**

Trabajo	Peligros	Beneficios
Instalar el sistema de seguridad integrado en máquinas	Máquinas de riesgo	Seguridad
	Desconfianza al operar máquinas	Prevención de accidentes
	Paradas por accidente	Confianza en el trabajo
	Costosas indemnizaciones	Información en tiempo real
	Inconvenientes legales	Menor tiempo de inactividad por accidentes

El desarrollo de proyectos, investigaciones e implementaciones que tiendan a garantizar el cumplimiento y mejora de las normas de seguridad están plenamente justificados.

#### 1.4. Alcance del proyecto

Demostrar a través de pruebas de ensayo de tipo no destructivo los riesgos mecánicos establecidos en el estudio de este proyecto y su prevención, con la integración de dispositivos electrónicos de seguridad en el módulo, estableciendo adecuados niveles de seguridad integrados. Se determinan cuatro etapas para el cumplimiento del proyecto.

1. Elaboración de los ensayos de riesgos mecánicos en módulo.
2. Diseño e implementación del control en las máquinas.
3. Diseño e implementación del sistema de seguridad integrado en el módulo con su interfaz.
4. Análisis del riesgo con el sistema de seguridad integrado.

Debiendo trabajar paralelamente los ítems 2 y 3 para el cumplimiento con los plazos de entrega impuestos por la empresa.

Se desarrollará un módulo demostrativo que simula los siguientes riesgos mecánicos: aplastamiento, corte, atrapamiento e impacto. Los ejemplos contarán con su propio sistema de control determinado durante su diseño, para representar su funcionamiento.

Esta maqueta tendrá dimensiones en la base de 1.30 (m) por 1.30 (m) y una altura de 0.90 (m), permitiendo su transportación en vehículos de carga liviana a ferias y exposiciones de automatización; dispondrá de motores (220V, 220W a 370W) y un gabinete industrial que contenga: dispositivos de protección eléctrica, PLC, variador de frecuencia y dispositivos de control de seguridad, en el que se representaran 3 ejemplos de máquinas con riesgos mecánicos.

Se implementará un sistema de monitoreo y representación del proceso que cumple la máquina para cada ejemplo, donde estará conectado a una red con dispositivos de seguridad y un PLC encargado del control de las máquinas. En el HMI (*Human Machine Interface*) se observará las alertas preventivas y emergencias ocurridas por los riesgos mecánicos planteados, de tal forma se podrá identificar con exactitud el origen del fallo, además de visualizar el estado de la máquina, estado de la conexión y redes, registros de eventos como paros de emergencia manuales y los determinados por el sistema de seguridad, también se podrá desde el HMI seleccionar el modo de funcionamiento, sea

este: con el sistema de seguridad integrado o sin él, de tal manera que se pueda representar los riesgos existentes en caso de la inexistencia de los dispositivos de seguridad.

Se integrará un sistema de seguridad desarrollado de acuerdo al riesgo determinado en el módulo, donde se utilizará dispositivos y controladores electrónicos de protección integrados en las máquinas como medidas de seguridad que cumplan con un nivel de seguridad de SIL 2 o SIL 3, se emplearán los siguientes dispositivos de protección de la línea Preventa de marca Schneider Electric impuestos por la empresa SEIUS S.A., evitando los posibles accidentes descritos en la Tabla 2.

Para determinar el nivel SIL antes y después de la integración del sistema de seguridad, se empleará el método HAZOP una herramienta para determinar el riesgo mediante métodos cualitativos, donde se deben determinar las causas (error humano, falla de equipamiento y eventos externos), consecuencias, salvaguardas existentes y recomendaciones permitiendo asignar la probabilidad y severidad del evento, mediante una matriz de clasificación de riesgos. Se evaluará la reducción del riesgo y una comparativa con la máquina antes de la implementación, así como la evaluación de las ventajas que conlleva la implementación de este sistema.

El módulo desarrollado se entregará en el segundo trimestre del año 2017, cumpliendo con los plazos establecidos por la empresa SEIUS S.A.

**Tabla 2**  
**Ejemplos de riesgos mecánicos por prevenir**

Riesgos mecánicos	Acciones riesgosas	Dispositivo de prevención	Elementos referenciales en el módulo
Atrapamiento	Acceso a zonas con maquinaria en funcionamiento	Detección	Banda Transportadora, Motores y Sistemas de Transmisión
	Mantenimiento en los motores y sistemas de transmisión en marcha	Mando y Control	Motores y Sistemas de Transmisión
	Trabajos cerca de máquinas rotatorias	Mando y Control	Banda Transportadora

Continúa 

Aplastamiento	Movilización por sectores de máquinas en movimiento	Detección y Control	Máquina de Prensado Máquina de Corte
	Mantenimiento de la estructura mecánica	Mando, Detección y Control	
Corte	Acceso a zonas con maquinaria funcionando	Detección	Máquina de Corte
	Manipulación del material a cortar, durante la operación de la máquina	Mando, Control y Detección	
	Mantenimiento en el sistema de la máquina	Mando y Detección	
Impacto	Movilización por sectores de máquinas en movimiento	Detección	Máquina de Prensado
	Mantenimiento con máquina funcionando	Mando y Detección	

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. General.

Demostrar la reducción de riesgos mecánicos, mediante dispositivos y controladores de seguridad integrados en máquinas, representados en un módulo demostrativo monitoreando y registrando eventos en tiempo real, cumpliendo con niveles de seguridad de mínimo SIL 2.

### 1.5.2. Específico.

- Medir los parámetros necesarios para el cálculo de los Niveles Integrados de Seguridad en el módulo demostrativo.
- Definir las características de los ensayos que demuestren el cumplimiento del SIL y normas establecidas para el sistema de seguridad implementado en el módulo.
- Evaluar el cumplimiento de los reglamentos SST con la implementación de los dispositivos de seguridad.
- Establecer el control para simular el funcionamiento de las máquinas y el monitoreo en tiempo real de sus variables y eventos.
- Desarrollar un módulo de fácil transportación por la empresa.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Seguridad industrial**

##### **2.1.1. Introducción**

Cada año, en todo el mundo, los trabajadores sufren accidentes al laborar, sean estas lesiones leves hasta fatales. Al suceder estos accidentes en el trabajo, llega a provocar un alto estrés laboral tanto en el afectado como a los demás trabajadores, también pudiendo sufrir de dolores físicos, la pérdida de la capacidad de realizar su trabajo, sufrimiento en los familiares y también afectar económicamente a la empresa encargada de indemnizar al afectado y la sociedad en general.

Por eso es de gran importancia evitar los accidentes en el trabajo, donde todos los involucrados, ya sean; los trabajadores, técnicos, directivos de las empresas y autoridades del gobierno, están en la responsabilidad de aportar a lograr un ambiente seguro (Rojo Manuel, 2000). La empresa es la encargada de lograr una reducción del riesgo en las distintas zonas de sus instalaciones, tomando en cuenta las distintas razones éticas, económicas y legales necesarias.

##### **2.1.2. Definición**

Para entender la seguridad industrial como contexto de la seguridad y salud ocupacional, se refiere a la gestión y eventos dentro de una industria, de manera que protejan principalmente a sus empleados, activos y la comunidad del entorno, con la reducción del riesgo logrando menor cantidad de accidentes y eventos peligrosos según dicta el decreto ejecutivo 2393 aún vigente (IESS, 1986). Para lograr este ambiente seguro, los empleadores deben asegurar de forma estricta que se cumplan con las normas y leyes de seguridad existentes en el país, que relacionados al tema se encargan principalmente el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) y la Serie de Evaluación de la Seguridad y Salud en el Trabajo (OHSAS).

### 2.1.3. Seguridad

Según (William W. Lowrance) el término se simplifica a “una evaluación de la aceptabilidad del riesgo” (Lowrance, 1976), lo que lleva a tener que cuantificar el riesgo, o también se entiende por, la condición de estar protegido contra los daños físicos, sociales, espirituales, financieros, políticos, emocionales, ocupacionales, psicológicos, educativos, de fallos, daños, errores, accidentes u otro evento que podría considerarse no deseable (Petroudi Dimitra, 2008).

### 2.1.4. Riesgo y peligro

La existencia de estos dos conceptos puede parecer sinónimos, pero no es así, siguiendo la descripción de (William W. Lowrance), el riesgo es función de tres factores; la probabilidad de que se produzca una sucesión de eventos y resulte en una consecuencia específica, la severidad de la consecuencia y la exposición a la oportunidad de que ocurra la secuencia de eventos.

En cambio, el peligro existe en el caso en que un objeto o situación tenga una capacidad inherente de provocar un efecto adverso, es decir daño a la persona o a los bienes. El peligro no siempre se encuentra en las cosas, también se puede encontrar al interactuar con ellas de forma errada o negligente. Simplificando, para que exista riesgo debe primero estar el peligro y para eso también estar expuesto al mismo.

### 2.1.5. Clasificación de factores de riesgos ocupacionales

Este término viene normado en la resolución C.D.513 Art.9, indicando que *se consideran factores de riesgos específicos que entrañan el riesgo de enfermedad profesional u ocupacional y que ocasionan efectos a los asegurados, los siguientes: mecánico, químico, físico, biológico, ergonómico y psicosocial*” (IESS, 2016).

**Factor de riesgo físico** .- son los factores ambientales que van en dependencia de las propiedades físicas de los cuerpos, tales como; ruido, iluminación, radiaciones, temperatura, vibraciones, entre otras que al interactuar con el cuerpo el trabajador, pueden producir efectos dañinos. (Ministerio de la Protección Social, 2011)

**Factor de riesgo químico** .- son los elementos o sustancias que al momento de entrar en contacto con el organismo, puede llegar a provocar lesiones sistémicas,

quemaduras e intoxicación, en dependencia del tiempo de exposición y la concentración del mismo. (Ministerio de la Protección Social, 2011)

***Factor de riesgo biológico*** .- este tipo de riesgo es más propenso en ambientes donde se realicen trabajos de la salud, alimentos y desechos, donde se encuentran casos de agentes orgánicos, tales como; virus, bacterias, hongos, parásitos, entre otros que no son favorables para la salud del trabajador. (Ministerio de la Protección Social, 2011)

***Factor de riesgo psicosocial*** .- La interacción en el ambiente de trabajo, las condiciones de organización laboral y las necesidades, hábitos, capacidades y demás aspectos personales del trabajador y su entorno social, en un momento dado pueden generar cargas que afectan la salud, el rendimiento en el trabajo y la producción laboral. (Ministerio de la Protección Social, 2011)

***Factor de riesgo de inseguridad*** .- se origina en diferentes factores existentes en las, máquinas, equipo, objetos, herramientas, que pueden llevar a suceder accidentes laborales al entrar en contacto con la persona, ya sea por carencia de guardas de seguridad en los sistemas, falta de mantenimiento o áreas de operación con elementos móviles y salientes sin protección. (Ministerio de la Protección Social, 2011)

***Factor de riesgo del medio ambiente físico y social*** .- están sujetas a todas las condiciones externas que desencadenan alteraciones en los trabajadores no pudiendo ser controladas directamente por el empleador. (Ministerio de la Protección Social, 2011)

***Factor de riesgo de saneamiento ambiental*** .- son todos los objetos, energía o sustancia sólida, líquida o gaseosa que resulta de la utilización, descomposición, transformación, tratamiento o destrucción de una materia y/o energía que carece de utilidad o valor y cuyo destino natural deberá ser su eliminación. (Ministerio de la Protección Social, 2011)

## **2.2. Normas y reglamento de seguridad y salud en Ecuador**

La Resolución C.D. 513, emitida el 4 de Marzo del 2016 por el Consejo Directivo del IESS (IESS, 2016), contiene el nuevo Reglamento del Seguro General de Riesgo

del Trabajo (SGRT-IESS) quedando derogada la antigua Resolución C.D. 390 del 10 de noviembre del 2011, el "Reglamento para el Sistema de Auditorías de Riesgos del Trabajo (SART)" expedido en la Resolución C.D. 333 del 7 de octubre del 2010 y también el Instructivo para aplicación del Reglamento para Auditorías de Riesgos del Trabajo-SART, expedido el 29 de julio del 2011.

Uno de los objetivos de esta nueva resolución, es disminuir la carga documentaria hacia las empresas, y centrando en la seguridad de ella el artículo 55 de la resolución C.D. 513 indica que las empresas deben implementar mecanismos de Prevención de Riesgos del Trabajo, haciendo énfasis en:

- Identificación de peligros y factores de riesgos.
- Medición de factores de riesgos.
- Evaluación de factores de riesgos.
- Control operativo integral.
- Vigilancia ambiental laboral y de la salud.
- Evaluaciones periódicas.

Otro de los puntos importantes de la resolución C.D. 513 son los parámetros técnicos de riesgos del trabajo, donde intervendrán en la empresa, en el momento que se deba investigar un accidente o enfermedad ocupacional, y de ocurrir esto, analizarán el puesto de trabajo involucrado, identificando las causas básicas como:

- Identificación de peligros, medición, evaluación y control de riesgos.
- Gestión de vigilancia ambiental laboral y de la salud de los trabajadores.
- Investigación de accidentes y enfermedades ocupacionales.
- Gestión de equipos de protección personal y ropa de trabajo.
- Formación, Capacitación y Adiestramiento a los trabajadores.

De igual manera la resolución *C.D. 513 en el apartado 5.1.1 Anexo A*, indica las normas necesarias que mantienen un puesto de trabajo seguro, para la investigación de accidentes o enfermedades ocupacionales.

- Factores de riesgos químicos.
- Factores de riesgos físicos.
- Equipos de protección personal.

- Factores de riesgos biológicos.
- Factores de riesgos ergonómicos.
- Factores de riesgos psicosociales.
- Protecciones colectivas.
- Espacio para desenvolverse.
- Herramientas, equipos y materiales con diseño estándar.
- Sistemas de advertencias.
- Orden y Limpieza.
- Otros.

### **2.3. Análisis de riesgos**

Para la determinación del SIL es necesario un análisis de riesgos y operatividad del sistema por sus siglas en inglés HAZOP (Hazard and Operability). Este es un método desarrollado en 1970 por ingenieros de la Chemical industries de Reino Unido, HAZOP se define como: “Un estudio a cargo de un Equipo Multidisciplinario, quienes aplican palabras guías para identificar desviaciones desde el diseño de un sistema y sus procedimientos, el equipo intenta identificar las causas y consecuencias de estas desviaciones y sus sistemas de protección instalados para minimizar y así realizar recomendaciones para la reducción del riesgo” (Smith, 2001).

#### **Objetivos del método HAZOP**

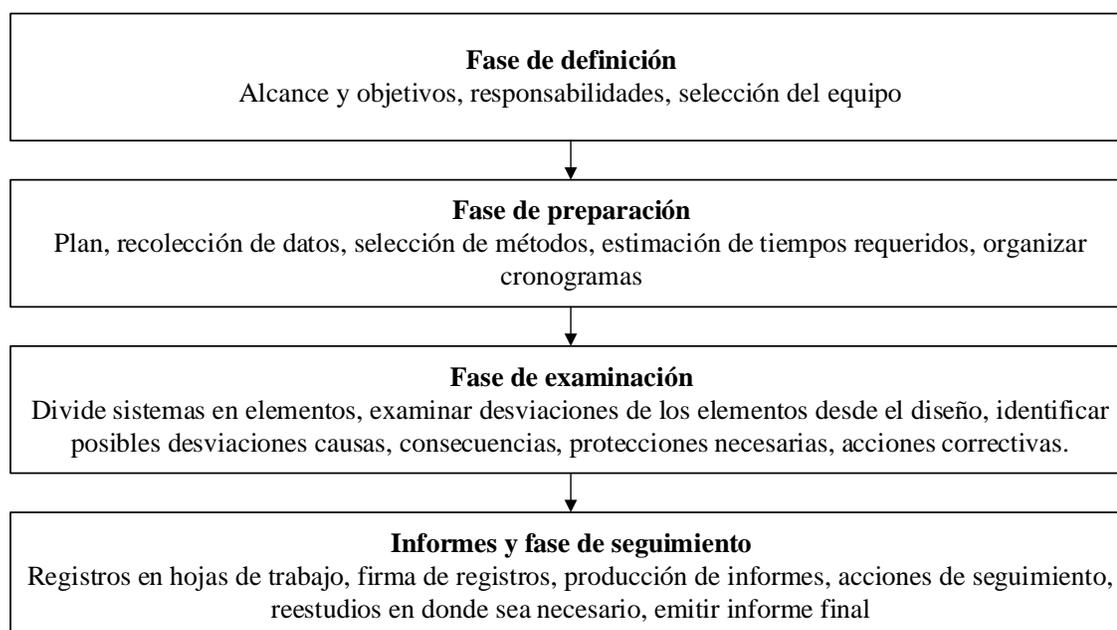
- Identificar y evaluar los riesgos dentro de procesos y operaciones.
- Identificar problemas significativos de operación y calidad.
- Identificar problemas prácticos relacionados con operaciones de mantenimiento.

El procedimiento del HAZOP comprende de 4 pasos esenciales como se muestra en la Figura 1.

En la fase de definición y preparación se establece los objetivos y un plan de trabajo que permita llegar a lo planteado en el estudio. Para las dos últimas fases se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones.

#### **Fase de examinación**

La base para el análisis de riesgos es el “examinación de palabras clave” de partes de un planta o sistemas para encontrar desviaciones posibles dentro del diseño. Este es un método inductivo destinado a inducir cambios de las condiciones de trabajo previstas, identificando cualquier efecto problemático. (Macdonald, 2004)

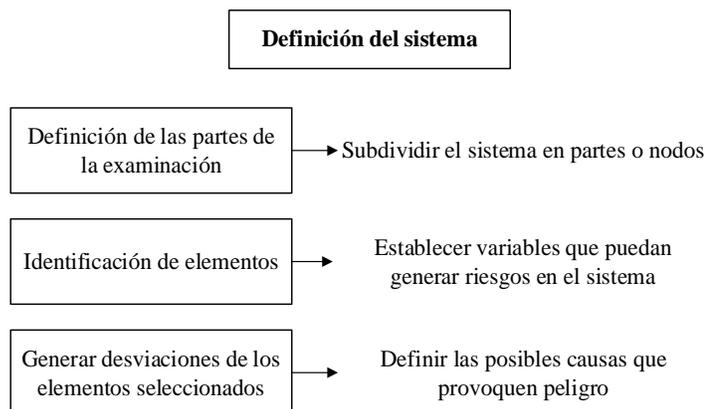


**Figura 1 Pasos para el análisis de riesgos y operatividad del sistema**  
(Macdonald, 2004)

Para la examinación se define cada una de las partes o nodos y cuáles son las variables que intervienen en estos subprocesos. Las desviaciones se revisan en variables como caudal, temperatura, presión. En la Tabla 3 se encuentran ciertas palabras guía que se pueden usar en el estudio. Lo que se debe considerar en la fase de examinación se presenta en la Figura 2.

**Tabla 3**  
**Palabras guía para revisar desviaciones**

Palabra guía	Significado	Explicación
No o No	El parámetro es cero	Algo no sucede, pero no existe ningún otro efecto
Mas que o Menos que	Hay incremento o decremento del parámetro en el proceso	Flujo o temperaturas no normales
Tanto como	Incremento cualitativo	Algunos efectos adicionales
Parte de	Incremento cualitativo	Efecto parcial
Reversa	Oposición	Flujo inverso
Otro que	Sustitución	Efecto totalmente diferente



**Figura 2 Partes de la fase de examinación**

### 2.3.1. Norma IEC 61508

La norma especifica 4 niveles de seguridad para una función de seguridad, llamados Niveles Integrados de Seguridad, que envuelve al desarrollo de sistemas eléctricos, electrónicos o eléctricos programables que impliquen seguridad.

SIL 1 es el nivel más bajo de seguridad integrada y el SIL 4 es el nivel más alto, los requerimientos se vuelven más rigurosos en los niveles más altos para lograr la menor probabilidad que exista un fallo que implique riesgos. En el apartado 5 de la norma se encuentran ejemplos de métodos para la determinación de niveles de seguridad integrados. (IEC, 2004)

### Métodos de determinación de SIL según IEC 61508

Para la determinación del SIL existen dos tipos de métodos: métodos cuantitativos y cualitativos, que se describen a continuación.

#### Método cuantitativo

La parte 5 de la norma IEC 61508 determina, como se pueden establecer los SIL de acuerdo con un enfoque cuantitativo que es de particular valor cuando: el riesgo tolerable deba especificarse de forma numérica o se hayan especificado objetivos numéricos para SIL. Para determinar estos valores es necesario tomar en cuenta:

- Análisis de tasas de fracaso de situaciones comparables.
- Base de datos relevantes.
- Cálculo usando métodos predictivos adecuados.

### Métodos cualitativos

El enfoque cualitativo es adoptado para simplificar el número de parámetros que describen las situaciones peligrosas del sistema. Los parámetros establecidos deben:

- Permitir la valoración significativa de los riesgos.
- Contener los principales factores de evaluación del riesgo.

### Gráficos de riesgo

Este método pertenece a la publicación de la norma alemana DIN 19250 publicada en 1994, este es un método basado en categorías que utilizan las consecuencias y frecuencias de un evento peligrosos, además revisa también la probabilidad de que una persona se encuentre en el área afectada y la posibilidad de que esta pueda evadir el peligro.

Los parámetros de riesgo son tomados de la norma IEC 61511. A continuación, se describen los parámetros que se analizan en este método de acuerdo con la norma IEC 61511:

- **Consecuencias (C):** Para identificar la magnitud del riesgo relacionado con personas se establece un rango de consecuencias como se muestra en la Tabla 4 determinado por el nivel de la lesión provocada hasta la muerte de muchas personas. Se asigna la inicial C para su identificación.
- **Tiempo de exposición (F):** la fracción del tiempo que la persona se encuentra en el área de un evento peligroso, siendo FB el valor de mayor riesgo que FA. Cuando el tiempo de exposición es aproximadamente el 10% o menor se selecciona FA como se muestra en la Tabla 5

**Tabla 4**  
**Clasificación de la magnitud del riesgo**

Clasificación	Símbolo	Consecuencia
Leve	C <sub>A</sub>	Lesión o herida leve que no genera incapacidad
Seria	C <sub>B</sub>	Lesión provoca incapacidad o muerte
Muy Seria	C <sub>C</sub>	Muerte de varias personas
Grave	C <sub>D</sub>	Muerte de muchas personas

**Tabla 5**  
**Clasificación de la exposición al riesgo**

Clasificación	Símbolo	Tiempo de exposición
Ocasional a frecuente	F <sub>A</sub>	Rara exposición a la zona peligrosa (Anual o por intervalo de meses)
Frecuente a permanente	F <sub>B</sub>	Frecuente exposición (Semanal o diaria)

- **Posibilidad de evitar el peligro (P):** en la IEC 61511 proporciona una lista de cumplimientos, que determinan si la metodología y la logística implementadas en una zona permiten que el personal pueda escapar del área peligrosa. P<sub>B</sub> representa menor riesgo que P<sub>A</sub> como se indica en la Tabla 6

**Tabla 6**  
**Clasificación de la posibilidad de eliminación del riesgo**

Clasificación	Símbolo	Tiempo de exposición
Posible bajo ciertas condiciones	P <sub>A</sub>	Se puede reducir o eliminar el riesgo bajo ciertas condiciones de control
Apenas posible	P <sub>B</sub>	Es poco probable reducir el riesgo

- **Relación de demanda (W):** es la frecuencia por año, en que se presenta la consecuencia no deseada descrita en la Tabla 7. El rango comprendido de esta relación va de W<sub>1</sub> a W<sub>3</sub> siendo la demanda de menor rango de 0.03 por año hasta una máxima de 3 relaciones por año.

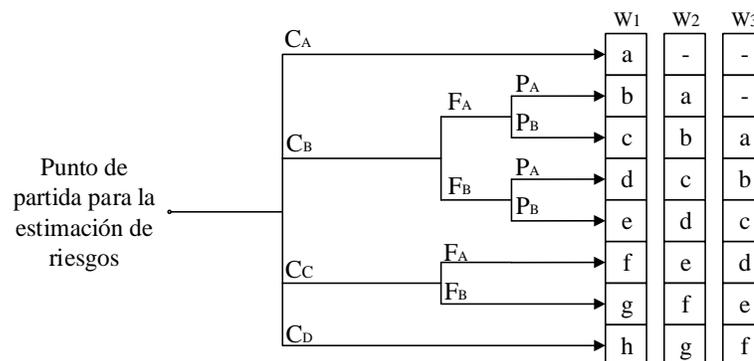
**Tabla 7**  
**Clasificación de la estimación de probabilidad**

Clasificación	Símbolo	Tiempo de exposición
Muy reducida	W <sub>1</sub>	Una probabilidad muy leve de ocurrencia del evento, pocos incidentes probables
Reducida	W <sub>2</sub>	Una probabilidad muy leve de ocurrencia del evento, pocos incidentes probables
Realmente alta	W <sub>3</sub>	Probabilidad realmente alta de que ocurra frecuentemente los eventos no deseados

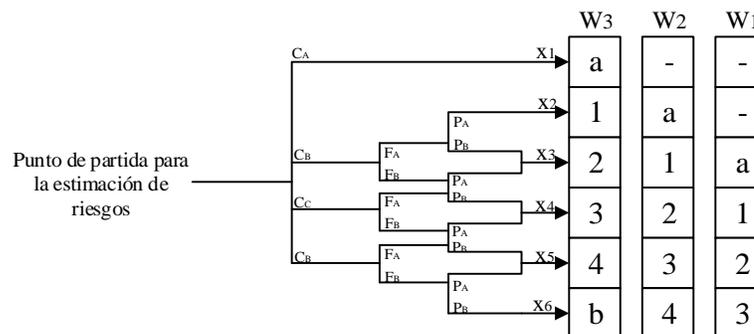
Para la determinación del SIL necesario de forma que el sistema sea un entorno seguro se usará un gráfico de riesgos determinado en la norma IEC 61508-5 como se presenta en la Figura 3, para las variables revisadas en este capítulo se revisará el SIL necesario a

cumplir, evaluando primero el estado actual y luego las posibles recomendaciones para alcanzar ese SIL establecido.

En la Figura 4, se identifica que SIL debe cumplir de acuerdo al análisis de riesgos, es un reemplazo de la Figura 3, si el análisis llega a una de las casillas vacías quiere decir que el sistema no necesita requerimientos de seguridad, los casilleros marcados con la letra “a” indican que no es necesario requerimientos de seguridad especiales y la letra “b” que ningún sistema de seguridad sería suficiente.



**Figura 3 Gráfico de riesgo**  
(IEC, 2005)



**Figura 4 Gráfico de riesgo esquema cuantitativo**  
(IEC, 2005)

#### 2.4. Seguridad en máquinas

Los diseñadores de máquinas deben ofrecer en sus diseños equipos seguros y eficientes, cumpliendo con normativas de seguridad exigidas en el Ecuador, así como normativas internacionales cumpliendo estándares de calidad. La seguridad debe presentarse en la fase de Instalación, funcionamiento y mantenimientos, es decir en todo el ciclo de vida de la máquina.

La responsabilidad de seguridad recae tanto en el fabricante como en el usuario, el fabricante deberá ofrecer la seguridad en sus diseños y el usuario no debe alterar las configuraciones de seguridad establecidas por el fabricante (Schneider Electric, 2011). Para la evaluación de los riesgos en una máquina se debe tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Identificar los límites de la máquina
- Identificar los peligros
- Identificar los posibles afectados

Algunos de estos riesgos pueden evitarse mediante soluciones sencillas, por ejemplo, evitando accesos a zonas peligrosas o con la automatización de algunas tareas que generen riesgos.

El sistema de seguridad debe estar incluido en todas las etapas de la automatización, en la captación de datos con sensores de seguridad, en el proceso con controladores de seguridad y finalmente seguridad en las salidas como contactos y relés de seguridad que activan los actuadores del sistema. Para la conexión de estos equipos la norma ISO 13849-1 establece categorías de arquitecturas de los circuitos de seguridad. (Schneider Electric, 2011)

**Categoría B .-** Cuando se produzca un fallo es probable que los equipos destinados a la seguridad puedan ser manipulados por las condiciones físicas de estos elementos.

**Categoría 1 .-** En esta categoría ya se deben usar componentes adecuados, de esta forma los elementos de seguridad no deberían ser manipulables, en consecuencia, la pérdida de la función de seguridad es menos probable que la función anterior.

**Categoría 2 .-** En esta categoría ya se debe tener un dispositivo que realice el diagnóstico de función del sistema de seguridad, pero podría perderse la función de seguridad en los intervalos de diagnóstico.

**Categoría 3 .-** En el diseño de esta categoría deberá garantizar que un fallo no produzca la pérdida de función de seguridad, esto se consigue con redundancia es decir dos entradas y dos salidas para la función de seguridad.

**Categoría 4 .-** Se usa el máximo nivel de diagnóstico y esto se puede lograr con sensores de características electrónicas, que permitan enviar pruebas de diagnóstico a los controladores de seguridad esto hace que no se pueda perder la función de seguridad. (Schneider Electric, 2011)

Para llegar a cumplir con cada una de estas categorías dependerá de los dispositivos utilizados en el sistema de seguridad y eso se podrá evaluar con un diagnóstico estadístico de tiempo medio hasta que se produzca el fallo y la cobertura de diagnóstico de cada elemento, estos datos deberán ser proporcionados por el fabricante. Los equipos deben ser especializados en seguridad como la línea preventa que se observa en la Figura 5 de la marca Schneider Electric.



**Figura 5 Línea de seguridad marca Schneider Electric (Schneider Electric, 2011)**

Para el diseño de sistemas de seguridad se establecen los siguientes pasos:

- Realizar un análisis de riesgo y establecer el SIL necesario para la máquina, estableciendo las recomendaciones necesarias para determinar la categoría del circuito de seguridad para no perder la función de seguridad.
- Desarrollar cada función de seguridad en una estructura de bloques.
- Determinar los requisitos que deben cumplir cada elemento de seguridad.
- Determinar el diagnóstico para comprobar si se alcanza el nivel de seguridad especificado

## **2.5. Norma ISA SP 101**

La Sociedad Internacional de Automatización (ISA), fundada en 1945 crea estándares de aplicación en sistemas de automatización y seguridad industrial. Una de las normas creadas es la ISA SP 101, cuyo propósito es establecer normas, prácticas y/o

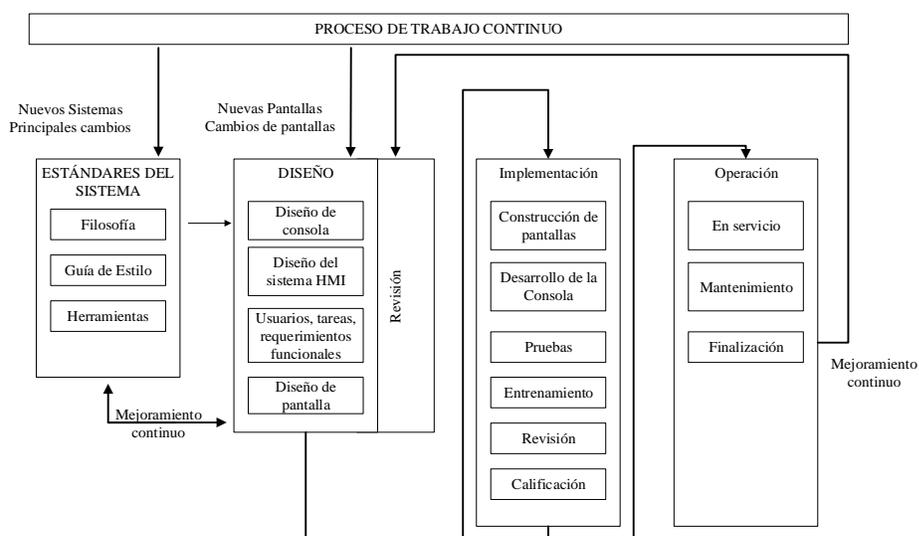
recomendaciones relacionados con las interfaces humano – máquina en aplicaciones de manufactura. (ISA, 2017)

Esta norma está dirigida a los responsables del diseño, implementación, usuarios y administradores de Interfaces humano-máquina, en industrias de manufactura. La ISA 101 hace referencia a: jerarquías de menú, convenciones de navegación de pantalla, gráficos y colores, elementos dinámicos, alarmas, métodos de seguridad, programación de interfaces, bases de datos e históricos. (ISA, 2017)

La ISA 101 propone un proceso continuo, que le da a la interface un ciclo de vida que se representa en la Figura 6. Lo que dicta el desarrollo de la norma se puede resumir en los siguientes puntos:

- Estándares del sistema: todos los documentos que establecen las bases para todas las decisiones de diseño HMI, así como su filosofía de diseño.
- Diseño: aspectos de hardware y software de la HMI.
- Implementación: creación de la HMI en la plataforma de destino, desde su construcción, entrenamiento y pruebas.
- Operación: incluye la operación normal y de mantenimiento.
- Mejoramiento continuo: manejo del cambio, validación y auditoría de la interface.

(Fitzpatrick, 2017)



**Figura 6 Ciclo de vida de la norma ISA SP 101**  
(Fitzpatrick, 2017)

## CAPÍTULO 3

### ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA UNA PLANTA DE JABÓN

En este capítulo se realiza la descripción del proceso de manufactura del jabón, identificando los riesgos existentes y la definición del SIL requerido para obtener un nivel de seguridad adecuado. El análisis se centra en los procesos desarrollados en fábricas de producción de jabón.

También se realizará una descripción del proceso e identificación del riesgo que exista en la maqueta ejemplo de una parte del proceso real del jabón. Piezas de jabón ya seccionado en barras cuadradas se colocan sobre soportes metálicos para pasar a los procesos de corte forma de la barra y el prensado de la marca, para finalmente llegar a la estación de empaclado en donde se retiran los excesos y se sella el producto en empaques manualmente.

#### 3.1. Análisis del riesgo

El análisis de riesgo se hará con la metodología HAZOP descrita en el capítulo anterior con sus 4 fases como se define en la Figura 7.



**Figura 7 Fases del método HAZOP**

##### 3.1.1. Fase de definición

A continuación, se establecerá los objetivos, alcance y equipo de trabajo necesarios para cumplir con la fase de definición que se establece en el HAZOP.

### 3.1.1.1. Objetivo

Definir los riesgos en el proceso de manufactura del jabón, para establecer el nivel de seguridad integrado que debe cumplir este proceso.

### 3.1.1.2. Alcance

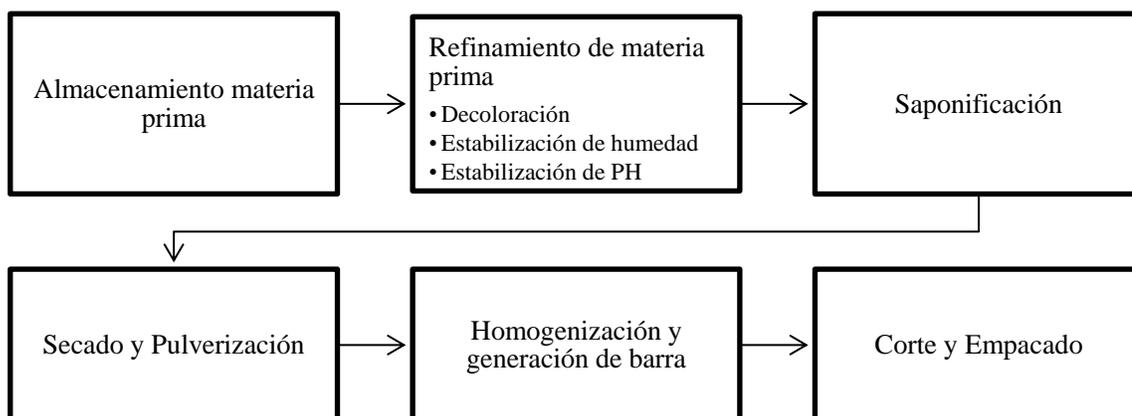
Se culminará el estudio con observaciones para la disminución del riesgo en base al estudio realizado con dispositivos electrónicos de seguridad.

### 3.1.1.3. Equipo de trabajo

El equipo de trabajo está conformado por los autores de este proyecto de titulación, y la asesoría de los jefes de planta de las fabricas visitadas en el estudio del presente trabajo.

## 3.1.2. Fase de preparación

Para la recolección de datos se determinará visitas en las plantas de procesamiento de jabón existentes en Ecuador a las cuales tenga acceso SEIUS S.A., determinando la similitud con la manufactura estándar de la elaboración del jabón. Para esto se ha identificado los siguientes subprocesos en la Figura 8:



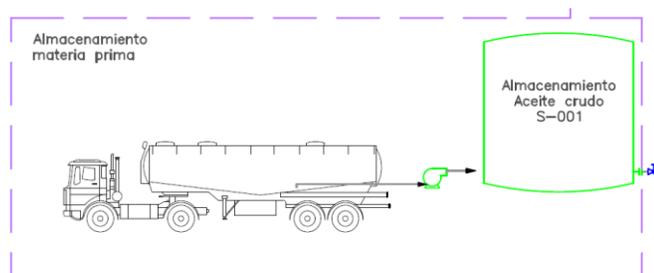
**Figura 8 Flujo de procesos de manufactura de jabón**

### 3.1.2.1. Almacenamiento de materia prima

En esta primera etapa se revisa las propiedades de la materia prima como se presenta en la Figura 9, si los estándares de calidad son los adecuados estos pasan a los silos de almacenamiento mediante bombeo. Las materias primas pueden variar entre:

- Grasas animales (vacuno, lanar, caballar)
- Aceites vegetales (Coco, palma)
- Sosa cáustica

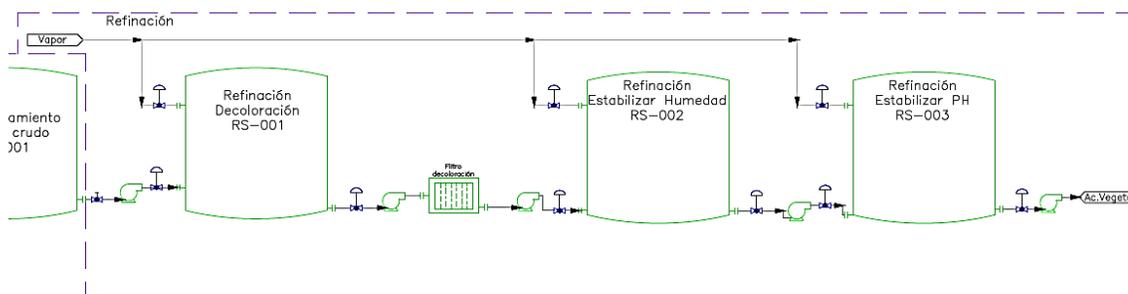
Estos productos son altamente inflamables, debiendo cuidar de los cortocircuitos o exposición alguna chispa o llama de cualquier fuente. Para el caso de la sosa cáustica la seguridad deberá ser más riguroso al tratarse de una reacción química altamente corrosiva puede causar daños en la piel y ceguera en caso de contacto con los ojos.



**Figura 9 Almacenamiento de materia prima**

### 3.1.2.2. Refinamiento de la materia prima

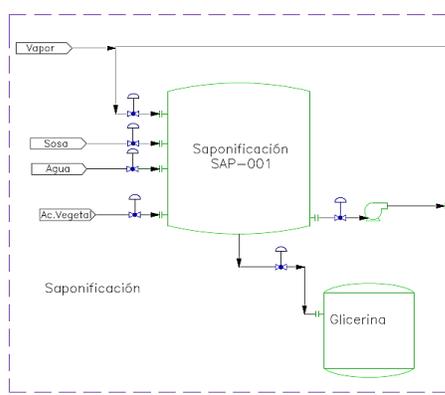
La materia prima que pase los estándares de calidad sigue su flujo a la fase de refinamiento, en la Figura 10 se encuentra el esquema del proceso que sigue la grasa animal para su refinamiento. En esta etapa los materiales pasan por calderos para lograr que la grasa animal se estabiliza a una humedad adecuada y se decolora para obtener una solución transparente y libre de mal olor, esto se logra con la mezcla de arenas de origen silíceas y el calentamiento adecuado de estos materiales. En esta etapa es importante mantener las temperaturas adecuadas de 60 °C para la refinación de los materiales.



**Figura 10 Refinación de la materia prima**

### 3.1.2.3. Saponificación

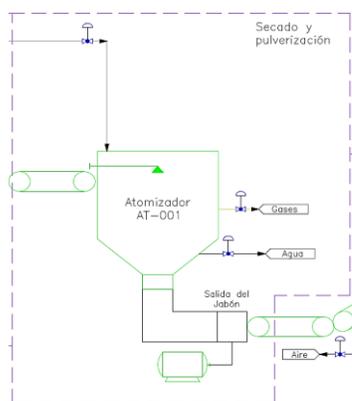
En la saponificación se provoca una reacción para que la grasa animal se convierta en jabón, donde son necesarios varios materiales como agua, sosa y otros aditivos que mediante ingreso de vapor a temperaturas establecidas entre 80 °C y 90 °C permite una mezcla homogénea como se observa en la Figura 11. Luego de mezclado pasa a un estado de reposo en donde se separa el jabón puro del desecho que se deposita en la base, el cual es aprovechado puesto que es glicerina lo que se queda en la base.



**Figura 11 Saponificación**

### 3.1.2.4. Secado y Pulverización

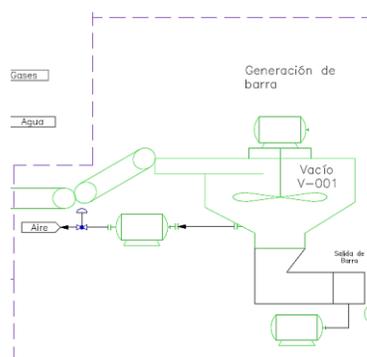
El jabón base mediante un atomizador se pulveriza y así se reduce la humedad quedando la pasta base lista para el enfriamiento visto en la Figura 12, en esta etapa ya se puede ver al jabón neutro de color blanco y a una temperatura entre 30 °C y 35 °C.



**Figura 12 Secado y pulverizado**

### 3.1.2.5. Homogenización y creación de bloques

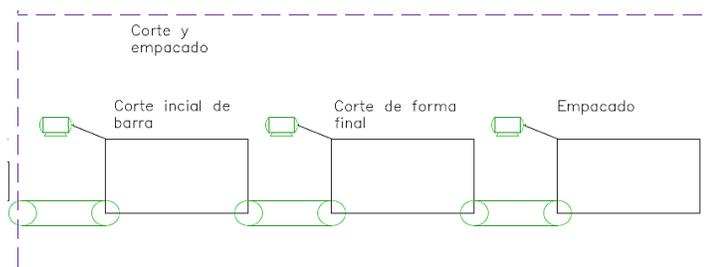
Para que el jabón quede con el resultado final se adhieren suplementos como aceites suavizantes o miel, en esta etapa la base de jabón pasa por algunos rodillos que van triturando la pasta y mezclando con los aditivos, para finalmente pasar a una tolva de vacío en donde el resultado final es una barra continua lista para el proceso de cortado sobre una banda transportadora como se indica en la Figura 13.



**Figura 13 Homogenización y creación de bloques**

### 3.1.2.6. Corte

La barra que continua, se va cortando en pastillas iniciales con guillotinas guiadas por una banda transportadora como en la Figura 14, aquí puede existir más de una estación de corte hasta llegar a su forma requerida, en proceso donde se requiere formas especiales las troqueladoras deben estar a temperaturas bajo cero de forma que la pastilla de jabón no se adhiera al troquel.



**Figura 14 Corte y empaquetado**

### 3.1.2.7. Empacado

Los jabones ya con el corte final pasan por bandas transportadoras para el empaquetado final y su paletizado, estándares de calidad hacen que esta última etapa tenga seguridades para evitar contaminación en el producto final.

### 3.1.2.8. Definición de herramientas de evaluación del riesgo

Las herramientas para el análisis de riesgos son el diagrama de instrumentación y tubería (P&ID) del proceso de forma que se detallan los equipos utilizados en el sistema y una plantilla que nos permitirá establecer los riesgos causas y consecuencias de cada nodo del sistema establecido en el P&ID.

A continuación, se determina una plantilla para la evaluación del riesgo en cada uno de los riesgos y desviaciones que se puedan presentar en las máquinas del proceso. En la Figura 15 se presenta la plantilla, que se usará en la fase de examinación.

AREA: Materia Prima			P&ID:	TAG:	NODO 1:	
VARIABLE	DESVIO	CAUSAS	CONSECUENCIAS	COMENTARIOS	ACCIONES POSIBLES	ACCIÓN FINAL

**Figura 15 Plantilla de evaluación de riesgos**

### 3.1.3. Fase de examinación

#### 3.1.3.1. División de sistema

El proceso se ha dividido en varias etapas, definidas por las secuencias que se presentan en la fábrica. En el diagrama P&ID del Anexo A se puede observar la división de los sistemas. A continuación, se detallan cada uno de estos subsistemas con sus elementos:

- **Generación de vapor**

La primera etapa corresponde a la generación de vapor, este subsistema es uno de los más importantes debido al correcto funcionamiento de esta, dependerán las primeras etapas de refinación de la materia prima, En la Tabla 8 se pueden revisar las partes que lo componen.

**Tabla 8**  
**Subsistema generación de vapor**

Partes		Variables
<b>Entrada</b>	Bomba de suministro agua caldero	Estado de la bomba
	Válvula de suministro de combustible	Estado de la válvula
	Válvula de suministro de agua	Estado de la válvula
<b>Sistema</b>	Temperatura de caldero	Temperatura
	Indicador de temperatura alta	Temperatura
	Sensor de presión	Presión
<b>Salida</b>	Válvula de purga	Estado de la válvula
	Válvula de salida de vapor	Estado de la válvula
	Presión de tubería	Presión

- **Refinación: Etapa 1 decoloración**

En la etapa de refinación se pasa por el primer silo de decoloración las partes que comprenden este subsistema se revisan en la Tabla 9.

**Tabla 9**  
**Subsistema refinación etapa1**

Partes		Variables
<b>Entrada</b>	Bomba de suministro de aceite vegetal	Estado de la bomba
	Válvula de suministro de aceite vegetal	Estado de la válvula
	Válvula de suministro de vapor	Estado de la válvula
<b>Sistema</b>	Silo de decoloración	-----
	Sensor de nivel alto	Nivel alto
	Sensor de nivel bajo	Nivel bajo
	Sensor de temperatura	Temperatura
	Sensor de presión	Presión
<b>Salida</b>	Válvula de salida del aceite vegetal	Estado de la válvula
	Presión de tubería del sistema	Presión
	Bomba de salida del material	Estado de la bomba

En esta etapa también comprende un filtro a la salida del silo.

- **Refinación: Etapa 2 estabilización de humedad**

Luego de pasar por el filtro se estabiliza la humedad en el siguiente silo. Las partes del subsistema se presentan en la Tabla 10.

**Tabla 10**  
**Subsistema refinación etapa2**

Partes	Variables	
<b>Entrada</b>	Válvula de suministro desde Etapa 1	Estado de la válvula
	Válvula de suministro de vapor	Estado de la válvula
<b>Sistema</b>	Silo de estabilización de Humedad	-----
	Sensor de nivel alto	Nivel alto
	Sensor de nivel bajo	Nivel bajo
	Sensor de temperatura	Temperatura
	Sensor de presión	Presión
<b>Salida</b>	Válvula de salida de Etapa 1	Estado de la válvula
	Presión de tubería del sistema	Presión
	Bomba de salida del material	Estado de la bomba

- **Refinación: Etapa 3 Estabilización PH**

La última fase de preparación de la materia prima es la estabilización del PH de la grasa vegetal en este proceso intervienen los elementos descritos en la Tabla 11.

**Tabla 11**  
**Subsistema refinación etapa3**

Partes	Variables	
<b>Entrada</b>	Válvula de suministro desde Etapa 2	Estado de la válvula
	Válvula de suministro de vapor	Estado de la válvula
<b>Sistema</b>	Silo de estabilización de PH	-----
	Sensor de nivel alto	Nivel alto
	Sensor de nivel bajo	Nivel bajo
	Sensor de temperatura	Temperatura
	Sensor de presión	Presión
<b>Salida</b>	Válvula de salida de Etapa 3	Estado de la válvula
	Presión de tubería sistema	Presión
	Bomba de salida del material	Estado de la bomba

- **Saponificación**

Este proceso químico es el que convierte la grasa vegetal en jabón, debe ser un proceso controlado y las variables deben cumplir con el control que se ha establecido en el flujo del proceso, las variables que intervienen en este proceso están definidas en la Tabla 12.

Aquí se cumple también un reposo que permite la separación de la base de jabón con la glicerina.

**Tabla 12**  
**Subsistema saponificación**

Partes	Variables	
<b>Entrada</b>	Válvula de aceites	Estado de la válvula
	Flujo de aceite	Flujo
	Presión tubería aceite	Presión
	Válvula de vapor	Estado de la válvula
	Flujo de vapor	Flujo
	Presión tubería vapor	Presión
	Válvula vapor	Estado de la válvula
	Flujo de vapor	Flujo
	Presión tubería agua	Presión
	Válvula de sosa	Estado de la válvula
	Flujo de sosa	Flujo
	Presión tubería sosa	Presión
	Válvula agua	Estado de la válvula
	Flujo de agua	Flujo
<b>Sistema</b>	Silo de Saponificación	-----
	Sensores de nivel	Nivel
	Sensor de temperatura	Temperatura
	Sensor de presión	Presión
	Controlador de Temperatura	-----
<b>Salida</b>	Válvula de salida	Estado de la válvula
	Presión de tubería	Presión
	Bomba de salida de material	Estado de la bomba

- **Atomización**

Luego de la saponificación, la pasta base necesita eliminar humedad y homogenizar toda su mezcla esto ocurre en la etapa de Atomización las partes que comprenden este subsistema se definen en la Tabla 13.

**Tabla 13**  
**Subsistema atomización**

Partes		Variables
<b>Entrada</b>	Válvula de entrada de jabón	Estado de la válvula
	Válvula de vapor	Estado de la válvula
<b>Sistema</b>	Silo de Atomización	-----
	Puerta Hermética	Estado de la puerta
	Ducto de salida de aire	Estado de la válvula
	Sensor de nivel	Nivel
	Sensor de temperatura	Temperatura
	Sensor de presión	Presión
	Controlador de Temperatura	-----
<b>Salida</b>	Válvula de salida de gases	Estado de la válvula
	Válvula de salida de agua	Estado de la válvula
	Depósito de residuos	Niveles del depósito
	Motor de giro para salida de material	Estado de la válvula

- **Subsistema de vacío**

La pasta base con la humedad requerida pasa al subsistema de vacío en donde se genera la barra de jabón para su fase final de producción en la Tabla 14 se definen sus partes.

**Tabla 14**  
**Subsistema de vacío**

Partes		Variables
<b>Entrada</b>	Motor de transporte de jabón	Estado de la válvula
	Puerta Hermética	Estado de la puerta
<b>Sistema</b>	Motor de bomba de vacío	-----
	Válvula de salida de aire	Estado de la válvula
	Sensor de presión	Presión
	Sensor de nivel	Nivel
	Agitador	Estado del agitador
<b>Salida</b>	Motor de evacuación	Estado del motor

- **Corte y empaclado**

Es la última etapa de producción del jabón, en donde la barra toma su forma final siendo que las partes de este subsistema se definen en la Tabla 15

**Tabla 15**  
**Subsistema corte y empaçado**

Partes		Variables
<b>Entrada</b>	Motor de transporte de jabón	Estado del motor
	Sensor de presencia de jabón	Presencia
<b>Sistema</b>	Motor Actuador de corte inicial	Estado del actuador
	Motor de actuador de corte de forma	Estado del actuador
	Sensor de presencia de jabón	Presencia
	Rodillos de empaque	Estado funcionamiento
	Motor Actuador de Corte	Estado del actuador
	Sellador de empaque	Estado del actuador

### 3.1.3.2. Análisis del riesgo

Ya definidas las partes de la planta de producción de jabón, la revisión de las desviaciones de las variables sus causas y consecuencias se encuentran documentadas en el Anexo B. Establecidos los riesgos del sistema se define el SIL requerido para cada riesgo de los subsistemas en el Anexo C

### 3.1.3.3. Definición de la función de seguridad

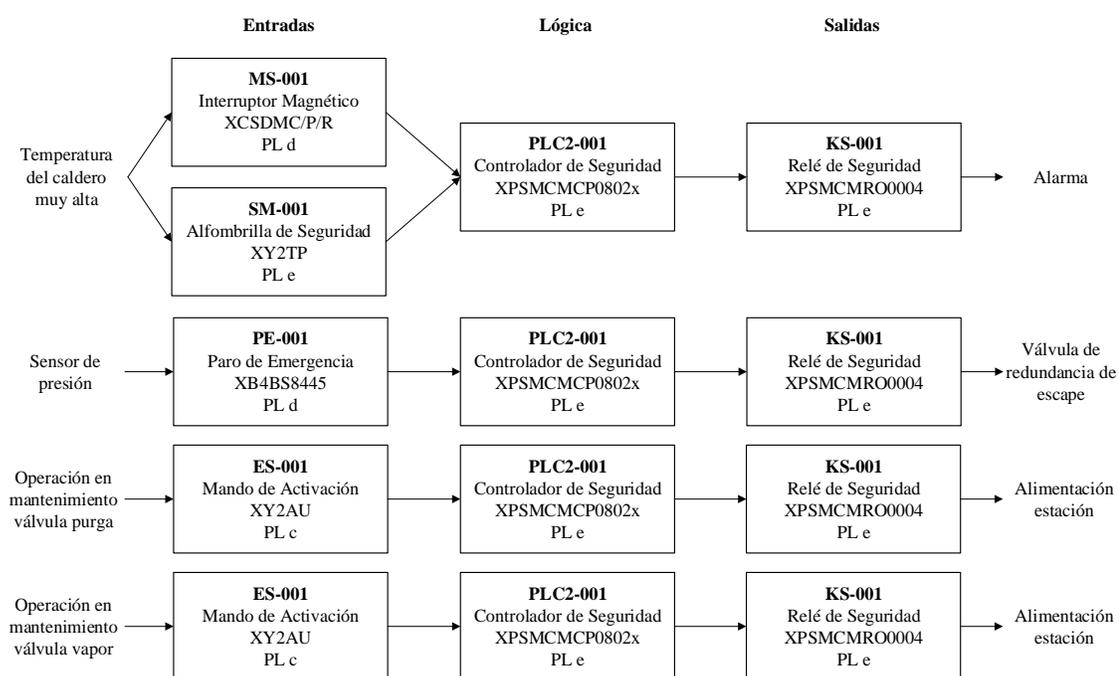
Después de realizar la evaluación de riesgos de cada subsistema, y determinar que elementos se deben implementar para estos, se debe diseñar la solución de tal manera que antes de implementarse se pueda comprobar que cumple con el nivel de seguridad requerido. Para poder realizarlo se debe generar una función de seguridad donde se determinan 3 puntos: el bloque de entrada del evento, el bloque que va realizar el procesamiento y la salida que responderá en un evento.

Una vez determinada las respectivas funciones para cumplir con el nivel de seguridad requerido, se debe realizar automáticamente la comprobación de estos, para esto son necesarios ciertos datos de los componentes a utilizar y otros que se adquieren en la tabla de anexo E del estándar ISO 13849-1, donde se necesita el valor de la Diagnostic Cover (DC – Cobertura de Diagnóstico), que es la medida de la efectividad de los diagnósticos, que puede determinarse como la relación entre la tasa de fallos de los fallos peligrosos detectados y la tasa de fallos de los fallos totales peligrosos (IEC, 2004).

Para cada subproceso se realiza las siguientes propuestas de seguridad que serán evaluadas por el software SISTEMA, comprobando que cumplen con el SIL necesario indicado anteriormente.

### Generación de vapor

Para el primer subsistema se han definido 3 funciones de seguridad las cuales tendrán en común el controlador que se encargará de realizar las funciones lógicas del sistema, estas funciones se definen en la Figura 16.



**Figura 16 Funciones de seguridad para generación de vapor**

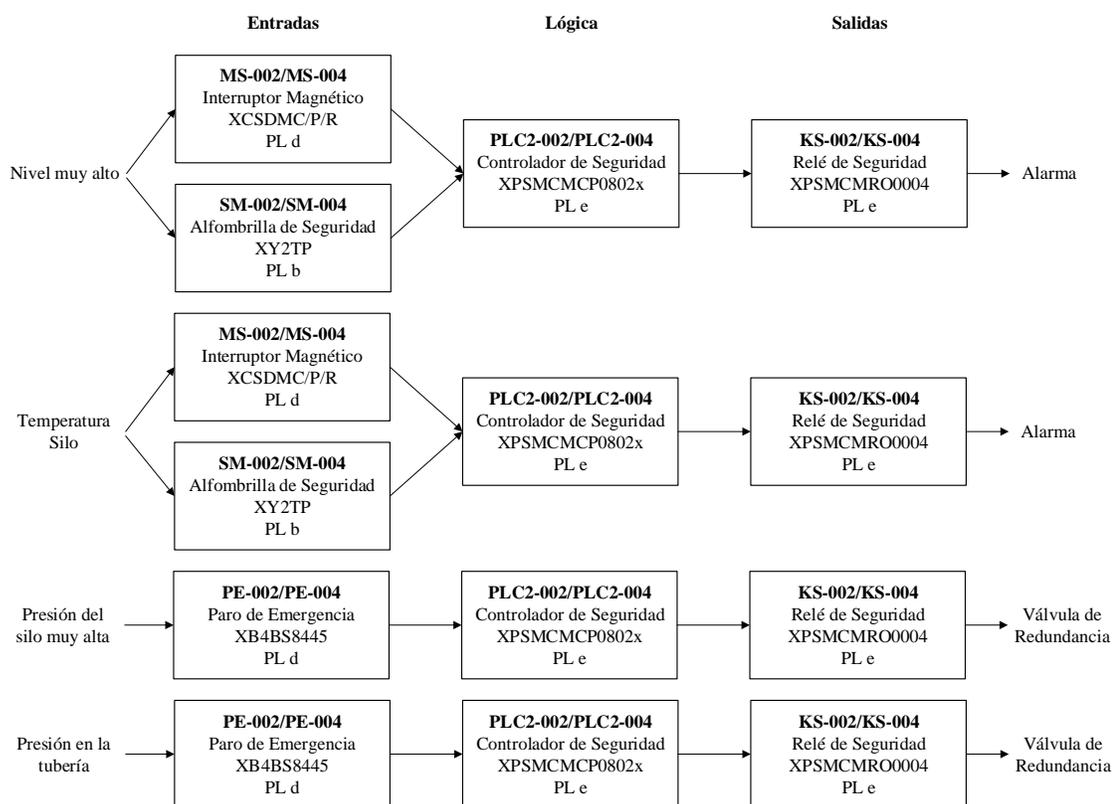
Los elementos indicados son modelos existentes de la marca PREVENTA, estos presentan una biblioteca previamente generada y certificada por la IEC 62061 como indica el fabricante, donde posteriormente se calculará con el software si cumplen con el nivel de seguridad necesario.

Para el cálculo de los elementos de salida, es necesario un dato adicional debido a que no se tienen valores preestablecidos de estos elementos, por lo que se debe ingresar los días de operación en el año del elemento, las horas al día en que funciona y cuánto dura su ciclo en segundos, obteniendo la siguiente información de dato de las plantas reales visitadas.

- Días de operación al año: 240 días
- Horas de operación al día: 12 h
- Ciclo de trabajo en segundos: 1800 s

### Refinación etapa 1, 2 y 3

Para los subsistemas de la etapa de refinación, se los realiza en un solo punto, debido a que no existe mayor variación de riesgo entre las diferentes etapas según lo anteriormente analizado, por lo que se realiza la siguiente función de seguridad de la Figura 17 que se debe aplicar para cada etapa individualmente.



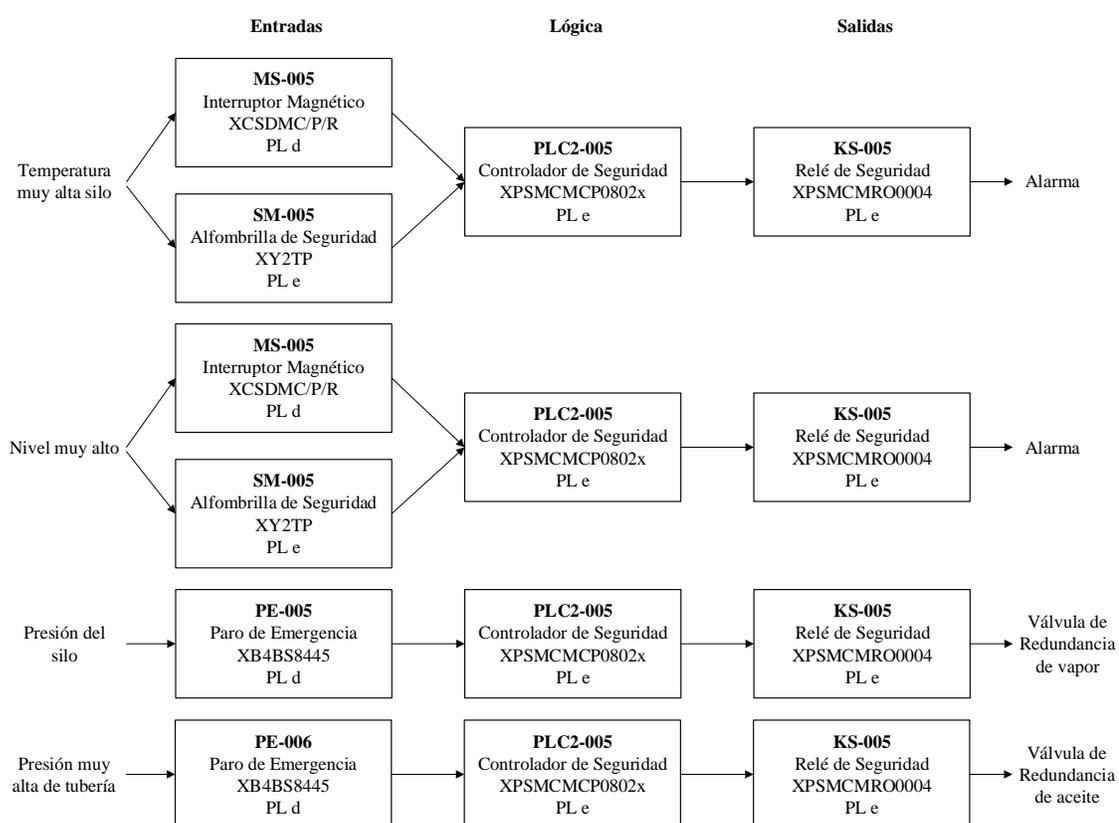
**Figura 17 Funciones de seguridad para refinación etapa 1, 2 y 3**

De igual manera se determinan los datos necesarios para el cálculo en el software de los elementos de salida con la siguiente información:

- Días de operación al año: 240 días
- Horas de operación al día: 12 h
- Ciclo de trabajo en segundos: 3600 s

## Saponificación

El subsistema de saponificación trabaja de igual manera que los anteriores subsistemas, manteniendo un silo, el cual trabaja a elevadas temperaturas, pero en este caso existen 3 diferentes tuberías de ingreso de materiales a las cuales se debe tener un control de seguridad, por lo que difiera en ese punto su función de seguridad de la Figura 18. Este sistema una vez que concluye su función debe dejar reposando el material lo que se toma un total de 72 horas para culminar su proceso.



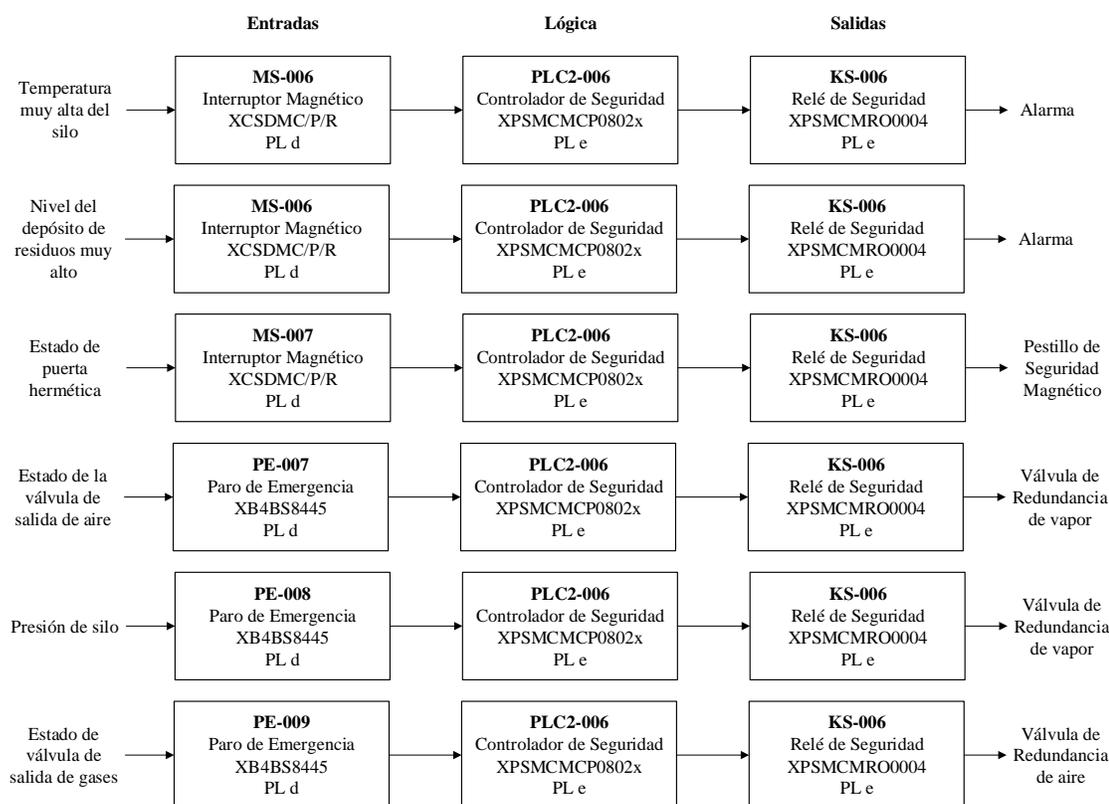
**Figura 18 Funciones de seguridad para saponificación**

Los datos necesarios para el cálculo en el software de los elementos de salida son:

- Días de operación al año: 240 días
- Horas de operación al día: 24 h
- Ciclo de trabajo en segundos: 3600 s

## Atomizador

Al subsistema del atomizador, trabaja constantemente generando el material para la siguiente etapa de vacío donde ya se produce la barra de jabón entera, para este punto son necesarias dos guardas, una que aisle el área de contacto de superficie del contenedor y otra que verifique que la compuerta esté correctamente cerrada para eso se plantea la siguiente función de seguridad de la Figura 19.



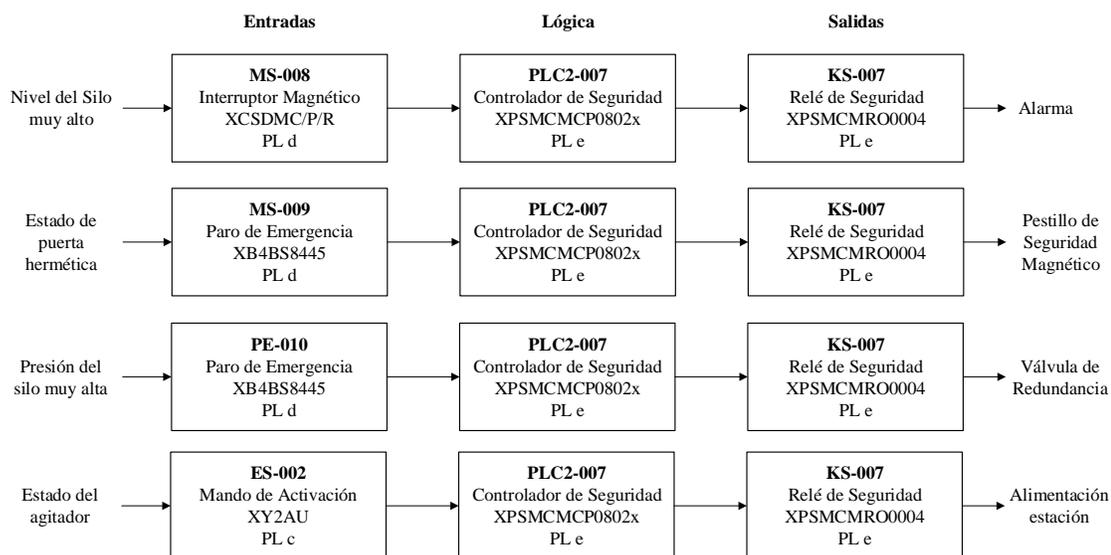
**Figura 19 Funciones de seguridad del atomizador**

Los datos necesarios para el cálculo en el software de los elementos de salida son:

- Días de operación al año: 240 días
- Horas de operación al día: 12 h
- Ciclo de trabajo en segundos: 3600 s

## Cámara de Vacío

Al llegar el material en este subsistema, este pasa por un proceso que lo transforma en la barra continua de jabón, el cual faltaría realizar los cortes para dar la forma y empaquetarla. En esta etapa del proceso la función de seguridad de la Figura 20, se observa que es necesario un equipo para realizar el mantenimiento de manera segura según lo analizado previamente en las tablas de evaluación de riesgos.



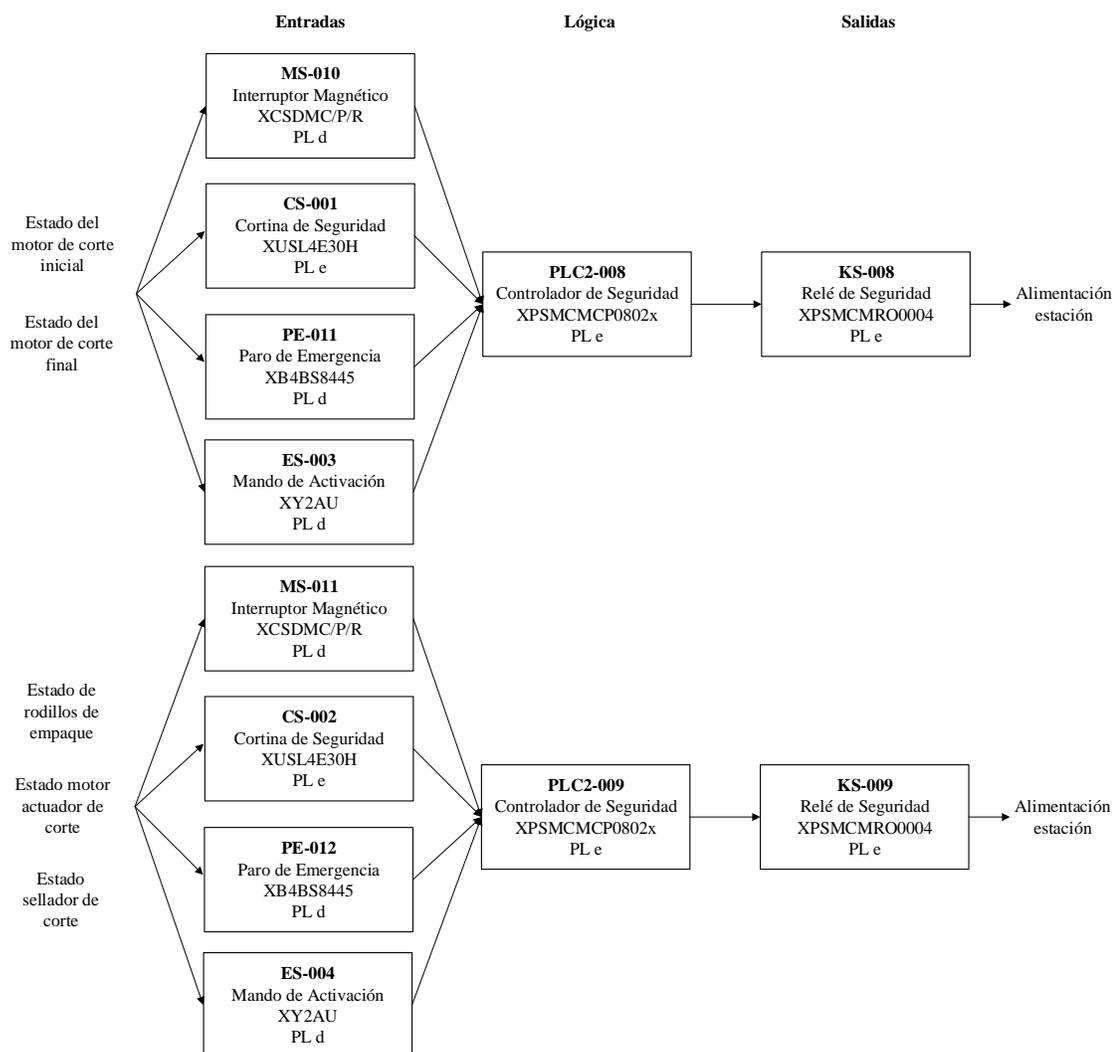
**Figura 20 Funciones de seguridad de la cámara de vacío**

Los datos necesarios para el cálculo en el software de los elementos de salida son:

- Días de operación al año: 240 días
- Horas de operación al día: 8 h
- Ciclo de trabajo en segundos: 600 s

## Corte y empaclado

En la última etapa del proceso es donde hay un mayor flujo de los operarios donde en ciertos casos trabajan muy cerca de las maquinas en movimiento y pueden ocasionar en heridas de cortes o aplastamientos, para esto, en el proceso final se deben tomar medidas de guardas de seguridad como se indica en la función de seguridad de la Figura 21.



**Figura 21 Funciones de seguridad de corte y empaquetado**

Los datos necesarios para el cálculo en el software de los elementos de salida son:

- Días de operación al año: 240 días
- Horas de operación al día: 8 h
- Ciclo de trabajo en segundos: 600 s

Con todas las funciones de seguridad generadas de acuerdo con las tablas de evaluación de riesgos, es posible ingresar todos los datos al software SISTEMA, que será el encargado de validar las funciones si cumplen con el nivel de seguridad necesario en cada subsistema.

### 3.2. Análisis de riesgo del módulo

Tomando en cuenta la última etapa de la fabricación de jabón se hace uso del módulo demostrativo que se implementará en el siguiente capítulo, el cual se le realiza el respectivo análisis de riesgo y se le propone la solución con la función de seguridad cumpliendo con los niveles de seguridad necesarios.

#### 3.2.1. Fase de definición

##### 3.2.1.1. Objetivo

Definir los riesgos que se presentan en la maqueta de corte y empaçado de jabón, estableciendo el nivel de seguridad definiendo el sistema adecuado para cumplir con el SIL que se establezca.

##### 3.2.1.2. Alcance

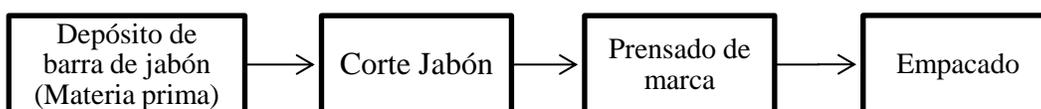
Determinar sistemas de seguridad basado en el estudio de análisis de riesgo, verificando con la implementación en la maqueta demostrativa.

##### 3.2.1.3. Equipo de trabajo

El equipo de trabajo está conformado por los autores de este proyecto y el gerente de la empresa SEIUS S.A.

#### 3.2.2. Fase de preparación

Para la demostración del sistema de seguridad se implementa el último sistema corte y empaçado como se presenta en la Figura 22. La maqueta representa 3 sistemas: corte inicial, prensado de marca y empaçado.



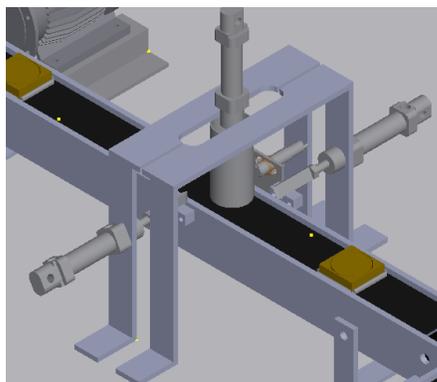
**Figura 22 Flujo del proceso de la maqueta**

##### 3.2.2.1. Almacén

Al inicio del proceso se montarán sobre la banda transportadora los recipientes con los jabones cuadrados como materia prima, para pasar a la primera estación de corte.

### 3.2.2.2. Estación de corte

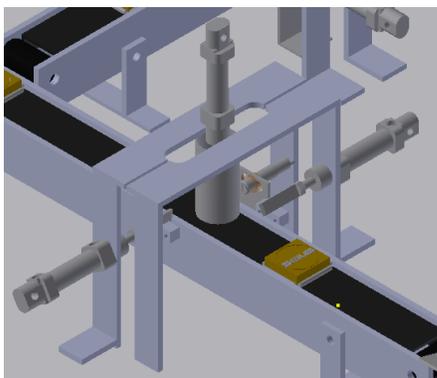
En esta estación se realizará el corte de la materia prima según el molde instalado, realizando un control de colas dentro de la estación, se va a permitir pasar solo un soporte a la vez como se muestra en la Figura 23.



**Figura 23 Estación de corte de jabón**

### 3.2.2.3. Estación de prensado

En esta estación se prensará la marca seleccionada del jabón, para esto se prensará el logo de SEIUS S.A. en los jabones previamente cortados, mostrados en la Figura 24. Las dos primeras estaciones cumplen sus procesos con sistemas neumáticos.



**Figura 24 Estación de prensado**

### 3.2.2.4. Estación de empaquetado

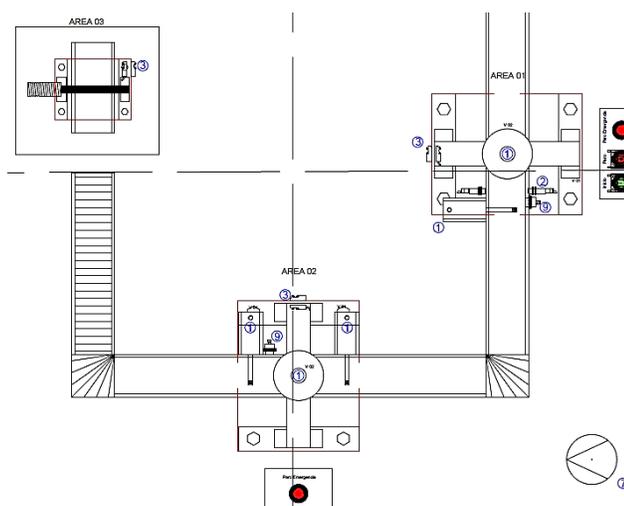
En esta estación se retiran los excesos del jabón ya tratado y se lo pone en un empaque, sellando el empaque con una máquina térmica de forma manual, quedando listos para su distribución.

En esta breve descripción se delimita las zonas a cubrir en el análisis, ahora se describirán variables del proceso que intervienen en cada una de las estaciones, el almacén no es un punto para el análisis.

### 3.2.3. Fase de examinación

#### 3.2.3.1. División del sistema

La maqueta cuenta con 3 estaciones como se describe en la Figura 25: estación de corte, estación de prensado de marca y estación de empacado, a continuación, se describen las partes que conforman cada uno de estos subsistemas.



**Figura 25 Estaciones de la maqueta de producción de jabón**

- **Estación de corte**

En la Tabla 16, se describen las partes que intervienen en el sistema para el corte de jabón en forma circular, la estación es de tipo neumática.

**Tabla 16**  
**Estación de corte**

Partes	Variables	
<b>Entrada</b>	Motor banda transportadora	Estado de motor
	Sensor de presencia de jabón	Presencia de jabón
<b>Sistema</b>	Pistón cola 1	Estado del pistón
	Pistón cola 2	Estado del pistón
	Pistón de corte	Estado del pistón

- **Estación de prensado de marca**

En la Tabla 17, se describen las partes que intervienen en el sistema para la impresión de marca SEIUS en el jabón, la estación es de tipo neumática.

**Tabla 17**  
**Estación de prensado de marca**

Partes		Variables
<b>Entrada</b>	Motor banda transportadora	Estado de motor
	Sensor de presencia de jabón	Presencia de jabón
<b>Sistema</b>	Pistón cola 1	Estado del pistón
	Pistón cola 2	Estado del pistón
	Pistón de troquel	Estado del pistón

- **Estación de empacado**

En la Tabla 18, se describen las partes que intervienen en el sistema para el empacado del jabón, la estación usa una selladora eléctrica.

**Tabla 18**  
**Estación de empacado**

Partes		Variables
<b>Entrada</b>	Estación encendida	Estado de la estación
	Filamento de sellado	Presencia de jabón

### 3.2.4. Análisis de riesgo

El análisis de las desviaciones de las variables se presenta en el Anexo D de acuerdo con las plantillas establecida en este capítulo, donde se definen los riesgos del sistema para luego determinar el SIL requerido para disminuir o eliminar cada riesgo de los subsistemas como se indica en el Anexo E.

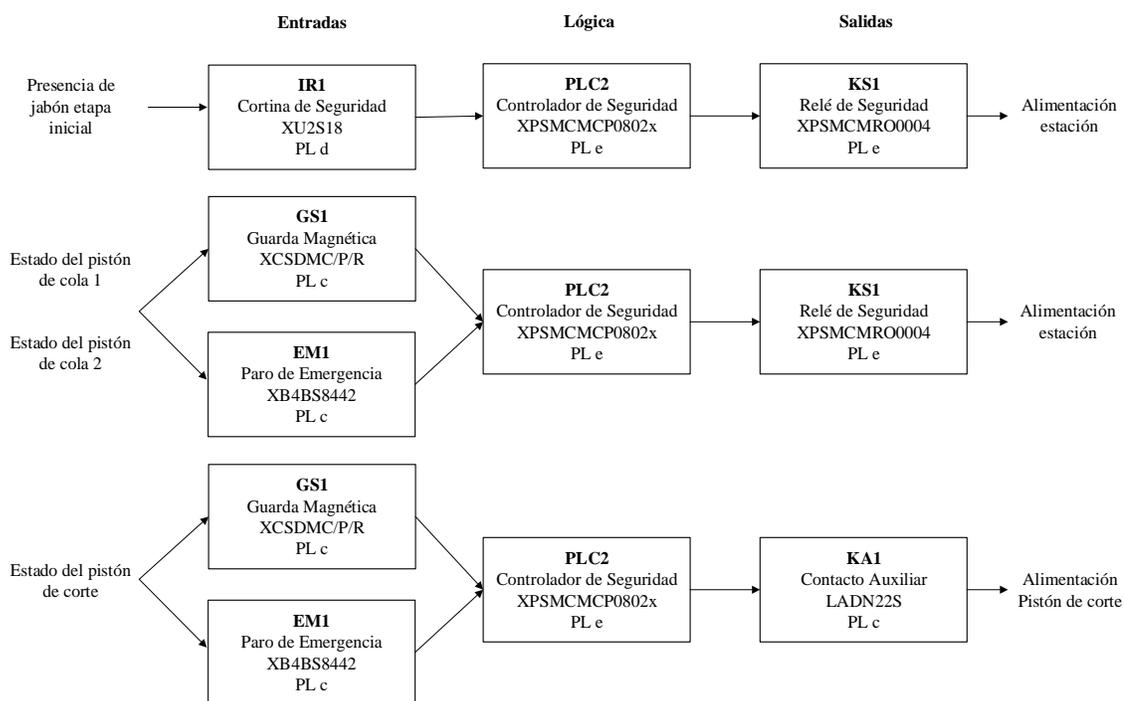
#### 3.2.4.1. Definición de la función de seguridad

Cumpliendo con los mismos pasos necesarios para realizar las funciones de seguridad descritas en el sistema anterior, se procede a realizar en el módulo demostrativo, tomando en cuenta que la última etapa de corte y empaquetado son las que se demostrarán en el módulo. Para esto se ha dividido el subsistema de corte y empaquetado en 3 etapas; corte,

troquel y empaquetado, de tal manera que sea más fácil apreciar los riesgos que existen en esa etapa del proceso.

### Estación de corte

En esta etapa del proceso es necesario tener mucho cuidado, debido a que la cuchilla de corte circular a la barra de jabón emite presión contra la base que la sostiene, pudiendo causar graves lesiones, cortes y hasta la muerte de los operarios que estén trabajando en la estación. Por eso es necesaria la implementación de guardas de seguridad en la estación, evitando el ingreso no autorizado del personal al área, siendo que esta estación contará con la única función del módulo que deba cumplir con un SIL 2 como indica en la Figura 26.



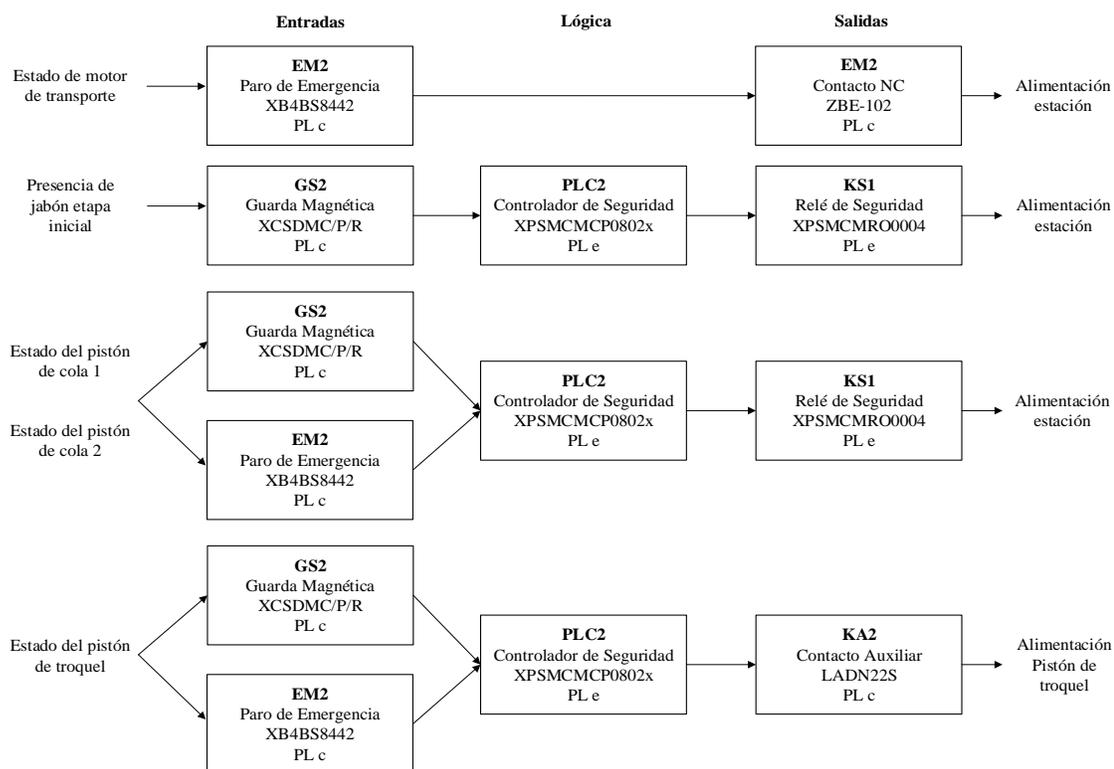
**Figura 26 Funciones de seguridad de corte**

Los datos necesarios para el cálculo en el software de los elementos de salida son:

- Días de operación al año: 24 días
- Horas de operación al día: 5 h
- Ciclo de trabajo en segundos: 10 s

## Estación de prensado de marca

En esta etapa del proceso el pistón de prensado que realiza el troquel genera un riesgo de aplastamiento y corte, siendo que la probabilidad de que un accidente suceda es menor debido a guardas mecánicas implementadas que evitan completamente el acceso del usuario a no ser por la puerta de mantenimiento, siendo que el SIL que deba cumplir será menor que la estación de corte con la función de seguridad descrita en la Figura 27.



**Figura 27 Funciones de seguridad de prensado de marca**

Los datos necesarios para el cálculo en el software de los elementos de salida son:

- Días de operación al año: 24 días
- Horas de operación al día: 5 h
- Ciclo de trabajo en segundos: 10 s

## Estación de empacado

En esta estación el proceso se realiza de manera manual, un operario debe ingresar el producto dentro del contenedor plástico y sellarlo en caliente, lo que puede ocasionar

lesiones al operario si no lo opera debidamente o si evita las guardas implementadas en la máquina, mayormente existen riesgo de quemaduras en esta etapa generando la función de seguridad de la Figura 28.



**Figura 28 Funciones de seguridad de empacado**

Los datos necesarios para el cálculo en el software de los elementos de salida son:

- Días de operación al año: 24 días
- Horas de operación al día: 5 h
- Ciclo de trabajo en segundos: 10 s

Nuevamente como en el análisis anterior, se deben ingresar los datos al software de análisis para comprobar que las funciones de seguridad cumplen con el SIL requerido.

### 3.3. Análisis en software SISTEMA

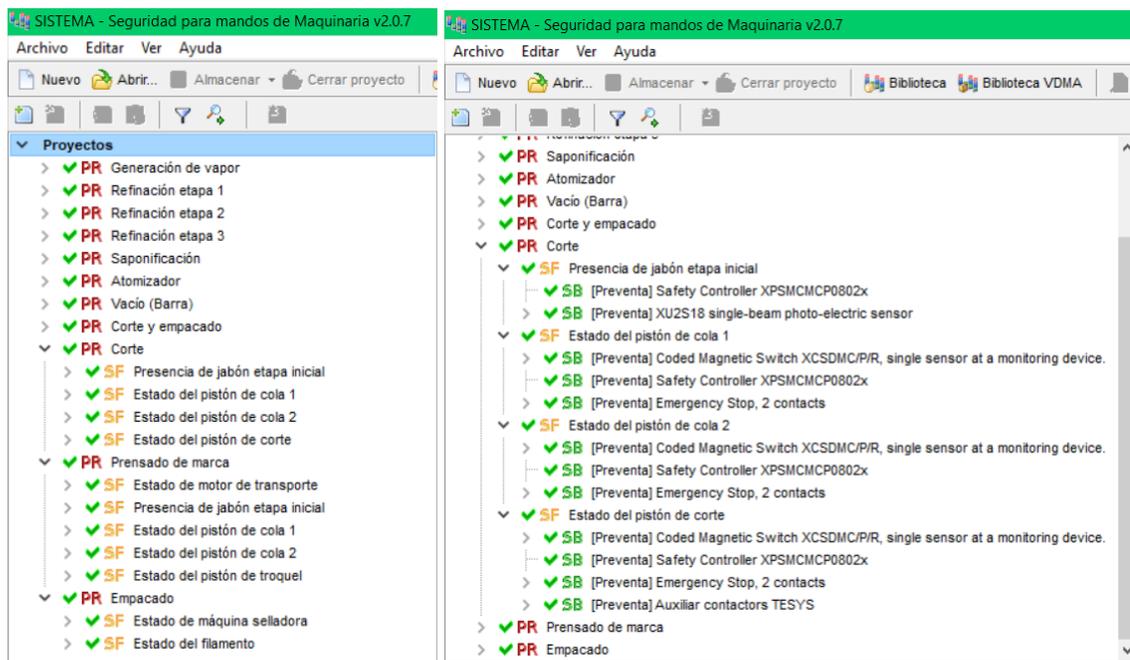
La herramienta utilizada para facilitar la comprobación de las funciones de seguridad con los SIL requeridos será el software SISTEMA que pretende ayudar a los usuarios de la Norma ISO 13849-1 (revisión de EN 954). Esta herramienta ofrece la posibilidad de simular la estructura de las partes relativas a la seguridad de los mandos de maquinaria utilizando las así denominadas "Arquitecturas tipo". Esto permite el cálculo automático de los resultados de su cuantificación. SISTEMA determina los valores de CCF (Fallo de causa común en sistemas de canales múltiples), de DC-Value (Cobertura del diagnóstico en sistemas testeados o monitorizados), PFH (la probabilidad de fallo peligroso por hora), PL (Nivel de seguridad alcanzado) y PLr (Nivel de seguridad requerido) de una función de seguridad. (IFA, 2017)

Para implementar las funciones en el software es necesario conocer lo siguiente:

- Marca de los elementos de que se utilizarán (Descargar Bibliotecas Certificadas)
- Nivel de seguridad requerido por función de seguridad
- Función de seguridad con elementos de entrada, lógico y salida determinados

- Parámetros de operación del elemento

Todos estos datos están determinados en el análisis anterior, sabiendo que se utilizará la línea de productos de seguridad de PREVENTA, en resumen, la organización de los elementos implementados se vería como en la Figura 29.



**Figura 29 Distribución de etapas, funciones de seguridad y elementos**

Teniendo ingresado todos los datos analizados anteriormente, el programa automáticamente verifica si las funciones de seguridad implementadas cumplen con el SIL requerido, validando con un visto verde a las funciones. En caso requerir mayor detalle de la comprobación, el programa genera un reporte detallado y uno simplificado, indicando los resultados implementados en el software como se puede observar en el Anexo F.

## CAPÍTULO 4

### DISEÑO DEL MÓDULO DEMOSTRATIVO

#### 4.1 Metodología de diseño Pahl y Beitz

##### 4.1.1 Introducción

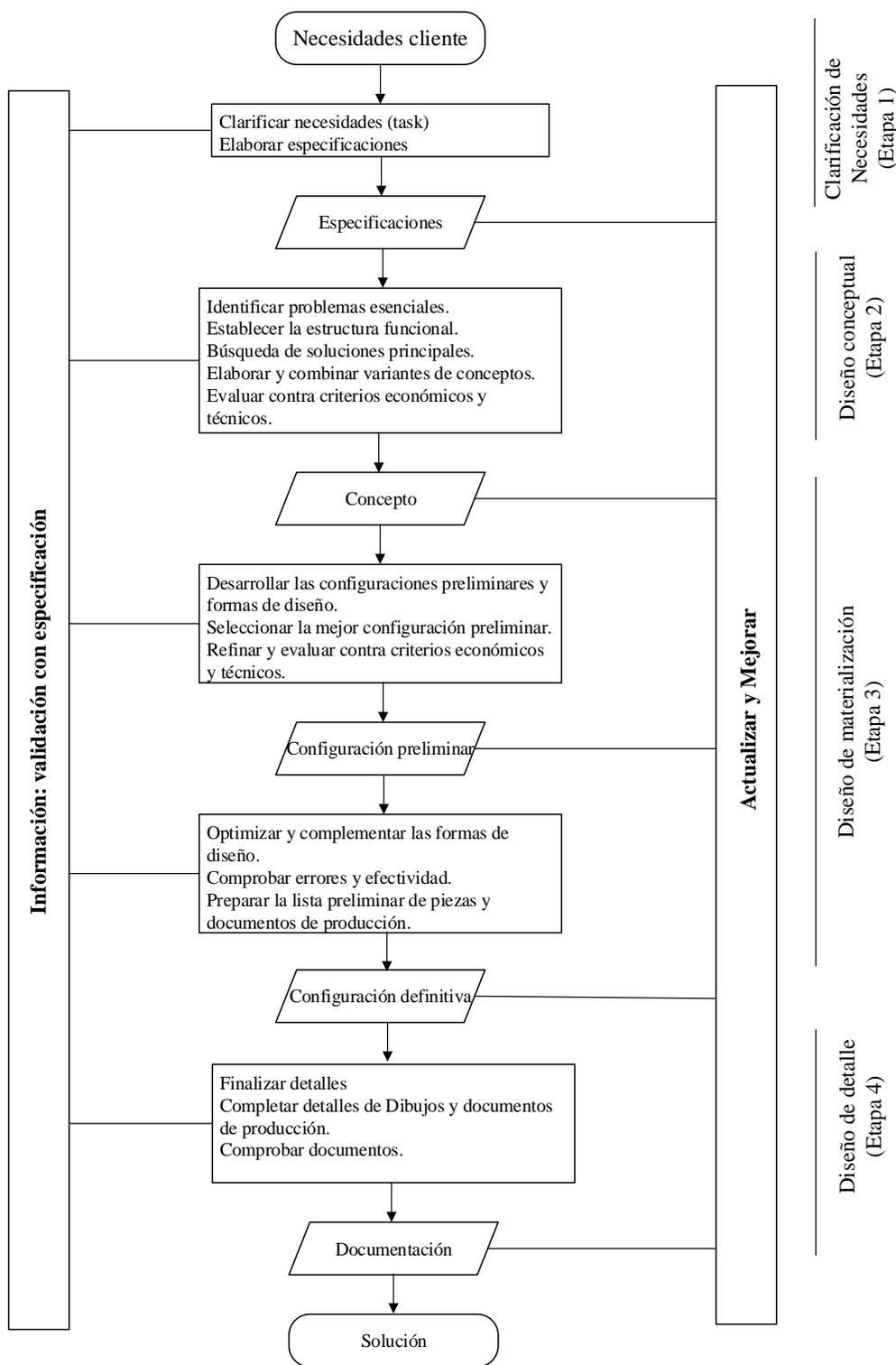
La ingeniería tiene como tarea fundamental dar solución a los problemas técnicos existentes, además de buscar su optimización utilizando como bases los conocimientos científicos de ingeniería, siendo necesario para alcanzar la mejor solución mantener una metodología de diseño que sea adecuada para el trabajo que se realice. En la realización de este proyecto se utilizó la metodología de Pahl y Beitz, la cual busca una mejora constante en el transcurso de las 4 etapas de diseño.

Se ha tomado en cuenta todas las recomendaciones de la metodología, así como se constata el desarrollo de todas las etapas de diseño, como dicta la metodología ha sido necesaria en algunos casos la revisión de las características finales con las condiciones iniciales dictadas por SEIUS S.A, de tal forma que se busque el diseño óptimo pero con las mejores características eléctricas y mecánicas. Al final de este capítulo se logró obtener un diseño que cumplió con las exigencias de la empresa.

Esta metodología tiene como guía la (“*Verein Deutscher Ingenieure*”, *Asociación de ingenieros alemanes*) VDI-2221. El objetivo de esta guía es proponer una metodología general para diseñar sistemas y productos técnicos y apoyar un diseño metódico y sistemático, con el fin de producir un estilo de trabajo eficiente. Destaca la amplia aplicación dentro de la ingeniería mecánica, mecánica de precisión, desarrollo de software y la planificación de la ingeniería de procesos. (Birkhofer, 2006)

##### 4.1.2 Etapas de diseño

Para esta metodología, se trabajan en 4 etapas, que permite mantener una mejora continua independiente de la etapa que se encuentre, además de cumplir con 7 tareas establecidas de acuerdo con la Figura 30.



**Figura 30 Diagrama Pahl y Beitz**  
(Nigel, 1999)

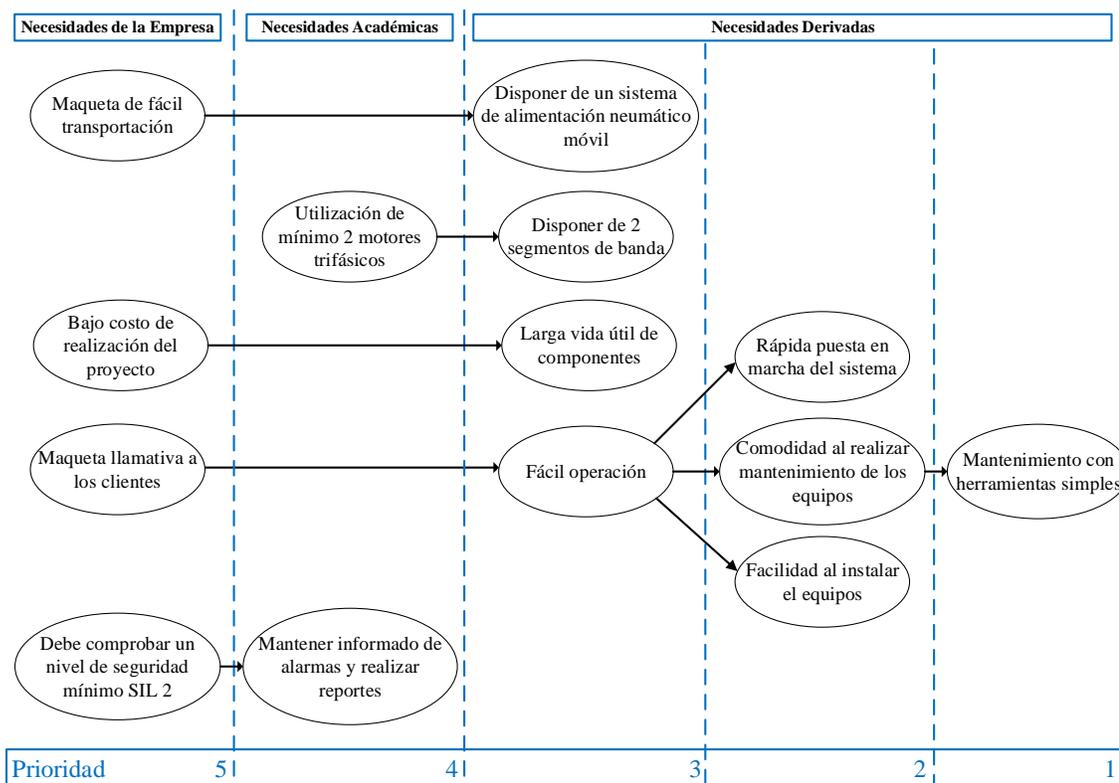
- **Etapa 1 Clasificación de necesidades:** busca determinar todos los requerimientos necesarios para la realización del proyecto de manera que se debe recopilar toda la información pertinente, generando las especificaciones del proyecto.
- **Etapa 2 Diseño conceptual:** en esta etapa se definen y seleccionan los parámetros para la solución del diseño. Estos parámetros facilitan una mejora continua en caso de ser necesario, que permite concluir en la base conceptual del proyecto.
- **Etapa 3 Diseño de materialización:** es un diseño de ingeniería, partiendo de la mejor idea seleccionada, se iniciarán los cálculos de diseño permitiendo ajustarse a las necesidades del proyecto. Se establecen en este punto tareas que se puedan desarrollar en paralelo.
- **Etapa 4 Diseño de detalle:** En este punto se detallarán todas las especificaciones del equipo y establecer los cambios si fueran necesarios para una mejora continua.

#### 4.2 Clasificación de las necesidades

Para recopilar las necesidades del cliente sobre el proyecto se utilizó la herramienta de la entrevista con el gerente de SEIUS S.A. el Ing. Luís Alfredo Urbina Salguero, siendo una entrevista de tipo formal, siguiendo preguntas preestablecidas, para luego ser organizadas en una lluvia de ideas, como se observan en la Figura 31 las dependencias de las necesidades con otras, permitiendo la priorización de ellas y estableciendo ponderaciones reconociendo a '5' como la más alta prioridad.

Tomando en cuenta las necesidades recopiladas con la entrevista y sistematizadas en una lluvia de ideas se procede a realizar una matriz de las necesidades (Tabla 19) con sus respectivas ponderaciones de prioridad, de tal forma que al analizarlas se obtengan las especificaciones técnicas y que métricas influyen en su cumplimiento.

Algunas necesidades pueden llevar a varias métricas según la Tabla 20, entendiéndose de mejor manera que parámetros pueden influenciar en su cumplimiento, facilitando buscar la solución a las necesidades planteadas.



**Figura 31 Jerarquización de necesidades**

A partir de la Tabla 19 y Tabla 20, se obtiene la matriz de necesidades – métricas, transformando las necesidades del producto en sus especificaciones técnicas, permitiendo determinar cuál es la mejor solución por implementar. En la Figura 32 se observa la relación entre las necesidades previamente establecidas de forma general y sus derivaciones ya representadas con parámetros medibles.

Una vez establecidas las métricas, se puede establecer rangos de funcionamiento del producto, de acuerdo con estándares que se encuentran en el mercado y normativas, en la Tabla 21 se muestran los rangos de las especificaciones técnicas objetivo del producto.

Basados en el Decreto Nacional Ejecutivo 2393, se puede establecer un rango en cuanto al peso del equipo, obedeciendo al límite máximo de carga en 79 Kg que un operario puede levantar, establecido en el artículo 128 del decreto mencionado. El peso máximo para carga entre dos personas sería menor que 158 Kg.

La altura de mesas de trabajo esta normado en NTE INEN 1641:2015, en donde se establece que la altura para trabajos de pie sea 1050 mm con una tolerancia de  $\pm 20$  mm

(INEN, 2015), esta altura va de acuerdo con la altura máxima permitida por la Agencia Nacional de tránsito para vehículos de carga liviana.

**Tabla 19**  
**Necesidades del producto**

Ítem	Necesidades	Importancia
1	Debe ser transportable	5
2	Disposición de 2 segmentos de banda	3
3	Construcción económica	5
4	Utilizar motores para industrias	4
5	Debe comprobar su seguridad	5
6	Fácil operación	3
7	La Puesta en marcha del sistema de forma rápida	3
8	Maqueta Reducido tiempo de instalación	2
9	Larga vida útil	3
10	Sistema neumático práctico para su movilización	3
11	Llamativo a los usuarios	5
12	Fácil mantenimiento de las piezas	2
13	Permite un mantenimiento con herramientas sencillas	1
14	Debe realizar reportes de eventos y alarmas	4

En promedio la zona de carga en vehículos de carga liviana es de 1.4 m de ancho y 1.4 de largo, estimando un área efectiva para el transporte del equipo.

**Tabla 20**  
**Métricas de las necesidades**

Ítem	Ítem necesidad	Métrica	Importancia	Unidades
1	1	No debe superar peso de carga entre 2 personas	5	Kg
2	1	Altura máxima permisible en vehículos de carga liviana	3	mm
3	1	Ancho y largo máximo permisible de vehículos de carga liviana	5	mm
4	2	No debe superar las dimensiones establecidas	3	mm
5	3	No superar el presupuesto	5	Dólares
6	3	No sobredimensionar elementos y equipos	5	Listas
7	4	Alimentación trifásica para motores	4	V

Continúa 

<b>8</b>	5	Debe cumplir un Nivel de Integridad de Seguridad mínimo de 2	5	SIL
<b>9</b>	6	Mínimo tiempo de capacitación al operario	3	h
<b>10</b>	7	Tiempo de encendido del proceso	3	min
<b>11</b>	7-8	Tiempo de energizado del sistema	3	min
<b>12</b>	9	Promedio de garantía de vida útil de los componentes	3	Año
<b>13</b>	10	Funcionar con fuente neumática estándar	3	BAR
<b>14</b>	10	Debe ser de transportación humana	3	Kg
<b>15</b>	11	Inspira curiosidad	5	Subjetiva
<b>16</b>	12	Al realizar el mantenimiento facilidad de acceso	2	Subjetiva
<b>17</b>	13	Uso de herramientas simples	1	Listas
<b>18</b>	14	Tiempo de respuesta ante eventos	4	ms
<b>19</b>	14	Entrega de reportes periódicos	4	Unidades
<b>20</b>	14	Reportes de fácil interpretación	4	Subjetiva

El nivel de seguridad máximo que se puede garantizar para el equipo es de un máximo de SIL 3 debido a que el SIL 4 se lo puede hacer solo a través de instituciones especializadas.

Al no contar con proceso complicados, la capacitación para la operación no debería superar una hora.

El nivel de seguridad SIL 2 permite contar con una seguridad a nivel de operario y de producción.

La fuente neumática estándar en el mercado para aplicaciones básicas va desde 90 PSI (6.2 bares) por minuto, estableciendo un valor ideal para el consumo de la parte neumática del equipo.

El equipo debe ser los más demostrativo posible y llamativo a la vista, para lograr captar la atención de los observadores.

Necesidades		Métricas																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	Debe ser transportable	x	x	x																		
2	Disposición de 2 segmentos de banda				x																	
3	Construcción económica					x	x															
4	Utilizar motores para industrias							x														
5	Debe comprobar su seguridad								x													
6	Fácil operación									x												
7	Puesta en marcha del sistema de forma rápida										x	x										
8	Reducido tiempo de instalación											x										
9	Larga vida útil												x									
10	Sistema neumático práctico para su movilización y uso													x	x							
11	Llamativo a los usuarios															x						
12	Fácil mantenimiento de las piezas																x					
13	Permite un mantenimiento con herramientas sencillas																	x				
14	Debe realizar reportes de eventos y alarmas																			x	x	x

**Figura 32 Matriz de necesidades – métricas**

A nivel de controladores electrónicos el tiempo de respuesta está entre 30 ms debiendo superar esta expectativa.

Para la valoración de la métrica “Inspira curiosidad” se ha tomado en cuenta que el equipo cuente con las siguientes características descritas en la Tabla 22, por lo que se puede definir que el equipo tiene una curiosidad alta al usuario.

En la valoración de la métrica correspondiente a facilidad de mantenimiento se ha revisado la facilidad de desarrollar las siguientes tareas observadas en la Tabla 23, se han tomado en cuenta las tareas de un mantenimiento general.

El sistema deberá emitir reportes de los eventos almacenados en su base de datos, en la Tabla 24, se definen algunas características que permitirán que el usuario pueda comprender fácilmente el reporte.

**Tabla 21**  
**Especificaciones objetivo**

Ítem	Ítem necesidad	Métrica	Importancia	Unidades	Valor marginal	Valor ideal
1	1	No debe superar peso de carga entre 2 personas	5	Kg	< 150	100
2	1	Altura máxima permisible en vehículos de carga liviana	3	mm	<1070 >1030	1050
3	1	Ancho y largo máximo permisible de vehículos de carga liviana	5	mm	< 1300	1000
4	2	No debe superar las dimensiones establecidas	3	mm	< 1300	1000
5	3	No superar el presupuesto	5	Dólares	< 5000	3000
6	3	No sobredimensionar elementos y equipos	5	Listas	< 2	1
7	4	Alimentación trifásica para motores	4	V	220 v	220 v
8	5	Debe cumplir un Nivel de Integridad de Seguridad mínimo de 2	5	SIL	> 2	3
9	6	Mínimo tiempo de capacitación al operario	3	h	< 1	0,5
10	7	Tiempo de encendido del proceso	3	min	< 5	1
11	7-8	Tiempo de energizado del sistema	3	min	< 10	5
12	9	Promedio de garantía de vida útil de los componentes	3	Año	> 5	10
13	10	Funcionar con fuente neumática estándar	3	BAR	> 5	6
14	10	Debe ser de transportación humana	3	Kg	< 79	< 30
15	11	Inspira curiosidad	5	Subjetiva	> 3	5
16	12	Al realizar el mantenimiento facilidad de acceso	2	Subjetiva	> 1	3
17	13	Uso de herramientas simples	1	Listas	< 3	1
18	14	Tiempo de respuesta ante eventos	4	ms	< 30	25
19	14	Entrega de reportes periódicos	4	Unidades	1	1
20	14	Reportes de fácil interpretación	4	Subjetiva	> 3	5

**Tabla 22**  
**Parámetros de valoración, ítem 15**

<b>Inspira Curiosidad</b>		
<b>Parámetros de Apreciación</b>	<b>Calificación</b>	<b>Ideal</b>
Usa nueva tecnología	Alta	Alta
Maneja procesos reales	Media	Alta
Visualiza procesos en pantallas	Alta	Alta
Acabados atractivos de la maqueta	Media	Alta
Posibilidad de interactuar con el proceso	Media	Media
Marcas reconocidas	Alta	Alta

**Tabla 23**  
**Parámetros de valoración, ítem 16**

<b>Al realizar el mantenimiento facilidad de acceso</b>		
<b>Parámetros de Apreciación</b>	<b>Calificación</b>	<b>Ideal</b>
Posibilidad para desmontar equipos	Alta	Alta
Posibilidad de carcasas desmontables	Media	Alta
Mantenimiento con herramientas de uso general	Alta	Alta
Fácil acceso a partes mecánicas para lubricación	Alta	Alta

**Tabla 24**  
**Parámetros de valoración, ítem 20**

<b>Reportes de fácil interpretación</b>		
<b>Parámetros de Apreciación</b>	<b>Calificación</b>	<b>Ideal</b>
Reportes en idioma español	Alta	Alta
Presentación de líneas de tiempo	Media	Alta
Gráficos y uso de colores	Alta	Alta

### **4.3 Diseño conceptual**

Se debe determinar todos los principios necesarios para el diseño del sistema, ya sea del hardware y del software, por lo que se describe los puntos básicos para un

El primer punto por tomar en cuenta para la funcionalidad del proceso es el sistema que se va encargar de transportar el material a lo largo de las estaciones, por lo que se necesita cumplir con las especificaciones de la banda.

Para un correcto dimensionamiento de todos los equipos, es necesario tomar en cuenta que SEIUS S.A. únicamente utilizará equipos de la marca Schneider Electric, en equipos eléctricos y electrónicos.

### 4.3.1 Especificaciones de la banda transportadora

La banda transportadora llevará la materia prima por cada una de las estaciones para su corte, prensado de marca y finalmente empaque, en la Tabla 25 se observan las características de la banda transportadora para poder realizar el cálculo de los motores.

**Tabla 25**  
**Características banda transportadora**

Descripción	Característica
Material del soporte	Aluminio
Material de la banda	Lona sintética
Coefficiente de fricción lona sintética	0,61
Longitud	50 mm
Peso del soporte de jabón	200 g
Peso del jabón	45 g
Peso de la banda	500 g

### 4.3.2 Especificaciones del sistema neumático

El sistema neumático será el encargado de realizar las funciones de corte, troquel y control del material en las estaciones, donde no será necesario un alto nivel de fuerza para realizar el corte ni el troquel. Para poder cumplir con lo necesario para el correcto funcionamiento del sistema, se tienen los siguientes parámetros en la Tabla 26.

**Tabla 26**  
**Características del sistema neumático**

Descripción	Característica	Cantidad
Cilindro de corte	Hasta 10 Bar y 100 N de fuerza	1
Cilindro de troquel y control	Hasta 10 Bar y 70 N de fuerza	5
Unidad de mantenimiento	0.5 a 12 Bar 80-8700 L/min	1
Compresor	8 Bar – 2HP 25 Litros	1
Mangueras	1/8 in PUN 6x1	12 m
Racor neumático en codo con regulación	1/8 in x M6	12
Racor neumático en T	1/8 in	5
Electroválvula	24 VDC Solenoide 5/2 vías	6
Silenciadores	1/4 in	12

### 4.3.3 Estándares del sistema HMI

#### 4.3.3.1 Filosofía del HMI

En todos los procesos industriales es necesario un monitoreo y control del sistema, por lo cual el uso de un HMI se vuelve indispensable al momento de gestionar variables, reportes, alarmas, entre otros. Para este caso poder plasmar un correcto HMI, se debe utilizar un diseño centrada en el usuario (DCU), donde el usuario final (SEIUS S.A.) pueda utilizar el interfaz de manera intuitiva e interactiva, mostrando el funcionamiento del sistema y su facilidad de control de variables y visualización de reportes. (Muriel Garreta Domingo, 2014)

**Requerimientos del usuario** .- los usuario que van a operar la interfaz, son ingenieros de la empresa capacitados en electrónica, que deben cumplir con ciertos requisitos de acuerdo con la aplicación del sistema, como son:

- Conocimiento básico del proceso
- Previa capacitación del funcionamiento
- Experiencia básica con otras HMI

**Tareas del usuario** .- teniendo a 2 grupos de usuarios en el sistema: administrador y operario, estos tendrán diferentes tareas que se podrán realizar, como:

- Supervisión del proceso
- Programar un mantenimiento
- Revisión de reportes de alarmas
- Administrar usuarios
- Puesta en marcha del proceso
- Identificar fallos en el proceso

**Requerimientos funcionales** .- es necesario plantearse los requisitos que debe cumplir el HMI, a partir de eso tener un mejor diseño de tal manera que el usuario pueda interactuar fácilmente con el interfaz, para eso se debe tener:

- Arquitectura abierta
- Capacidad de crecer o adaptarse según las necesidades del cliente
- Ordenados, fácil navegación y baja carga visual para el usuario
- Avisos visuales y audibles ante eventos
- Disminuir la carga de memoria al usuario

Tomando en cuenta la filosofía del HMI, se tienen los requisitos y tareas del usuario, de tal manera que el diseño de la interfaz será realizado de acuerdo con lo requerido por el usuario final.

#### **4.3.3.2 Guía de estilo**

Mediante la guía de estilo se podrá determinar los parámetros básicos para el diseño en general, y que estándares de implementación se manejarán en las diferentes ventanas, dando seguimiento a las guías de un buen diseño de la ISA101.

#### **Consola de operaciones**

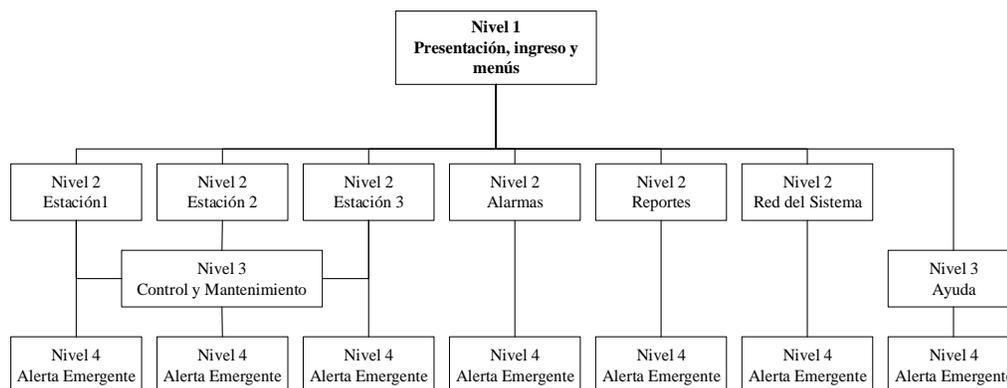
Definir la consola de operaciones es esencial para poder realizar un correcto diseño del HMI, dando mejor uso a los elementos de entrada y salida que se utilizaran en el interfaz, siendo estos los siguientes elementos claves:

- Monitor
- Mouse
- Teclado
- Ventanas pop-up
- Elementos gráficos

#### **Jerarquía de pantallas**

Al definir la jerarquía de las pantallas, se permite entender con mayor facilidad a que nivel se diseñarán cada pantalla, dando un mayor entendimiento de cómo será la navegación por todo el interfaz.

Según la Figura 33 existen 4 niveles de jerarquía para el interfaz, lo que se encuentra dentro de lo recomendado, de tal manera que el acceso a los otros niveles sea rápido.



**Figura 33 Jerarquía de pantallas**  
**Distribución de pantalla**

El espacio es un punto limitado al momento de realizar el diseño de un interfaz, por lo que es necesario una distribución correcta de todos los elementos que contendrán una ventana, de tal forma que el operario no necesite un nuevo aprendizaje por cada pantalla que navegue así disminuyendo su carga de la memoria.

La siguiente distribución realizada en la plantilla de la Figura 34 se basa en la experiencia con los diferentes HMI trabajados en SEIUS S.A., donde se busca mostrar la información necesaria al usuario, sin necesidad de sobrecargar la pantalla de datos. No se dejan espacios vacíos en la ventana y se distribuyen con los siguientes elementos:

- Menú .- contendrá un menú desplegable donde permita al usuario navegar entre ventanas, acceder y desconectar a su usuario, revisar la ayuda del HMI y el cierre del programa.
- Logo .- contará con el logo de la empresa para su demostración al público.
- Acceso .- mostrará al operario que usuario se encuentra conectado en el momento, también permitiendo realizar su ingreso y desconexión.
- Título .- indicará en cual ventana el operario se encuentra navegando en el momento.
- Mímico .- es la representación del proceso de cada estación, de tal manera que se pueda realizar un monitoreo.
- Alarmas .- son los indicadores críticos del sistema, el cuál muestran las alarmas de mayor riesgo.

- Fecha y Hora .- reloj personalizado de la fecha y hora del sistema
- Barra de Navegación .- barra con botones que permitirá al usuario realizar la navegación por las diferentes ventanas.



**Figura 34 Propuesta de distribución de elementos en pantalla**

**Elementos estáticos** .- en el entorno gráfico existirán elementos que no tendrán una finalidad con el proceso, pero que si proporcionarán información necesaria para un correcto uso como es el caso del reloj digital, que permitirá al usuario tener en cuenta del horario que se está trabajando, o el momento que suceda algún evento.

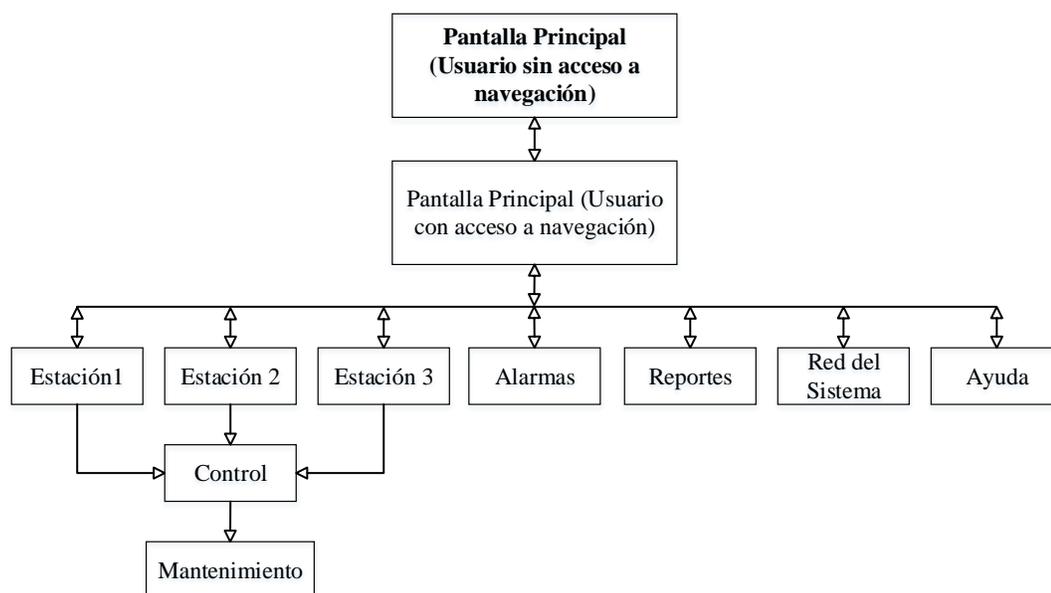
**Texto estático** .- para este interfaz, los títulos, textos de ayuda, etiquetas de valores y el logo serán los textos estáticos utilizados, de tal manera que su información no cambiará, pero cumplen con su función de proporcionar la correcta información de lo que se está visualizando, de tal manera que el usuario sea capaz de identificar en que entorno se encuentra, que variables o indicadores se están presentando, como aprovechar los mensajes de ayuda desplegados y en el caso del logo su funcionalidad sería de mostrar a los clientes quien es el encargado de la realización del interfaz para que puedan promocionarse.

**Valores dinámicos del proceso** .- estos valores serán los encargados de indicar principalmente lo que está sucediendo en el proceso, de tal manera que están directamente conectados a los datos que se adquiere del proceso, indicando eventos o registrando los valores de las variables definidos.

### **Navegación**

Con la jerarquización de las pantallas ya realizadas, es posible determinar cómo se podrá navegar entre las pantallas del interfaz, de tal manera que se toma con prioridad la

facilidad de acceder a las diferentes ventanas desde la mayoría de ventanas que se estén ejecutando en el momento, por lo que los conectores de la Figura 35 son bidireccionales, indicando que se puede acceder las de más ventanas desde cualquier ventana.



**Figura 35 Diagrama de la navegación entre pantallas**

Para poder utilizar esa navegación existirán dos métodos, ya sea por un submenú existente o por botones de acceso directo que estarán ubicados en la parte inferior como se indicó anteriormente.

### **Uso de colores**

Uno de los puntos esenciales para tener un buen interfaz, es mantener un adecuado uso de los colores, debido a esto se puede evitar una sobrecarga visual al usuario y llevar su atención a los puntos que uno desee como el momento de indicar alarmas o eventos peligrosos.

Es importante que los colores utilizados deben estar siempre en contraste, principalmente el fondo con respecto a los demás elementos utilizados, evitando gradientes muy notorios en elementos que se encuentren estáticos, y el uso de diferentes tonalidades.

Para determinar el color del fondo, se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Evitar el uso de colores muy fuertes o resplandecientes como los primarios.
- Usar un color que contraste con los demás elementos que se ubicarán en las pantallas
- Utilizar colores de baja intensidad de brillo (neutros) como el beige, gris, azul claro

Con los lineamientos ya determinados para la selección de la paleta de colores indicados en la Tabla 27 es posible realizar un diseño óptimo de tal manera que se sigan las recomendaciones indicadas previamente.

**Tabla 27**  
**Paleta de colores a utilizar HMI**

Color RGB		Descripción
Negro (0,0,0)		Utilizado para los textos que se encuentran en las pantallas sobre fondo claro
Blanco (255,255,255)		Utilizado para los textos que se encuentran en las pantallas sobre fondo oscuro
Azul (0,0,186)		Utilizado para el botón de reinicio, para poner el sistema operativo luego de reparar algún fallo.
Verde (0,186,0)		Indica que el sistema está operando, o señalización para poder arrancar el sistema.
Amarillo (255,255,0)		Indica que el sistema está con algún evento no riesgoso sucediendo (encolamiento)
Rojo (186,0,0)		Indica que el sistema se encuentra detenido, o en caso de parpadear indica un estado de emergencia o de fallo.
Gris (236,240,241)		Degradado utilizado en todos los botones del interfaz que se puedan realizar alguna acción.
Azul (0,42,82)		Degradado utilizado como el fondo de la pantalla donde se ubicarán los demás elementos de manera que resalten.

### Menús y botones de navegación

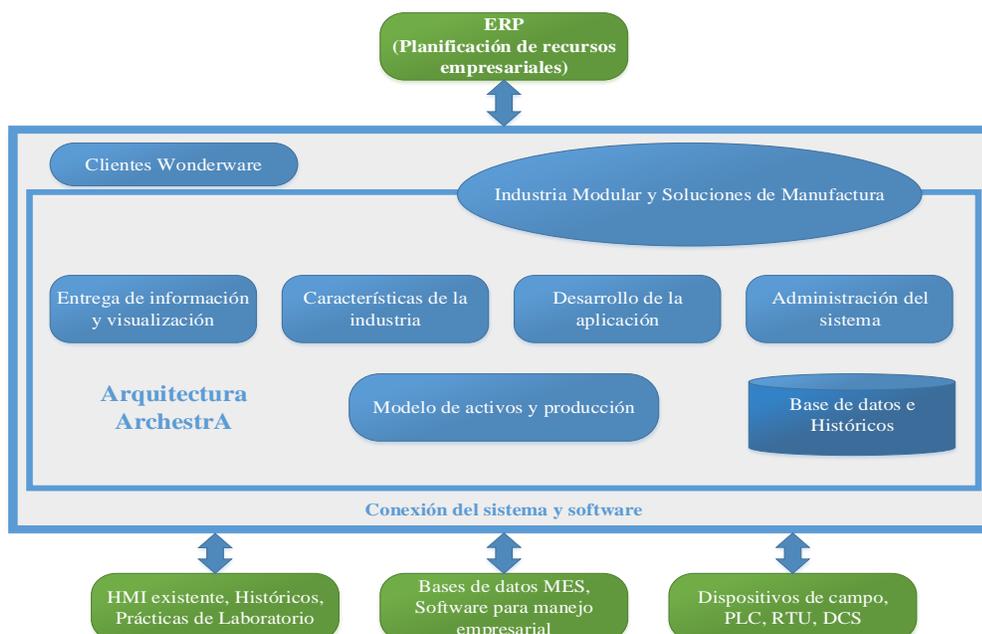
Estos serán los encargados de permitir al usuario una correcta y simple navegación por el sistema, además de contener otras acciones pertinentes al uso de la aplicación como la guía del usuario, el control de acceso, la supervisión del sistema y manejo de variables.

Se debe tomar en cuenta que la navegación entre ventanas será redundante, es decir que se la podrá acceder desde el menú o desde los botones de navegación, con esto permitiendo al usuario una mayor velocidad de respuesta cuando quiera dirigirse a otra ventana.

#### 4.3.4 Plataforma de diseño HMI

Para el diseño HMI se usará Wonderware System Platform, donde se ofrece escalabilidad hacia las necesidades de información y automatización industrial, que se relacionan con soluciones de software SCADA, monitoreo por HMI.

Dentro de Wonderware, ArchestrA es la arquitectura de última generación para el control de fabricación de sistemas de información, con un sistema abierto y extensible de componentes basados en un diseño distribuido, orientado a objetos (Invensys Systems, Inc, 2005), buscando facilitar e impulsar la integración de dispositivos y sistemas a distintos niveles, permitiendo desarrollar un solo “modelo de planta” amplio y fácil de mantener que representa los procesos físicos que están siendo controlados y supervisados en sus instalaciones de producción como se observa en la Figura 36, además de gestionar la información en tiempo real y almacenarlas en históricos.

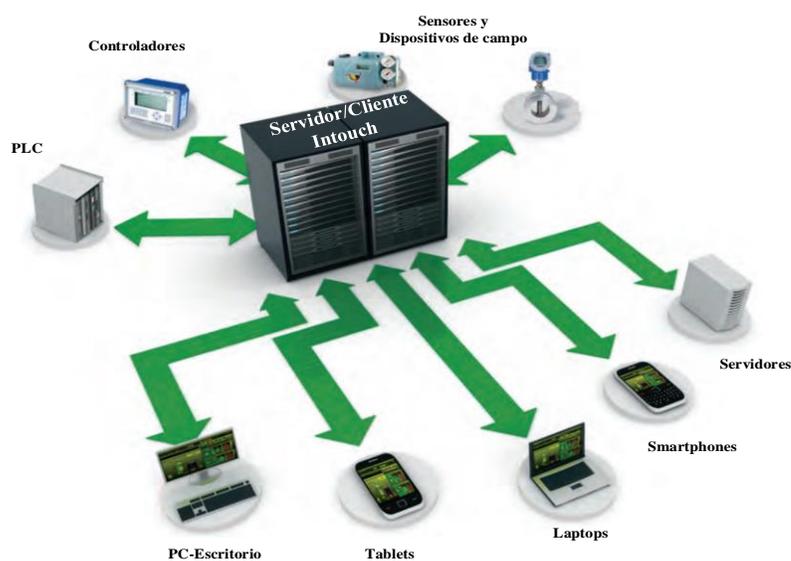


**Figura 36** Arquitectura de ArchestrA  
(Invensys, 2017)

### 4.3.5 Herramienta de desarrollo de interfaz

Manteniendo un alto nivel de integración de software y dispositivos como en la Figura 37 se tiene Wonderware InTouch, que es un sistema interactivo diseñado para el seguimiento, supervisión y el control de procesos industriales permitiendo desarrollar no solo gráficos simples si no representaciones muy parecidas a las que se observarán en las estaciones del producto.

InTouch permitirá reflejar en un menor tiempo la detección de un problema, también permitirá enfocarse en la gestión de las alarmas, ofreciendo también un correcto uso de colores para mejorar la atención de los operarios y evitar su fatiga visual.



**Figura 37 Nivel de integración de InTouch**  
(Schneider Electric, 2014)

### 4.3.6 Gestión de alarmas

En el sistema demostrativo se contarán con las alarmas indicadas en la Tabla 28 de tal manera que se pueda tener un ambiente seguro en el proceso. Estas alarmas estarán clasificadas según su nivel de severidad como en la Tabla 29, que mientras más alto sea, en caso de no ser respetado o puestas las seguridades necesarias puedan ocasionar un grave accidente provocando serias lesiones o hasta la muerte.

Para cumplir con esas alarmas será necesaria la ubicación de sensores y protocolos que identifiquen y actúen en caso del evento peligroso.

**Tabla 28**  
**Libro de alarmas**

Descripción	Causas que originan	Prioridad
Intrusión al tablero energizado sin previo aviso	Abrir tablero energizado	250
Aviso de desconexión motor 1 por sobrecorriente	Sobrecorriente en Motor 1	500
Aviso de desconexión motor 2 por sobrecorriente	Sobrecorriente en Motor 2	500
Desconexión cable de comunicación al PLC	Desconectar el cable ethernet del PLC al Switch	500
Mal funcionamiento del variador	Fallo por anomalías de las cargas	500
Desconexión cable de comunicación al variador	Desconectar el cable Modbus del variador al PLC	749
Desconexión cable de comunicación al servidor	Desconectar el cable ethernet del servidor al Switch	749
Acción de parada de emergencia en tablero	Accionamiento del botón de emergencia en tablero	250
Acción de parada de emergencia en estación 1	Accionamiento del botón de emergencia en estación 1	250
Acción de parada de emergencia en estación 2	Accionamiento del botón de emergencia en estación 2	250
Intrusión a área restringida de la estación 1	Ingresar al área de corte mientras esté funcionando	1
Intrusión a área de mantenimiento estación 1	Abrir la puerta de acceso a la estación 1 mientras opera	1
Intrusión a área de mantenimiento estación 2	Abrir la puerta de acceso a la estación 2 mientras opera	1
Intrusión a área de mantenimiento estación 3	Abrir la puerta de acceso a la estación 3 mientras opera	1
Cilindros 1,2,3,4,5 y 6 no responden	No cumplir con su carrera cuando se lo solicite	500

**Tabla 29**  
**Clasificación de alarmas por su severidad**

Severidad de alarma	Rango de prioridad	Descripción
Crítica	1 - 249	Causante de muertes o lesiones graves en el operario, también puede causar daños graves a los equipos
Mayor	250 - 499	Puede causar lesiones leves al operario o daños a los equipos

Continúa 

Menor	500 - 749	Posibilidad de causar daños a los equipos
Informativa	750 - 999	Informan de eventos anómalos que pueden llevar a problemas de producción

#### **4.3.7 Requerimientos para la red**

Debido a la utilización de equipos de la marca Schneider Electric, el protocolo de comunicación de preferencia entre los dispositivos será Modbus, aunque también se utilizará TCP/IP debido a su compatibilidad y mismo puerto de entrada. En el diseño de una red se debe considerar diferentes factores incidentes, como son la arquitectura, topología, selección de componentes, instalación, verificación y software para lograr una red lo suficientemente robusta.

#### **4.3.8 Requerimientos operativos**

- Integración de los dispositivos utilizados mediante una red LAN con topología de estrella.
- Comunicación de computadoras y controlador mediante protocolo TCP/IP
- Desarrollo de un entorno gráfico para supervisión y visualización del proceso.
- Implementación de un servidor que almacene datos
- Comunicación entre PLC y variador mediante protocolo Modbus
- Flexibilidad de expansión de nuevos equipos.

Dado por concluido los requisitos básicos para la construcción del equipo se procede al siguiente paso de diseño, donde se busca encontrar los dispositivos más óptimos para la realización del sistema, y realizar los reajustes en caso sea necesario.

### **4.4 Diseño de materialización**

Una vez determinada la parte conceptual necesaria para concretar el diseño del sistema, se procede a seleccionar la mejor alternativa de uso de dispositivos, de manera que cumplan con las necesidades indicadas.

#### **4.4.1 Dimensionamiento de los motores**

Para la selección de motores se definen dos características principales potencia y torque para garantizar el movimiento de la banda con la carga a transportar. Para determinar la

potencia necesaria del motor se utiliza la Ecuación 1, garantizando el movimiento de la banda transportadora.

$$\mathbf{HP} = \frac{(W+w)(f)(s)}{33000} \quad \mathbf{Ecuación 1}$$

Donde:

- W = peso de carga (lb)
- w = peso de banda (lb)
- f = coeficiente de fricción
- s = velocidad (FPM)

El total de placas que pueden estar en la banda transportadora es 5, entonces:

$$Peso\ total = 5 * 5 + 45 * 5 = 250\ g$$

Para el cálculo de la potencia se transforma la velocidad a pies por minuto (FPM) con la Ecuación 2, y con esto logrando calcular la potencia del motor:

$$\mathbf{FPM} = \frac{RPM(D*\pi)}{12} \quad \mathbf{Ecuación 2}$$

$$FPM = \frac{1350(0.11 * 3.14)}{12} = 38.85$$

$$\mathbf{HP} = \frac{(0.55 + 1.1)(0.3)(38.85)}{33000} = 0.0006$$

Los motores seleccionados son jaula de ardilla trifásicos de 4 polos con una potencia de 0.25 HP, debido a fines demostrativos de la maqueta y disponibilidad de estos equipos en la empresa. Estos motores garantizan la potencia requerida para la banda, con los datos obtenidos se determina el torque necesario en la Ecuación 3 dando un resultado de 0.13 Kgf-m equivale a 1.27 Nm

$$\mathbf{T} = \frac{(HP*716)}{rpm} \quad \mathbf{Ecuación 3}$$

$$T = \frac{(0.25 * 716)}{1350} = 0.13\ Kgf - m$$

Los motores tienen un torque de 1.27 Nm, los cálculos realizados se han considerado para una transmisión directa de los motores a la banda transportadora.

#### 4.4.2 Dimensionamiento circuitos de fuerza

La base para el dimensionamiento del circuito de fuerza está en la carga, partiendo de dos motores de las mismas especificaciones indicadas en la Tabla 30.

**Tabla 30**  
**Especificaciones de placa del motor**

V	Hz	A	kW	min <sup>-1</sup>	cos $\varphi$
230/400	50	1.24/0.72	0.18	1350	0.60
277/480	60	1.24/0.72	0.22	1620	0.60

Para la protección eléctrica de los motores se utilizará un guardamotor por tratarse de un motor de baja potencia y un contactor para el control de este.

#### 4.3.2.1 Dimensionamiento del guardamotor

De la Tabla 30 se tiene que la corriente nominal del motor es 0.72 A, de esto se añadirá 50% más, por picos de corriente al arranque:

$$I_{GM} \geq I_{nM} \times 1.5$$

$$I_{GM} \geq 0.72 \times 1.5$$

$$I_{GM} \geq 1.08 \text{ A}$$

Disponible en el mercado  $I_{GM} = 1.6 - 2.5 \text{ A}$

#### 4.3.2.2 Dimensionamiento del contactor

El contactor se utilizará para el control de encendido o apagado de los motores, donde se dimensiona con el 50% más de la corriente nominal del motor.

$$I_C \geq I_{nM} \times 1.5$$

$$I_C \geq 0.72 \times 1.5$$

$$I_C \geq 1.08 \text{ A}$$

Disponibles en el mercado  $I_C = 9 \text{ A}$

#### 4.3.2.3 Dimensionamiento del contacto auxiliar de seguridad

La línea Preventa de Schneider Electric, provee un contacto auxiliar de seguridad para los contactores dimensionados, de tal manera que realizarán la supervisión del sistema y mantendrán un nivel de seguridad que no permitan ser enclavados de forma manual y contengan 4 entradas para realizar el: control de enclavado de los motores, supervisión de marcha del motor y alimentación de una electroválvula. Para esto se elige el contacto auxiliar de seguridad LADN22S con las especificaciones descritas en la Tabla 31.

**Tabla 31**  
**Características de contacto auxiliar de seguridad**

Característica	LADN22S
Enclavamiento manual	No
Número de contactos	2 NA + 2 NC
Montaje	Frontal
Voltaje de operación	Hasta 690V
Tiempo de acción	1.5 ms

#### 4.3.2.4 Dimensionamiento del variador

Se cuenta un motor por cada segmento de banda, los cuales se conectará en paralelo a un variador de la serie ATV312.

$$PM1 + PM2 = PT$$

$$0.18 + 0.18 = 0.36$$

$$PT = 0.36 \text{ kW}$$

Corriente nominal de consumo total dado por:

$$In_{M1} + In_{M2} = In_{TOTAL}$$

$$1.24 + 1.24 = 2.48$$

$$In_{TOTAL} = 2.48 \text{ A}$$

Entonces la potencia que debe soportar el variador deber ser mayor a 0.36 kW, lo cual hay disponibles en el mercado de 0.41 kW.

Las características del guardamotor GV2ME descritas en la Tabla 32, cumple con los parámetros necesarios para garantizar el funcionamiento de los motores en condiciones nominales, donde se destaca la protección a bajas intensidades de corriente, mientras que el modelo GV3P se caracteriza para mayores cargas.

Determinada la elección del guardamotor es necesario equiparle con un accesorio que permita determinar su estado de funcionamiento, para cumplir con los requisitos previos de supervisión del sistema, donde la serie de guardamotors GV2ME son compatibles con los siguientes contactos auxiliares descritos en la Tabla 33 tomando en cuenta que los accesorios frontales ocupan menos espacio y son más baratos, es necesario realizar importaciones de estos, y al no tener una diferencia significativa en precio se elige al dispositivo GVAN11.

**Tabla 32**  
**Comparativa entre guardamotores**

Característica	GV2ME	GV3P
Protección contra sobrecargas	Si	Si
Control	Manual por pulsador	Perilla Giratoria
Protección termomagnética	Si	Si
Acceso directo a partes internas	No	No
Capacidad de bloqueo	Si	No
Normativas de cumplimiento	IEC 947-2 IEC 947-4-1	UL 508
Intensidad soportada	0-65 A	9-65 A
Permite regulación de Intensidad de corte	Si	Si
Precio	72.90 \$	92.00 \$

El variador Altivar 12 cumple con todas las características para el control de las bandas transportadoras del proceso comparadas en la Tabla 34, donde se determina que la utilización de un Altivar 312 sería un sobredimensionamiento para su aplicación.

**Tabla 33**  
**Comparativa entre contactos auxiliares para guardamotores**

Característica	GVAN11	GVAE11	GVAE20
Montaje	Lateral	Frontal	Frontal
Cantidad de Contactos	1 NA+NC	1 NA+ NC	1 NA + NA
Corriente Térmica	6 <sup>a</sup>	6A	6A
Necesidad de importación	No	Si	Si
Precio	10.08 \$	9.73 \$	9.73 \$

**Tabla 34**  
**Comparativa entre variadores**

Característica	Altivar 12	Altivar 312
Aplicaciones	Máquinas pequeñas como bandas transportadoras, máquinas de embalaje	Multipropósito adaptado para aplicaciones de par constante y par cuadrático en la industria
Rango Voltaje	120-240	240-480
Rango de potencia	¼-5 HP	¼-20 HP
Comunicación	Modbus	Modbus
Tipo de Control	PID	PI-PID
Entrada para potenciómetro	si	si

Continúa 

Posibilidad de bloqueo de acceso por clave	si	si
Precio	235 \$	371 \$

#### 4.3.2.5 Protección para el variador

La corriente de línea máxima del Altivar 12 es de 3A cuando su alimentación es de 220V, por lo tanto, el interruptor termomagnético se calcularía de la siguiente manera:

$$I_{Int} = I_{Var} \times 1.20 = 3 \times 1.20 = 3.6A$$

#### 4.4.3 Equipos de control

Para determinar el controlador a utilizar, es necesario saber el número de entradas y salidas necesarias para su funcionamiento, estos datos se obtienen a partir de los sensores y actuadores que se manejen en el proceso.

Siguiendo la Tabla 35 se determina que son necesarias 15 entradas que manejen voltaje de hasta 24V DC, en cambio con la Tabla 36 se requieren 11 salidas, de las cuales deben ser tipo relé debido a que trabajan con voltajes DC de 24V y AC de hasta 220V, siendo necesario dejar el 20% extra de entradas y salidas libres en caso de futuros cambios. Para realizar la comunicación con otros controladores existentes y el HMI, será necesario un puerto ethernet y uno SL1 (conexión MODBUS). Otras características que debe tener el PLC es una respuesta ante eventos menor a 30 ms y principalmente el más económico utilizando software libre de programación.

**Tabla 35**  
**Señales de entrada utilizadas**

Ítem	Elemento	Tipo de señal	Cantidad
1	Sensor electromecánico	Discreta a 24V	2
2	Sensor magnético para cilindros	Discreta a 24V	6
3	Botón de inicio	Discreta a 24V	1
4	Botón de parada simple	Discreta a 24V	1
5	Botón parada de emergencia	Discreta a 24V	1
6	Auxiliar de guardamotor	Discreta a 24V	2
7	Auxiliar de contactores	Discreta a 24V	2

En base a la Tabla 37, el único controlador que cumplió con todas las características y al menor precio fue el TM221CE40R, siendo el elegido para la implementación.

Otro controlador por utilizar será el de seguridad, encargado de administrar las entradas y salidas de dispositivos exclusivos de seguridad, para eso se identificaron los equipos de la Tabla 38, donde solo son necesario 8 entradas e interpretando cada ambiente a proteger se tienen 6 diferentes sectores, lo que representan la cantidad de salidas necesarias.

**Tabla 36**  
**Señales de salida utilizadas**

Ítem	Elemento	Tipo de señal	Cantidad
1	Electroválvulas	Discreta a 24V	6
2	Baliza indicadora 3 colores	Discreta a 24V	3
3	Bobina contactor	Alterna a 220V	2

Para la elección del controlador de seguridad se tienen 3 modelos (XPS-MC, XPS-MP y XPS-MCM) en la línea PREVENTA, donde según la Tabla 39 se comparan los parámetros y determinando al XPS-MCM el más conveniente, debido a su capacidad modular, múltiple supervisión y comunicación Modbus/Ethernet. Tomando en cuenta los parámetros necesarios y el catálogo (Schneider Electric Industries SAS, 2015), se elige el controlador XPSMCMX0802, debido a su capacidad de 8 entradas siendo 4 de estas monitoreadas y la existencia de 2 salidas a transistor.

La selección de un controlador modular permite una configuración más simple debido a que la cantidad de entradas, salidas y la comunicación dependerán de los módulos que se instalen, logrando una mejor libertad de selección.

**Tabla 37**  
**Comparativa entre controladores**

Característica	TM221CE40R	TWD LCA40DRF	TM241CE40R
Mínimo 18 entradas a 24 V DC	24 Entradas DC	24 Entradas DC	24 Entradas DC
Mínimo 13 salidas relé de 220V AC y 24V DC	16 Salidas relé	14 Salidas relé y 2 a transistor	12 Salidas relé y 4 a transistor
Comunicación Ethernet	Si	Si	Si
Comunicación MODBUS	Si	No	Si
Respuesta ante eventos menor a 30ms	60 $\mu$ s	150 $\mu$ s	50 $\mu$ s
Programación en software libre	Si (So Machine)	No (TwidoSuite)	Si (So Machine)
Precio	767.36 \$	1126.50 \$	1062.10 \$

**Tabla 38**  
**Sensores de seguridad**

Elemento	Cantidad	Sector por proteger
Fotocélula	1	Estación 1
Botón paro de emergencia	3	Estaciones 1, 2 y 3 / Motores 1 y 2
Interruptor magnético	3	Estaciones 1, 2 y 3
Interruptor electromecánico	1	Gabinete

**Tabla 39**  
**Comparativa entre modelos de controladores de seguridad**

Característica	XPS-MC	XPS-MP	XPS-MCM
Programable	No	Si	Si
Modular	No	No	Si
Nivel de seguridad según EN / IEC 61508	N/A	SIL 3	SIL3
Comunicación	N/A	Modbus serie RTL y/o RTU, Profibus DP y CANopen	Modbus serie RTL y/o RTU, Profibus DP, CANopen y Ethernet
Múltiple supervisión	Dos funciones	Si	Si

Debido a la necesidad de 2 salidas adicionales se selecciona el XPSMCMER0004, un módulo de salidas relé de seguridad.

#### 4.4.4 Equipos de red

Teniendo en cuenta la cantidad de equipos que necesitaran estar comunicados por una red Ethernet, fácilmente se puede determinar que switch se necesitará mínimo de 3 puertos ethernet, siendo que el dispositivo TCSESU053FN0 de la Tabla 40 al ser el más económico contiene 2 puertos adicionales en caso de algún cambio futuro.

**Tabla 40**  
**Comparativa entre switches**

Característica	499NES25100	TCSESU053FN0	Spider 8TX
Nº de Puertos	5 RJ45	5 RJ45	8 RJ45
Alimentación	24 Vdc	24 Vdc	24 Vdc
Precio	189.62 \$	104.18 \$	215 \$

#### 4.4.5 Fuente de voltaje DC

Para el diseño de la Fuente se toman en cuenta todas las cargas del sistema, presentadas en la Tabla 41, se ha tomado en cuenta para la utilización de una sola fuente todos estos equipos requieren de un suministro de voltaje de 24 VDC.

**Tabla 41**  
**Dispositivos conectados a fuente DC**

Ítem	Equipo	Cant.	Consumo unitario (A)	Consumo total (A)
1	Controlador de seguridad	1	0,4	0,4
2	Relé de seguridad	1	0,125	0,125
3	Electroválvulas	6	0,125	0,75
4	Sensores magnéticos cilindros	6	0,1	0,6
5	Sensores inductivos	2	0,125	0,25
6	Sensores magnéticos puertas	3	0,1	0,3
7	Baliza de luz indicadora	3	0,047	0,141
8	Sensor infrarrojo de seguridad	1	0,035	0,035
9	Switch	1	0.1	0.1
<b>Total</b>				<b>2,701</b>

Entonces la fuente necesaria deberá contar con al menos 2.7 A para conectar todos los dispositivos, esto tomando en cuenta el consumo cuando todos los elementos estén consumiendo a la vez.

Para la selección de la fuente se define como principal característica, salida de voltaje de 24 VDC y una corriente de al menos 3 A. En la Tabla 42 se presenta la comparación entre fuentes ABL1 y ABL8 las dos fuentes para uso industrial.

La fuente ABL8 cumple con las características necesarias tanto de montaje en el tablero para riel DIN como características para entrega de voltaje a todas las cargas, siendo que también se encuentra disponible en la empresa.

**Tabla 42**  
**Comparativa entre fuentes DC**

Características	ABL1	ABL8
Rango de voltaje	12-24 V	24 V
Montaje en riel Din	no	si
Voltaje de entrada	110/220 VAC	110/220 VAC
Uso industrial	si	si
Regulación de voltaje	si	si
Precio	351,16 \$	254,6 \$

#### 4.4.6 Dimensionamiento de las canaletas

Una vez determinado los dispositivos que se utilizarán hay que tomar en cuenta los que se ubicarán en el interior de un tablero eléctrico, y con esto determinar un aproximado de la cantidad de cables que deben circular por la canaleta sabiendo su sección transversal.

Sabiendo que todo el cableado a ser utilizando es de calibre 18 AWG, debido a que ninguna corriente supera los 10A por línea, se tiene medido a 2.5 mm el diámetro del cable y según el diagrama de conexión en el Anexo G se aproxima la utilización de 50 segmentos de cables por tramo de canaleta, que ocupan un área total de 245.31 mm<sup>2</sup> según la Ecuación 4. Teniendo en cuenta el área aproximada necesaria, se puede determinar que, con una canaleta ranurada de 25 mm de ancho por 50 mm de alto, siendo la menor existente para tableros Schneider Electric, es suficiente para la aplicación siendo que cubre un área de 1250 mm<sup>2</sup>.

$$\text{Área Total} = \text{area cable} * \text{cantidad de cables} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\text{Área Total} = \pi * \left( \frac{2.5 [mm]}{2} \right)^2 * 50$$

$$\text{Área Total} = 245.31 [mm^2]$$

Terminada la selección de los elementos más convenientes y necesarios para el cumplimiento de los requisitos descritos previamente, se procede a dar un mayor detalle de la propuesta para poder implementar el sistema, llevando al último paso de documentar con diagramas y esquemas la solución final.

## 4.5 Diseño de detalle

Concretada la elección de los dispositivos en el diseño de materialización ya es posible llegar a la solución final, con el último paso de ir documentando lo necesario para su implementación, de tal manera que se puedan seguir mediante diagramas y parámetros establecidos la construcción del equipo.

### 4.5.1 Diseño de esquemas eléctricos y neumáticos

Una vez determinado los equipos que se utilizarán en el proceso, es necesario realizar los respectivos diagramas para poder implementar su diseño.

- **Tablero eléctrico**

Primero se debe partir por una distribución física de los elementos eléctricos sobre un tablero, para poder determinar el espacio que ocuparan en el doble fondo, de esta manera se toma como referencia el elemento de mayor dimensión que en este caso es el variador con una medida de (13 cm de largo por 10.5 cm ancho y 15 cm de alto) este debe tener una separación mínima de 3 cm con respecto a la canaleta superior e inferior. Teniendo en cuenta estos datos se tiene la distribución más óptima en el Anexo H de todos los elementos con un tablero de 800x600x300 cm de la marca Schneider Electric.

Este tablero cuenta con 2 certificados de protección el primero IP66 donde es capaz de soportar ráfagas de polvo fino entre 2 a 8 horas y fuertes chorros de agua sin provocar daños según el estándar ANSI/IEC 60529-2004 (National Electrical Manufacturers Association, 2004). El otro certificado es el IK10 que indica que puede resistir a un impacto de hasta 20 Joule según la IEC 62262 (International Electrotechnical Commission, 2002), estos 2 certificados son necesarios para que el tablero pueda resistir al transporte sin comprometer los elementos internos, como se indicó, será transportado en camionetas no cubiertas.

- **Conexión eléctrica**

Para la realización del diagrama de conexión del Anexo G, se tomó en cuenta los formatos utilizados en la empresa SEIUS.S.A. manteniendo las respectivas etiquetas para los equipos y los cables indicando con marquillas de donde parte a dónde va la conexión, utilizando la misma numeración de las entradas y salidas determinadas en los dispositivos. Para el código de colores del cableado, la empresa maneja su propia distribución,

basándose en la NFPA 70, donde normado se debe tener el color verde para la tierra y gris para el neutro, para los demás casos solo es una recomendación mantener un estándar de colores como en la Tabla 43.

**Tabla 43**  
**Colores para cableado**

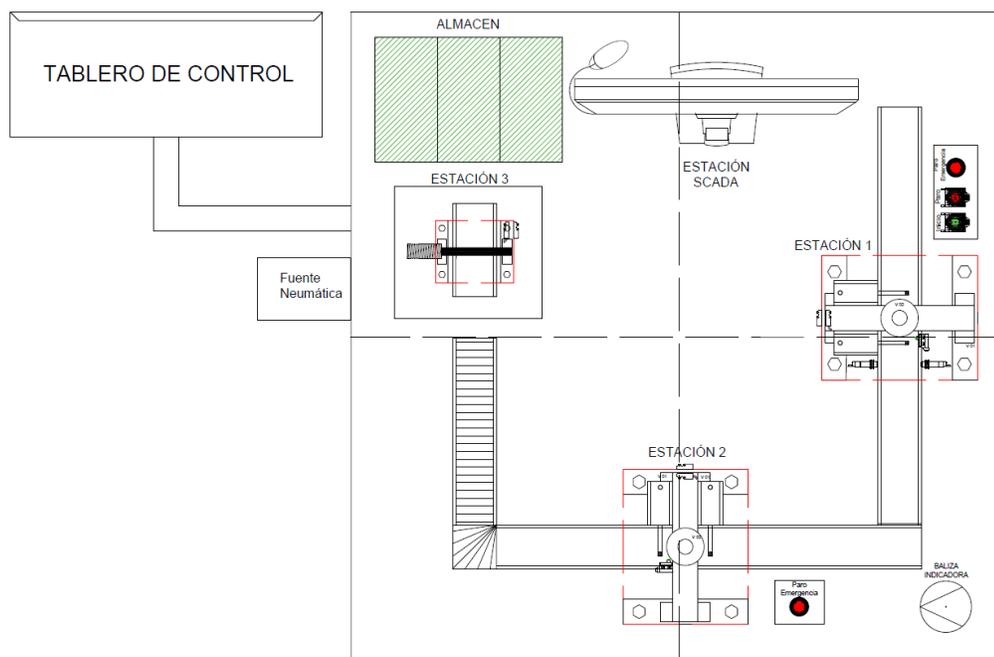
Color	Descripción
 Rojo	Línea DC de 24 V +
 Azul	Línea DC de 24 V -
 Marrón	Línea AC de 220 V (Fase 1)
 Naranja	Línea AC de 220 V (Fase 2)
 Amarillo	Línea AC de 220 V (Fase 3)
 Verde	Línea de Tierra (GND)

- ***Conexión neumática***

Determinado los dispositivos que deben ocuparse para el diseño neumático, se realiza su diagrama de conexión neumática que se puede observar en el Anexo I, teniendo en cuenta que las señales de activación de las electroválvulas provienen del PLC del proceso.

#### **4.5.2 Diseño de la consola**

Una vez teniendo diseñado el módulo demostrativo se puede determinar cómo se tendrá la consola, donde se observará los detalles de la producción mediante un monitor ubicado en una esquina de la plataforma. También se podrán realizar las acciones de control directamente sobre las estaciones o mediante el interfaz, donde en ciertas ocasiones demostrativas que ocurran eventos, el usuario deba interactuar directamente con la planta. De esta forma se tiene la Figura 38 que muestra cómo se tendrá la consola del sistema, también integrando un monitor de alta definición con 1920x1080 pixeles de resolución.



**Figura 38 Arquitectura de la consola del sistema**

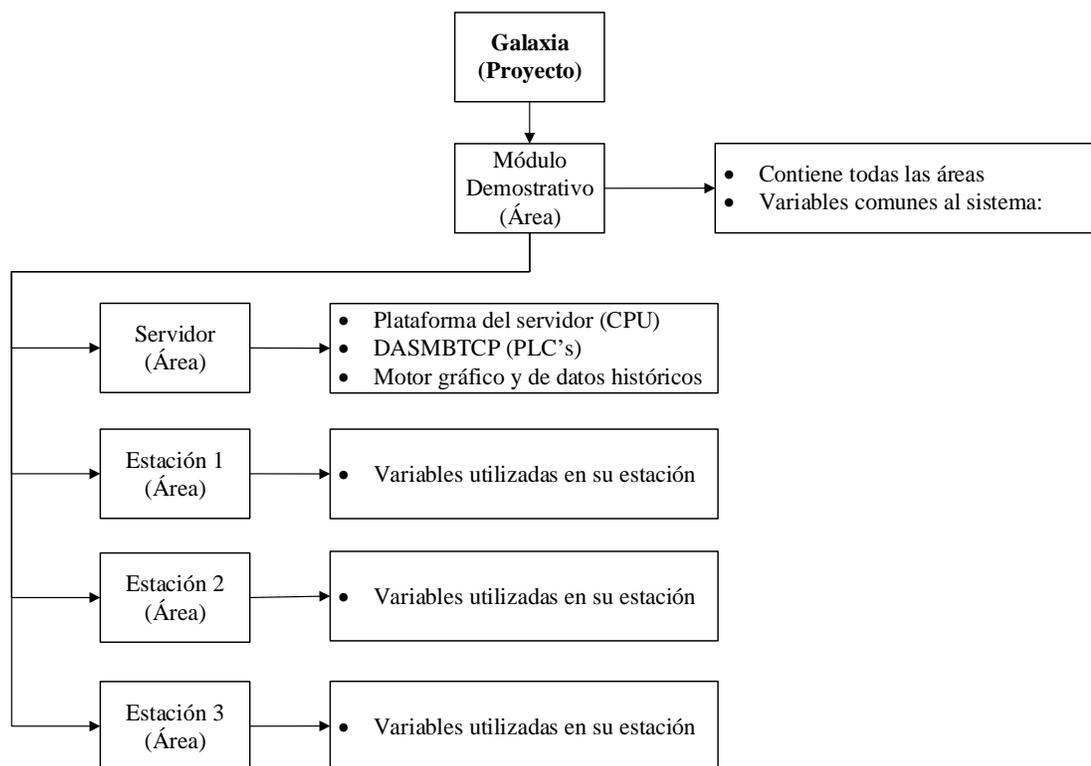
#### 4.5.3 Caracterización del hardware

A parte del módulo demostrativo que ya cuenta con todos los actuadores y sensores para su funcionamiento, son necesarios otros dispositivos para que realice toda su función siendo estos:

- Tablero de control
- Fuente neumática
- Computador de escritorio

#### 4.5.4 Caracterización del software

Inicialmente el sistema operativo que se utilice debe ser Windows 7 profesional Ultimate de 64 bits, de tal manera que exista la compatibilidad con el software ArchestrA el cual será necesario para montar la arquitectura del sistema, donde lo que se debe realizar es primero definir la plataforma sobre la cual trabajará el Servidor, seguido de sus controladores y motores de gestión de datos y gráficos, distribuir también como se va dividir en áreas el sistema y por último sus variables o elementos a manejar, en resumen, se puede observar en la Figura 39, como se distribuye el modelo de la planta en el software.

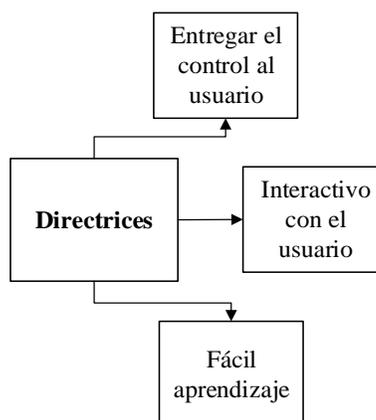


**Figura 39 Modelamiento de la planta virtual en Archestra**

#### 4.5.5 Diseño HMI

En el diseño de las HMI se debe tomar en cuenta los parámetros de la norma ISA SP101 descrita en el CAPÍTULO 2, para la definición de las estrategias funcionales de las interfaces y la estética de las mismas, considerando la guía de estilo previamente determinada.

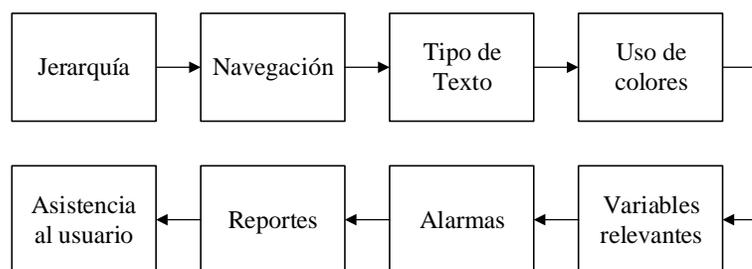
Se debe priorizar que este interfaz es para uso educativo, es decir que la empresa lo utilizará para mostrar a sus clientes el funcionamiento del proceso de manera intuitiva, por lo que debe ser profesional, práctica, y sencilla de tal manera que llame la atención de los usuarios. Para eso se tomarán las siguientes directrices de la Figura 40 como base para el cumplimiento del diseño del HMI.



**Figura 40 Directrices para el diseño del interfaz**

#### 4.5.5.1 Diseño de pantallas

Con la guía de estilo ya determinado el proceso del diseño es mucho más intuitivo, para eso se debe determinar un proceso a seguir para el diseño de las pantallas por lo que se toma en cuenta el siguiente proceso de la Figura 41.



**Figura 41 Proceso de diseño de pantallas**

#### Jerarquía de pantallas

Estas ya fueron previamente determinadas en la guía de estilo, por lo que se determinaron 4 niveles y las pantallas que serán utilizadas, por lo que se procede a especificar las características que tendrá cada ventana y que información abarcarán en ellas, como lo indica en la Tabla 44.

Se trabajarán con 2 estilos de configuración de las ventanas, las cuales para los niveles 1 y 2 serán “replace” que indican que una vez que se accedan a ellas la ventana anterior se cerrará automáticamente, y la otra configuración para los niveles 3 y 4, serán “pop-up” que serán ventanas emergentes con respectiva información, ya sea de ayuda, aviso o control.

**Tabla 44**  
**Función de las pantallas**

Pantalla	Actividad realizada	Nivel de jerarquía	Tipo
Pantalla principal (Usuario sin acceso a navegación)	Presenta la portada inicial de la interfaz, el cual habilitará la navegación a las demás pantallas en caso de acceder con credenciales de usuario como: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Administrador</li> <li>• Operarios</li> </ul>	Nivel 1	Replace
Pantalla principal (Usuario con acceso a navegación)	Presenta la portada inicial de la interfaz, con la navegación habilitada una vez accedido correctamente con uno de los usuarios.	Nivel 1	Replace
Estación 1	Monitoreo y control de las variables y alarmas de la estación 1	Nivel 2	Replace
Estación 2	Monitoreo y control de las variables y alarmas de la estación 2	Nivel 2	Replace
Estación 3	Monitoreo y control de las variables y alarmas de la estación 3	Nivel 2	Replace
Alarmas	Muestra las alarmas y eventos que estén activos, o que ya fueron identificados y almacenados, con su respectiva información	Nivel 2	Replace
Reportes	Permite la visualización de los históricos de variables y alarmas almacenados, presentados en reportes periódicos	Nivel 2	Replace
Red del Sistema	Muestra el estado de conexión de la red de todos los componentes que la conforman	Nivel 2	Replace
Ayuda	Ofrece ayudas escritas para facilitar el manejo del interfaz	Nivel 3	Pop-up
Control	Controles de marcha y paro de los motores, y botones de control del proceso	Nivel 3	Pop-up
Mantenimiento	Controles para manipulación y verificación de contactores y cilindros del sistema	Nivel 3	Pop-up
Emergentes	Ventanas emergentes que indican eventos de emergencia o de información al usuario.	Nivel 4	Pop-up

### Navegación entre pantallas

Respetando la jerarquía descrita anteriormente, la navegación de pantallas se puede realizar una vez que un usuario válido ingrese sus credenciales correctamente, permitiendo que desde cualquier pantalla de nivel 1 y 2 se pueda acceder a las demás, sin necesidad de regresar a la pantalla principal. Desde los niveles 3 y 4 no se podrá navegar a ninguna ventana de niveles inferiores, debido a que son ventanas emergentes y pueden ser cerradas, manteniendo el contenido de nivel 1 y 2 abierto.

- **Formato de la pantalla**

El formato a utilizar se lo hará de acuerdo al hardware que se tenga, en este caso el monitor y las especificaciones de la PC permiten el uso de una resolución de 1920x1080 pixeles por lo que se usará esa resolución para las ventanas principales de nivel 1 y 2. Además según la guía de estilo se debe definir el fondo que se utilizará, y tomando en cuenta las recomendaciones de la empresa, se realiza un fondo azul degradado como se indicó en la Tabla 27. También se muestra cómo se distribuirán los diferentes elementos por las pantallas principales y secundarias.

- **Distribución de las pantallas principales**

Son las ventanas que siempre estarán abiertas como fondo de la aplicación (nivel 1 y 2), no se puede abrir varias ventanas de este tipo a la vez y en caso de estar cerradas se detendría la aplicación del interfaz. Estas manejan la misma distribución en todas las ventanas consideradas como principales tal como se observa en la Figura 42 que se toma como referencia la guía de estilo anteriormente considerada.

MENÚ	TITULO	ACCESO
CONTENIDO DE LAS PANTALLA		INDICADORES
FECHA	NAVEGACIÓN	SELECTOR

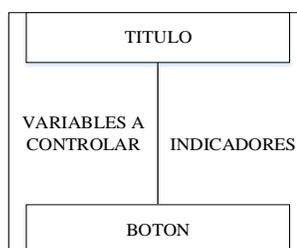
**Figura 42 Distribución de ventana inicial desbloqueada**

- **Distribución de las pantallas secundarias**

Las pantallas secundarias o de nivel 3 y 4 son aquellas, emergentes que para su navegación es necesario encontrarse en alguna pantalla principal en específico o que suceda algún evento para que se muestren, son de menor dimensión que las principales y su distribución es más simple y diferente como en la Figura 43 y Figura 44.



**Figura 43 Ventana emergente de eventos**



**Figura 44 Ventana emergente de control y monitoreo**

### **Tipo de texto**

La mejor forma de comunicarse con el usuario es mediante un texto claro y preciso, evitando mucho escrito para no sobrecargar de información al lector. Para eso se hace el uso de la fuente Sans-Serif (recomendado para interfaces gráficas), de tal manera que es la generalmente utilizada en entornos de escritura digital, debido a su claridad facilitando su lectura.

Una vez indicado el tipo de fuente de texto, se determina el tipo de letra, que en este caso se hará el uso de Tahoma, cumpliendo con los tamaños y formatos descritos en la Tabla 45.

Los textos serán de 2 colores, en general serán de color negro, pero para espacios que necesite un mayor contraste con el fondo de algún equipo se usará texto color blanco, siendo que estos se encontrarán correctamente alineados manteniendo la simetría del entorno.

**Tabla 45**  
**Características del texto utilizados en pantallas**

Características	Títulos	Textos	Variables
Tipo de letra	Tahoma	Tahoma	Tahoma
Tamaño de la letra	24	14	14
Propiedad adicional	Negrillo/Centrado/Mayúsculas	Centrado	Centrado

### Colores en el HMI

De tal manera que ya se especifican los colores en la guía de estilo, se debe tomar en cuenta que 3 colores están reservados para aplicaciones en específico, como la de los indicadores y botones existentes en el interfaz. Estos 3 colores especificados en la Tabla 46, como indicadores tienen su función de representar al usuario un evento, o como se está comportando el sistema.

**Tabla 46**  
**Significado de indicadores**

Color	Significado	Parpadeo	Descripción
Rojo	Alerta	Si	Detección de un fallo o alarma sucediendo en tiempo real, que no permitirán la marcha del sistema
		No	Sistema detenido por orden del operario
Amarillo	Atención	Si	Sistema en funcionamiento, pero con una cola en estación 2, lo que puede acarrear a posibles fallos en esa estación
		No	Sistema en modo de mantenimiento
Verde	Normal	Si	No existe esta función
		No	Sistema en operación normal sin eventos anormales

### Variables del proceso

La mayoría de las variables que se van a utilizar en el proceso, son señales de seguridad, que fueron instaladas para demostrar el punto del presente trabajo, por lo que no se centra en el proceso de fabricación, siendo esto se divide el proceso en 4 áreas, donde se tiene las 3 estaciones de trabajo y el sistema en general, que contienen variables que afectan a todo el sistema, entre esas se encuentran las definidas en la Tabla 47.

**Tabla 47**  
**Variables relevantes del sistema**

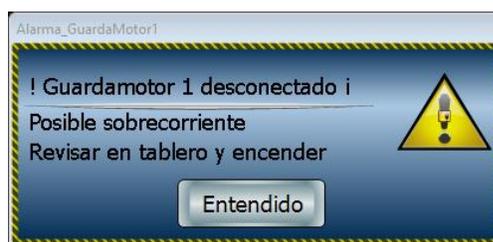
Estación 1	Estación 2	Estación 3	General
Presencia material	Presencia material	Guarda de Seguridad	Disponibilidad de aire
Estado de estación (Conectada o Desconectada)	Estado de estación (Conectada o Desconectada)	Accionamiento de Resistencia	Conexión de PLC 1
Velocidad banda	Velocidad banda	---	Conexión de PLC 2
Estado de la banda	Estado de la banda	----	Paro de Emergencia
Guarda de Seguridad	Guarda de Seguridad	---	Guarda de seguridad
Paro de Emergencia	Paro de Emergencia	---	---
Infrarrojo de seguridad	Cantidad de troqueles	---	---
Cantidad de cortes	---	---	---

### Alarmas

Este punto es necesario una mayor atención para el presente trabajo, debido a que funcionará para demostrar las seguridades instaladas en el sistema, por lo que los mensajes emergentes deben ser capaces de indicar exactamente que está sucediendo y permitiendo al operario tomar las debidas acciones.

Todos los sensores de seguridad conectados acarrearán a una señal de emergencia en caso de que sean accionados, lo que encadena en un aviso en el interfaz emergente, este aviso será como el de la Figura 45 donde cumple con indicar el lugar y cual posible fallo sucedió y la acción que se debe tomar. Como ya se indica en la guía de estilos no todas las alarmas son críticas por lo que existirán ciertos mensajes que solo serán informativos.

Al existir una alarma crítica o de severidad mayor será necesario tomar los correctivos de forma inmediata, caso contrario el proceso no podrá continuar con su producción normalmente.



**Figura 45 Ventana emergente de eventos**

## Reportes

Al ser un sistema que va tener alarmas sucediendo constantemente, debido a su aplicación para demostrar el punto de seguridad, se procede a realizar un seguimiento de los eventos ocurridos y almacenarlos automáticamente en la base de datos que se genera por defecto por ArchestrA, teniendo estos valores almacenados, se procede a utilizar la aplicación DreamReport que enlaza automáticamente la información de la base de datos e imprime un informe a cada 6 horas de lo sucedido, organizando las alarmas según su severidad como se indica en la Figura 46.

Reporte Seguridad Maqueta		10/07/2017 12:39:06				
<b>Alarmas de Severidad Critica</b>						
Start Time	Ack Time	End Time	Alarm Text	Area	TagName	
<b>Alarmas de Severidad Mayor</b>						
Start Time	Ack Time	End Time	Alarm Text	Area	TagName	
<b>Alarmas de Severidad Menor</b>						
Start Time	Ack Time	End Time	Alarm Text	Area	TagName	

**Figura 46 Plantilla para generación de reportes de alarmas**

Para cada tabla se debe mostrar la información de cuando empezó a suceder la alarma, y en que momento el operario tuvo consciencia de su suceso, además de indicar también cuando se detuvo la alarma. A parte se muestra en que área del sistema sucedió el evento y cual exactamente fue el Tag que generó la alarma, permitiendo saber cuál dispositivo encadenó el evento. El reporte en general también debe presentar la fecha y hora de su generación.

### Asistencia al usuario

Para facilitar aún más el aprendizaje del operario, se realizó un manual de usuario, permitiendo que, en caso de dudas del funcionamiento, pueda accederlo mediante la barra de menú como en la Figura 47, de manera que se despliega una ventana emergente con el contenido del interfaz, y utilizando el índice incluido en el manual, el usuario puede encontrar fácilmente las inquietudes que tenga.



**Figura 47 Botón para acceso de la ventana de ayuda**

#### 4.5.5.2 Resumen del HMI

Una vez establecido los puntos de diseño del HMI en la Tabla 48 y como se conformará todas las ventanas, se parte como base para poder diseñar más detalladamente el interfaz en el programa InTouch.

**Tabla 48**  
**Descripción final del diseño HMI**

Indicador	Definición	Descripción
Jerarquía	Definir las diferentes pantallas de trabajo y sus niveles	Las pantallas definidas son pantalla principal con y sin acceder usuario, estación 1, estación 2, estación 3, alarmas, reportes, red del sistema, ayuda y control
Navegación	Forma en la que el operador se desplazará entre pantallas.	La navegación está ubicada en la parte centrada inferior de cada una de las pantallas.
Distribución de Pantallas	Plantillas para el desarrollo de la interfaz	En todas las pantallas se establece el mismo orden para evitar confusión y estrés al operario.

Continúa 

Tipo de texto	Uso de fuentes consistentes para las pantallas	Texto presentado en las pantallas es legible por el operario, tipo Sans Serif (Tahoma) y el tamaño para el texto en general es 14.
Uso del color	Usar colores que se asocien al proceso, además de colores que resalten elementos en el fondo de pantalla.	Un color en escala de azules para el fondo, y poder resaltar los elementos del proceso. Se usan máximo siete colores en cada pantalla, rojo, azul, verde, amarillo, negro, blanco y cian.
VARIABLES del proceso	Se utilizan variables que demuestren la seguridad del sistema.	Todas las variables que lleven a una alarma serán registradas en un histórico para tener constancia de cuando ha sucedido y con que usuario se encontraba de turno.
Alarmas	Indicadores del sistema al no funcionar correctamente.	Las alarmas presentes se determinan de acuerdo a su incidencia y se almacenan en la base de datos interna del programa.
Reportes	Almacena todo tipo de incidente del proceso y genera reportes de alarmas periódicamente	Los reportes son realizados en la plataforma DreamReport que imprime automáticamente cada 6 horas el reporte de incidentes en el tiempo transcurrido.
Asistencia al usuario	Se genera una guía intuitiva de cómo utilizar el HMI	Esta guía se encuentra en formato PDF para poder ser consultada en el interfaz, permitiendo al usuario, tener un mejor conocimiento de cómo usarla.

#### **4.5.6 Diseño de la red**

##### **4.5.6.1. Red ethernet LAN**

La red LAN que se diseña está compuesta por un computador (Servidor), 1 controlador (Proceso) que estará conectado mediante protocolo TCP/IP y un variador de frecuencia que se comunicará al PLC del proceso mediante protocolo Modbus, donde el servidor debe ser capaz de leer los datos del variador desde el PLC que contendrá los registros de las variables del motor, para eso todos los componentes ha excepción el variador, estarán conectados por un switch.

- **Elementos**

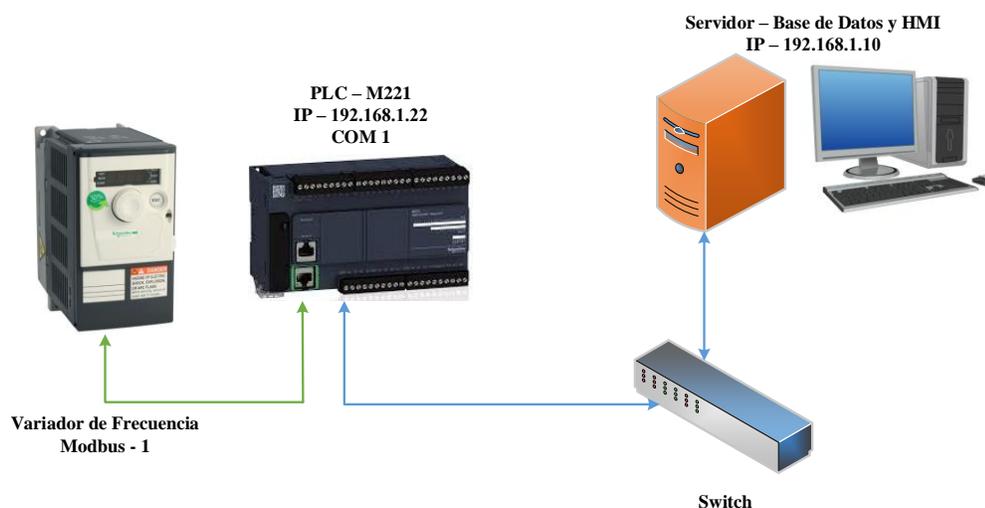
Los dispositivos que conforman la red son; 1 PLC, 1 computador que funcionará de servidor que permitirá el almacenado de datos y ejecución del HMI, un switch y un variador de frecuencia que estará conectado directamente al PLC mediante Modbus.

- **Cables**

Se utilizan medios de comunicación guiados, como el cable UTP de 8 pines categoría 5 con puerto RJ-45, que conectan los dispositivos ethernet y RS-485 para Modbus.

- **Topología**

La estructura lógica de la red LAN es en estrella, bajo este esquema es necesario asignar direcciones IP a los diferentes dispositivos conectados. La topología física hace referencia a la disposición física de las máquinas, los dispositivos de red y cableado, esta se puede observar en la Figura 48.



**Figura 48 Arquitectura de la red**

#### 4.5.6.2. Direccionamiento

Para el direccionamiento se empleará una red tipo B, definidas en la Tabla 49 asignando las IP y la misma máscara de Subred 255.255.255.0 al PLC, controlador de seguridad y computadores, teniendo en cuenta que con esa máscara de subred se tiene disponible 256 hosts disponibles, rango suficiente para lograr escalabilidad de la red.

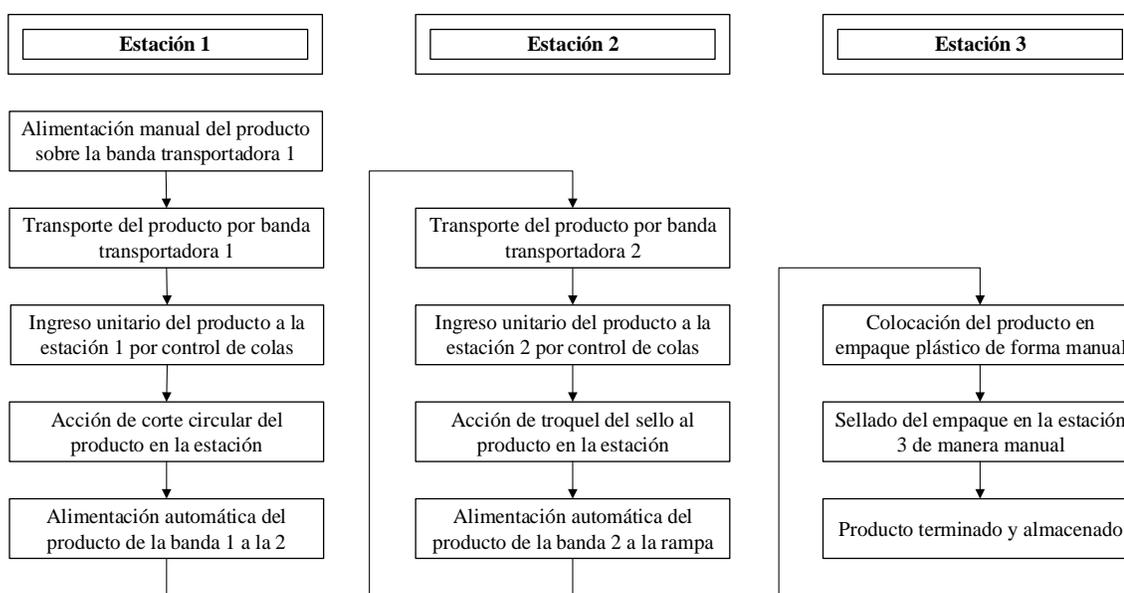
Para el variador de frecuencia es necesario agregar una de las 256 direcciones que existe para una misma red Modbus el cual se selecciona la ID-1, asignando al variador como el esclavo y el PLC como el maestro en esta red exclusiva de los 2 dispositivos.

**Tabla 49**  
**Direccionamiento de IP**

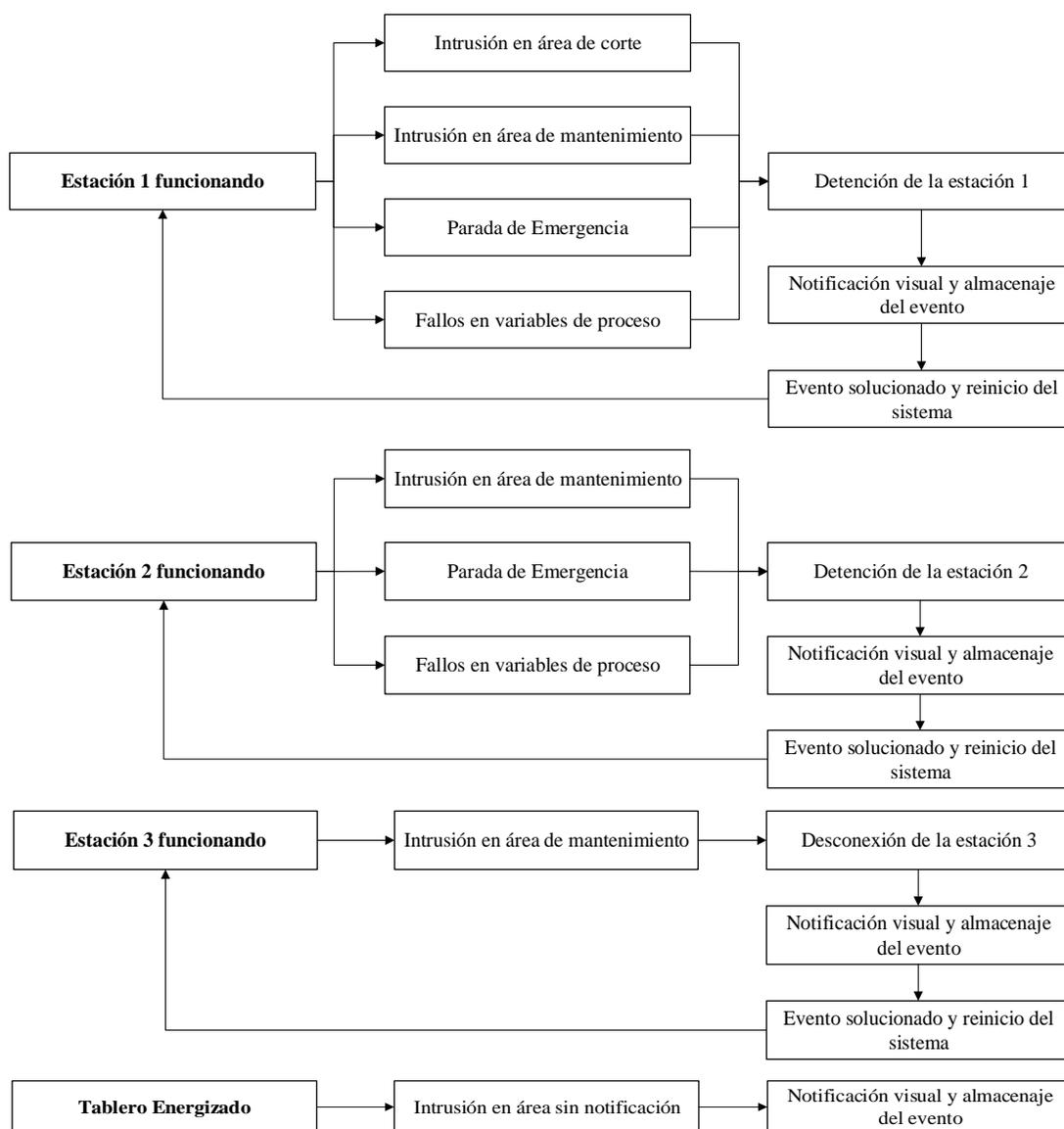
Dispositivo	Dirección IP	Mascara de subred
PC servidor de Base de Datos	192.168.1.10	255.255.255.0
PLC M221	192.168.1.22	255.255.255.0

#### 4.5.7 Diseño del programa del proceso

Determinado el diagrama de conexiones y con eso todos los sensores y actuadores que se utilizarán y serán necesarios ser controlados por el PLC, se puede realizar la programación, teniendo conocimiento también de cómo debe funcionar el flujo del proceso como indica la Figura 49, donde se clasifica en 3 estaciones que cumplirán funciones automáticas o semiautomáticas según la etapa del proceso que se encuentre. También se debe tomar en cuenta el comportamiento del sistema de seguridad que será programado en el PLC de seguridad cumpliendo con los protocolos descritos en la Figura 50, además de tener conexión con el PLC del proceso para que ambos siempre estén informados de lo que sucede.



**Figura 49 Flujo del proceso de producción**



**Figura 50 Flujo del proceso de alarma en tablero y estación 1, 2 y 3**

## CAPÍTULO 5

### IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DEMOSTRATIVO

#### 5.1. Implementación del módulo

Una vez determinado todos los parámetros de diseño es posible, dar inicio a la implementación de todo el sistema, tomando en cuenta los criterios establecidos en la etapa de diseño, y siguiendo los planos y diagramas en los anexos. Para tener constancia del equipo físicamente primero se da inicio a la implementación de la estructura física, ordenando correctamente los elementos e identificándolos con etiquetas para facilidad del personal de encontrar los dispositivos.

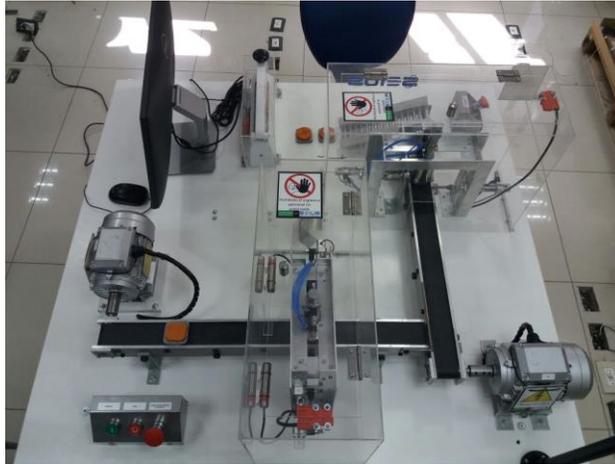
#### 5.2. Parámetros de la estructura mecánica

Como se indicó en el CAPÍTULO 4 para cumplir con los requisitos, se debería tener una estructura de tal manera que no debería superar las dimensiones de la camioneta de la empresa de 1300mm x 1300mm, por lo que se construyó una base de 1200mm x 1200mm de MDP, a una altura de 80cm estándar de mesas. Toda la estructura del proceso fue construida de aluminio debido a su peso y resistencia, que son ideales para transportar, con las dimensiones indicadas en la Tabla 50.

**Tabla 50**  
**Dimensiones elementos en módulo**

Elemento	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
Banda transportadora estación 1	70	6	13.4
Banda transportadora estación 2	70	6	11
Rodillos estación 3	26	11.2	11
Estación 1 y 2	45	8.5	32
Protección de estaciones	50	20	38
Mesa	120	120	80

Respetando la distribución de los elementos indicados en el diseño de la consola, se tiene que terminado el módulo cumpliendo con los requisitos preestablecido, cumple con un peso aproximado de 58.7 KG y se puede observar su implementación finalizada en la Figura 51 y Figura 52.



**Figura 51 Módulo implementado (vista superior)**



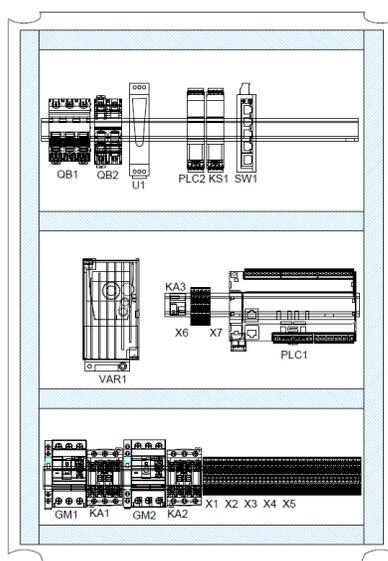
**Figura 52 Módulo implementado (vista frontal)**

Para el funcionamiento de las estaciones es necesario una alimentación de 220VAC lo que será suministrado por el tablero de control y una fuente neumática de mínimo 2 Bar que se encuentra ubicada de bajo de la mesa con una capacidad de 25 L de almacenamiento

### **5.3.Distribución de elementos**

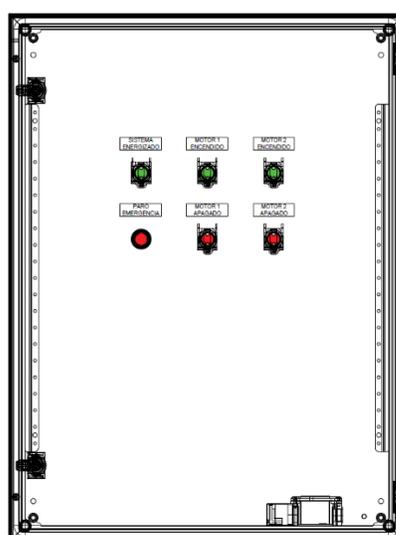
Como se indicó en el Anexo H, la distribución de los elementos se lo realizó de tal manera que se dividen en 3 secciones como en la Figura 53, donde la primera consta de la distribución de la alimentación tanto AC como DC del sistema, además de contener los controladores de seguridad, el segundo segmento contiene los controladores del proceso y el último segmento los elementos de control y protección de fuerza y todas las señales que serán utilizadas en el módulo facilitando el acceso del cableado por la parte inferior.

Todos los dispositivos están sujetos por una Riel Din, exceptuando el variador de frecuencia que tiene sujeción por pernos a la placa de doble fondo metálica existente en el tablero de control.



**Figura 53 Distribución de los elementos**

Para las luces indicadoras y botón de paro de emergencia que también están ubicados en el tablero de control fue necesaria la realización de un calado en la su puerta para poder ubicar los elementos como en la Figura 54, el cual están sujetos por una arandela propia existente en el elemento.

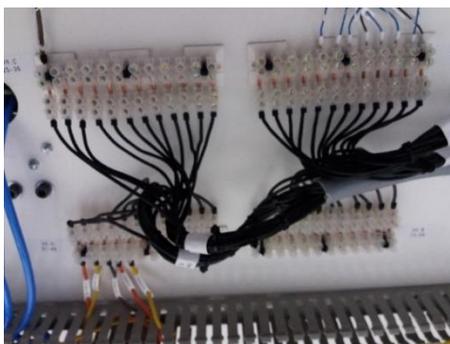


**Figura 54 Elementos de la puerta del tablero**

#### 5.4. Cableado y etiquetado de equipos

Teniendo ya implementado los elementos en el módulo y a su vez los dispositivos en el tablero de control, se puede proceder a realizar el cableado y el etiquetado como se establece en la (NEC, 2011) que también indica cómo debe estar instalado el tablero el cual al ser de la marca Schneider Electric, cumple directamente con los parámetros al tener los certificados IP66 e IK10 previamente descritos. Otro parámetro que debe cumplir es que todas las masas del tablero deben estar conectadas a tierra y para eso se utiliza una bornera como puente a tierra.

Para el cableado del sistema fue necesario dividirlo en 2 segmentos, debido a que existen los sensores ubicados en el módulo y los propios elementos de mando y control del tablero, por lo que para hacer la comunicación de ambos elementos fue necesario la utilización de 2 cables de 25 segmentos de conductores, estos cables tienen en uno de sus extremos una conexión a bornes hembra, de tal manera que pueda conectarse con los bornes macho existentes en el módulo como se indica en la Figura 55, y en su otro extremo están conectados directamente a los bornes existentes en el tablero para poder distribuir mejor y ordenadamente las señales.



**Figura 55 Conectores macho/hembra del módulo**

Todos los cables se encuentran ponchados con el respectivo terminal, y contienen su etiqueta indicando el nombre de la señal, de donde proviene y a donde se dirige, facilitando al operario en caso de que necesite hacer futuros cambios, siendo que en conjunto con el uso del plano se facilita la identificación de cada conexión, siendo que estos deben cumplir con el código de colores descritos en el capítulo anterior. De tal manera los equipos del tablero y dispositivos del módulo se encuentran correctamente etiquetados, se tiene la

concordancia con el plano de conexión del Anexo G, teniendo todos los elementos y conexiones identificadas, esto permite al operario una rápida identificación del elemento que esté necesitando realizar alguna acción.

Todos los cables ya sean de control, fuerza y red deben estar contenidos en las canaletas que se ubican alrededor de los elementos, con su correcta separación entre canaleta y elemento para poder tener un espacio de cable que permita la visualización de la etiqueta.

Para finalizar los indicadores y botones ubicados en el tablero y módulo deben estar identificados, para que los operarios puedan comprender correctamente lo que está siendo indicado y que acción realizan los botones.

### 5.5. Señalización de Seguridad

Es aquella que transmite un mensaje de seguridad en un caso particular, obtenida a base de la combinación de una forma geométrica, un color y un símbolo de seguridad (INEN, 1984). De tal manera que es necesario el cumplimiento de la señalización en todas las máquinas, se implementan señaléticas a escala en el sistema, que simule un entorno industrial real, dando uso de las señales indicadas en la Tabla 51.

**Tabla 51**  
**Señales de seguridad utilizadas**

Señal	Descripción	Ubicación
	Señal de advertencia para no introducir las manos debido a riesgo de aplastamiento o corte	Estación 1 Estación 2
	Prohibido el ingreso de personal no autorizado al área	Estación 1 Estación 2
	Señal de advertencia de riesgo eléctrico, tensión peligrosa	Motor 1 Motor 2 Tablero
	Uso obligatorio de casco, gafas y protección auditiva	Planta

### 5.6. Módulo completo

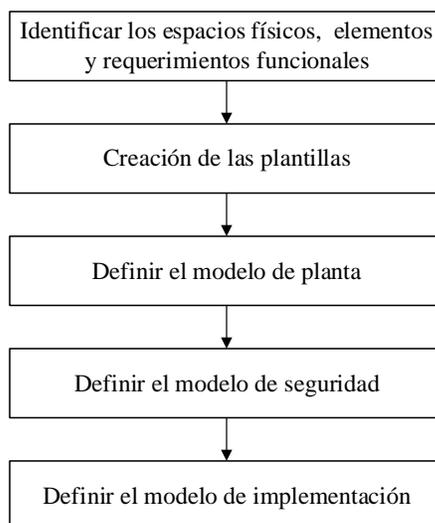
Una vez terminado todo el módulo y el tablero es necesaria la implementación del programa en el PLC que se encargará del control del proceso y el programa del PLC de seguridad que se encargará de los equipos y protocolos de seguridad implementados, con esto resta la implementación de los softwares que estarán a cargo del manejo de los datos, generación de los reportes y el HMI, teniendo como el módulo implementado finalizado como en la Figura 56.



**Figura 56 Módulo de seguridad implementado**

### 5.7. Implementación de la arquitectura del software

Es importante seguir un procedimiento lógico para poder implementar la arquitectura del software, teniendo una secuencia de lo que se debe realizar, y detallando los puntos necesarios para la implementación, por lo que queda definido como en la Figura 57.



**Figura 57 Proceso para implementación de la arquitectura en ArcestrA**

### 5.7.1. Identificación de los espacios, elementos y requerimientos funcionales

Para poder trabajar en el software de ArchestrA es necesario primero generar la galaxia en la cual se realizará todo el modelamiento de la planta de manera digital, para eso se debe iniciar el ArchestrA IDE (Integrated Development Enviroment), y generar la galaxia de tipo “Base\_Application\_Server.cab”.

De tal manera conociendo ya cómo funciona el sistema, se va dividir de manera virtual el proceso en 5 áreas como ya se indicó en la Figura 39, siendo que las estaciones representan todas las variables existentes en ellas, mientras que el área de servidor contendrá lo necesario para el manejo de la información y motor gráfico, y el área del módulo contendrá todas las demás áreas y variables globales.

Para poder describir mejor el funciona miento del sistema, es necesario identificar los elementos que contendrá cada área, para organizar las variables y saber cuáles son necesarias un almacenamiento en histórico o las que son identificadas como alarmas al ser accionadas, para eso se especifica en la Tabla 52 según los dispositivos instalados cuales son utilizados.

**Tabla 52**  
**Elementos de cada área en ArchestrA**

Área	Elementos	Histórico	Alarma
Estación 1	Electroválvula 1	No	No
	Electroválvula 2	No	No
	Electroválvula 3	No	No
	Sensor Inductivo Cilindro 1	No	Si
	Sensor Inductivo Cilindro 2	No	Si
	Sensor Inductivo Cilindro 3	Si	Si
	Sensor Inductivo	No	No
	Paro de Emergencia	Si	Si
	Guardamotor 1	Si	Si
	Contactador 1	Si	Si
	Guarda de Seguridad	Si	Si
Sensor Infrarrojo	Si	Si	
Estación 2	Electroválvula 4	No	No
	Electroválvula 5	No	No
	Electroválvula 6	No	No

Continúa 

	Sensor Inductivo Cilindro 4	No	Si
	Sensor Inductivo Cilindro 5	No	Si
	Sensor Inductivo Cilindro 6	Si	Si
	Sensor Inductivo	No	No
	Paro de Emergencia	Si	Si
	Guardamotor 2	Si	Si
	Contactador 2	Si	Si
	Guarda de Seguridad	Si	Si
Estación 3	Guarda de Seguridad	Si	Si
	Botón de Accionamiento	No	No
Servidor	Plataforma	No	No
	Motor de aplicación	Si	Si
	Motor Gráfico	No	No
	DASMBTCP	No	Si
Módulo	Variador	Si	Si
	Botonera	No	No
	Paro de Emergencia	Si	Si
	Baliza Indicadora	No	No
	Cantidad de Producción	Si	No
	Interruptor de Seguridad	Si	Si
	Modo Mantenimiento	Si	No

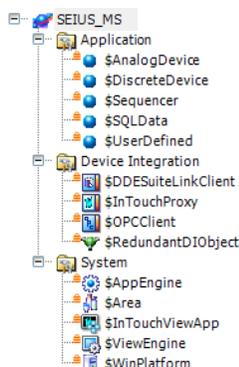
Una vez identificados todos los elementos que serán implementados en el entorno y determinar cuáles requieren tener un almacenamiento en históricos y cuales son accionadores de alarmas se tienen los siguientes requerimientos funcionales para el correcto funcionamiento del sistema:

- Comunicación por protocolo SuiteLink
- Identificación de eventos por áreas
- Escalabilidad en el sistema
- Elementos auto actualizables mediante plantillas comunes

### 5.7.2. Modelos de Plantillas

Para cualquier proyecto nuevo que se esté realizando, es necesario crear una carpeta con las plantillas propias, debido a que las existentes en el sistema no son modificables

como en la Figura 58. Para cada elemento de los necesarios para el control del sistema se tiene que crear una plantilla, al realizar este procedimiento, permitirá al momento de implementar sus instancias que serán derivadas del mismo, heredar los parámetros que hayan sido previamente configurados, y en caso de cambios a futuro estos se propagarán en sus instancias.



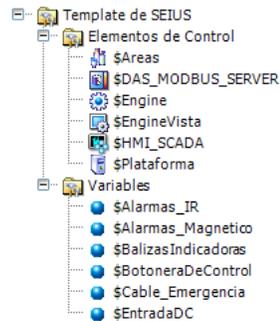
**Figura 58 Elementos exclusivos de ArchestraA**

Las plantillas que deben ser creadas para el control del sistema y las variables se especifican en la Tabla 53 indicando el significado de los elementos creados.

**Tabla 53**  
**Plantillas del proyecto**

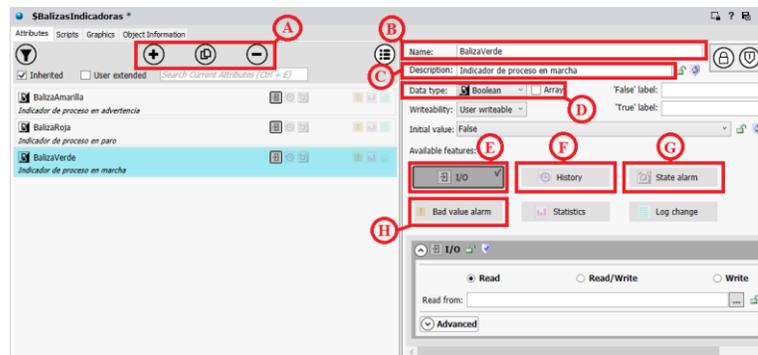
Plantilla	Descripción
WinPlatform (Nodo)	Es conocido como el nodo o espacio lógico que irá a contener la aplicación, estará encargado de almacenar toda la información en una plataforma (PC)
Área (Espacio físico)	Es la representación lógica de un espacio físico en el sistema, contiene los demás elementos para una mejor organización
AppEngine (Motor de Aplicación)	Es el encargado de administrar el histórico de variables del proyecto y las comunicaciones con el sistema operativo
ViewEngine (Motor Gráfico)	Permite la gestión del interfaz en varias plataformas, este gestiona la comunicación del HMI con el ArchestraA
DDESuiteLinkClient (Protocolo de Comunicación)	Es la instancia encargada de comunicar el sistema con los PLC's, para el cual utilizará el servidor DASMBTCP, para los PLC's con Ethernet/Modbus
InTouchViewApp (HMI)	Es la aplicación del HMI, la cual permitirá su ejecución y edición
UserDefined (Variable)	Es la instancia que permite generar dispositivos que tendrán embebidas una o varias variables comunes del elemento

Teniendo las plantillas creadas de acuerdo con los elementos existentes previamente definidos, se tiene una carpeta con todas las herramientas necesarias para la implementación del modelo de planta como se indica en la Figura 59.



**Figura 59 Plantillas utilizadas**

Para las diferentes plantillas de los elementos es necesario agregar que parámetros son utilizados en ello, como por ejemplo para la baliza existen 3 luces piloto en ese elemento, por lo que se deben definir 3 parámetros, uno para cada color y se completa la información más relevante y necesaria como en la Figura 60.



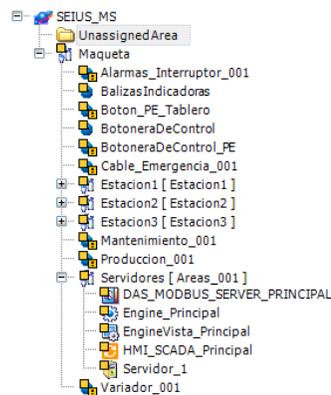
**Figura 60 Parámetros de variables**

- A – Agregar o eliminar más parámetros
- B – Nombre del parámetro
- C – Descripción adicional
- D – Tipo de dato
- E – Variable relacionada al PLC (Escritura i/o Lectura)
- F – Almacenar en histórico la variable y configuración
- G – Detectar como alarma y configuración
- H – Identificar si la variable está desconectada

Teniendo en cuenta estos puntos se generan las demás variables de acuerdo los parámetros que debe contener, tomando en cuenta la Tabla 52.

### 5.7.3. Modelo de planta

Con la definición de las plantillas, se procede a generar todas las instancias necesarias para el funcionamiento, como se indicó previamente, y una vez creadas, es necesario organizar como la arquitectura definida en la Figura 39, demostrando la organización digital la planta como se está indicando en la Figura 61.

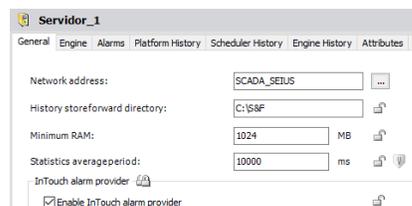


**Figura 61 Modelo de planta digital**

Después de tener el modelo organizado, se debe configurar cada elemento de control del sistema, para que funcione correctamente

#### 5.7.3.1. Plataforma

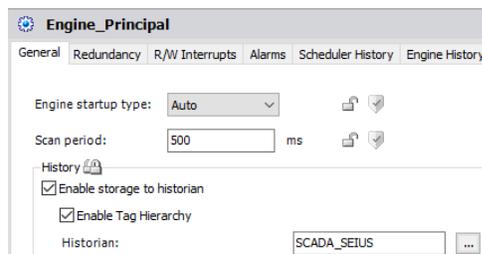
Al momento de generar la instancia de la plataforma es, necesario realizar una configuración previa a la implementación, indicando la dirección del servidor (computador) a la cual se montará el sistema, en este caso se llama “SCADA\_SEIUS” con la dirección IP ya indicada en la Tabla 49. También se indica que la carpeta “C:\S&F” se almacenarán los históricos, siendo estos los puntos a configurar para este sistema como se indica en la Figura 62.



**Figura 62 Configuración plataforma**

### 5.7.3.2. Motor de la aplicación

Como se utilizará el motor de la aplicación para la gestionar los datos que serán almacenados en históricos, es importante configurar la instancia como indica en la Figura 63, habilitando el almacenaje de las variables en el servidor.



**Figura 63 Configuración del motor de aplicación**

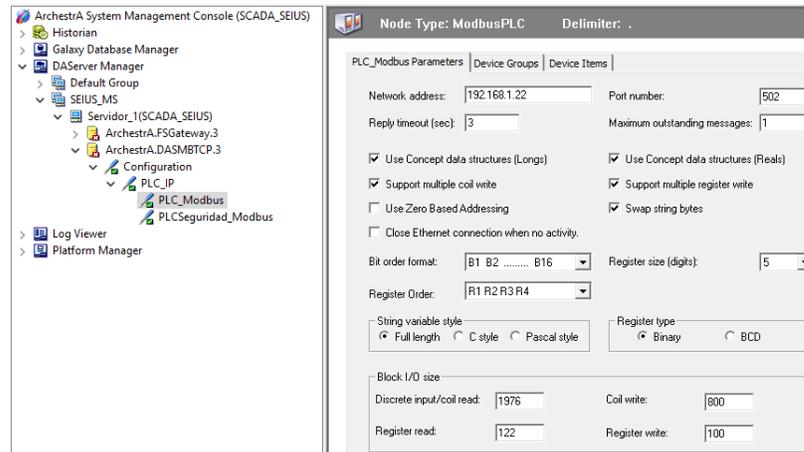
### 5.7.3.3. Protocolo de comunicación PLC-HMI

Entre los protocolos de comunicación existente, se hace uso de SuiteLink debido a su protocolo de comunicación basado en TCP/IP utilizado universalmente por los CPU de Microsoft Windows, siendo que está diseñado específicamente para satisfacer las necesidades industriales, tales como integridad de datos, alto rendimiento y diagnósticos más fáciles (Invensys Systems, 2014).

Una vez que se elige el protocolo de comunicación es necesario en base a los dispositivos que se necesitan ser comunicados, seleccionar el driver adecuado compatible, en este caso para los PLC de Schneider Electric se hace uso del driver DASMBTCP, que es un programa de aplicación de Microsoft Windows que actúa como un servidor de protocolo de comunicaciones, este permite a otros programas de aplicación de Windows acceder a los datos de la familia de controladores Modicon (Invensys Systems, 2013).

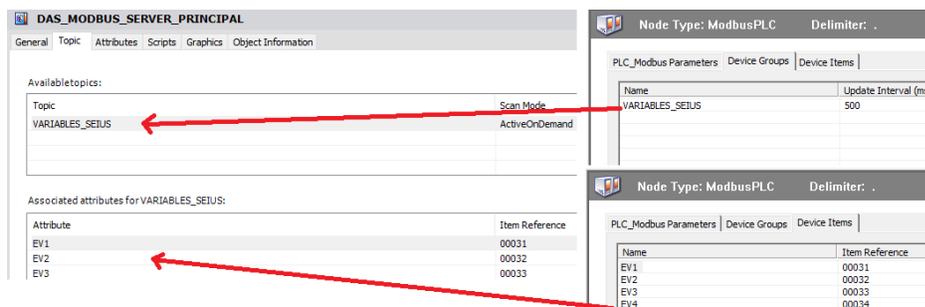
Una vez instalado el driver del DASMBTCP, mediante el SMC (System Management Console), se procede a configurar los parámetros para el PLC existente como indica la Figura 64, de tal manera que se usa la IP anteriormente establecidas y un direccionamiento con 5 dígitos para las variables, luego se debe generar el tópicos de variables que contiene la lista de Tag's que serán utilizadas en el HMI, tomando en cuenta que para los PLC M221 no es posibles leer directamente las entradas y salidas físicas, por lo que se deben realizar marcas espejo como objetos de memoria para comunicarse las que cumplen con las direcciones indicadas a continuación:

- Bit de memoria %M0 – 00001 hasta %M1023 – 01024
- Palabra de memoria %MW0 – 40001 hasta %MW7999 - 48000



**Figura 64 Configuración del DASMBTCP**

Cuando ya se tenga generada toda la lista de Tag's con sus respectivas direcciones, es necesario realizar la exportación de esa lista para seguido importar dentro de la instancia de SuiteLink en ArchestrA, indicando correctamente el nombre del tópico como se muestra en la Figura 65.



**Figura 65 Asignación de tópico en ArchestrA – SuiteLink**

#### 5.7.3.4. Motor de visualización

Al crear la instancia del motor de visualización, para este sistema no es necesario realizar cambios en la configuración, debido que los predefinidos son suficientes para el correcto funcionamiento, siendo que una vez se tenga el creada la instancia su puede generar la aplicación del HMI que se encontrará internamente de este motor.

### 5.7.3.5. Variables

Para cada variable a ser implementada, es necesario generar los parámetros necesarios de manera que cumplan con los datos necesarios para la aplicación, para eso se toma en cuenta los puntos indicados anteriormente en la Figura 60.

### 5.7.4. Modelo de seguridad

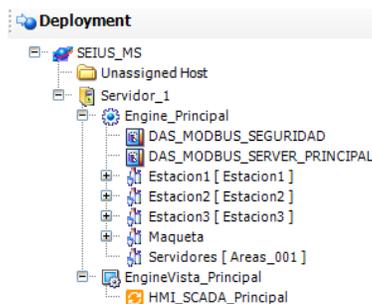
Para el modelo de seguridad utilizado en este sistema, se toma en cuenta 3 roles de usuarios, los cuales se indican en la Tabla 54, de manera que, si se crean nuevos usuarios a futuro, se les pueda asignar los permisos de acceso, según los roles previamente establecidos. Estos mismos usuarios serán los utilizados tanto para la edición y navegación en el entorno de diseño de ArchestrA, como para la autenticación en el HMI.

**Tabla 54**  
**Usuarios de la galaxia**

Usuario	Rol	Nivel de Seguridad	Descripción
Administrador	Administrator	9999	Tiene acceso completo a todo el sistema de edición del entorno, único usuario que puede agregar y/o eliminar otros.
Ingeniero	Ingeniería	6000	Tiene completo acceso en el HMI, y puede navegar por el entorno de ArchestrA, pero no realiza cambios
Operador	Operario	3000	Tiene acceso para navegar por el HMI, pero no puede realizar cambios de control en el sistema
Operador2	Operario	3000	

### 5.7.5. Modelo de implementación

Una vez determinado todo el modelo de la planta y realizada las respectivas configuraciones de cada instancia, es necesario ordenar el modelo de implementación para que al momento de cargar todo el sistema en la plataforma física (Computador-Servidor), no existan conflictos ni errores de compilación, tomando en cuenta la jerarquía que se indica en la Figura 66, observando que la plataforma abarca a todas las demás instancias, logrando así toda la arquitectura del software implementada.



**Figura 66 Arquitectura del software implementada**

## 5.8.Implementación del HMI

Con todo el diseño realizado del HMI siguiendo la guía de estilo establecida, se puede proceder a realizar la implementación del interfaz, mostrando las pantallas realizadas, el sistema de alarmas, conexiones de variables y los reportes.

### 5.8.1. Pantallas

Siguiendo la distribución de las pantallas indicada anteriormente en la guía de estilo, se procede a desarrollar las pantallas, tomando en cuenta que se utilizarán 3 modelos diferentes de pantallas, para todas las que se encuentren en nivel 1 y 2 utilizarán el mismo modelo como se indica en la Figura 67, para la pantalla de nivel 3 se encuentra el control del sistema como en la Figura 68 y por ultimo las de nivel 4 son las pantallas emergentes de información o alarma que pueden presentarse de acuerdo a algún evento que suceda.



**Figura 67 Pantalla principal**



**Figura 68** Pantalla emergente de control

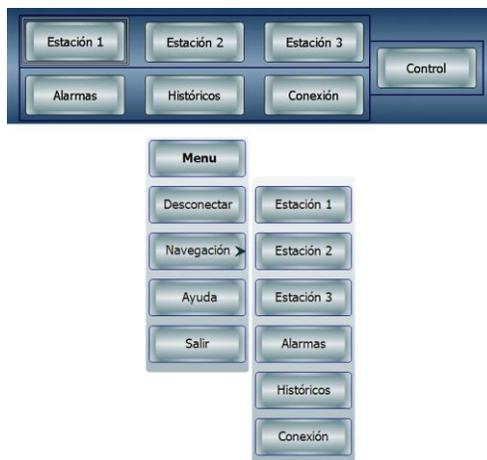
### 5.8.2. Estaciones

Para las pantallas de las 3 estaciones, cumplirán con el mismo modelo de la pantalla principal indicado anteriormente, estas contarán con una animación como simulación del proceso siguiendo su funcionalidad en tiempo real como en la Figura 69 donde también se mostrará la información de la producción en la parte izquierda, con la posibilidad de realizar un paro de emergencia desde el HMI.



**Figura 69** Pantalla estación 1

A demás desde cada estación se podrá realizar la navegación a las demás ventanas, tomando en cuenta la barra de navegación existente en la parte inferior, donde para la ventana que esté activa en ese momento será remplazada por la navegación a la pantalla principal, o pudiendo realizarlo mediante la barra de herramientas en la parte superior como se indica en la Figura 70.



**Figura 70 Navegación en interfaz**

### **5.8.3. Control**

La ventana emergente de control permitirá realizar cambios en la velocidad del variador, para que las bandas transporten a mayor o menor velocidad, también controlará los contactos que energicen los motores y electroválvulas de corte. En esta pantalla el usuario también será capaz de verificar el estado del sistema y dar uso al control de mando de la Figura 68, de manera que pueda dar marcha y paro del sistema, y solicitar un mantenimiento correctivo para que se anulen algunas seguridades, y el sistema empiece a funcionar en un modo seguro.

### **5.8.4. Mantenimiento**

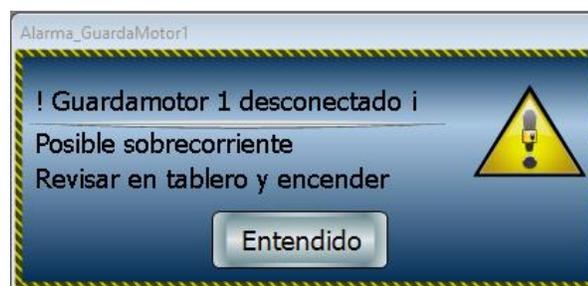
Desde la ventana de control es posible acceder a la ventana de mantenimiento a la cual permitirá al operario realizar acciones de los actuadores de tal manera que verifique su estado de funcionamiento si se encuentra correcto o con fallos. Existirán botones para controlar las electroválvulas de cada pistón así indicando con luces el funcionamiento de la válvula y el sensor de posición como se indica en la Figura 71.



**Figura 71 Ventana emergente de mantenimiento**

### 5.8.5. Alarmas

Para la gestión de las alarmas, estas tendrán 2 etapas en el sistema, una cuando son accionadas debido a algún evento, donde el operario no se ha percatado aun, por lo que son etiquetadas como alarmas “unacknowledged” no reconocidas, llamando una ventana emergente indicando sobre el evento sucedido como en la Figura 72, una vez que el operario reconoce la alarma y cierra la ventana emergente, esta alarma pasa a ser “acknowledged”, y cuando ya se ha dado la respectiva solución del evento sucedido y puesto en marcha correctamente el proceso, esta se almacena automáticamente en el histórico de alarmas que se puede observar en la pantalla de Alarmas, como en la Figura 73 el cual se clasifican según el área de suceso, tiempo de suceso y severidad.



**Figura 72 Ventana emergente de alarmas**

The screenshot displays the SEIUS 'GESTIÓN DE ALARMAS' interface. At the top, the SEIUS logo is prominent, along with user information: 'Usuario: Administrador' and 'Accesibilidad: Total'. Below this, there are 'Conectar' and 'Desconectar' buttons. The main area is a table of alarm events with the following columns: 'Station', 'Area', 'Alarm Name', 'Description', 'Type', 'Time', and 'Location'. The table contains several rows of data, with some rows highlighted in yellow. To the right of the table is a panel titled 'Indicadores de Eventos' which shows five red circular indicators corresponding to different alarm types: 'Área de Corte (Est1)', 'Ingreso Ilegal (Est1)', 'Ingreso Ilegal (Est2)', 'Ingreso Ilegal (Est3)', and 'Ingreso Ilegal al Tablero'. At the bottom of the interface, there is a digital clock showing '0:10:08' and '12:42:28', buttons for 'Estación 1', 'Estación 2', and 'Estación 3', and a 'Control' button. The Schneider Electric logo is also visible in the bottom right corner.

**Figura 73 Ventana de histórico de alarmas**

Para las alarmas críticas existentes en el proceso, estas estarán en todo momento siendo representadas con indicadores en las ventanas de nivel 1 y 2, para tener un mayor control sobre las variables de mayor riesgo.

### 5.8.6. Conexiones

De acuerdo con las instancias utilizadas para realizar la comunicación entre el servidor y el PLC indicada anteriormente en la arquitectura del software, estas son capaces de detectar cuando hubo una desconexión, indicando en el interfaz cual es la línea que se encuentra con algún problema, permitiendo al operario realizar la debida corrección. Estas conexiones mantendrán una línea de conexión verde que simule un correcto enlace, en caso de que exista el fallo estas líneas parpadearan de color amarillo indicando la localización del error como se puede observar en la Figura 74.

En la ventana de conexiones, el usuario también será capaz de verificar el estado de los dispositivos de conexión y del servidor, seleccionando su respectiva imagen en el interfaz, estas presentaran información de la conexión, velocidad de procesamiento, memoria utilizada, estado de alarmas existentes, entre otras.



**Figura 74 Ventana de conexiones**

### 5.8.7. Reportes

Por último, el interfaz será capaz de mostrar los reportes simples de alarmas que sucedieron a lo largo de un periodo de 6 horas en un formato PDF, el software encargado de generar estos reportes es DreamReport, el cual adquiere la información de la base de datos de ArchestrA, e imprime en una plantilla predeterminada, organizando las alarmas en nivel de severidad.

Estos documentos generados, tienen de nombre del archivo el identificador “Alarma” seguido de la fecha y hora de su creación, esto permite hacer una búsqueda desde el interfaz para poder observar los reportes directamente en la ventana que se observa en la Figura 75.

Con todas las ventanas implementadas y los elementos correctamente direccionados, ya es posible hacer uso del interfaz, interactuando con el sistema. Se debe tomar en cuenta que el generador de reportes es un programa aparte de InTouch, por lo que es necesario dar inicio a su “Runtime” para que cumpla con la generación periódica de los reportes.



Figura 75 Ventana de reportes

### 5.9. Implementación de seguridades

De acuerdo con los elementos seleccionados para el cumplimiento del nivel de seguridad requerido para las funciones indicadas en el CAPÍTULO 3, se determina la siguiente lista de materiales de la Tabla 55 de seguridad que se implementarán.

Para implementar todos los equipos de manera correcta, se toma en cuenta el análisis realizado anteriormente, debido a que, según el nivel de seguridad requerido, se determina que categoría de circuito se utilizará.

**Tabla 55**  
**Elementos de seguridad implementados**

Elemento	Número de parte	Ubicación
Pulsador paro de emergencia	XB4BS8442	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botonera de la Estación 1</li> <li>• Botonera de la Estación 2</li> <li>• Tablero de control</li> </ul>
Cortina de seguridad sensor (RX-TX)	XU2S18PP340L5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrada de producto de la estación 1</li> </ul>
Switch magnético de seguridad	XCSDMC5902	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puerta de acceso a estación 1</li> <li>• Puerta de acceso a estación 2</li> <li>• Puerta de acceso a estación 3</li> </ul>
Interruptor de seguridad	XCSA501	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puerta del tablero de control</li> </ul>
Contacto auxiliar de seguridad	LADN22S	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tablero de control</li> </ul>
Controlador de seguridad	XPSMCMCP0802	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tablero de control</li> </ul>
Módulo relé de seguridad	XPSMCMER0004	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tablero de control</li> </ul>

Como todas las funciones de seguridad son de SIL 1, exceptuando la función de “presencia de jabón, etapa inicial” que se puede observar en el Anexo E se pueden lograr utilizando circuitos de categoría 1 y 2 para la función con SIL 2 requerido. En el software de Sistema, automáticamente define esas categorías para cada función de seguridad ya que es lo mínimo obligatorio para cumplir con los niveles de seguridad requeridos.

### **5.9.1. Conexión de dispositivos**

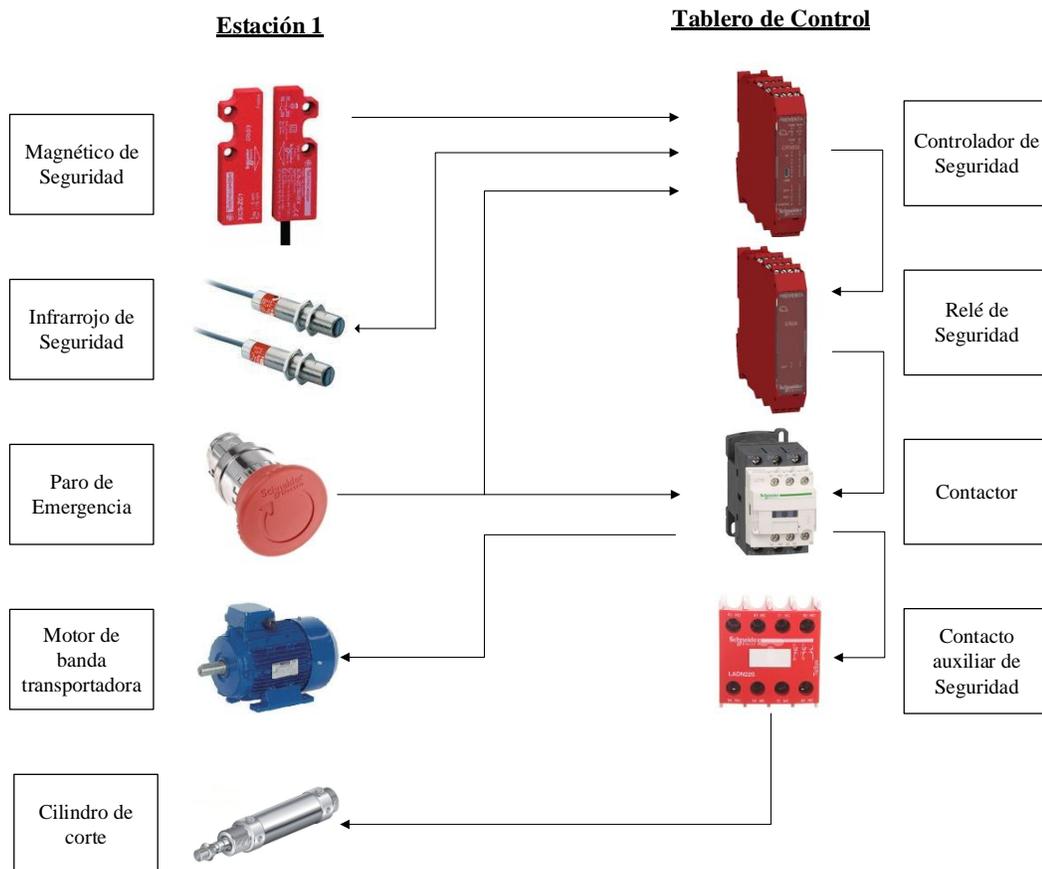
Todos los dispositivos de seguridad deben ser implementados, de tal manera que no influyeran en el proceso normal de producción. Estos cumplirán con la función de salvaguardar los operarios y la máquina en caso de fallos o mal uso de ellas, realizando un corte de alimentación eléctrica inmediato en la estación que esté incurriendo el evento anómalo llevándola a un estado seguro.

La combinación de los elementos de entrada (sensores), lógicos (controladores) y salidas (actuadores) de seguridad permiten cumplir con los niveles SIL requeridos para cada función de las diferentes estaciones del sistema.

A continuación, se representa como se conectarán los dispositivos de seguridad y en que parte del sistema irán actuar, en caso de ser necesario un entendimiento más detallado se encuentra el diagrama de conexión en el Anexo G

#### **5.9.1.1. Seguridades en estación 1**

Como se observa en la Figura 76, se tiene que casi todos los elementos de seguridad se conectan como circuitos de categoría 1 debido a que no poseen una señal de prueba para asegurar su funcionamiento, pero tienen una muy reducida probabilidad de fallo según indica en fabricante, asegurando que cumpla con un SIL 1. A excepción del sensor infrarrojo que tiene una señal bidireccional, es decir que posee la señal de prueba cumpliendo con un circuito de categoría 2, así asegurando que la función de seguridad cumpla con un SIL 2, esto permitirá que el sistema detecte en caso de que el sensor falle o exista algún problema físico de conexión, esto se realiza debido a que se determina como la parte más insegura del sistema.



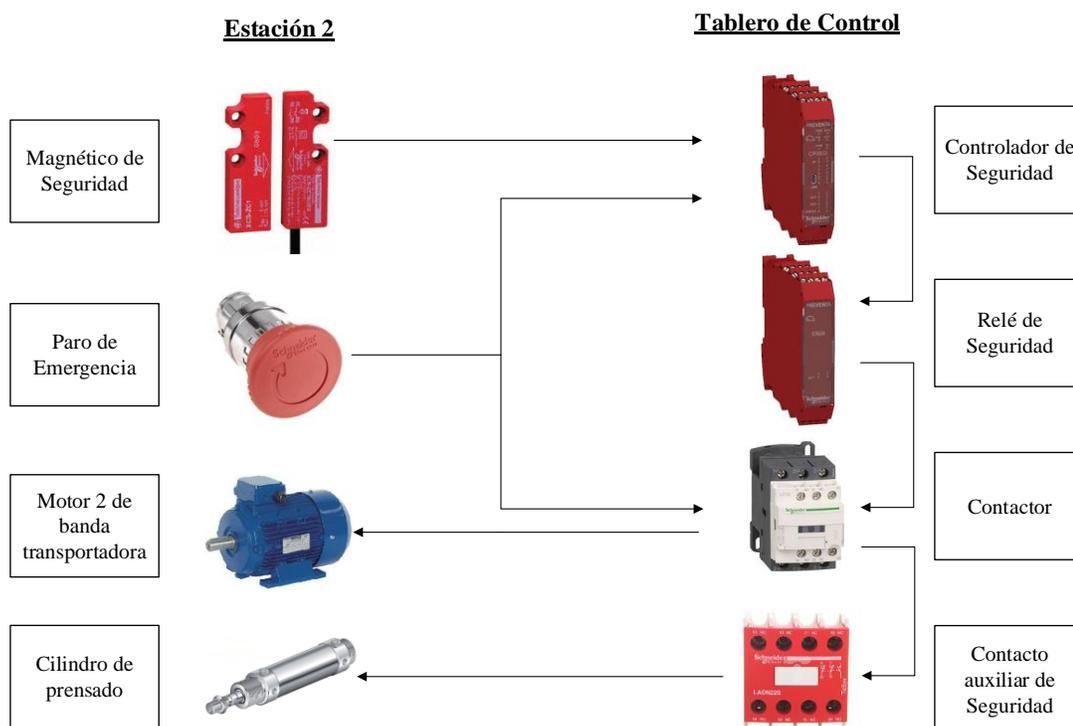
**Figura 76 Representación de conexión de elementos de seguridad en estación 1**

Para el proceso de desenergización se lo realiza de manera directa, es decir desconectando físicamente la alimentación eléctrica e inhabilitando su reactivación hasta tener solucionado el problema y que los sensores de seguridad se encuentren conduciendo correctamente.

Por último, el sistema consta con contactos auxiliares de seguridad que mantiene al sistema protegido ante enclavamientos manuales indebidos, que permiten los contactores más comunes, ya que no se puede presionar manualmente el pestillo del contactor, y en caso de su remoción, el contactor no se enclavaría por la respectiva conexión realizada entre auxiliar y la bobina del contactor, evitando el accionamiento incorrecto de los motores y el cilindro de corte.

### 5.9.1.2. Seguridades en estación 2

Como se observa en la Figura 77, se tiene que todos los elementos de seguridad se conectan como circuitos de categoría 1 debido a que no poseen una señal de prueba para asegurar su funcionamiento. En esta estación no se utilizó un sensor infrarrojo, debido a que en el área a de ingreso y salida del producto de la estación, existen guardas físicas no removibles, impidiendo el ingreso del operario.



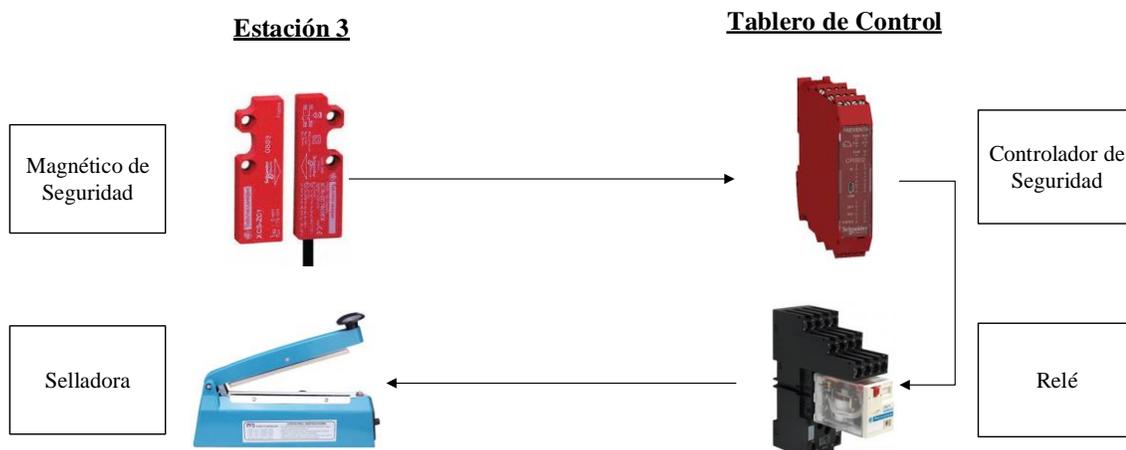
**Figura 77 Representación de conexión de elementos de seguridad en estación 2**

La operación que cumplen los elementos de seguridad es la misma de desenergización de los actuadores que se realiza en la estación 1, y para su reactivación debe cumplir que todos los elementos de seguridad relacionados a la estación se encuentren operativos.

### 5.9.1.3. Seguridades en estación 3

Como se observa en la Figura 78, se tiene un solo sensor de seguridad que se conecta como circuitos de categoría 1. En esta estación no se presenta mayor riesgo debido a que la única forma de acceder al filamento caliente es removiendo la guarda física implementada en el equipo, por lo que se utilizó un sensor magnético que detecte cuando

esta es removida, y no permitiendo la alimentación eléctrica al filamento caliente encargado de sellar las fundas.



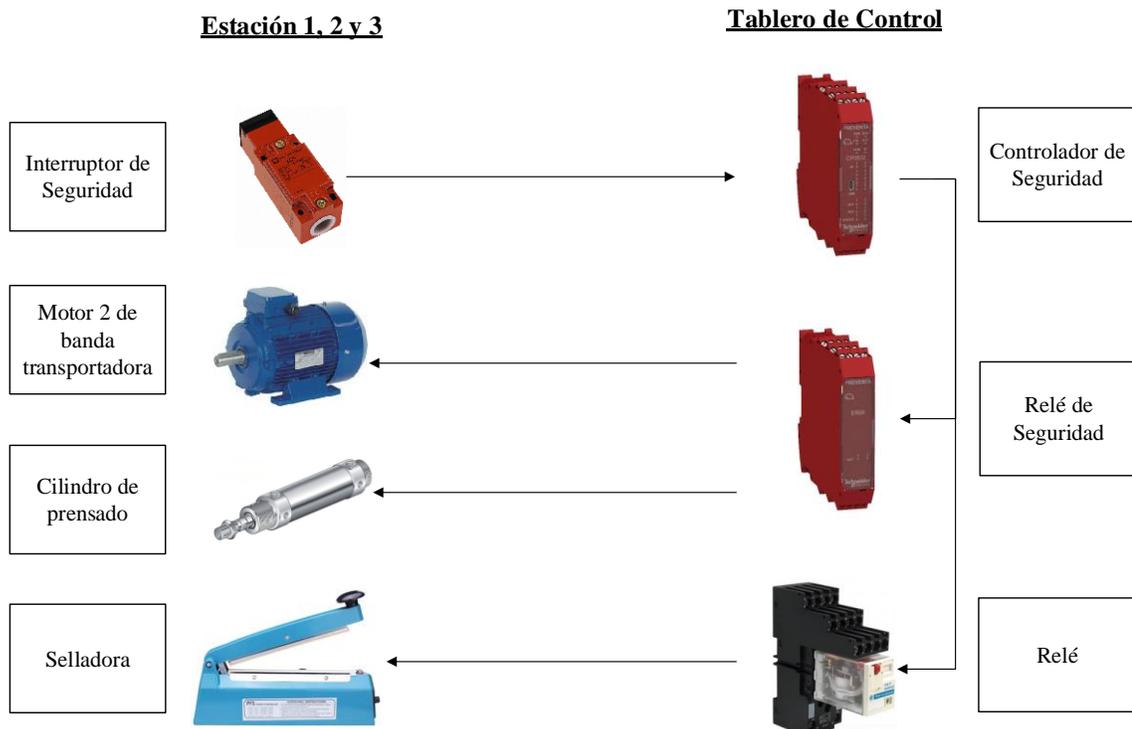
**Figura 78 Representación de conexión de elementos de seguridad en estación 3**

El relé utilizado no es de seguridad debido a que no requiere un mayor nivel de seguridad en la estación y es suficiente para cumplir con el SIL requerido, también se toma en cuenta las únicas 2 salidas existentes en el módulo relé de seguridad y priorizando las 2 estaciones automáticas.

#### **5.9.1.4. Seguridades en tablero de control**

Para esta última etapa no se realizó una función de seguridad para el tablero de control, pero si se toma en cuenta todas las protecciones eléctricas que este debe tener para salvaguardar las máquinas y al operario. A parte este es el que contiene los actuadores y controladores lógicos de seguridad del sistema, por lo que deben protegerse en caso de un intento de manipulación indebido, para esto se agrega el interruptor de seguridad que indicará cuando el tablero tenga su puerta correctamente cerrada, ya que el sistema solo energizará las estaciones en caso de que se encuentre cerrado. Este sistema evita que se realicen trabajos de mantenimiento, o manipulaciones indebidas, sin la autorización del encargado de la planta.

Como se observar en la Figura 79 el controlador y los actuadores son los mismos que se utilizan en las demás estaciones, ya que el módulo relé con sus 2 salidas controla la alimentación eléctrica de las estaciones 1 y 2, y el relé común la alimentación de la estación 3.



**Figura 79 Representación de conexión de elementos de seguridad en tablero**

Una vez terminada la conexión física de los elementos se tiene la distribución de los elementos de seguridad implementados como se indica en la Figura 80, dejando por último la programación del controlador para cumplir con una función según las señales que envíen los sensores de seguridad.



**Figura 80 Elementos de seguridad implementados**

### **5.9.2. Programa del controlador de seguridad**

Para la programación del controlador de seguridad “XPSMCMCP0802”, se utilizó el propio programa de Schneider Electric SoSafe, el cual utiliza una programación intuitiva con bloques predeterminados ya programados.

El programa debe estar a la par con el funcionamiento requerido, como se indicó anteriormente, en caso de que alguno de los sensores de seguridad cambie de estado debe automáticamente desactivar la alimentación de la estación respectiva a la que esté relacionado. Adicionalmente el programa constará con un “bypass” de las seguridades, exclusivamente para fines demostrativos, el cual desactivará los sensores de seguridad para que la persona encargada pueda demostrar los riesgos que pueden existir en caso de la inexistencia de estos elementos, los únicos dispositivos que no se desactivarán son los paros de emergencias ya que estos también se encuentran redundantemente conectados directamente a las líneas para desactivar físicamente la alimentación eléctrica.

Tomando en cuenta estos parámetros se tiene el siguiente programa de la Figura 81, el cual se observa en el primer elemento (sensor infrarrojo) que consta con la entrada de prueba que verifica si este se encuentra funcionando correctamente, en caso contrario desactiva automáticamente la estación. Este tipo de elemento tiene el uso obligatorio de la entrada de prueba por lo que si no se activa no permitirá la carga del programa al controlador.

Para que el programa pueda cargarse al controlador de seguridad, este debe estar correctamente compilado, lo que automáticamente se genera un reporte de las configuraciones que se utilizaron en la programación, este puede ser impreso y firmado para tener constancia de lo programado en caso de que existan fallos saber si ocurrió debido a una mala programación.

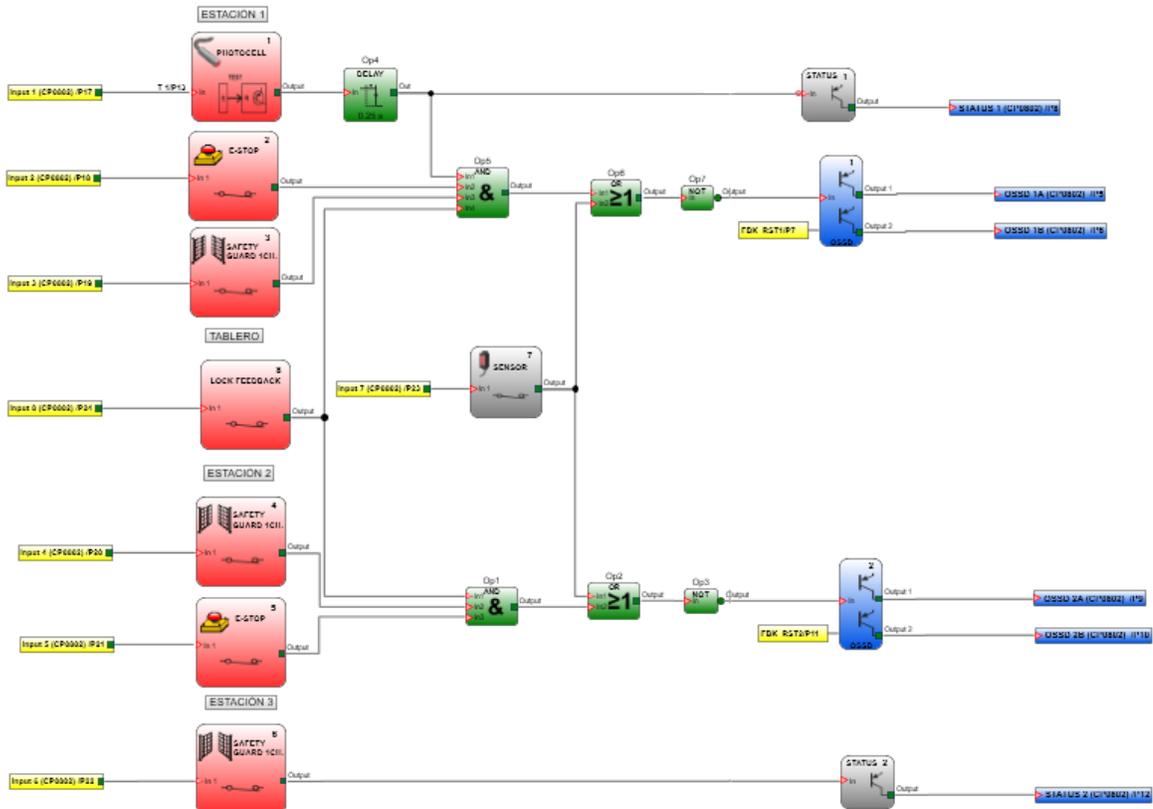


Figura 81 Programa de seguridad

## CAPÍTULO 6

### APLICACIONES Y RESULTADOS DEL MÓDULO

Los resultados se presentan en dos partes, el funcionamiento de la maqueta para la manufactura de jabón y el funcionamiento de las funciones de seguridad implementadas.

#### 6.1. Funcionamiento de la maqueta

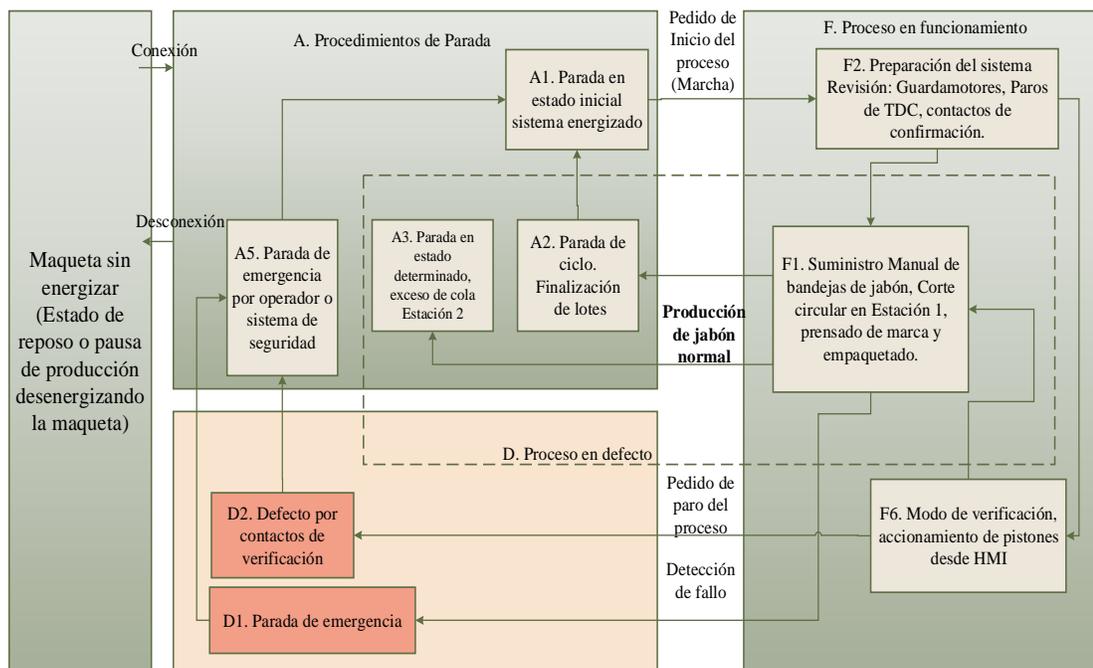
A continuación, se revisa los estados posibles de funcionamiento de la máquina, la nomenclatura utilizada pertenece a esta guía, estos estados son: Estado de la máquina sin energía, Estado de parada de la máquina, Estado de funcionamiento y Estado de procedimientos en fallos. En la Figura 82 se observan el flujo de los estados del proceso.

**Máquina sin energía:** en este estado es cuando la parte de control y la parte neumática se encuentran desconectadas, puede ocurrir cuando se ha movilizadado la máquina o ha estado apagada por mucho tiempo.

##### 6.1.1. Procedimientos de parada

Los procedimientos de parada revisados en la máquina y clasificados según la guía utilizada son:

- **A1. Parada en estado inicial:** la maqueta se encuentra en estado inicial energizada lista para revisar las condiciones iniciales de funcionamiento.
- **A2. Parada a final de ciclo:** esta parada se da cada vez que se termine un lote de producción, para que esté listo el siguiente lote se hace necesaria una parada aproximada de 5 minutos, solo vuelve ha estado inicial esperando un próximo Lote.
- **A3. Paradas en un determinado estado:** este estado comprende cuando la estación de prensado de marca no ha realizado la manufactura de ninguna pastilla de jabón, mientras la de corte ya ha entregado 3 unidades consecutivas la estación de corte se detiene, mientras se revisa el porqué se encuentra la cola.
- **A5. Puesta en marcha después de un defecto:** procedimientos de rearme luego de que ha ocurrido una parada de emergencia.



**Figura 82 Proceso de funcionamiento de la maqueta de seguridad**

### 6.1.2. Procedimientos de funcionamiento

El procedimiento de funcionamiento normal es el descrito en modo automático.

- **F1. Producción normal:** una vez energizado el sistema y determinado todos los estados iniciales correctamente, se alimenta la banda transportadora con pastillas de jabón de forma manual, en la estación de corte las barras cuadradas se cortan en su forma circular final, la estación maneja las colas del proceso con dos pistones que forman parte de la estación; la siguiente estación comprende el prensado de marca en donde un manejo de colas similar a la estación anterior; finalmente pasa a la estación de empaquetado que se lo realiza de forma manual, en donde finaliza la producción de la máquina.
- **F2. Marcha de preparación:** para que la máquina entre en proceso se revisa de forma visual que el sistema neumático este activado y conectado, así como que el tablero de control este energizado, en el PLC se revisan:
  - Paro de emergencia desde Tablero de Control
  - Estado de guardamotores
  - Contactos auxiliares de estado

- **F5. Mantenimiento y verificación:** se ha determinado un estado para la verificación del funcionamiento de las electroválvulas y los motores, desde el HMI se podrá activar y desactivar los elementos.

### 6.1.3. Procedimientos de fallo

- **D1. Parada de emergencia:** Las paradas de emergencia se determinan en todos los procesos que no se encuentren en el flujo de proceso normal y que atente con la seguridad y la producción de la máquina pudiendo accionarse en:
  - Tablero de Control
  - Estación de prensado de marca
  - Estación de corte
- **D2. Diagnóstico de fallos:** Los fallos se han categorizados de la siguiente manera:
  - **Fallos Mecánicos:** posibles bloqueos en la parte mecánica de la maqueta comprendida por: bandas transportadoras, pistones de encolamiento, pistones de acción en cada estación. El bloqueo se presentaría cuando alguno de estos elementos sea impedido moverse por algún agente, pudiendo ser detectado por el controlador del proceso al no identificar el cambio de estado cuando se envíe la orden.
  - **Fallos eléctricos:** el sistema cuenta con protección para sus partes de control y fuerza, en caso de que exista algún fallo por el sistema eléctrico los breakers de protección bloquearan el paso de energía parando a la máquina hasta su reparación. En caso de tener una sobre corriente en los motores, el guardamotor instalado evitará que se produzcan daños desconectándolos de la red.
  - **Fallos de control:** Se ha establecido que la maqueta funciona si y solo si está siendo monitoreada desde el HMI, pudiendo detectar la desconexión de la red ethernet, que en este caso el controlador bloquearía el sistema hasta que se repare el fallo detectado.

## 6.2. Análisis de operación de la maqueta

Ya establecido el flujo de funcionamiento de la máquina en sus condiciones normales y de parada, se revisa si cumplen lo establecido para el sistema.

Para la producción se cuenta con 6 bases para las pastillas de jabón, pudiendo definir un lote de 6 unidades en cada producción de la maqueta. La maqueta debe garantizar el funcionamiento mínimo de:

- 24 días por año
- 5 horas por día

Determinado por las participaciones por mes en presentaciones de la empresa en ferias de negocios y tecnología en donde se ha determinado el uso de esta maqueta. De acuerdo con el tiempo correspondiente se analizará el funcionamiento de la maqueta en los siguientes periodos:

- 5 horas, para determinar la media de tiempos de producción estimados de cada lote y por estación.
- 120 horas de funcionamiento para determinar la confiabilidad de la maqueta con pausas cada 5 horas de producción, según lo establecido en el funcionamiento promedio de la maqueta. Este tiempo se considera como la más exigente de las condiciones de operación de la máquina

### Tiempos de operación de la maqueta

El tiempo promedio medido en cada estación se presenta en la Tabla 56, tiempos determinados en 5 horas de funcionamiento.

**Tabla 56**

#### Tiempos promedio de producción por estaciones en segundos

Corte	Prensado de marca	Empacado
10,25 (s)	10,49 (s)	15,3 (s)

Dando como resultado estos tiempos promedio de producción:

- Tiempo promedio que demora en la manufactura de una pieza de jabón: **36.04 s**
- Tiempo promedio que demora por cada lote de 6 unidades: **216.24 s**
- Tiempo de parada entre lotes: **330 s**

Determinando el tiempo de 546.24 s para la producción de un lote de 6 jabones.

### Confiabilidad de la máquina

Se establece comprobar para un funcionamiento de 5 días de 5 horas cada uno, determinado como el funcionamiento más exigente si se tuviera presentación del equipo toda una semana.

Para este caso se espera obtener la producción de 164 lotes de jabón (984 jabones), en esta prueba también se determina revisar la confiabilidad de la máquina revisando paradas del sistema, causas, correcciones y tiempos de espera para reactivar la producción obteniendo los resultados presentados en la Tabla 57.

Los lotes requeridos para esta prueba se obtuvieron en 24.7 horas, tiempo que se encuentra en el esperado por las pruebas iniciales del equipo.

**Tabla 57**  
**Resultados de producción de la máquina**

	Esperados	Perdidos	Piezas que ocasionaron paradas
No. Jabones	984	7	18

Como se observa en la Figura 83, se puede decir que la efectividad de la máquina alcanza el 97.46%. Estos datos relacionados con la cantidad de piezas de jabón obtenidas ante las piezas que ocasionaron algún tipo de inconveniente.



**Figura 83 Resultado de efectividad de la maqueta**

Los problemas revisados durante la producción se ocasionaron por las siguientes causas:

### **Perdidas de piezas de jabón**

- Adherencia del material de plastilina en la estación 1 con un total de 4 piezas.
- Perdida del carril de banda transportadora luego del corte en la estación 1 con un total de 2 piezas.
- Adherencia del material de plastilina en la estación 2 con un total de 1 pieza.

### **Intervención del operario en el proceso**

- No se realiza un correcto traslado de la pieza entre la banda 1 y 2, la pieza de jabón se queda atascada, interviniendo el operario en una zona de no riesgo para que la pieza continúe en producción normal, se registró este problema en 6 piezas.
- La pieza de jabón queda mal posicionada luego del corte en la estación 1 lo que impide el avance por la banda 1, con un total de 5 jabones.
- La pieza de jabón queda mal posicionada luego del prensado de marca en la estación 2 lo que impide el avance por la banda 2, con un total de 7 jabones

De las pruebas se obtiene también que el tiempo medio entre paradas de las estaciones para corrección de errores es de 19 segundos. Tiempo suficiente para reestablecer el proceso de la máquina, ante los problemas descritos anteriormente.

### **6.3.Frecuencia de situaciones de riesgo**

A continuación, se revisará los riesgos que pueden ocurrir en la máquina debido a tiempos promedio de fallos de los componentes críticos de la maqueta (componentes que generan situaciones de riesgo). Cualquiera de estos fallos ocasionaría la intervención necesaria del operador, en el caso de no tener un protocolo adecuado de mantenimiento correctivo provocaría lesiones en el operario.

Los tiempos promedios de fallo de los elementos indicados se extraen de la parte 2 del libro OREDA, de estas tablas se extrae el MTTR (Tiempo Medio para reparación de un fallo), MTTF (Tiempo medio para un fallo), MTBF (Tiempo medio entre fallos). El MTTF es el inverso de la tasa de fallos ( $\lambda$ ) Ecuación 5, y la tasa de fallos se calcula de la relación que existe entre el tiempo de servicio establecido y el número de fallos. (OREDA, 2002)

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \qquad \text{Ecuación 5}$$

$$\lambda = \frac{\text{número de fallos}}{\text{Tiempo agradoado en servicio}}$$

**Ecuación 6**

En la estación de corte se revisan las siguientes situaciones de riesgo presentadas en la Tabla 58, en las pruebas de eficiencia realizadas en la máquina entregó como resultado de 11 intervenciones del operario en 25 horas de funcionamiento, dando como resultado un aproximado de 2 intervenciones por día de producción, en las condiciones ya establecidas.

**Tabla 58**  
**Tasa de fallos en la estación de corte**

Variable	Desvío	Causas	Consecuencia (en personas)	MTTR (horas)	MTTF (años)	MTBF (años)
Presencia de jabón, etapa inicial	No reconoce	Avería en el sensor o manipulación indebida	Intervenciones inadecuadas en el campo pueden generar cortes en manos o aplastamiento	2,3	13,12	13,69
Estado del pistón de cola 1	No cambia	No llega acción de control/ avería en la electroválvula o pistón	Intervenciones inadecuadas en el campo pueden generar cortes en manos o aplastamiento	5,8	4,56	4,63
Estado del pistón de cola 2	No cambia	No llega acción de control/ avería en la electroválvula o pistón	Intervenciones inadecuadas en el campo pueden generar cortes en manos o aplastamiento	5,8	4,56	4,63
Estado del pistón de corte	No cambia	No llega acción de control/ avería en la electroválvula o pistón	Intervenciones inadecuadas en el campo pueden generar cortes en manos o aplastamiento	5,8	4,56	4,63

Continúa 

Adherencia del material en el pistón de corte	-----	Condiciones inadecuadas de material	Intervenciones inadecuadas en el campo pueden generar cortes en manos o aplastamiento	0,006	2,27 (horas)	2,28 (horas)
---	-------	-------------------------------------	---	-------	--------------	--------------

En la estación de prensado de marca se revisan las siguientes situaciones de riesgo presentadas en la Tabla 59, en las pruebas de eficiencia realizadas en la máquina entregó se reconoció 8 intervenciones del operario en 25 horas de funcionamiento, dando como resultado un aproximado de 1 intervenciones por día de producción, en las condiciones ya establecidas.

**Tabla 59**  
**Tasa de fallos en la estación de prensado de marca**

Variable	Desvío	Causas	Consecuencia (en personas)	MTTR (horas)	MTTF (años)	MTBF (años)
Presencia de jabón, etapa inicial	No reconoce	Avería en el sensor o manipulación indebida	Intervenciones inadecuadas en el campo pueden generar cortes en manos o aplastamiento	2,3	13,12	13,69
Estado del pistón de cola 1	No cambia	No llega acción de control/ avería en la electroválvula o pistón	Intervenciones inadecuadas en el campo pueden generar cortes en manos o aplastamiento	5,8	4,56	4,63
Estado del pistón de cola 2	No cambia	No llega acción de control/ avería en la electroválvula o pistón	Intervenciones inadecuadas en el campo pueden generar cortes en manos o aplastamiento	5,8	4,56	4,63

Continúa 

Estado del pistón de corte	No cambia	No llega acción de control/ avería en la electroválvula o pistón	Intervenciones inadecuadas en el campo pueden generar cortes en manos o aplastamiento	5.8	4,56	4,63
Adherencia del material en el pistón de prensado de marca	-----	Condiciones inadecuadas de material	Intervenciones inadecuadas en el campo pueden generar cortes en manos o aplastamiento	0,006	3,125 (horas)	3,13 (horas)

En la estación de empacado se revisan las siguientes situaciones de riesgo presentadas en la Tabla 60, en las pruebas de eficiencia realizadas en la máquina entregó como resultado ninguna intervención del operario en 25 horas de funcionamiento, lo que determina, que el operario se pondría en una situación de riesgo únicamente al momento de tener que cambiar el filamento caliente de la máquina, o si esta se avería por algún evento.

**Tabla 60**  
**Tasa de fallos en la estación de empacado**

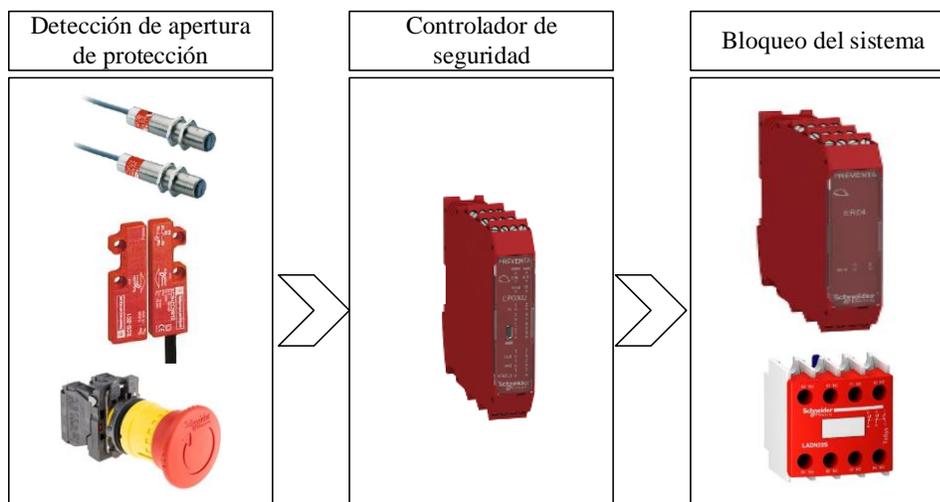
Variable	Desvío	Causas	Consecuencia (en personas)	MTTR (horas)	MTTF (años)	MTBF (años)
Estado del filamento	No caliente (sella la funda)	Sobretensiones o picos avería en el filamento	Quemaduras por ingreso inadecuado del material	7,3	1,54	1,56

De los tiempos de fallo revisados se obtiene que el operario tendrá que realizar al menos dos intervenciones en las estaciones por día de producción (5 horas). Poniéndose en riesgo de corte o aplastamiento sus manos en el caso de no realizar un protocolo adecuado en estas intervenciones, por lo que para eliminar estos ambientes de riesgo se implementaron las funciones de seguridades existentes.

## 6.4. Diagnóstico de los sistemas de seguridad integrados

### 6.4.1. Estación de corte

En el análisis de riesgo y operación de la estación de corte se determinó un SIL 2, identificando como necesario el siguiente sistema integrado de seguridad presentado en la Figura 84.



**Figura 84 Sistema integrado de seguridad estación de corte**

Para determinar el cumplimiento del SIL se analizará a través de la probabilidad de fallo peligroso por hora ( $PFH_D$ , Probability of a dangerous failure per hour) de cada equipo y del sistema completo determinado por el software “Sistema”, obteniendo los siguientes resultados presentados en la Tabla 61, así como el MTTF que establece el tiempo medio para un fallo.

Los resultados obtenidos se comparan con la relación del  $PFH_D$  de cada sistema integrado de seguridad con el SIL presentados en la Tabla 62.

**Tabla 61**  
 **$PFH_D$  de los equipos de seguridad de la estación de corte**

Evento	$PFH_D$ (%)	MTTF (años)
Fallo del sensor de presencia de jabón	2,30E-07	4.629,6
Fallo del pistón de cola 1	2,30E-06	347,2
Fallo del pistón de cola 2	2,30E-06	347,2
Fallo del pistón de corte	3,40E-06	317,1

**Tabla 62**  
**Relación entre PFH<sub>D</sub> y SIL**

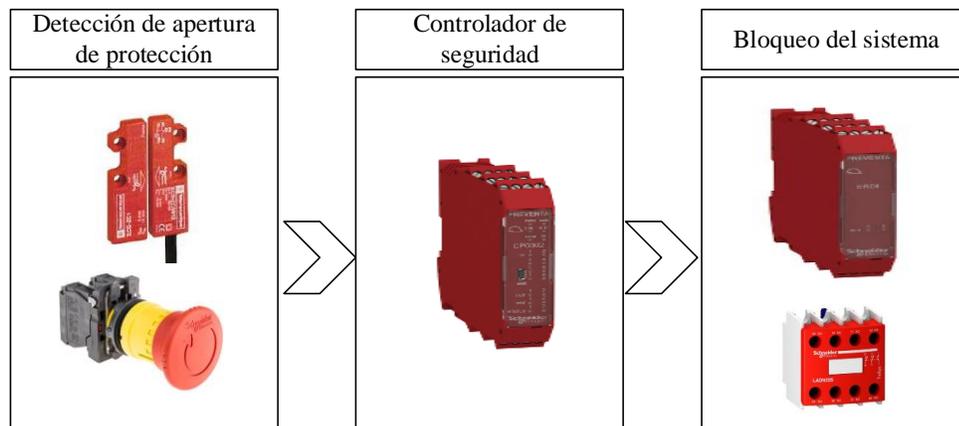
SIL	PFH <sub>D</sub>
-	$10^{-5} \dots 10^{-4}$
1	$3 \times 10^{-6} \dots 10^{-5}$
2	$10^{-7} \dots 10^{-6}$
3	$10^{-8} \dots 10^{-7}$

De lo que resulta que el sistema integrado de seguridad implementado para el fallo del sensor de presencia de jabón alcanza un SIL 2 por encontrarse en el rango establecido en la relación, y para los demás sistemas se revisa el cumplimiento de un SIL 1 de acuerdo con el nivel analizado en el CAPÍTULO 3.

Debido a las funciones de seguridad, de acuerdo con los posibles eventos que puedan ocurrir llevando al operario a realizar una intervención en la estación, que anteriormente sería una acción riesgosa, estas mantendrán al operario en un ambiente seguro de tal manera que la posibilidad de que fallen es casi nula.

#### 6.4.2. Estación de prensado de marca

En el análisis de riesgo y operación de la estación de prensado de marca se determinó un SIL 1, identificando como necesario el siguiente sistema integrado de seguridad presentado en la Figura 85.



**Figura 85 Sistema integrado de seguridad estación de prensado de marca**

El análisis del PFH<sub>D</sub> de los equipos que intervienen el sistema integrado de seguridad de la estación de prensado de marca se revisa en la Tabla 63.

**Tabla 63**  
**PFH<sub>D</sub> de los equipos de seguridad de la estación de prensado de marca**

Evento	PFH <sub>D</sub> (%)	MTTF(años)
Fallo en motor de transporte	1,10E-06	347,2
Fallo del sensor de presencia de jabón	1,10E-06	4.629,6
Fallo del pistón de cola 1	2,30E-06	347,2
Fallo del pistón de cola 2	2,30E-06	347,2
Fallo del pistón de prensado de marca	3,40E-06	317,1

Revisando la relación para todos los PFH<sub>D</sub> analizados, se verifica que los sistemas de seguridad cumplen con un SIL 1, requerimiento solicitado en el análisis de seguridad para la estación de prensado de marca.

Todos los eventos que puedan suceder, que lleven al operario a realizar una intervención en la estación, se encuentran mitigados, debido a que la probabilidad que una de las funciones de seguridad falle es casi nula.

### 6.4.3. Estación de empacado

En el análisis de riesgo y operación de la estación de empacado se determinó un SIL1, identificando como necesario el siguiente sistema integrado de seguridad presentado en la Figura 86.



**Figura 86 Sistema integrado de seguridad estación de empacado**

El análisis del PFH<sub>D</sub> de los equipos que intervienen el sistema integrado de seguridad de la estación de empacado se revisa en la Tabla 64.

**Tabla 64****PFH<sub>D</sub> de los equipos de seguridad de la estación de empacado**

Evento	PFH <sub>D</sub> (%)	MTTF(años)
Fallo de máquina selladora	1,10E-06	4.629,6
Fallo de filamento	1,10E-06	463

Revisando la relación para todos los PFH<sub>D</sub> analizados, se verifica que los sistemas de seguridad cumplen con un SIL 1, requerimiento solicitado en el análisis de seguridad para la estación de empacado. Los tiempos promedios para que se dé un fallo en los sistemas integrados de seguridad es mucho más alto que de los propios del proceso, garantizando la seguridad en la máquina.

**6.5. Funcionamiento de los sistemas de seguridad integrados**

Para observar el resultado del funcionamiento del sistema de seguridad integrado se han establecido las siguientes simulaciones para el análisis de seguridad que se presenta en la Tabla 65. Se ha realizado un ensayo por cada estado posible de la maqueta y por cada ensayo, para revisar el funcionamiento adecuado del sistema de seguridad, esto debido a la garantía de probabilidad de fallo que se analizó en el apartado anterior.

**Tabla 65****Resultados de pruebas en estación de corte**

Simulación	Prueba	Solución	Sistema de seguridad	Disminuye el riesgo	Consecuencia en producción	¿Quién puede reestablecer el sistema?
Sensor no reconoce la presencia de la placa de jabón	Desconexión del sensor	Procedimiento adecuado para mantenimiento en el campo	Paro de emergencia para la estación	Si	Parada, pero no se pierde la pieza de jabón	Jefe de planta
No cambia el estado del pistón de cola 1	Desconexión electroválvula	Procedimiento adecuado para mantenimiento en el campo	Guardas magnéticas (acceso no autorizado)	Si	Parada, pero no se pierde la pieza de jabón	Jefe de planta
No cambia el estado del pistón de cola 2	Desconexión electroválvula	Procedimiento adecuado para mantenimiento en el campo	Guardas magnéticas (acceso no autorizado)	Si	Parada, posible pérdida de la pieza de jabón	Jefe de planta

Continúa 

No cambia el estado del pistón de corte	Desconexión electroválvula	Procedimiento adecuado para mantenimiento en el campo	Guardas magnéticas (acceso no autorizado) , cortina para acceso de dedos	Si	Parada, posible pérdida de la pieza del jabón	Jefe de planta
---	----------------------------	---	--	----	---	----------------

Se ha revisado también que, durante operación normal de la máquina, y ante una intervención inadecuada del operario (abriendo la guarda de protección o tratando de ingresar la mano por el acceso de jabones), la máquina cumple con la parada de seguridad establecida.

El análisis de resultados obtenidos en la estación de prensado se presenta en la Tabla 66, de acuerdo con el análisis de seguridad realizado. Se revisan las pruebas en las mismas condiciones que se ha probado la estación de corte.

**Tabla 66**  
**Resultados de pruebas en estación de prensado**

Simulación	Prueba	Solución	Sistema de seguridad	Disminuye el riesgo	Consecuencia en producción	¿Quién puede reestablecer el sistema?
Sensor no reconoce la presencia de la placa de jabón	Desconexión del sensor	Procedimiento adecuado para mantenimiento en el campo	Paro de emergencia para la estación	Si	Parada, pero no se pierde la pieza de jabón	Jefe de planta
No cambia el estado del pistón de cola 1	Desconexión electroválvula	Procedimiento adecuado para mantenimiento en el campo	Guardas magnéticas (acceso no autorizado)	Si	Parada, pero no se pierde la pieza de jabón	Jefe de planta
No cambia el estado del pistón de cola 2	Desconexión electroválvula	Procedimiento adecuado para mantenimiento en el campo	Guardas magnéticas (acceso no autorizado)	Si	Parada, posible pérdida de la pieza de jabón	Jefe de planta
No cambia el estado del pistón de prensado	Desconexión electroválvula	Procedimiento adecuado para mantenimiento en el campo	Guardas magnéticas (acceso no autorizado)	Si	Parada, posible pérdida de la pieza del jabón	Jefe de planta

El análisis de resultados obtenidos en la estación de prensado se presenta en la Tabla 67, de acuerdo con el análisis de seguridad realizado. Los ensayos se han realizado en las condiciones de las anteriores estaciones, siempre y cuando se tengan piezas listas para cumplir con la etapa final.

**Tabla 67**  
**Resultados de pruebas en estación de empaçado**

Simulación	Prueba	Solución	Sistema de seguridad	Disminuye el riesgo	Consecuencia en producción	¿Quién puede reestablecer el sistema?
Estado máquina selladora	Desconexión de la máquina	Procedimiento adecuado para mantenimiento en el campo	Guardas magnéticas (acceso no autorizado)	Si	Parada, pero no se pierde la pieza de jabón	Jefe de planta
Estado del filamento	Desconexión del filamento	Procedimiento adecuado para mantenimiento en el campo	Guardas magnéticas (acceso no autorizado)	Si	Parada, pero no se pierde la pieza de jabón	Jefe de planta

Cualquier intervención inadecuada, o ante una desactivación del sistema de seguridad podría provocar lesiones permanentes en el operario.

### **Proceso de mantenimiento correctivo**

A continuación, se determina el procedimiento adecuado para el mantenimiento de cada una de las estaciones.

- **Estación de corte y prensado de marca.**

Para los mantenimientos correctivos adecuados se ha dispuesto la desconexión del accionamiento de todos los pistones que componen cada uno de los sistemas (Pistones de gestión de cola y pistón de corte y prensado de marca respectivo de cada estación). De tal forma que se pueda evitar cualquier accionamiento imprevisto y como consecuencia de esto la pérdida de alguna parte de la mano o las manos que intervengan en el mantenimiento.

Para entrar en un mantenimiento correctivo es necesario tener permisos de administrador del usuario de Ingeniería, para poder accionar el botón de mantenimiento

en la ventana de control, seguido de dejar accionado los respectivos paros de emergencia de cada estación, luego para su reactivación se levantan los paros para realizar las pruebas en el interfaz de los elementos que presentaron fallos y se reanuda con el mismo botón de inicio de mantenimiento, si el sistema detecta que todos los componentes están funcionando correctamente se reanuda el proceso.

- **Estación de empacado**

Para la estación de empacado, igual al disponer de una acción correctiva es necesario deshabilitar la energía para su revisión inicial pudiendo poner en marcha solo desde el HMI con un nivel de usuario de Ingeniería, con el mismo funcionamiento indicado anteriormente.

Para evitar la manipulación de cualquier dispositivo en el tablero de control también se ha dispuesto una guarda de seguridad, con esto se da la confiabilidad que el sistema no sea intervenido por personal no autorizado, ni que se pueda realizar cambios sin el reconocimiento de los jefes de planta.

## **6.6.Cumplimiento del reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo**

En la maqueta demostrativa se ha cumplido con el reglamento dispuesto por el comité de SST del IESS, determinadas para el funcionamiento de máquinas y herramientas.

- Señalética adecuada en cada parte de la maqueta, identificando los posibles riesgos y prevención, de acuerdo con el Artículo 171.
- Se ha participado en estudios sobre la prevención de riesgos y mejoramiento del medio ambiente laboral.
- Se ha presentado una descripción minuciosa del riesgo que pueda ocasionarse en el trabajo y de las normas de seguridad que pueden prevenirlas de acuerdo con el artículo 6.
- Se han adoptado medidas necesarias para la prevención de los riesgos como se revisa en el artículo 11.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. Conclusión

Se demostró la reducción de riesgos mecánicos de la maqueta con la utilización de controladores y dispositivos de seguridad que cumplen con niveles de seguridad de hasta SIL2, pudiendo ser registrados los eventos en una HMI generando reportes de las acciones de riesgo dentro del módulo, con esto se tiene un control acerca de estos eventos garantizando la seguridad de los operarios y del sistema.

Se midieron los niveles de seguridad integrados de la maqueta dando como resultado un máximo de SIL 2 para la primera estación, esto se logró utilizando la norma IEC61508 y la metodología HAZOP propuesta en la misma, siendo necesario para su aplicación un equipo multidisciplinario en el análisis de la planta de jabón real, en donde las experiencias de los operarios con las máquinas son importantes para analizar las desviaciones del sistema que puedan generar riesgos.

Los ensayos no destructivos establecidos de acuerdo con los posibles riesgos analizados con el HAZOP comprobaron el correcto funcionamiento de los sistemas de seguridad ante posibles acciones no seguras dentro de cada estación, llevando al sistema a un estado seguro que permiten al operario realizar acciones correctivas en la máquina por temas de mantenimiento o por fallos de producción.

Se ha cumplido con el reglamento Seguridad y Salud en el Trabajo dispuesto por el IESS, implementando una señalización adecuada de los riesgos y la prevención de los mismo en cada estación de la maqueta, donde se encuentra documentado la descripción minuciosa de los posibles riesgos, adoptando medidas y protocolos adecuados para la prevención de estos.

Se implementó un sistema de control de fácil entendimiento al usuario para el manejo y monitorización del módulo, con la posibilidad de demostrar los riesgos existentes mediante controles que activen y desactiven los sistemas de seguridad implementados permitiendo una rápida demostración de que los riesgos analizados podrían suceder en caso de que estas se encuentren desactivas.

Con la ayuda de la metodología Pahl y Beitz se entregó a SEIUS S.A. una maqueta transportable por cualquier medio de carga liviana, puesto que el seguimiento de la metodología permitió cumplir con todos los requerimientos técnicos y de funcionamiento, además, el correcto dimensionamiento de los equipos hizo que el costo de la maqueta se ajuste al presupuesto dado por la empresa.

## **7.2.Recomendación**

Para los análisis de seguridad extensos y que contienen funciones de seguridad que requieran una implementación de un sistema de seguridad riguroso de SIL 2 o superior, es recomendable realizar una revisión posterior al análisis para determinar si surgieron nuevos riesgos a causa de su implementación.

Para el correcto uso del sistema, es necesario la capacitación mediante la lectura del manual existente en el HMI implementado, o por el encargado del módulo en la empresa que estará capacitado por los encargados del presente proyecto.

Para el análisis de riesgos y operabilidad del sistema es necesario contar un equipo disciplinario sin olvidar las sugerencias de los operarios, que podrían complementar el estudio de condiciones que se hayan dado en su experiencia en el manejo de las máquinas analizadas.

Para el funcionamiento del módulo se recomienda la adecuada selección de la materia prima (plastilina), de forma que este material no se adhiera a los pistones de corte o estampado de marca.

## BIBLIOGRAFÍA

- Birkhofer, J. J. (16 de 05 de 2006). THEORY AND RESEARCH METHODS IN DESIGN. *THE DEVELOPMENT OF THE GUIDELINE VDI 2221 - THE CHANGE OF DIRECTION*. Dubrovnik, Croatia.
- Decreto Ejecutivo 2393. (10 de Agosto de 1988). *Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Fitzpatrick, B. A. (10 de Abril de 2017). *ISA 101 and Workshop*. Obtenido de [http://www.yokogawausersconference.com/uploads/3/1/8/5/3185440/mesatutoria\\_l\\_-\\_isa101\\_hmiworkshop.pdf](http://www.yokogawausersconference.com/uploads/3/1/8/5/3185440/mesatutoria_l_-_isa101_hmiworkshop.pdf)
- IEC. (Mayo de 2004). Functional safety and IEC 61508. Suiza, Geneva.
- IESS. (1986). *Decreto Ejecutivo 2393 Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo*. Quito.
- IESS. (2011). Seguridad y Salud en el Trabajo. *Revista Técnica Informativa del Seguro General de Riesgos del Trabajo / Ecuador*, 38.
- IESS. (2014). *Informe de rendición de cuentas*. Quito.
- IESS. (4 de Marzo de 2016). Resolución CD-513. *Reglamento del Seguro General de Riesgos de Trabajo*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- IFA. (7 de Julio de 2017). SISTEMA Software. Alemania.
- INEN. (1984). COLORES, SEÑALES Y SÍMBOLOS DE SEGURIDAD. *NTE INEN 439:1984*. Quito, Pichincha, Ecuador.

- INEN. (11 de 06 de 2010). Sistemas de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo. *Norma Técnica Ecuatoriana - NTE INEN-OHSAS 18001:2010*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- INEN. (2015). Norma Técnica Ecuatoriana. *Muebles de oficina, escritorios y Mesas. Requisitos*. Ecuador.
- International Electrotechnical Commission. (Febrero de 2002). IEC 62262. *Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code)*. Genovia, Suiza.
- Invensys. (04 de Abril de 2017). *Schneider Electric*. Obtenido de <http://iom.invensys.com/LA/Pages/ArchestrASystemPlatform.aspx>
- Invensys Systems. (26 de Febrero de 2013). *MBTCP DAServer User's Guide*. Lake Forest, California, USA: Invensys Systems, Inc.
- Invensys Systems. (5 de Septiembre de 2014). *ArchestrA Protocols User's Guide*. Lake Forest, California, USA: Invensys Systems, Inc.
- Invensys Systems, Inc. (23 de Agosto de 2005). *ArchestrA™ Integrated Development Environment (IDE) User's Guide*. Lake Forest, California, USA: Invensys Systems, Inc.
- ISA. (10 de Abril de 2017). *ISA101, Human-Machine Interfaces*.
- Lowrance, W. W. (1976). *Of Acceptable Risk. Science and the Determination of Safety*. California.
- Macdonald, D. (2004). *Practical, Hazops Trips and alarms*. Oxford: Steve Mackay.
- Ministerio de la Protección Social. (2011). *Guía técnica para el análisis de exposición a factores de riesgo ocupacional*. Nacional de Colombia.

- Muriel Garreta Domingo, E. M. (2014). *Diseño centrado en el usuario*. Cataluña: UOC.
- National Electrical Manufacturers Association. (Noviembre de 2004). ANSI/IEC 60529-2004 . *Degrees of Protection Provided by Enclosures (IP Code)*. Rosslyn, Virginia, USA: National Electrical Manufacturers Association .
- NEC. (06 de Abril de 2011). Instalaciones Electromecánicas. *Decreto Ejecutivo N# 705 Capítulo 15*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Nigel, C. (1999). *Métodos de Diseño: Estrategias para el diseño de productos*. Mexico: Limusa.
- OIT. (2013). *Organización Internacional del Trabajo*. Obtenido de [http://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS\\_211645/lang-es/index.htm](http://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_211645/lang-es/index.htm)
- OREDA. (2002). *Offshore reliability data handbook*. Det Norske Veritas: OREDA.
- Pepperl+Fuchs. (5 de Noviembre de 2016). Obtenido de Nivel de integridad de la seguridad (SIL): Seguridad funcional para sus aplicaciones: <http://www.pepperl-fuchs.es/spain/es/18454.htm>
- Petroudi Dimitra, G. N. (2008). *ATM Networks: Basic Ideas and Health*. IGI Global.
- Ramírez, C. (2005). *Seguridad Industrial, Un enfoque Integral*. México: Limusa.
- REGISTRO OFICIAL No. 249. (10 de Enero de 2008). REGISTRO OFICIAL No. 249. *Reglamento de Seguridad y Salud para la Construcción y Obras Públicas*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Risk Software. (s.f.). Análisis de capa de protección (LOPA). *Métodos en la determinación del SIL Objetivo*. México DF, México.

Rojo Manuel, A. A. (2000). *Manual Básico de Prevención de Riesgos Laborales*.

Asturias: Sociedad Asturiana de Medicina y Seguridad en el Trabajo y

Fundación Médicos Asturias.

Schneider Electric. (2011). *Manual de Seguridad en máquinas*. Barcelona, España.

Schneider Electric. (Octubre de 2014). *Wonderware InTouch*. Lake Forest, California,

Estados Unidos.

Schneider Electric Industries SAS. (Enero de 2015). *Preventa safety modular XPSMCM*.

*Catálogo*, 10. Francia.

Smith, D. J. (2001). *Reliability, Maintainability and Risk*. Oxford: Butterworth

Heinemann.

## **ANEXOS**

**Anexo A. Diagrama P&ID del proceso de jabón**

**Anexo B. Análisis de desviaciones de variables de la planta de jabón**

**Anexo C. Definición del SIL requerido de la planta de jabón**

**Anexo D. Análisis de desviaciones de variables del módulo**

**Anexo E. Definición del SIL requerido del módulo**

**Anexo F. Reporte de análisis de funciones de seguridad en software**

**Anexo G. Diagrama de conexión**

**Anexo H. Distribución de elementos en tablero**

**Anexo I. Diagrama neumático**