

Propuesta de automatización del proceso de tamizado en la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A en el municipio de Sopo Cundinamarca.

Hendricks Alejandro Rojas Barrera

MONOGRAFIA

Director (a):

Gloria Barrera

FUNDACION UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA - UNIAGRARIA  
Facultad de ingeniería  
Bogotá.

## Contenido

1. RESUMEN.....	9
2. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	10
3. JUSTIFICACIÓN.....	12
4. OBJETIVOS.....	14
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	14
4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	14
5. MARCO REFERENCIAL.....	15
5.1. ESTADO DEL ARTE.....	15
5.2. MARCO HISTORICO.....	17
5.3. MARCO TEORICO .....	24
5.3.1. Proceso de diseño mecánico .....	24
5.3.1.1. Anclajes y accesorios .....	26
5.3.1.2. Procesos de manufactura en el diseño mecánico .....	30
5.3.1.2.1. Taladrado .....	30
5.3.1.2.2. Corte .....	30
5.3.1.2.3. Corte laser.....	30
5.3.2. Proceso de diseño electrónico / eléctrico .....	30
5.3.2.1. Sensores industriales.....	31
5.3.2.1.1. Sensor final de carrera .....	31
5.3.2.1.2. Sensor inductivo.....	33
5.3.2.1.3. Sensor capacitivo .....	33
5.3.2.1.4. Sensores fotoeléctricos .....	34
5.3.2.1.5. Sensor ultrasónico.....	36
5.3.2.1.6. Sensores de temperatura .....	37
5.3.2.1.7. Linealidad en los sensores .....	41
5.3.2.2. Tipos de señales eléctricas de los sensores .....	42
5.3.2.2.1. Señal de salida tipo I .....	42
5.3.2.2.2. Señal de salida tipo II .....	43
5.3.2.2.3. Señal de salida tipo III .....	43
5.3.2.2.4. Señal de salida tipo IV .....	44
5.3.2.2.5. Señal de salida tipo V.....	45
5.3.2.3. Selectividad eléctrica .....	45
5.3.3. Proceso de diseño de software y automatización .....	45

5.3.3.1.	Controlador lógico programable - PLC .....	46
5.3.3.1.1.	Controlador lógico programable (PLC) compacto .....	47
5.3.3.1.2.	Controlador lógico programable (PLC) semimodular .....	48
5.3.3.1.3.	Controlador lógico programable (PLC) modular.....	48
5.3.3.2.	Interfaz hombre maquina (HMI) .....	50
5.3.3.3.	Softwares de automatización .....	51
5.3.4.	Herramientas de gestión de proyectos.....	54
5.3.4.1.	Checklist .....	55
5.3.4.2.	Power BI .....	55
5.3.4.3.	Stakeholders y matriz interés-poder.....	55
5.3.4.4.	Estructura de desglose de trabajo EDT .....	56
5.3.4.5.	Estructura de desglose de recursos.....	56
5.3.4.6.	Diagrama de espina de pescado .....	56
5.3.4.7.	Matriz de riesgos .....	57
5.3.4.8.	Organigrama.....	57
5.4.	MARCO CONCEPTUAL .....	58
5.4.1.	Proceso de diseño mecánico .....	58
5.4.2.	Proceso de diseño electrónico / eléctrico .....	59
5.4.3.	Proceso de diseño de software y automatización .....	61
5.4.4.	Herramientas de gestión de proyectos.....	63
5.5.	MARCO LEGAL.....	64
5.5.1.	NORMAS TECNICAS .....	64
5.5.1.1.	Distribución de potencia en lazo cerrado y programada.....	64
5.5.1.2.	Limitación de potencia en circuitos de señalización .....	65
5.5.1.3.	Cables y conductores. ....	65
5.5.1.4.	Norma IEC-61131 en sistemas de automatización .....	66
5.5.1.5.	Norma IEC-6052 grado de protección IP .....	66
5.5.1.6.	Norma IEC 60947-1 “Selectividad de disparo (para sobreintensidad)” .....	66
6.	METODOLOGIA .....	67
6.1.	TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION .....	67
6.2.	POBLACION.....	68
6.3.	PROCEDIMIENTO METODOLOGICO .....	68
7.	DESARROLLO .....	73
7.1.	REVISIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL PROCESO EXISTENTE .....	73
7.1.1.	Problemática del proceso de tamizado .....	73

7.1.2.	Procedimiento para la recolección de datos de los derrames .....	79
7.1.3.	Medición de cantidades derramadas y costos de limpiezas .....	81
7.1.4.	Análisis de los procesos de tamizado automatizados .....	86
7.1.5.	Definición de la solución propuesta.....	87
7.1.5.1.	Componentes clave .....	88
7.1.5.2.	Beneficios y ventajas de la solución propuesta .....	89
7.1.5.3.	Funcionamiento detallado de la solución propuesta.....	89
7.1.5.3.1.	Inicio del proceso en modo automático .....	90
7.1.5.3.2.	Finalización del proceso en modo automático .....	91
7.1.5.3.3.	Inicio y finalización del proceso en modo manual .....	91
7.1.5.3.4.	Operación y visualización .....	91
7.2.	ELABORACION DEL DISEÑO MECANICO, ELECTRONICO, ELECTRICO Y DE SOFTWARE DEL SISTEMA AUTOMATIZADO.....	92
7.2.1.	Proceso de diseño mecánico .....	93
7.2.1.1.	Diseño del soporte con perfil T-Slot .....	94
7.2.1.2.	Diseño de las tuercas en T .....	96
7.2.1.3.	Diseño mecánico del sensor .....	97
7.2.1.4.	Ensamble del sistema mecánico.....	100
7.2.2.	Proceso de diseño electrónico / eléctrico .....	101
7.2.2.1.	Criterios de selección del sensor .....	101
7.2.2.2.	Selección del sensor para la medición de nivel.....	104
7.2.2.3.	Linealización de la señal analógica de los sensores .....	106
7.2.2.4.	Selección del actuador del sistema de control .....	109
7.2.2.5.	Linealización de la señal analógica de la electroválvula reguladora de flujo.....	112
7.2.2.6.	Dimensionamiento de protecciones y selectividad eléctrica .....	114
7.2.2.6.1.	Requerimientos para el diseño de selectividad eléctrica.....	115
7.2.2.6.2.	Diseño del diagrama eléctrico unifilar de la red de la planta .....	119
7.2.3.	Proceso de diseño de software del sistema automatizado .....	121
7.2.3.1.	Selección del controlador lógico programable (PLC) .....	125
7.2.3.2.	Selección de la interfaz gráfica HMI.....	128
7.2.3.3.	Dimensionamiento de la fuente de alimentación del sistema .....	131
7.2.3.4.	Diseño y programación del sistema de automatización.....	135
7.2.3.4.1.	Escalamiento y tratamiento de la señal analógica del sensor .....	136
7.2.3.4.2.	Control del proceso en modo automático y manual .....	140
7.2.3.4.3.	Programación y configuración del regulador PID.....	147

7.2.3.5.	Programación y diseño de horómetros para el proceso de tamizado .....	155
7.2.3.6.	Programación y diseño de la interfaz gráfica HMI .....	158
7.3.	VALIDAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO MEDIANTE PRUEBAS Y SIMULACIONES.....	164
7.3.1.	Simulación y validación de funcionamiento del sistema automatizado.....	164
7.3.1.1.	Simulación del proceso en modo automático .....	164
7.3.1.2.	Simulación de una falla con potencial de causar un derrame de producto ..	165
7.3.1.3.	Simulación del proceso en modo manual.....	166
7.3.1.4.	Simulación y visualización del registro de horómetros .....	167
7.3.1.5.	Simulación y visualización de las alarmas del proceso .....	168
7.3.1.6.	Grafica de la respuesta del regulador PID a través de simulación .....	169
7.4.	IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE PROYECTOS .....	174
7.4.1.	Creación de Checklist.....	175
7.4.2.	Definición y categorización de los Stakeholders .....	176
7.4.3.	Creación de la estructura de desglose de trabajo EDT .....	178
7.4.4.	Creación de la estructura de desglose de recursos.....	180
7.4.5.	Creación del organigrama del proyecto.....	181
7.4.6.	Matriz de riesgos del proyecto .....	182
7.4.7.	Selección de proveedores para el proyecto .....	184
7.4.8.	Selección de contratistas para el proyecto.....	185
8.	RECURSOS DISPONIBLES.....	188
9.	CRONOGRAMA .....	189
10.	BIBLIOGRAFIA .....	191

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b>	<i>Tipos de cabeza de tornillo más comunes .....</i>	<i>29</i>
<b>Tabla 2</b>	<i>Tipos de termopares y su rango típico.....</i>	<i>38</i>
<b>Tabla 3</b>	<i>Tipos de termopares y sus aplicaciones.....</i>	<i>39</i>
<b>Tabla 4</b>	<i>Tipos de PLC, ventajas y desventajas.....</i>	<i>49</i>
<b>Tabla 5</b>	<i>Algunos tipos de software para HMI y sus fabricantes .....</i>	<i>51</i>
<b>Tabla 6</b>	<i>Algunos tipos de software para PLC y sus fabricantes.....</i>	<i>53</i>
<b>Tabla 7</b>	<i>Metodología objetivo específico 1.....</i>	<i>69</i>
<b>Tabla 8</b>	<i>Metodología objetivo específico 2.....</i>	<i>70</i>
<b>Tabla 9</b>	<i>Metodología objetivo específico 3.....</i>	<i>71</i>
<b>Tabla 10</b>	<i>Metodología objetivo específico 4.....</i>	<i>72</i>
<b>Tabla 11</b>	<i>Medición de derrames mes 1.....</i>	<i>81</i>
<b>Tabla 12</b>	<i>Costos de limpieza mes 1.....</i>	<i>82</i>
<b>Tabla 13</b>	<i>Medición de derrames mes 2.....</i>	<i>83</i>

<b>Tabla 14</b> Costos de limpieza mes 2.....	84
<b>Tabla 15</b> Medición de derrames mes 3.....	84
<b>Tabla 16</b> Costos de limpieza mes 2.....	85
<b>Tabla 17</b> Características sensor óptico O1D100.....	104
<b>Tabla 18</b> Valores de entrada y salida del sensor.....	107
<b>Tabla 19</b> Linealidad del sensor óptico O1D100.....	108
<b>Tabla 20</b> Características Electroválvula reguladora PREL-90-HP3-A4-A-20CFX-S1-4.....	110
<b>Tabla 21</b> Valores de entrada y salida del actuador.....	112
<b>Tabla 22</b> Linealidad de la válvula PREL-90-HP3-A4-A-20CFX-S1-4.....	113
<b>Tabla 23</b> Parámetros de la red de Media tensión MT.....	117
<b>Tabla 24</b> Parámetros de la red de Baja tensión BT.....	117
<b>Tabla 25</b> Interruptores ideales para la selectividad por zonas.....	118
<b>Tabla 26</b> Interruptores ideales para la selectividad para cada motor.....	119
<b>Tabla 27</b> Listado de entradas digitales del controlador lógico programable (PLC).....	122
<b>Tabla 28</b> Listado de salidas digitales del controlador lógico programable (PLC).....	123
<b>Tabla 29</b> Listado de entradas y salidas analógicas del (PLC).....	124
<b>Tabla 30</b> Cantidades totales de entradas y salidas requeridas.....	125
<b>Tabla 31</b> Referencia del controlador lógico programable (PLC).....	126
<b>Tabla 32</b> Características del controlador lógico programable (PLC).....	127
<b>Tabla 33</b> Características de la interfaz gráfica HMI.....	130
<b>Tabla 34</b> Demanda de corriente.....	131
<b>Tabla 35</b> Lenguajes de programación Tia Portal.....	135
<b>Tabla 36</b> Costos de los materiales para la instalación.....	188

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Línea de tiempo de la automatización parte 1.....	19
<b>Figura 2</b> Línea de tiempo de la automatización parte 2.....	20
<b>Figura 3</b> Esquema de la agricultura de precisión.....	22
<b>Figura 4</b> Clasificación de los materiales.....	24
<b>Figura 5</b> Perfil V-Slot tipo 2020.....	25
<b>Figura 6</b> Tuerca cabeza de martillo o tuerca T.....	26
<b>Figura 7</b> Partes de una rosca de un tornillo según el SI.....	27
<b>Figura 8</b> Designación de un tornillo según el SI.....	28
<b>Figura 9</b> Sensor final de carrera.....	32
<b>Figura 10</b> Movimientos de detección sensor final de carrera.....	32
<b>Figura 11</b> Sensores inductivos.....	33
<b>Figura 12</b> Detección de líquido.....	34
<b>Figura 13</b> Sensor fotoeléctrico de barrera.....	35
<b>Figura 14</b> Sensor réflex con espejo.....	35
<b>Figura 15</b> Sensor auto réflex.....	36
<b>Figura 16</b> Medición de nivel a través de un sensor ultrasónico.....	36
<b>Figura 17</b> Termopar con cable de conexión directa.....	37
<b>Figura 18</b> RTD con cabezal.....	40
<b>Figura 19</b> Transmisor de temperatura para cabezal.....	41
<b>Figura 20</b> Comportamiento señal tipo I.....	42
<b>Figura 21</b> Comportamiento señal tipo II.....	43
<b>Figura 22</b> Comportamiento señal tipo III.....	44
<b>Figura 23</b> Comportamiento señal tipo IV.....	44

<b>Figura 24</b> Estructura interna de un plc .....	46
<b>Figura 25</b> PLC compacto .....	47
<b>Figura 26</b> PLC semimodular .....	48
<b>Figura 27</b> PLC netamente modular .....	49
<b>Figura 28</b> HMI (Interfaz hombre maquina) .....	51
<b>Figura 29</b> Contextualización del proceso de tamizado .....	73
<b>Figura 30</b> Evidencia de los derrames .....	74
<b>Figura 31</b> Evidencia de los derrames .....	74
<b>Figura 32</b> Cisterna con sedimento .....	75
<b>Figura 33</b> Caso de estudio tipo B con 5W+1H.....	76
<b>Figura 34</b> Caso de estudio tipo B con espina de pescado .....	77
<b>Figura 35</b> Caso de estudio tipo B con 5 por que .....	78
<b>Figura 36</b> Diagrama PID .....	88
<b>Figura 37</b> Diseño inicial perfil T-slot .....	94
<b>Figura 38</b> Diseño en 3D del perfil T-slot.....	95
<b>Figura 39</b> Perforaciones en perfil T-slot.....	96
<b>Figura 40</b> Diseño en 3D de la tuerca en T .....	97
<b>Figura 41</b> Modelo 3D sensor óptico O1D100.....	98
<b>Figura 42</b> Dimensiones sensor óptico O1D100 .....	98
<b>Figura 43</b> Modelo 3D sensor óptico O1D100 en SolidWorks .....	99
<b>Figura 44</b> Medidas entre centros de cada Slot del perfil .....	99
<b>Figura 45</b> Ensamble del sistema .....	100
<b>Figura 46</b> Diagrama de conversión de una señal analógica .....	106
<b>Figura 47</b> Linealización de la señal del sensor óptico O1D100 .....	109
<b>Figura 48</b> Electroválvula reguladora PREL-90-HP3-A4-A-20CFX-S1-4 .....	110
<b>Figura 49</b> Linealización de la señal de la válvula PREL-90-HP3-A4-A-20CFX-S1-4.....	114
<b>Figura 50</b> Diagrama unifilar de la red .....	120
<b>Figura 51</b> Integración del controlador lógico programable (PLC) y la interfaz HMI en el mismo software.....	128
<b>Figura 52</b> Estructura de una HMI Simatic.....	129
<b>Figura 53</b> Interconexión de fuente de alimentación con PLC y HMI .....	132
<b>Figura 54</b> Fuentes de alimentación según los requerimientos .....	133
<b>Figura 55</b> Configuración de fuente de alimentación redundante.....	134
<b>Figura 56</b> Dimensionamiento de la fuente de alimentación de 24VDC .....	134
<b>Figura 57</b> Rangos de medición de intensidad de 0-20mA y de 4-20mA .....	137
<b>Figura 58</b> Programación del escalamiento y tratamiento de la señal del sensor para 0mm y 0% de llenado. ....	139
<b>Figura 59</b> Programación del escalamiento y tratamiento de la señal del sensor para 250mm y 100% de llenado. .	140
<b>Figura 60</b> Condiciones de arranque manual y automático.....	141
<b>Figura 61</b> Activación y desactivación del regulador PID en modo automático .....	141
<b>Figura 62</b> Arranque en modo manual y automático tamiz 1.....	142
<b>Figura 63</b> Arranque en modo automático tamiz 2 y arranque en manual .....	143
<b>Figura 64</b> Arranque en modo automático bomba de descarga tamices .....	144
<b>Figura 65</b> Detención de tamices y bomba de descarga en automático.....	145
<b>Figura 66</b> Apagado de todo el proceso en modo automático .....	146
<b>Figura 67</b> Poner a cero (0) la salida analógica del actuador que controla la bomba .....	146
<b>Figura 68</b> Estructuras de regulación según la magnitud física .....	147
<b>Figura 69</b> Objetos tecnológicos dependiendo de la CPU utilizada.....	148
<b>Figura 70</b> Instrucción PID_Compact .....	149
<b>Figura 71</b> Tipo de regulación PID_Compact .....	150
<b>Figura 72</b> Límites del valor real PID_Compact.....	151
<b>Figura 73</b> Escala del valor real PID_Compact .....	151

<b>Figura 74</b> Monitorización del valor real PID_Compact .....	152
<b>Figura 75</b> Límites del valor de salida y valor sustituto en caso de error del PID_Compact .....	153
<b>Figura 76</b> Parámetros del PID_Compact .....	153
<b>Figura 77</b> Bloque PID_Compact con entradas y salidas asignadas .....	154
<b>Figura 78</b> Bloque de datos con variables de horómetros .....	156
<b>Figura 79</b> Bloque de función para horómetros .....	156
<b>Figura 80</b> Contador de tiempo en SCL .....	157
<b>Figura 81</b> Bloque final del contador de tiempo .....	158
<b>Figura 82</b> Red de comunicación entre PLC y HMI .....	159
<b>Figura 83</b> Pantalla principal interfaz gráfica HMI .....	161
<b>Figura 84</b> Operación y visualización en modo automático .....	162
<b>Figura 85</b> Operación y visualización en modo manual .....	163
<b>Figura 86</b> Simulación del proceso en modo automático .....	165
<b>Figura 87</b> Simulación de fallas con potencial de causar un derrame de producto .....	166
<b>Figura 88</b> Simulación del proceso en modo manual .....	167
<b>Figura 89</b> Simulación y visualización del registro de horómetros .....	168
<b>Figura 90</b> Simulación y visualización de alarmas del proceso .....	169
<b>Figura 91</b> Respuesta del regulador PID a través de simulación con Setpoint de 55% .....	170
<b>Figura 92</b> Respuesta del regulador PID a través de simulación con Setpoint de 45% .....	171
<b>Figura 93</b> Respuesta del regulador PID a través de simulación con Setpoint de 75% .....	172
<b>Figura 94</b> Respuesta del regulador PID cuando el proceso finaliza .....	173
<b>Figura 95</b> Incremento de los proyectos .....	174
<b>Figura 96</b> Checklist del proyecto .....	175
<b>Figura 97</b> Checklist del proyecto con avances en cada etapa .....	176
<b>Figura 98</b> Listado de Stakeholders .....	177
<b>Figura 99</b> Estructura de desglose de trabajo EDT del proyecto .....	179
<b>Figura 100</b> Estructura de desglose de recursos del proyecto .....	180
<b>Figura 101</b> Organigrama del proyecto .....	182
<b>Figura 102</b> Matriz de riesgos del proyecto .....	183
<b>Figura 103</b> Selección de proveedores mediante grafico de radar .....	185
<b>Figura 104</b> Selección de contratistas mediante grafico de radar .....	187
<b>Figura 105</b> Cronograma del proyecto .....	190

## 1. RESUMEN

En este documento se presenta una propuesta con el objeto de satisfacer las necesidades de un proceso de producción en una empresa del país, donde se carece de un control en el proceso de tamizado, es decir, el proceso funciona manual y constantemente se evidencian pérdidas a causa de los derrames de producto causados por el bombeo excesivo el cual no se controla ni se regula ya que el operador no está constantemente atento al proceso. Actualmente se cuenta con varias alternativas para la automatización de procesos industriales, dentro de ellos se destacan las alternativas que son implementadas con controladores lógico-programables (PLC) debido a sus amplias características y a su robustez para diferentes ambientes para su funcionamiento. Tomando en cuenta lo anterior y siendo acordes con la necesidad de solucionar esta problemática, bajo la premisa de las diferentes variables encontradas, se optó por tomar para esta propuesta la automatización del proceso mediante un controlador programable de Siemens a través de la plataforma de Tia Portal. La plataforma de Siemens es una herramienta flexible la cual permitirá desarrollar y controlar las variables que intervienen en el proceso dando resultados satisfactorios obtenidos en etapas previas experimentales.

El desarrollo de este proyecto beneficia principalmente a la empresa ya que se eliminarán los derrames generados en el proceso de tamizado los cuales detienen el proceso e incurrir en contaminación ya que los productos cerámicos son compuestos por materiales que en poco tiempo producen sedimentación y adicionalmente tienen aditivos químicos que pueden afectar a las personas al tener contacto con ellos, por lo tanto estos recursos se deben disponer externamente en rellenos destinados para esto, las comunidades cercanas se ven afectadas por este tipo de disposiciones, al realizar este proyecto se eliminará esta disposición y las comunidades cercanas a las zonas destinadas para disponer estos residuos peligrosos tendrán la oportunidad de gozar de un ambiente más ideal para vivir.

El proyecto se desarrollará en el Parque Industrial Corona ubicado en el km 2 vía Briceño Sopo en el área de tamizado, buscando beneficios en la eficiencia de producción, reducción de costos e impactos ambientales, también ser una empresa líder en la eficiencia tecnológica en el proceso de tamizado.

## 2. FORMULACION DEL PROBLEMA

A nivel mundial la industria ha venido creciendo exponencialmente, esto conlleva a grandes exigencias a nivel tecnológico y humano, lo que permite que cada país desarrolle actualizaciones de maquinarias, equipos, sistemas e infraestructura, cada uno de los mismos son responsables de su crecimiento económico y social, sin embargo, para poder alcanzar los más altos estándares de eficiencia se debe tener un control en cada uno de sus procesos de producción. Las diferentes plantas de producción están sujetas a grandes retos y oportunidades de mejora, su desarrollo y crecimiento exige que día a día se establezcan nuevas alternativas para potencializar sus procesos con el fin de que los productos sean de la más alta calidad. (Gonzales, 2014)

Por otra parte muchas industrias a nivel Latinoamericano muestran falencias históricas en cuanto a los métodos de control de sus procesos, una de las carreras más involucradas para dar solución a esta problemática es la Ingeniería Electrónica, según (Peña, 1970), “Es primordial contar con laboratorios específicos de costosa dotación y mantenimiento, siendo habitual en estos últimos años, la realización de prácticas de circuitos de carácter básico, con un apoyo muy fuerte de software de simulación para la parte de convertidores estáticos”.

De este modo podemos evidenciar que la falencia de herramientas de automatización es un problema que compete directamente al desarrollo del conocimiento ingenieril y se evidencia en las grandes plantas de producción, sin embargo, la gran mayoría ha optado por renovar sus procesos e implementar soluciones de automatización que permiten marcar la diferencia en la actualidad.

La falta de herramientas o sistemas de control en los procesos industriales comprometen a las empresas que podrían quedarse obsoletas en el sentido de no estar a la vanguardia de las nuevas tecnologías. (Álvarez, 2015)

En el contexto nacional la problemática es aún más relevante, la gran mayoría de los procesos industriales cuentan con recursos limitados u obsoletos para generar soluciones innovadoras en las distintas ramas de la ingeniería, con mayor énfasis en la ingeniería electrónica y mecatrónica, ya que son en estas disciplinas donde se requieren un gran número de herramientas para generar soluciones de control y automatización de los procesos y por consiguiente, un desempeño importante en la producción industrial. “Otro factor que ha dificultado el desarrollo de la industria colombiana, es la separación evidente entre las instituciones de educación y la empresa, que ha originado la formación

masiva de ingenieros, con una baja cultura de investigación y desarrollo, además de una orientación que propende por la adaptación de la tecnología existente, lo que conduce a desempeños básicamente en áreas de mantenimiento y operación de la misma, alejando las posibilidades de desarrollo e innovación”.(Rey S., 2009).

En este momento, la producción para el sector industrial presenta problemas debido a las fallas humanas, por este motivo cada día se incrementa la aceleración del avance de las ciencias y el desarrollo tecnológico. Aun así, se encuentran problemas en el desempeño profesional como lo aclara (Serna & Serna, 2015):

“La ingeniería en Colombia está en una etapa de transición entre los viejos y los nuevos principios. Los ingenieros de hoy no son capaces de hacer un trabajo bien hecho, porque incurren en errores infantiles e increíbles y la solución requiere de un experto internacional para que les explique lo que ya saben”.

El proceso de tamizado de la empresa Corona S.A en la planta de producción de pisos y paredes, cuenta con un importante número de dispositivos y sistemas que intervienen durante el proceso de tamizado, tales como, bombas neumáticas, tamices vibratorios, tableros eléctricos de control y potencia y sistemas mecánicos de anclaje. Sin embargo, encontramos una oportunidad de mejora en el proceso de tamizado por medio de la automatización del proceso con el fin de eliminar los derrames de producto que se genera al no tener un control del bombeo hacia los tamices, según los requerimientos industriales y de mercado. Siendo implementado en cada uno de los tamices del proceso, garantizando la eliminación de los constantes derrames generados, en la planta se genera mensualmente entre 2 y 4 toneladas de lodos sedimentados procedentes de los derrames en el proceso de tamizado, a causa de esto la empresa tiene que recurrir a una empresa externa que genera una limpieza mensual del tanque acumulador con el fin de extraer todo el lodo sedimentado y finalmente una empresa externa procede con la disposición final de estos sedimentos en zonas destinadas como rellenos sanitarios para este tipo de residuos sólidos y/o peligrosos.

Este proyecto se enfocará en la rama de automatización y control industrial, su comportamiento, características, usos y clasificaciones, además potenciará el desarrollo del proceso, con el fin de generar un alto grado de innovación en las tendencias tecnológicas de Latinoamérica como lo menciona (Humberto & Rojas, 2017). El proyecto de implementación tiene una duración de 6 meses a partir de abril de 2022.

De acuerdo con el análisis previo y con base en las falencias históricas y actuales de esta problemática se plantea la siguiente pregunta de investigación. ¿Como implementar una solución de automatización para potenciar el proceso de tamizado en la planta de

pisos y paredes de la empresa Corona en el municipio de Sopo Cundinamarca?

### 3. JUSTIFICACIÓN

Hoy en día, con la integración y la convergencia de algunas ingenierías que conforman la Mecatrónica, se han vuelto imprescindibles e importantes para adentrarnos al conocimiento de los fundamentos teóricos y prácticos que lleven a los profesionales a diseñar e implementar las nuevas tecnologías, con él único propósito de entender las diferentes características que se presentan con los múltiples tipos de soluciones que forman parte integral de un sistema industrial.

El problema que se evidencia actualmente en las diferentes plantas de producción, concretamente en la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A, es la necesidad de optimizar sus procesos reduciendo costos e impactos ambientales. Esto quiere decir que las herramientas tecnológicas existentes usadas en sus diferentes procesos se pueden mejorar para que la cadena de producción sea más eficiente y se consolide con el tiempo. Por lo tanto, es vital diseñar un sistema automatizado que confiera la interacción de cada etapa del proceso, que permita eliminar los derrames y a su vez reducir los costos destinados a la limpieza y disposición final de residuos.

Es importante enfatizarnos en este problema, ya que, las repercusiones de un proceso no controlado influyen directamente con la calidad de los productos, el compromiso ambiental de cada empresa y también en la ineficiencia económica y productiva del país. “El medio laboral requiere de personal con fuertes competencias tecnológicas en una nueva economía dirigida por la tecnología. En un sentido amplio, tener una competencia tecnológica es tener los conocimientos y habilidades para entender, hacer uso y tomar decisiones acerca de la tecnología” según comenta (Castellanos, 2009).

Según (Castillo, 2011) la forma correcta de plasmar el conocimiento y la innovación es por medio de nuevas maneras donde las prácticas materializan las actividades propuestas en cada currículo y aplicación.

“Con la aplicación de nuevas técnicas de manufactura los productos se están haciendo más compactos, generando un gran crecimiento aplicado a dispositivos microelectrónicos como sensores, actuadores, motores, máquinas y robots, con aplicaciones en muchos campos de investigación e ingeniería”. (Castillo, 2011)

Es así como se propone automatizar el proceso de tamizado para controlar el proceso en sus tres etapas, llenado, tamizado y descarga, a través de los parámetros definidos

de la automatización industrial que garanticen un buen funcionamiento, operación segura y que elimine los derrames generados actualmente. Además de su facilidad de operación en un ambiente interactivo para que el controlador del proceso se sienta identificado y tenga un control fácil y seguro del proceso, de tal modo que sirva como herramienta innovadora para el control de aplicaciones y procesos con implementaciones Mecatrónicas con una visión inter y multidisciplinaria como lo menciona (Alvarado, 2009).

Luego es importante tener en cuenta que esta propuesta pretende implementar los conocimientos de la rama de automatización industrial, con el objetivo de controlar las distintas etapas del proceso de tamizado, implementando técnicas de control en cuanto a sensórica, lógica cableada, automatización y control, esto permitirá que la empresa tenga una visión más cercana de las nuevas tecnologías y que así mismo suplán las necesidades técnicas para mejorar sus procesos, en cuanto a la transformación y producción de la industria nacional, pero no solamente en este rama económica, si no, que también a la agroindustria y al medio ambiente como lo menciona (Bermúdez Moreno, 2012).

El desarrollo del proyecto permitirá controlar el proceso de tamizado automáticamente, lo cual genera que el proceso sea más rápido debido a que el operador no tiene que realizar desplazamientos largos para el arranque de cada equipo por separado, el sistema tendrá sensores de nivel y una válvula proporcional para cada bomba neumática, la cual será encargada de regular el paso de aire y de esta manera controlar el llenado por medio de la retroalimentación del sensor de llenado, de esta manera eliminar el derrame del tamiz, al eliminar este derrame inicialmente la empresa se beneficia ya que se enfoca en la solución de una problemática planteando una alternativa para incrementar la productividad, competitividad, la eliminación de los derrames generadores de lodos y sedimentos que se convierten en residuos sólidos los cuales requieren una disposición final que no es favorable con el desarrollo sostenible y la conservación de los recursos naturales.

La automatización del proceso permitirá que el controlador se ocupe de diferentes procesos sin estar 100% al tanto del proceso de tamizado, donde fácilmente podrá ver el estado de cada etapa del proceso mediante una visualización rápida por medio de una HMI, el proyecto permitirá a la empresa desarrollar futuras implementaciones en otras plantas de producción en pro del desarrollo y fortalecimiento de los procesos productivos en cuanto a tecnología de punta en Colombia teniendo en cuenta la disminución de los impactos ambientales en los procesos.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1.OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un sistema automatizado que permita eliminar el derrame de productos en el proceso de tamizado evitando derrames de productos que causan sedimentos y lodos en las plantas de agua, apoyado en herramientas de gestión de proyectos.

### **4.2.OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Analizar los requerimientos técnicos mecatrónicos frente al proceso de tamizado definiendo las características de la solución tecnológica apoyado en herramientas de gestión de proyectos.
- Elaborar diseño mecánico, diseño electrónico y de software del sistema automatizado para controlar el proceso de tamizado a partir de los requerimientos establecidos.
- Validar el correcto funcionamiento del sistema automatizado mediante pruebas y simulaciones.
- Implementar diferentes herramientas de gestión de proyectos para la correcta gestión de recursos técnicos y humanos a lo largo del proyecto.

## **5. MARCO REFERENCIAL**

### **5.1. ESTADO DEL ARTE**

Un común denominador en diferentes plantas de producción latinoamericanas es la falta de control en sus procesos productivos, que permitan un acercamiento a las tendencias de innovación en la actualidad, lo cual crea brechas que distancian el crecimiento y la estandarización de los procesos, teniendo como necesidad el continuo control y vigilancia por parte de las personas que tienen que controlar cada etapa de los procesos, según (CEPAL, 2019) el problema crece mucho más cuando se habla de procesos que tienen que ser controlados simultáneamente.

Es por ello por lo que en diferentes procesos de producción se ha evidenciado este problema y se han planteado diferentes proyectos en los cuales han creado y construido diversos sistemas de automatización para procesos de tamizado, dichas soluciones abren las puertas para entrar en soluciones innovadoras que facilitan el control de los procesos.

Para el presente proyecto es de suma importancia realizar un estudio frente a aquellos diversos proyectos y procesos investigativos en los cuales se identifiquen los diferentes avances con respecto a los procesos de tamizado que se han automatizado en diferentes campos de la industria, estos permitirán tener un mayor acercamiento al tema.

Teniendo en cuenta lo anterior uno el proyecto: Diseño y Construcción de un Equipo Mixto de Tamizado y Secado de Esporas de Hongos del Amaranto y su Uso como Bioplaguicida, este proyecto permite tener un acercamiento al proceso de diseño y construcción de un equipamiento de tamizado y secado, este con el objetivo de separar las esporas de los hongos del Amaranto usándolo como Bioplaguicidas y mejorando a su vez una mejor en la calidad de la producción, dicho proyecto fue desarrollado en el Departamento de Ciencias Biológicas de la facultad de recursos naturales de la ESPOCH( ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO) (Álvarez, 2010)

Inicialmente durante el diseño del equipamiento se realiza una simulación de los procesos con lo cual se observan e identificar las variables de los datos, seguidamente se ejecutaron cálculos de ingeniería para el desarrollo respectivo de su dimensionamiento, el equipo de tamizado y secado cuenta con unas dimensión de 40 cm de ancho por 50 cm de alto y a su vez fue construido en un acero AISI de 304 lo cual permitió evitar contaminación en las esporas de los hongos, dicho equipamiento se

enfrentó a diversas pruebas de funcionamiento en los diversos de tamizado y secado, lo cual les permitió obtener un 0,90 % de concentración de esporas, con lo cual los investigadores concluyeron que el equipamiento diseñado y construido era eficiente frente a los objetivos trazados.

Por otro lado en el Laboratorio de Molienda y Tamizado de la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Departamento de Ingeniería de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, se llevó a cabo un trabajo investigativo el cual permite reconocer la importancia de los procesos de tamizado frente a los procesos industriales de reducción en el tamaño de materiales sólidos en el cual se toma en cuenta los diferentes fines con los cuales este es realizado, a partir de ello se busca obtener y producir partículas más pequeña de solidos grandes, este procesos se llevó a cabo a partir de un análisis de granulométrico tomando en cuenta una muestra de maíz en la cual se colocó una muestra de tamices que fueron acoplados de forma vertical permitiendo que el tamiz pequeño fuese ubicado en el fondo y el de tamaño mayor se ubicase en la parte superior.

Para este proyecto fue utilizado un tamiz vibratorio el cual puede llegar usado con una gran capacidad, este tipo de tamices puede llegar a tener un o más superficie tamizante, su movimiento vibratorio se puede comunicar al tamiz de forma mecánica o eléctrica, su diferencia puede radicar en que en la forma mecánica se trasmite desde excéntricas hacia la zona de la carcasa, por el contrario, en la forma eléctrica se generan en solenoides que comunican y transmiten la carga directamente a los tamices.

Una de las problemáticas presentadas durante este proceso está relacionada directamente con la problemática presentada en el presente proyecto puesto que en trabajo realizado en la Universidad Jorge Tadeo lozano se identifica la perdida de material obtenida en el proceso practico puesto que se salpimentaron 105 gramos y a la salida se obtienen 104,395 gramos.

Por otro lado los hallazgos obtenidos en el proyecto: Desarrollo de un prototipo para la obtención de materia prima en polvo de suplementos alimenticio, de la facultad de ingeniera llevado a cabo en la Universidad Nacional Autónoma de México este trabajo está enfocado directamente en el desarrollo y construcción de un prototipo el cual permite obtener harinas que sean convertidas en suplementos alimenticios que sean producidos a bajos costos, los cuales benefician de manera significativa a personas que no tengan una buena nutrición.

Para este dicho proyecto se tuvo en cuenta los procesos de molienda y tamizado el cual fue llevado a cabo a través de mallas de acero inoxidable, con diversos tamaños en sus

aberturas las cuales permitieron seleccionar las diversas partículas, este proceso de tamizado permitirá que las partículas de la harina sean consistentes y posean el mismo tamaño. (Peña, 2018)

Con lo anterior se puede evidenciar la amplia necesidad de tener un mayor control de los procesos, es evidente que los procesos controlados manualmente la mayoría de veces no son lo suficientemente eficientes cuando se requiere una producción constante y de calidad, es decir, se hace necesario que exista una relación estrecha entre los ingenieros mecánicos y los ingenieros de procesos para brindar una solución que satisfaga la necesidad de la producción con unos costos razonables, reduciendo al máximo los desperdicios, es así como en los anteriores proyectos la construcción e implementación de los sistemas automáticos de tamizado contribuyen a mejorar los esquemas de producción, convirtiéndose la automatización en una herramienta esencial dentro de las plantas de producción.

## **5.2.MARCO HISTORICO**

Desde los orígenes del ser humano la tecnología toma un papel muy importante, puesto que la especie humana se ha caracterizado por su gran habilidad para fabricar herramientas y/o instrumentos que faciliten y mejoren sus condiciones de vida, es así como la mayor parte del progreso de la humanidad se debe a la invención de diferentes procedimientos y mecanismos para la resolución de problemas concretos de la vida diaria. “Desde las primeras técnicas para encender fuego, hasta las complejas máquinas del mundo moderno, los seres humanos se han beneficiado de desarrollos técnicos cuya aparición y gradual refinamiento ha marcado profundamente los modos de organización social, así como las tradiciones y el acervo cultural de la civilización.” (Ordóñez, 2007)

Los sensores han existido desde siempre, debido a que el hombre tiene incluidos en su cuerpo y de diferentes tipos. El hombre experimenta sensaciones como calor o frío, duro o blando, fuerte o flojo, agradable o desagradable, pesado o no. Y poco a poco le ha ido añadiendo adjetivos a estas sensaciones para cuantificarlas como fresco, tibio, templado, caliente. Es decir, que día a día ha ido necesitando el empleo de magnitudes medibles más exactas. (Mayné, 2003)

La humanidad ha pasado por distintas revoluciones industriales y tecnológicas en los dos últimos siglos, cada una de ellas con sus propias características como, por ejemplo: el cambio en las fuentes de energía básicas, el dinamismo en las actividades industriales,

la localización, los diferentes medios de comunicación para y el transporte de las principales mercancías, personas e información personal se han optimizado. La tercera revolución inicio aproximadamente hace 40 años donde se logran grandes avances tecnológicos conociendo el concepto de “automatización” debido a que se inicia a sustituir la mano de obra en los diferentes procesos de fabricación, contribuyendo a que los procesos sean más eficientes, disminuyendo tiempos e impulsando la calidad de los productos, permitiendo que las diferentes empresas se vuelvan más innovadoras en el mercado. (Roel, 1998)

De acuerdo con lo anterior, la tercera revolución industrial fue el impulso para que las industrias con mayor poder adquisitivo sean más competitivas y consolidadas en el mercado, puesto que con la ayuda de las nuevas tecnologías y los nuevos recursos de automatización sus procesos serán más rápidos, eficientes y disminuirán los costos de mano de obra, aumentando sus ingresos y mejorando constantemente sus procesos implementando nuevas ayudas tecnológicas.

Para el caso de Colombia grandes procesos de automatización se han desarrollado en las grandes industrias del país, “especialmente las del sector de las bebidas, la industria del cemento y los alimentos, las cuales tienen la capacidad económica para asumir los costos de su implementación. De otra parte, las medianas y pequeñas industrias (que conforman la mayor parte de la producción nacional) se han quedado rezagadas ante estos desarrollos y es solo, por la presión de los mercados que se han visto obligadas a modernizar sus plantas, buscando incrementar la producción y disminuir costos, con el fin de ser competitivos en los nuevos nichos que se abren gracias a los tratados de libre comercio que el país ha firmado y que continuará estableciendo.” (Rey, 2009)

A continuación, se muestra una línea de tiempo donde se ilustran los eventos más significativos en la evolución de la automatización y la tecnología entre los años 1820 y 1920, entre los más importantes se encuentran la locomotora de vapor, la primera línea férrea, el primer telégrafo, se inventan dispositivos que han marcado la diferencia como el teléfono, el dinamo, el motor a gasolina y posteriormente el primer automóvil, seguidamente hacia los años 90 se inventan los primeros rayos X y el primer dirigible.

## Figura 1

### Línea de tiempo de la automatización parte 1



Fuente: (Mitsubishi, 2015)

Entre los años 1950 y 2010 se ilustran eventos mucho más avanzados debido a que las necesidades de evolucionar tecnológicamente siempre están en constante avance, se destacan inventos como la primera herramienta de maquinado controlada por computador la cual su lógica de funcionamiento aún era por cableado, las unidades electrónicas con el primer motor eléctrico de jaula de ardilla trifásico produciéndose masivamente, la exitosa era del plc inicia en 1968.

En el año 1978 a nivel de máquinas se encuentran dispositivos de programación eran muy grandes y pesado, la programación CNC a nivel de máquinas representó un proceso notable. (Mitsubishi, 2015)

Posteriormente surgen importantes tecnologías iniciando con una nueva herramienta como lo es la simulación en 1997, además la tecnología de automatización consiste cada vez más en un control descentralizado e inteligente y con componentes de control que se puedan comunicar con otros mediante Ethernet industrial (Mitsubishi, 2015), para

posteriormente utilizar el plc en chip o más conocido como el microcontrolador.

Dichos avances han sido significantes en la evolución tecnológica de la automatización, teniendo en cuenta que facilitan los diferentes procesos industriales y agropecuarios, así como también facilitan el trabajo de las personas y han evitado numerosas lesiones en las fábricas, fortaleciendo el desarrollo de los diferentes sectores económicos.

## Figura 2

### Línea de tiempo de la automatización parte 2



Fuente: (Mitsubishi, 2015)

Ahora bien, para lograr un mayor desarrollo tecnológico en la automatización de procesos industriales surge una constante evolución de los elementos más importantes en un proceso de automatizado de fabricación, “los sensores”, y la historia de estos elementos se da desde el primer y más sencillo sensor desarrollado por la empresa multinacional estadounidense Honeywell en el año 1969 hasta los dispositivos más sofisticados que se usan actualmente, la evolución de estos revolucionarios instrumentos han permitido aumentar significativamente la eficiencia, calidad y velocidad de los diferentes procesos industriales, así como también la investigación y el desarrollo científico en diferentes áreas de la ingeniería. (Custodio et al., 1999)

El centro de atención en el constante desarrollo de los sensores ha ido cambiando a lo largo de los años, como dice (Frank, 2000). En sus inicios la atención de los desarrolladores se mantuvo en el proceso para lograr una señal normalizada y que fuera

tratable por algún controlador, sin embargo, más adelante el foco de atención se centró en mejorar los diferentes sistemas digitales derivados de la conversión de la señal analógica a digital, siendo esto un factor importante para la detección de diferentes variables analógicas físicas tales como la distancia, presión o nivel, además también se trabajó mucho en mejorar la comunicación remota y la direccionalidad de la señal. (Custodio et al., 1999)

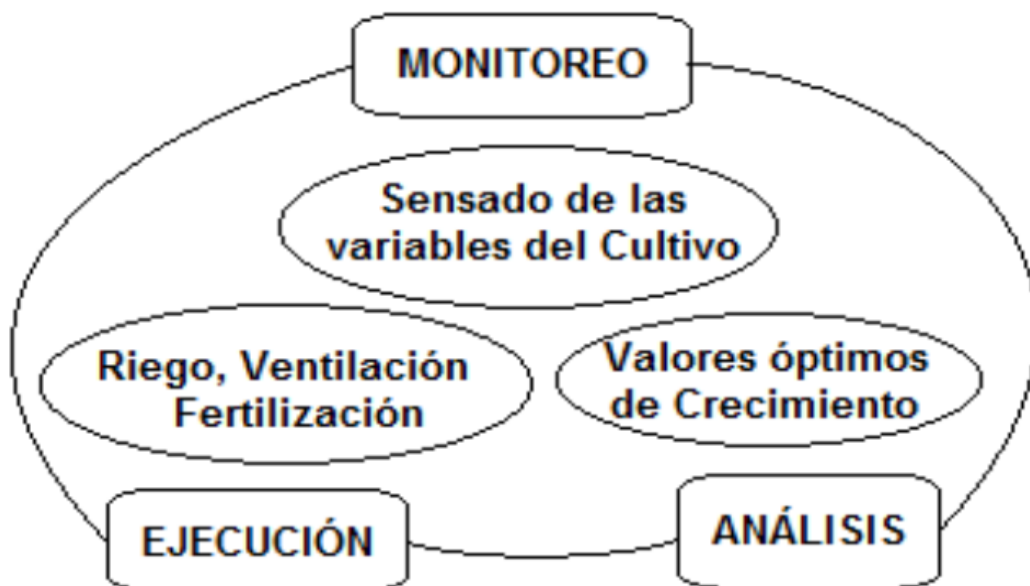
Hacia los años 80 se muestra una nueva tendencia donde los elementos más destacados son los sensores, esta nueva tendencia se da por la necesidad de mejorar los procesos productivos del sector agropecuario y se conoce como agricultura de precisión.

La agricultura de precisión se refiere a la evolución tecnológica de las máquinas agrícolas con el fin de facilitar los sistemas de producción agropecuarios, utilizando diferentes tipos de sensores y sistemas de posicionamiento global (GPS) para mapeo y aplicación de diferentes tipos de insumos con dosis exactas. (Bongiovanni et al., 2006)

Sobre el año 1983 en estados unidos se contempla la posibilidad de iniciar a producir granos de forma extensa con la ayuda de los computadores, y así mismo la implementación del manejo de los cultivos de forma automatizada teniendo en cuenta que la dosificación de insumos para las cosechas tenía una mejora considerable gracias a la implementación del GPS el cual ayudaba notoriamente al posicionamiento de las máquinas. Como se puede evidenciar, hace más de 20 años la agricultura de precisión ha sido objeto de estudios, los cuales buscan un controlar las diferentes variables en tiempo real, Australia y Estados Unidos has sido pioneros en investigaciones sobre este tema y por lo tanto en estas zonas del mundo se ha evidenciado un mayor desarrollo. Países como Australia han tenido desarrollos de automatización y control de las algunas de las variables más importantes en ciertos cultivos implementando dispositivos como PLC, sensores, motores, los cuales también marcan la diferencia al momento de optimizar procesos fuera de los cultivos. (Ibarra, 2012)

### Figura 3

*Esquema de la agricultura de precisión*



*Fuente:* (Burgos et al., 2015)

Con el paso de los años la agricultura de precisión ha tenido como principales aliados a los diferentes sensores que son capaces de monitorear las diferentes condiciones en todo momento, según (Ibarra, 2012) en la agricultura de precisión se hace necesario mantener un esquema retroalimentado que permita mantener un monitoreo constante sobre el estado de los diferentes cultivos a los cuales se les aplica el esquema de agricultura de precisión como se muestra en la figura 3, por lo tanto es necesario una lectura constante de los datos provenientes de los sensores, de esta manera se conoce la mayor información posible sobre el sistema que se va a controlar, posteriormente se analizan las condiciones del sistema para poder tomar decisiones para obtener un resultado final satisfactorio.

En América Latina la agricultura de precisión tuvo sus inicios con mayor fuerza en Argentina sobre el año 2000, ya que en este país se han desarrollado diferentes componentes y aplicaciones que contribuyen a las diferentes tecnologías para el manejo eficiente de cultivos con la ayuda de sistemas automatizados, el avance fue notorio y rápido que para el año 2005 ya contaban con todas las herramientas necesarias para una óptima implementación de sistemas con agricultura de precisión, dentro de estas herramientas se incluye el software, diferentes tipos de sensores y actuadores, GPS y

equipo capacitado para la solución de problemas. (Ochoa & Forero, 2012)

En conclusión se puede decir que los sensores y la automatización de procesos a lo largo de su historia han sido fundamentales para el desarrollo de diferentes industrias de producción, ya que con su implementación se han optimizado los procesos productivos y las empresas se han vuelto más competitivas en el mercado, ofreciendo productos con altos estándares de calidad, para el caso del sector agropecuario, los sensores de la mano de la automatización han tenido un impacto notorio en los procesos de producción agrícola, sin embargo no todos los países han automatizado dichos procesos debido a que la aceptación de la agricultura de precisión no está fortalecida en la mayoría de los casos por falta de presupuesto y por desconocimiento sobre las tecnologías.

A lo largo de los años la industria cerámica ha tenido una evolución grande, el proceso de tamizado se ha convertido en un proceso importante en cientos de industrias ya que por sus diversas prestaciones en cuanto a la separación de partículas sólidas de los diferentes fluidos se posiciona como una solución útil para muchos sectores. (Comision Europea, 2011)

En el sector de la manufactura cerámica este proceso es determinante para definir la calidad final del producto ya que permite la generación de productos libres de partículas o impurezas que pueden afectar el desarrollo del producto final, en este caso el producto final son pisos, paredes de la planta en Sopo Cundinamarca de la empresa corona S.A.

Durante muchos años este proceso ha evolucionado y se ha tornado más rápido con respecto a años anteriores ya que en el pasado el proceso era lento debido a la manipulación total por parte de los operarios y por esta razón las producciones eran de menor calidad y mucho más lentas.

Con la evolución de estos procesos se han optado alternativas mecánicas como los motores que generan movimiento mecánico y a su vez la vibración, de esta manera el proceso de separación de partículas es más rápido gracias a la ayuda del movimiento rotatorio que genera vibración sobre la superficie de la malla en la cual cae el producto a tamizar.

Otro aspecto importante de evolución del tamizado es la carga y descarga de los tamices ya que una alternativa rápida y eficiente son las bombas neumáticas, las cuales evitan el contacto directo de los operación con los materiales y el producto no es contaminado, de esta manera los procesos de tamizado muestran una evolución a lo largo de los años, siendo un proceso rápido y más eficiente comparado con años atrás, sin embargo los procesos siempre tienen aspectos por mejorar y las empresas siguen buscando soluciones para esto.

### 5.3.MARCO TEORICO

#### 5.3.1. *Proceso de diseño mecánico*

Inicialmente se debe de tener en cuenta que el proceso de tamizado ya existe en la planta de pisos y paredes, por lo tanto, ya existe un diseño mecánico de los principales elementos que están involucrados en el proceso, sin embargo, es necesario realizar adecuaciones mecánicas para el montaje de los diferentes sensores y actuadores que estarán presentes en la propuesta de automatización. Para esto se deben contemplar diferentes elementos y componentes mecánicos los cuales tienen sus propias características o generalidades, dichos componentes cumplen una respectiva función para el desarrollo y el adecuado montaje de los sensores y actuadores, una de sus principales funciones es asegurar que los sensores tengan un contacto mínimo con el producto ya que por ser productos generadores de lodos cerámicos pueden tener gran influencia en la medida del sensor y en la adquisición de datos por el PLC.

El conocimiento de los materiales, sus características, las diferentes aleaciones, así como sus aplicaciones más importantes tienen relevancia en el desarrollo de cualquier proyecto dentro del campo de la ingeniería mecatrónica.

En la industria se utilizan diversos materiales para los procesos de diseño, como, por ejemplo, aceros, hierro, aluminio, magnesio, carbono, azufre, silicio, entre otros. Para su clasificación se pueden dividir en dos grupos principales de acuerdo con las características de cada uno como se muestra en la figura 4.

**Figura 4**

*Clasificación de los materiales*



Fuente: (Del Castillo, 2008)

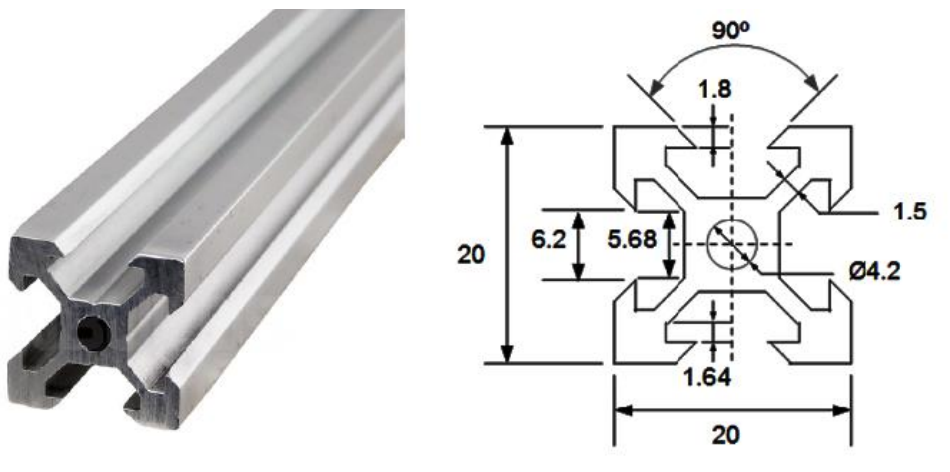
Un material importante para el desarrollo del proyecto es el aluminio, ya que es de fácil manipulación y cada vez tiene más aplicaciones, las cuales se pueden destacar en electricidad, aviación, automóviles, bicicletas, maquinas en el sector alimentario etc. (Sabaca, 2009)

Los anclajes de los sensores se realizarán utilizando perfiles de aluminio comercialmente conocidos como V-slot, estos perfiles tienen alta resistencia y un punto importante es que es de fácil montaje y no se necesitan herramientas especializadas para trabajar con ellos, dichos perfiles son usados comúnmente en una gran cantidad de máquinas industriales, adicionalmente la forma de unión del perfil v-slot es de montaje rápido y no se necesita acudir a procesos de soldadura. La unión de los perfiles se hace por medio de uniones tipo L de diferentes grados de inclinación, entre los cuales se pueden encontrar de 45°, 90°, 135° y uniones rectas de 180°. (Mechatronics, 2020)

Este sistema de perfiles de aluminio y accesorios son ideales para construir estructuras de máquinas. Es completamente Open Hardware y fue diseñado por Open Builds, está pensado para ser completamente modular, facilita la creación de máquinas, en especial de máquinas con deslizadores lineales tipo CNC. Los perfiles V-Slot son ampliamente usados en la industria por su ligereza y excelentes propiedades estructurales. La ventaja de este tipo de perfiles es su gran cantidad de accesorios, que lo convierte en una plataforma modular de fácil fabricación con excelentes resultados. (Mechatronics, 2020)

### Figura 5

*Perfil V-Slot tipo 2020*



Fuente: (Mechatronics, 2020)

### 5.3.1.1. Anclajes y accesorios

El anclaje de los diferentes elementos y/o componentes se realiza de forma rápida por medio de unas tuercas comercialmente conocidas como tuercas cabeza de martillo o tuerca T, las cuales permiten la fijación del elemento ejerciendo una fuerza dentro del slot del perfil de aluminio, los perfiles de aluminio se consiguen de diferentes medidas, por lo que es necesario seleccionar las tuercas adecuadas para cada perfil y así garantizar una fijación estable de los elementos en la estructura.

#### Figura 6

*Tuerca cabeza de martillo o tuerca T*



*Fuente:* (Mechatronics, 2020)

Los elementos de anclaje toman una función importante en el diseño mecánico ya que estos elementos son los principales para el ensamble de los diferentes componentes y se usan para fijar uno o más elementos a lo largo de una superficie, durante el diseño mecánico es necesario reconocer algunas características de los elementos de anclaje ya que generalmente se encuentran con diferentes características según sea la función que estos desarrollen.

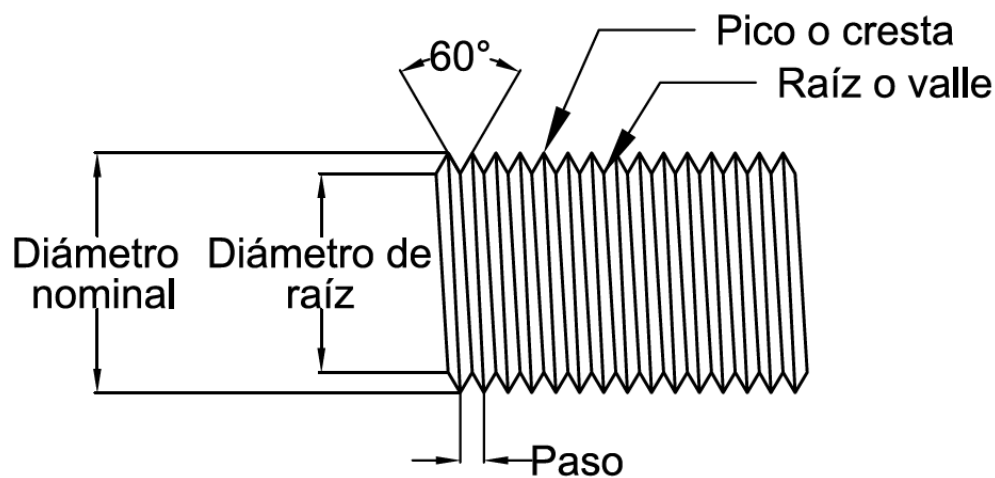
Los métodos más comunes para sujetar y ensamblar piezas incluyen el uso de elementos como pernos, tornillos, tuercas, remaches, cuñas, etc. Sin embargo, de estos métodos el que tiene mayor aplicación es la sujeción por medio de tornillos, por lo que en la mayoría de las máquinas o prototipos existen grandes cantidades de piezas unidas por medio de tornillos y estos proveen una fuerza de sujeción entre los componentes unidos. (Guadalupe, 1985)

Algunas de las características más importantes son la cabeza, el paso, diámetro externo, diámetro interno y longitud, y según la forma de corte de los dientes del elemento se tienen diferentes tipos de roscas las cuales se ajustan a diferentes normas de diseño como el Sistema Unificado (UN) o americano y el Sistema Internacional (SI).

En el Sistema Internacional (SI) la unidad principal son los milímetros (mm), el diámetro de la rosca se mide sobre el diámetro del tornillo, el paso es la distancia entre dos crestas consecutivas o la distancia que recorre o avanza un tornillo al dar un giro completo. (Manual de bolsillo para la identificación y especificación de roscas y tornillos)

### Figura 7

*Partes de una rosca de un tornillo según el SI*



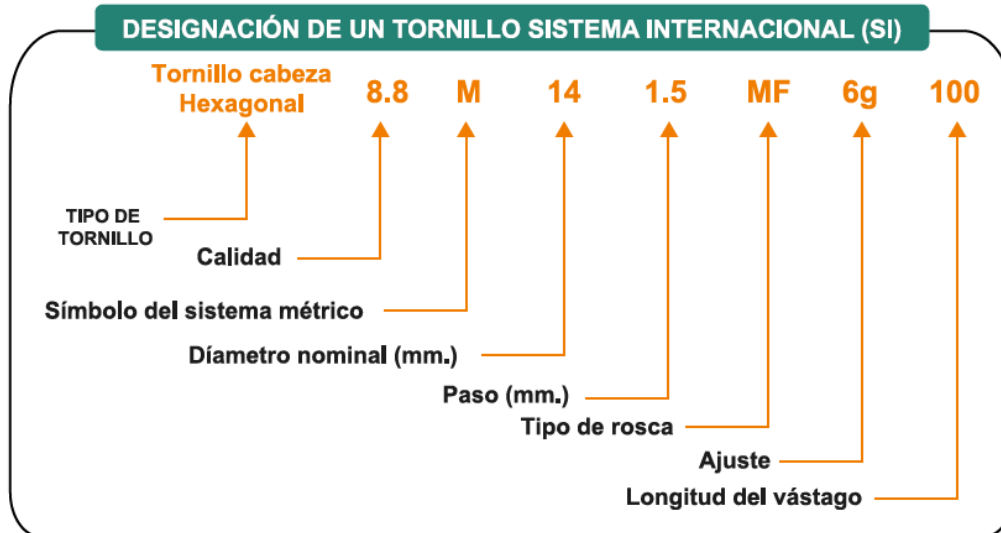
*Fuente:* (Londoño & Cardona, 2019)

Los tornillos siempre se deben identificar por medio de su medida nominal para identificarlos comercialmente, generalmente se utiliza una “M” para su nombramiento simplificado seguido de su respectivo valor de paso.

Un ejemplo del nombramiento de un tornillo según el SI sería el siguiente. “M6 x 1”, el cual corresponde a un tornillo milimétrico con 6mm de diámetro y paso de 1mm, de esta manera se nombran para uso comercial, sin embargo, cuando se requieren características específicas de diseño hay diferentes propiedades que se pueden identificar según cada tornillo y eso se muestra en la figura 8.

## Figura 8

*Designación de un tornillo según el SI*



*Fuente:* (Londoño & Cardona, 2019)

En los procesos de diseño mecánico es importante tener en cuenta los tipos de accionamiento (llaves o herramientas para girar el tornillo) de los diferentes tornillos que se encuentren en las maquinas o en las estructuras, la mayoría de las empresas buscan constantemente el mejoramiento continuo de sus procesos y de la mantenibilidad de sus máquinas, por lo tanto es importante mantener en lo posible un mismo patrón de tornillos, es decir, que la mayoría de los elementos de fijación tengan el mismo accionamiento y sean de la misma medida en cuanto al diámetro, siempre y cuando por necesidades de diseño se deba cambiar. Esto es importante ya que de esta manera la intervención de las maquinas en un proceso de producción industrial o agrícola es más eficiente, de esta manera los técnicos encargados emplearan menos tiempo dado que las medidas de los tornillos están estandarizadas y no se requieren de diferentes tipos de herramientas o llaves para accionar el tornillo.

De acuerdo con lo anterior es importante reconocer los tipos de cabeza de algunos tornillos de uso frecuente para así poder tener claro el tipo de herramienta para su respectivo accionamiento.

**Tabla 1**

*Tipos de cabeza de tornillo más comunes*

NOMBRE	IMAGEN
Cabeza hexagonal	
Cabeza hexagonal con collarín	
Cabeza de martillo	
Cabeza cilíndrica o Allen	
Cabeza redonda ranurada	
Cabeza redonda Philips	
Cabeza avellanada	

*Fuente:*(Londoño & Cardona, 2019)

### **5.3.1.2. Procesos de manufactura en el diseño mecánico**

“Los procesos de manufactura son actividades y operaciones relacionadas, ordenadas y consecutivas, a través del uso de máquinas-herramientas o equipos, con el fin de transformar materiales para la obtención de un producto industrial”. (Guerrero, 2008)

A continuación se describen los principales procesos que serán implementados a lo largo de la implementación del proyecto.

#### **5.3.1.2.1. Taladrado**

El taladrado es la operación más utilizada en materiales metálicos y no metálicos, esto debido a que en cualquier estructura es necesario la apertura de agujeros para realizar algún tipo de uniones entre diferentes elementos. El taladrado es el proceso estándar para generar agujeros, es uno de los procesos más comunes en la remoción de material. El taladrado es llevado a cabo por una herramienta llamada broca la cual es dotada de rotación por un cabezal impulsado de forma mecánica o eléctrica. (De La Cruz, 2012)

#### **5.3.1.2.2. Corte**

Proceso de manufactura en el que una herramienta de corte específica se utiliza para remover el exceso de material de una pieza de forma que el material que quede tenga la forma deseada. (Aguilar, 2009)

#### **5.3.1.2.3. Corte laser**

Proceso de manufactura rápido el cual se caracteriza por tener una pérdida mínima de material y sin distorsiones o imperfecciones notables, este proceso permite que las piezas tengan una alta precisión y que los contornos de las piezas no presenten defectos característicos de otros procesos, como, por ejemplo, el corte con caladora, con el corte laser se le puede dar a las partes las características propias para el ensamble. (Wesco, 2016)

### **5.3.2. Proceso de diseño electrónico / eléctrico**

Para el diseño electrónico se deben contemplar diferentes elementos y componentes los cuales serán la parte más importante de la propuesta de automatización del proceso de tamizado de la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A ya que los elementos más destacados serán sensores y diferentes elementos eléctricos y/o electrónicos que interactuarán entre sí para el funcionamiento, dichos elementos tienen sus propias características y aplicaciones en entornos industriales, el reconocimiento de estas

características será de vital importancia al momento de realizar el desarrollo de software para los respectivos procesos de adquisición de datos de cada uno de estos dispositivos.

En las aplicaciones de transformación industrial los sensores son elementos de campo con capacidad de medir magnitudes físicas para su conocimiento o control, la utilización de sensores es indispensable en la automatización de industrias de proceso y manufacturados, incluida la robótica, en automóviles, en electrodomésticos, en agricultura, medicina, etc. (Pallás, 2006)

### **5.3.2.1. Sensores industriales**

Los sensores son elementos que se usan para detectar alguna condición real en un proceso, pueden operar por contacto físico como por ejemplo un final de carrera, sensor de vibración, sensor de fuerza, etc. Los sensores también se usan en operaciones que no requieren contacto físico y entre ellos algunos de los más usados en la industria son inductivos, capacitivos, resistivos, piezoeléctricos, ultrasónicos, fotoeléctricos, auto reflectivos, reflectivos, transductores, PT100, termocuplas, entre otros.

En la industria se pueden encontrar diversos tipos de sensores y su funcionamiento y aplicación es diferente, a continuación, se muestran algunos de uso frecuente, teniendo en cuenta que estos sensores pueden ser binarios o analógicos.

#### ***5.3.2.1.1. Sensor final de carrera***

En muchos sistemas de producción, se utilizan interruptores mecánicos de posición para identificar la ejecución de movimientos. Otros términos también utilizados son microrruptores, finales de carrera, válvulas limitadoras, etc. Puesto que los movimientos se detectan por medio de contactos, deben cumplirse ciertos requisitos constructivos. Además, estos componentes están sometidos a desgaste. (Ebel & Nestel, 1993)

El sensor final de carrera o sensor de posición electromecánico, su funcionamiento se basa en una acción mecánica sobre su cabeza, el cual genera un movimiento que acciona los respectivos contactos dentro de su carcasa para generar una salida booleana utilizable en cualquier circuito de control para activar o desactivar alguna carga, estos sensores están presentes en la mayoría de sistemas automatizados, proporcionando información sobre presencia, ausencia, posición, final de recorrido y también es usado como dispositivo de seguridad en puertas de máquinas.

## Figura 9

### *Sensor final de carrera*



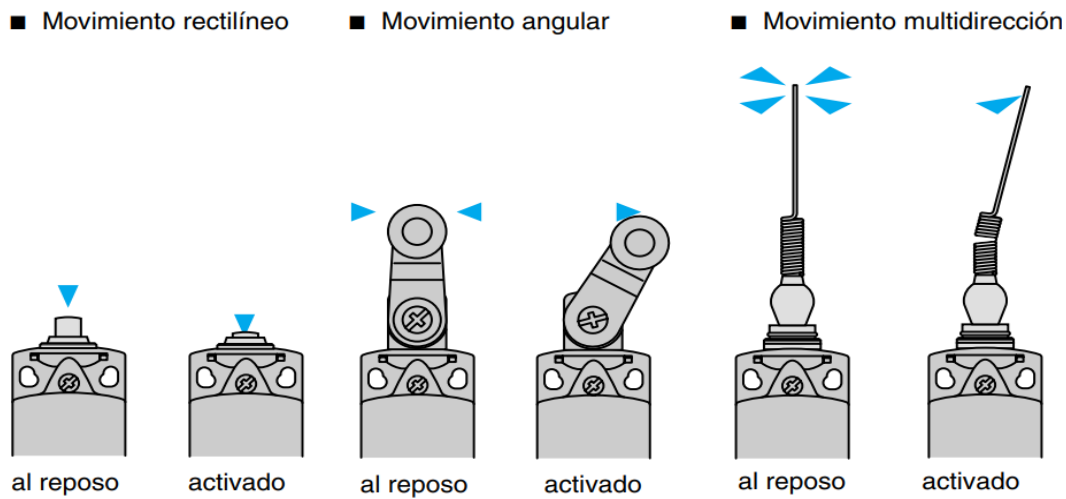
*Fuente:* (Schneider, 2016)

Los sensores finales de carrera se pueden conseguir comercialmente con diferentes cabezas las cuales emplean movimientos de detección que varían entre ellos de acuerdo con la aplicación.

En la figura 10 se muestran los movimientos de detección más usados en la industria, los cuales pueden ser, rectilíneos, angulares y multidireccionales. Por medio de este movimiento se accionan los contactos normalmente abiertos (NO) y normalmente cerrados (NC) dentro del dispositivo.

## Figura 10

### *Movimientos de detección sensor final de carrera*



*Fuente:* (Schneider, 2016)

### 5.3.2.1.2. *Sensor inductivo*

Para la detección de materiales metálicos, el sensor Inductivo se basa en la detección sin contacto físico, su detección es específicamente en objetos metálicos a diferentes distancias las cuales pueden variar de acuerdo con cada fabricante, según (WEG, 2020) algunas de las distancias más comunes en el área de detección de estos sensores son de 0 a 50mm, en la figura 11 se muestra la forma común del sensor inductivo.

#### **Figura 11**

*Sensores inductivos*



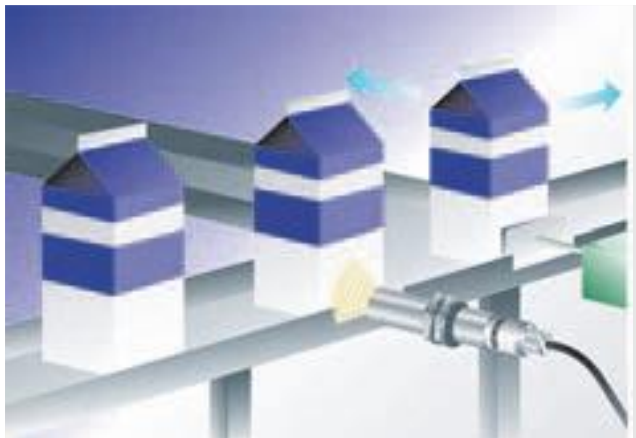
*Fuente:* (WEG, 2020)

### 5.3.2.1.3. *Sensor capacitivo*

En la mayoría de plantas industriales, el sensor capacitivo es el más usado debido a que su funcionamiento se basa en la detección sin contacto físico, su detección es específicamente en objetos no metálicos a diferentes distancias las cuales pueden variar de acuerdo con cada fabricante, estos sensores disponen de un pequeño potenciómetro para realizar un ajuste que permite calibrar la sensibilidad al momento de detectar objetos de débil o fuerte influencia según sea la aplicación, según (Siemens AG, 2006) uno de los usos más comunes de estos sensores es detectar todos los materiales en estado sólido, pulverizado, o líquido, sus mayores usos son en la industria alimenticia y principalmente en procesos de llenado y embotellado para detectar el nivel de algún líquido dentro de una botella o recipiente, en la figura 12 se muestra el ejemplo de detección de leche en el interior de envases de cartón.

## Figura 12

### *Detección de líquido*



Fuente: (Siemens AG, 2006)

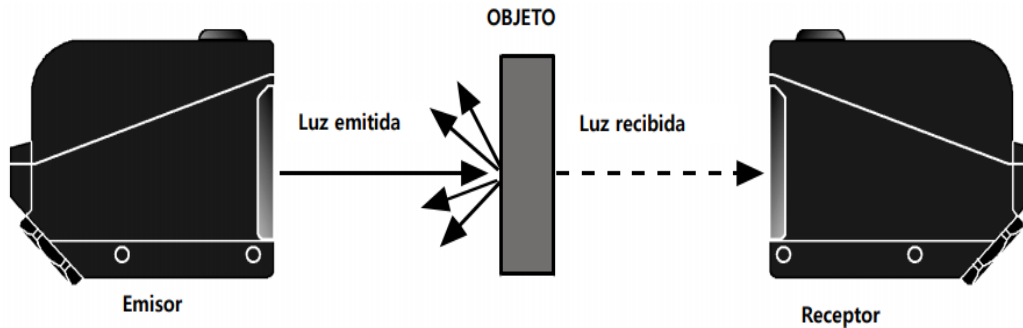
#### *5.3.2.1.4. Sensores fotoeléctricos*

La seguridad en los sistemas de producción es de vital importancia, para esto las diferentes industrias utilizan sensores fotoeléctricos los cuales detectan la presencia a través de una zona peligrosa y detienen el proceso de la máquina, también detectan alguna característica en particular de un objeto mediante luz visible o no visible. Algunos usos adicionales para los sensores fotoeléctricos son, tamaño, color, brillo de objetos.

Los sensores pueden clasificarse de diferentes tipos dependiendo de la forma en que detectan los objetos, inicialmente se encuentran los de barrera los cuales detectan el objeto midiendo la diferencia de intensidad de la luz generada desde emisor hasta receptor (Autonics, 2017). En este tipo de sensores el emisor y el receptor son dos componentes diferentes, se instalan enfrentados uno con el otro como se muestra en la figura 13 y la señal de sensado se produce cuando el objeto interrumpe la luz emitida por el emisor y no llega hasta el receptor.

**Figura 13**

*Sensor fotoeléctrico de barrera*

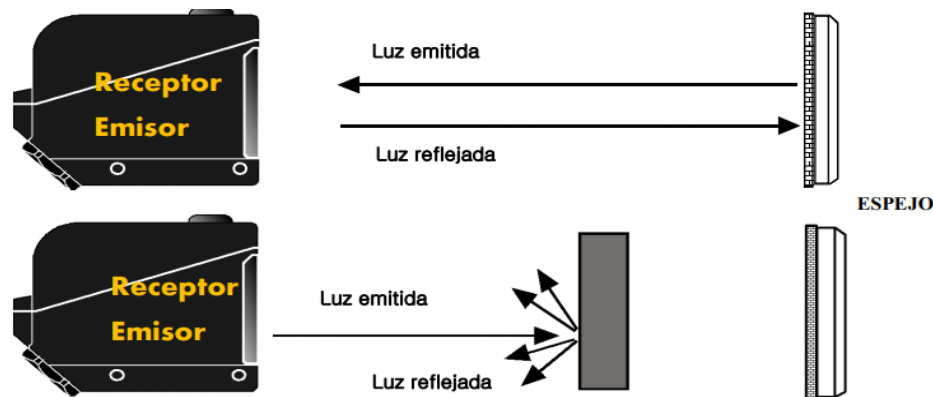


*Fuente: (Autonics, 2017)*

El sensor réflex con espejo es otro tipo de sensor fotoeléctrico el cual utiliza un espejo especial llamado “reflector” con alta reflectividad para medir y comparar la diferencia de cantidad de luz emitida con la luz recibida a través del espejo. En el mismo cuerpo se encuentra el emisor y el receptor (Autonics, 2017). En el sensor réflex la señal de sensado se produce cuando el objeto interrumpe la luz emitida por el emisor y no llega hasta el receptor como se muestra en la figura 14.

**Figura 14**

*Sensor réflex con espejo*



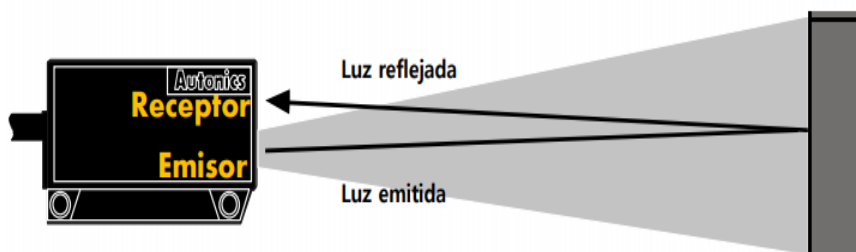
*Fuente: (Autonics, 2017)*

En cuanto a los fotoeléctricos, por último, se encuentra el auto réflex el cual detecta recibiendo directamente la luz que es reflejada por el propio objeto, es decir el emisor y receptor también se encuentran en el mismo cuerpo, su montaje es más fácil, económico y rápido debido a que no necesita accesorios adicionales para la detección, comúnmente

fallan si el ambiente tiene mucha suciedad, material particulado o humedad.

### Figura 15

*Sensor auto réflex*



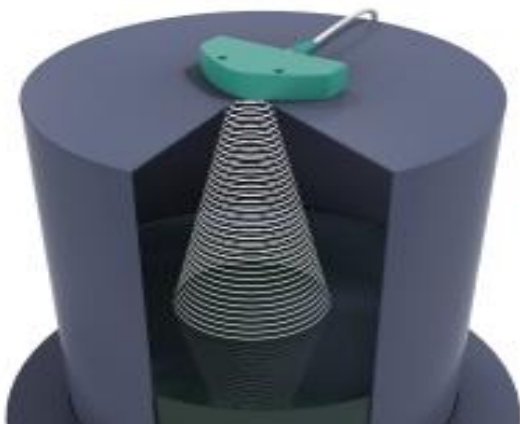
Fuente: (Autonics, 2017)

#### 5.3.2.1.5. *Sensor ultrasónico*

Dentro de los sensores que se usan sin contacto, el sensor ultrasónico toma un papel muy importante, funcionan en diversas aplicaciones y pueden detectar todos los objetos que reflejen ultrasonidos. Los detectores emiten cíclicamente impulsos ultrasónicos. Cuando dichos impulsos son reflejados por un objeto, se recibe el eco correspondiente y se transforma en una señal eléctrica de tipo analógica. Los detectores ultrasónicos funcionan midiendo el tiempo de propagación del eco, es decir, el intervalo de tiempo que media entre el impulso emitido y el eco de este. (Siemens AG, 2006)

### Figura 16

*Medición de nivel a través de un sensor ultrasónico*



Fuente: (Pepperl + Fuchs, 2017)

Como se muestra en la figura 16, uno de los principales usos del sensor ultrasónico en los diferentes procesos industriales es la medición del nivel en silos contenedores de materiales, sin embargo, la medición de nivel independiente de la sustancia, en la mayoría de los casos, los sensores ultrasónicos son los más utilizados ya que detectan prácticamente todos los materiales, ya sean líquidos, lodos, pulverizados o productos voluminosos. Es decir, podrá controlar con exactitud el nivel de llenado de los almacenes o depósitos usados por las empresas lácteas, químicas, mineras, agropecuarias y muchas otras. (Pepperl + Fuchs, 2017)

#### 5.3.2.1.6. *Sensores de temperatura*

Una de las variables más importantes en diversos procesos de transformación es la temperatura, para ello se utilizan dos importantes sensores, las Termocuplas o también conocidas como termopares, están compuestas por 2 tipos de metales conectados, de tal forma que al calentarse uno de los dos metales, este generará un flujo de corriente, el cual a su vez también generará una diferencia de potencial, en cambio el otro metal se le llama unión fría, el cual generalmente estará a la temperatura ambiente. (Galarza, 2002)

Según (Siemens AG, 2009) “los termopares se caracterizan por una gran adaptabilidad, se les puede dar la forma y el tamaño necesario para prácticamente todos los casos de aplicación. La parte sensible a la temperatura es casi puntiforme. Por lo tanto, los termopares resultan especialmente idóneos para medir temperaturas que estén sujetas a rápidas variaciones”.

#### **Figura 17**

*Termopar con cable de conexión directa*



*Fuente:* (Siemens AG, 2009)

Existen diversos tipos de termopares los cuales tienen un rango típico de funcionamiento, sin embargo, en los diferentes procesos industriales y de transformación agrícola es común encontrar termopares tipo K como el sensor de temperatura más usado, ya que

tienen buena resistencia a ambientes corrosivos, por otro lado, el termopar tipo J también es uno de los más usados, teniendo en cuenta que es una excelente elección para aplicaciones donde la humedad no está presente. En la tabla 2 se muestran los diferentes tipos de termopares, los materiales de la unión y el rango típico de funcionamiento.

**Tabla 2**

*Tipos de termopares y su rango típico*

Material de la unión	Rango típico (°C)	Sensibilidad (uV/°C)	Tipo
Pt6%/Rodio Pt(30%)/Rodio	38 a 1800	7.7	B
Tungsteno(5%)/Renio– Tungsteno(26%)/Renio	0 a 2300	16	C
Cromo- Constantan	0 a 982	76	E
Hierro – Constantan	0 a 760	55	J
Cromo – Aluminio	-184 a 1260	39	K
Pt(13%)/Rodio – Pt	0 a 1593	11.7	R
Pt(10%)/Rodio – Pt	0 a 1538	10.4	S
Cobre- Constantan	-184 a 400	45	T

*Fuente:* (Mayné, 2003)

De acuerdo con la tabla 2 se evidencia que existen varias combinaciones de metales para formar diferentes termopares para usos industriales, según (WIKA, 2016) “estos materiales deben desarrollar una fuerza electromotriz por grado de cambio de temperatura que se pueda detectar con instrumentos estándar de medición y, en muchas aplicaciones, deben ser suficientemente fuertes desde el punto de vista físico para soportar altas temperaturas, cambios rápidos de estas, y el efecto de atmosferas corrosivas y reductores”.

Como se nombró anteriormente la magnitud de la fuerza electromotriz depende de los materiales de los conductores utilizados por cada termopar, y se debe tener en consideración que constantes cambios en las composiciones de los materiales causados por entes externos como la contaminación, partículas o elementos extraños y choques térmicos influyen en el cambio de la fuerza electromotriz. (Medrano, 2002)

Los termopares generalmente son sensibles y con el tiempo tienden a desgastarse y a descalibrarse, por esta razón, en los procesos de transformación agrícola es fundamental definir desde el inicio un cronograma de inspección periódico con el fin de garantizar la confiabilidad de los datos de los diferentes cultivos o procesos, de esta forma se evitan fallas causadas por el deterioro forzado del instrumentó, en las diferentes industrias se

emplean planes de mantenimiento en los que el objetivo final es maximizar la vida útil de los dispositivos a través de mantenimientos preventivos y correctivos.

Debido a la amplia gama de termopares, en la tabla 3 veremos las aplicaciones más comunes para cada uno de ellos según el material de la unión y su rango típico de funcionamiento.

**Tabla 3**

*Tipos de termopares y sus aplicaciones*

<b>Termopar (Tipo)</b>	<b>Aplicaciones</b>
B	Los termopares tipo B son ideales para el uso continuo en atmósferas oxidantes o de gas inerte, y para una utilización breve en entorno de vacío a temperaturas de hasta 1700 °C.
E	Los termopares tipo E son ideales para utilización en atmósferas oxidantes o de gas inerte hasta 900 °C.
J	Los termopares tipo J son ideales para el uso en vacío, en atmósferas oxidantes y reductoras o atmósferas de gas inerte. Se utilizan para mediciones de temperatura hasta 750 °C
K	Los termopares tipo K son ideales para utilización en atmósferas oxidantes o de gas inerte hasta 1200 °C,
R	Los termopares tipo R son ideales para el uso continuo en atmósferas oxidantes o de gas inerte con temperaturas de hasta 1600 °C. Tener en cuenta la fragilidad causada por la contaminación.
S	Los termopares tipo S son ideales para el uso continuo en atmósferas oxidantes o de gas inerte con temperaturas de hasta 1600 °C. Tener en cuenta la fragilidad causada por la contaminación.
T	Los termopares tipo T son ideales para temperaturas bajo 0 °C con un límite máximo de temperatura de 350 °C, no se oxidan en atmosferas húmedas.

*Fuente:* (WIKA, 2016)

Dado que la selección de un sensor de temperatura depende del rango de medición, La PT100 es otro sensor de temperatura importante en las industrias y en aplicaciones agropecuarias el cual esta linealizado, por lo tanto, su implementación es bastante sencilla. Esta consiste en un alambre de platino que a 0° tiene una resistencia eléctrica

equivalente a 100 ohm y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. Este tipo de sensores es muy usado en la industria ya que a diferencia de los termopares su grado de precisión es mucho mayor y su señal de salida es más estable y no tiene cambios bruscos en su salida de señal durante los cambios de temperatura. (Perdigones & Pascual, 2004)

### **Figura 18**

*RTD con cabezal*



*Fuente:* (Siemens AG, 2009)

Los sensores de temperatura PT100 son más costosos que los termopares, son ampliamente usados en aplicaciones de temperaturas bajas y en la mayoría de las aplicaciones su precisión es su principal ventaja, además de que no se desgasta con el tiempo y no se requiere de un seguimiento constante para que los datos de temperatura sean confiables, si hay alguna falla en la PT100 la señal se pierde y el dispositivo encargado de la adquisición de los datos inmediatamente detecta la falla y da un aviso, esta es la principal ventaja de este tipo de sensores de temperatura.

Según el rango de medida y los requisitos de precisión, los sensores de temperatura PT100 se pueden conectar a los equipos en circuitos a 2, 3 ó 4 hilos respectivamente, ahora bien, físicamente en las versiones más simples se parecen a los termopares mostrados en la figura 17, en las versiones compactas se cuenta con una terminal eléctrica también conocida como “cabezal” como se muestra en la figura 18, en este cabezal se sitúa un elemento conocido como transmisor de temperatura el cual se muestra físicamente en la figura 19.

## Figura 19

### *Transmisor de temperatura para cabezal*



Fuente: (Siemens AG, 2021)

El transmisor de temperatura está diseñado para ser montado en el cabezal del sensor y su función principal es convertir la señal proveniente de la PT100 en ohm a señales estandarizadas de tipo tensión (0-10V) o de tipo corriente (4-20mA), con el fin de ser tratadas por el controlador de forma rápida y eficiente en el sistema de automatización, con el uso del transmisor de temperatura en el cabezal se evita utilizar módulos adicionales exclusivos para señales de PT100 para los controladores, de esta forma se reducen los costos de instalación ya que los controladores suelen ser más costosos.

#### **5.3.2.1.7. Linealidad en los sensores**

En los sistemas industriales, es común encontrar diversos sensores sin contacto, estos dispositivos transforman una medida física a una medida eléctrica analógica, comúnmente la medida física puede ser de presión, nivel, temperatura, caudal, distancia, etc. Según (Siemens AG, 2006) la salida de los sensores analógicos varía de forma continua y la información está en la amplitud de la señal.

Este tipo de sensores requieren una calibración con el fin de establecer una relación entre la variable medida y la señal de salida entregada por el dispositivo, teniendo en cuenta que la propiedad fundamental de estos dispositivos es la propiedad de linealidad.

La propiedad de linealidad indica que debe existir una relación directa entre la captación de medida física analógica con respecto a la respuesta de señal de salida analógica eléctrica entregada por el transductor. (Rosselló, 2000)

Si el sensor presenta una salida no lineal a los cambios de la magnitud física medida, es necesario realizar procesos de linealización mediante circuitos específicos o mediante

programas adecuados de cálculo numérico con el fin de tener una medida suficientemente significativa y confiable durante la adquisición de datos del proceso. (Miguel & Bolado, 2015)

### 5.3.2.2. Tipos de señales eléctricas de los sensores

Dadas las exigencias de producción y en consecuencia a la evolución tecnológica es importante diferenciar los cambios en las salidas de los sensores, la mayoría de estos sensores tienen salida digital o también conocida como booleana, es decir, de dos estados ya sea 1 o 0 respectivamente, sin embargo, también se encuentran diversos sensores los cuales tienen una salida diferente a la booleana, esta señal es de tipo analógica y también existen muchas aplicaciones que requieren este tipo de salida ya que se caracteriza por tener una variación en el tiempo según sea la condición de la variable física medida.

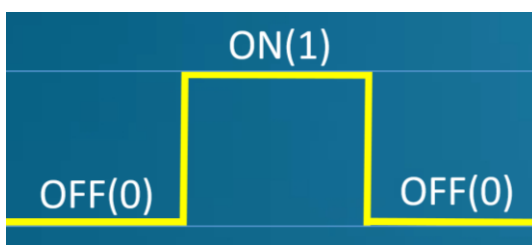
Las señales de salida de los sensores se clasifican en cuatro tipos y esto depende de las características de cada sensor, su funcionamiento y su aplicación, esta información permite identificar el funcionamiento de cada uno de ellos y ver las diferencias con respecto a otros, con esto se pueden tomar decisiones de selección y/o identificación, así como reconocer directamente el proceso para la adquisición de los datos de cada uno.

#### 5.3.2.2.1. Señal de salida tipo I

Señal de salida correspondiente a los sensores que entregan salidas booleanas o binarias, entre ellos se pueden encontrar los sensores más comunes, por ejemplo, sensores capacitivos, inductivos, auto reflectivos, reflectivos, entre otros, estos sensores son usados para identificar alguna condición o presencia de algún elemento durante el proceso industrial. (Ebel & Nestel, 1993)

### Figura 20

*Comportamiento señal tipo I*



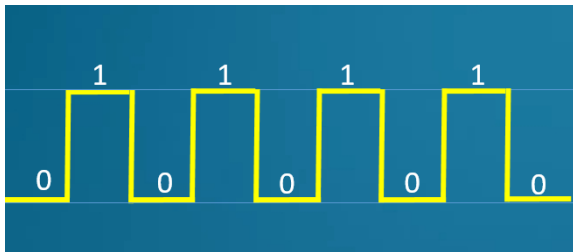
Fuente: Autores

### 5.3.2.2.2. Señal de salida tipo II

Señal de salida correspondiente a los sensores que entregan salidas caracterizadas por un tren de pulsos, estas señales también se conocen como PTO. Según (Ebel & Nestel, 1993) algunos sensores de este tipo son los Encoder y se usan para el monitoreo de velocidad, también son comúnmente usados en aplicaciones que requieren de una alta precisión en posicionamiento, esta señal presenta un cambio de estado de 0 a 1 en periodos de tiempo muy rápidos.

#### Figura 21

*Comportamiento señal tipo II*



*Fuente: Autores*

### 5.3.2.2.3. Señal de salida tipo III

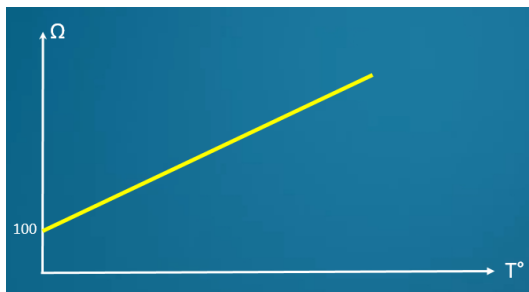
Señal de salida correspondiente a los sensores que entregan salidas que varían con el tiempo o con la medida física, algunos de estos sensores son muy usados industrialmente como las PT100 o termopares, la señal de salida tipo III se diferencia con la tipo IV ya que esta señal de salida en muchas ocasiones requiere un tratamiento adicional al momento de realizar el control de un proceso y al realizar el respectivo escalamiento debido a que esta señal de salida es débil, comúnmente esta señal es de mV o de resistencia. De acuerdo con (Ebel & Nestel, 1993) actualmente algunos controladores industriales modernos vienen con módulos adicionales diseñados para leer este tipo de señales sin recurrir a arreglos o circuitos adicionales.

Las PT 100 o termopares son muy usados industrialmente para monitorear y controlar la temperatura en diferentes procesos como, por ejemplo, hornos, calderas, reactores, etc.

En la figura 22 se muestra un ejemplo del comportamiento de esta señal, como se evidencia hay un aumento proporcional en la temperatura a medida que el valor en ohms aumenta por cada grado centígrado.

## Figura 22

### *Comportamiento señal tipo III*



Fuente: Autores

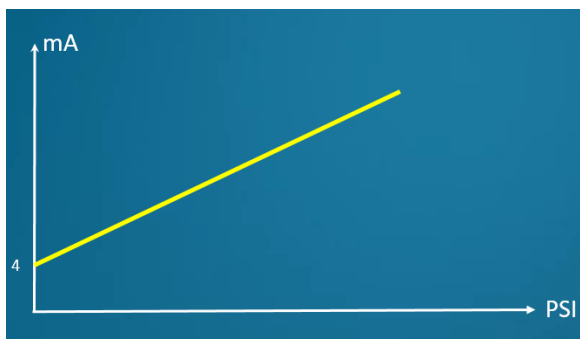
#### 5.3.2.2.4. Señal de salida tipo IV

Señal de salida correspondiente a los sensores que entregan salidas que varían con el tiempo o con la medida física, del mismo modo que la señal tipo III, sin embargo, este tipo de señal ya está estandarizada industrialmente ya que la mayoría de los sensores analógicos más comunes entregan este tipo de señal que puede ser leída y tratada más rápidamente, este tipo de sensores también son conocidos como transmisores. El valor de estas señales está en los siguientes rangos, 0-10V, -10-10V, 0-20mA, 4-20mA. (Ebel & Nestel, 1993)

Los sensores que entregan la señal de salida tipo IV son usados en múltiples aplicaciones como, por ejemplo, medición de nivel de tranques, presión en tuberías, distancia, caudal, flujo, etc.

## Figura 23

### *Comportamiento señal tipo IV*



Fuente: Autores

#### **5.3.2.2.5. Señal de salida tipo V**

Sensores con señal de salida estandarizada, por ejemplo, RS 232-C, RS 422-A, RS 485 o con interfaz a buses de datos tales como bus de campo (profibus, bus-sensor-actuador, IO-Link). (Ebel & Nestel, 1993)

#### **5.3.2.3. Selectividad eléctrica**

La selectividad del sistema de protección de una instalación eléctrica industrial es un proceso importante para garantizar un servicio funcional, económico, óptimo y seguro de toda la instalación, esto con el fin de reducir al mínimo los problemas ocasionados por fallas críticas en el sistema o por condiciones de operación anómalas. (ABB, 2022) Un correcto sistema de protección también evita daños de los elementos conectados a la instalación eléctrica y evita daños a las personas que intervienen el sistema.

Según (ABB, 2022), se puede afirmar que existe selectividad entre dos interruptores automáticos en serie cuando, para una sobreintensidad que pasa por ambos, se abre el interruptor del lado de la carga, protegiendo así el circuito, mientras que el interruptor del lado de la alimentación permanece cerrado garantizando la alimentación al resto de la instalación, evitando paradas innecesarias de equipos que no tienen fallas por sobre intensidad.

#### **5.3.3. Proceso de diseño de software y automatización**

Teniendo el diseño mecánico y electrónico, se debe garantizar la correcta instalación y conexión de los diferentes elementos que están involucrados en la propuesta de automatización del proceso de tamizado en la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A, estos elementos deben interactuar por medio de algunas herramientas y elementos de software y hardware, la programación de un elemento de control permitirá controlar los actuadores y visualizar los datos de cada uno de los sensores, además, realizar diferentes procesos de escalamiento y procesamiento de señal que le permitirá controlar el llenado del proceso para evitar los derrames, a su vez facilitara a los controladores la toma de decisiones del proceso rápidamente, teniendo en cuenta que previamente se deben realizar pruebas mediante herramientas de simulación, con base en (McGraw-Hill, 2009) la simulación, se define como un “acontecimiento estructurado que involucra relaciones causales entre el elemento y evento que representa una situación del mundo real”.

Los actuales sistemas de automatización industrial pueden considerarse como herederos de los autómatas mecánicos del pasado. En la actualidad se puede afirmar que la mayoría de los procesos automatizados tienen como principales elementos los sensores para interactuar con el mundo exterior, estos sistemas están controlados por autómatas programables y en menor medida por ordenadores de control de proceso y reguladores industriales. (Hernandez, 2004)

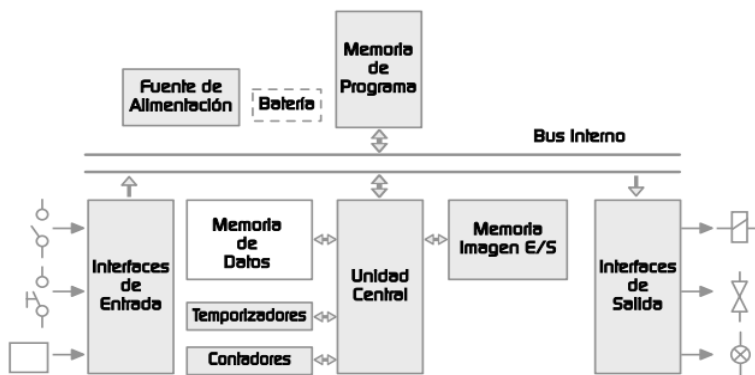
### 5.3.3.1. Controlador lógico programable - PLC

De acuerdo con lo anterior un elemento importante es el PLC o controlador lógico programable, este dispositivo industrialmente se usa para controlar múltiples tareas de diferentes procesos, una característica importante es que la ejecución de sus instrucciones no son de forma secuencial, es decir, el controlador puede ejecutar cualquier instrucción programada en cualquier instante de tiempo, el PLC en su estructura interna está diseñado para tener señales de detección que se conocen como entradas y por medio de su memoria de datos y su lógica de programación realizar acciones de mando a través de sus salidas, las señales de detección en su mayoría provienen de sensores y sus características se describieron anteriormente, las salidas por lo general son dispositivos de campo que realizan un trabajo en específico como actuadores, válvulas, pilotos de señalización, entre otros.

En la figura 24 se muestra la estructura interna de forma detallada donde se evidencian las interfaces de entrada, memoria de datos interna donde se encuentran los temporizadores y contadores, y las interfaces de salida.

**Figura 24**

*Estructura interna de un plc*



Fuente: (Sena, 2005)

### 5.3.3.1.1. *Controlador lógico programable (PLC) compacto*

Es importante reconocer las diferentes estructuras de hardware de los diferentes controladores, si bien es cierto que cada estructura depende de los diferentes fabricantes, hay tres estructuras o configuraciones físicas definidas y con esto se puede entender el alcance de cada configuración.

La primera configuración abarca a los PLCs compactos, los controladores que se incluyen en esta estructura suelen ser de gama baja, teniendo en cuenta que disponen de sus respectivas entradas y salidas y algunos tienen algún bus de comunicación, la cantidad de entradas y salidas puede ser limitada y comúnmente se usan en máquinas pequeñas ya que también son de pequeñas dimensiones.

#### **Figura 25**

*PLC compacto*



*Fuente: (Schneider, 2017)*

Según la figura 25, se muestra un plc compacto con cierta cantidad de entradas y salidas, tiene dos puertos de comunicación, pero sus funciones serán limitadas puesto que no se le pueden conectar módulos adicionales debido a que su forma constructiva es netamente compacta, según las diferentes marcas se pueden encontrar PLCs modulares con más entradas y salidas, estas características dependen únicamente de los fabricantes.

### 5.3.3.1.2. *Controlador lógico programable (PLC) semimodular*

Como segunda configuración se tienen los PLCs semimodulares, estos controladores suelen ser de gama media debido a que están limitados a sus posibilidades de ampliación, su cantidad de entradas y salidas suele ser mayor a los compactos y generalmente también controlan maquinas pequeñas pero debido a que tienen más capacidad de entradas y salidas solamente no controlan una máquina, pueden ser dos o tres dependiendo de las exigencias y señales de entrada y cantidad de actuadores.

Según la figura 26, se muestra un plc semimodular con cierta cantidad de entradas y salidas, tiene dos puertos de comunicación y a diferencia del plc mostrado en la figura 25, sus funciones no serán limitadas ya que se le pueden conectar módulos adicionales, estos módulos de expansión pueden ser de entradas o salidas digitales, entradas y salidas analógicas, entradas para termocuplas, RTD de tipo PT100 entre otros.

#### **Figura 26**

*PLC semimodular*



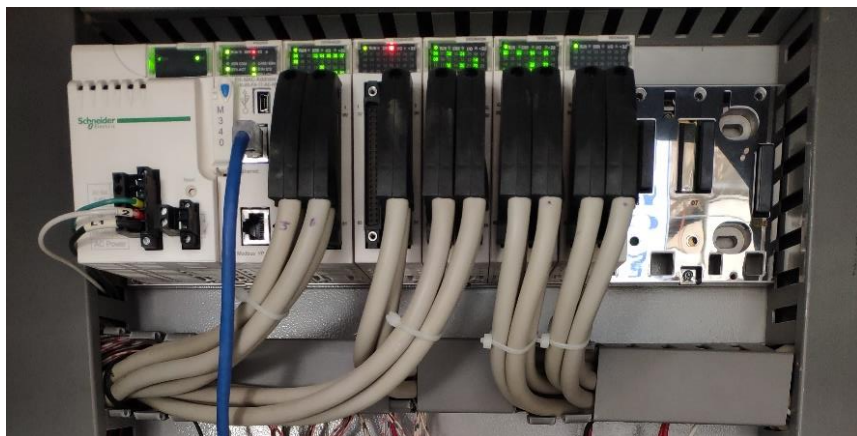
*Fuente: (Autores)*

### 5.3.3.1.3. *Controlador lógico programable (PLC) modular*

Anteriormente se nombró la gama baja y la gama media, ahora la gama alta corresponde a los PLCs con configuración netamente modular, estos permiten gran flexibilidad en cuanto a su expansión de entradas y salidas y está es su característica principal, también puede manejar diferentes protocolos de comunicación y algunos de sus módulos de expansión tienen características especiales para el control de dispositivos más avanzados. Debido a su flexibilidad estos PLCs de gama alta pueden controlar más de dos máquinas de gran tamaño, procesos e incluso plantas de producción completas.

**Figura 27**

*PLC netamente modular*



*Fuente: (Autores)*

Por último, en la figura 27 se muestra un plc netamente modular, este tipo de plcs tienen sus diferentes elementos por separado, es decir la fuente, la CPU, y los módulos de entradas y salidas se encuentran en cuerpos separados, este tipo de plcs siempre están montados en racks y soportan comunicaciones múltiples por diversos protocolos como por ejemplo Ethernet o profibus.

**Tabla 4**

*Tipos de PLC, ventajas y desventajas*

TIPO DE PLC	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>COMPACTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más económicos dentro de su variedad</li> <li>• Ocupan menos espacio</li> <li>• Programación es más sencilla</li> <li>• Fácil instalación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entradas y salidas limitadas</li> <li>• No soporta módulos de expansión</li> <li>• Solo tienen entradas digitales</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más económicos que los modulares</li> <li>• Soportan contingencias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los módulos de expansión son limitados</li> <li>• Utiliza mayor</li> </ul>

<p><b>SEMIMODULAR</b></p>	<p>extremas de funcionamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Programación con dificultad media</li> <li>• Incluyen versiones con salidas de tipo transistor</li> </ul>	<p>espacio que los compactos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere personal más calificado</li> <li>• Mantenimiento toma mayor tiempo</li> </ul>
<p><b>MODULAR</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ampliaciones de acuerdo con las necesidades</li> <li>• En caso de avería puede aislarse la falla, cambiando el módulo en falla sin afectar el funcionamiento del resto</li> <li>• Soportan procesos muy sofisticados</li> <li>• Pueden controlar más de un proceso</li> <li>• Múltiples protocolos de comunicación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son los más costosos del mercado</li> <li>• Utiliza mayor espacio que los demás</li> <li>• Requiere personal altamente calificado</li> <li>• Instalación más compleja</li> </ul>

*Fuente:* (Autores)

### 5.3.3.2. Interfaz hombre maquina (HMI)

Dentro del sistema de adquisición de datos de los sensores hay un dispositivo que en los últimos años ha desempeñado un papel fundamental en las industrias debido a su facilidad de instalación y a las ventajas que ofrece para la monitorización de los procesos, este componente es la HMI, este dispositivo se usa para el control y monitorización de los procesos por parte de los operadores, usualmente en forma de pantalla táctil con algunos botones que pueden ser programados para cumplir una determinada función, estas HMI están de diferentes tamaños entre 4" y 15". (Hernandez, 2004)

Por lo general están ubicadas en diferentes maquinas o procesos los cuales tienen su propio PLC el cual tiene que ser compatible para su interacción con su respectivo protocolo de comunicación según sea la marca. En la HMI los operadores pueden

visualizar datos, transmitir órdenes, obtener resultados o condiciones del respectivo proceso o máquina, de esta manera los operadores pueden controlar ciertas funciones a través de la HMI en campo.

### Figura 28

*HMI (Interfaz hombre maquina)*



Fuente: (Siemens, 2020)

#### 5.3.3.3. Softwares de automatización

En cuanto al software utilizado en las HMI, se usan lenguajes de programación como Visual C++ o Visual Basic para desarrollar software HMI a medida del usuario, sin embargo, es importante tener en cuenta que una vez se ha generado el software, no se tiene la posibilidad de volverlo a programar o modificar. Para desarrollar tareas que se puedan programar y/o modificar según las necesidades del usuario o del proceso a monitorear, existen diversos paquetes de software que están orientados a dichas funciones, como, por ejemplo, Wonderware, Factory Talk View, WinCC, Vijeo Designer entre otros, siendo estos algunos de los más comunes en diversas aplicaciones el entorno industrial. (Salichs, 2012)

**Tabla 5**

*Algunos tipos de software para HMI y sus fabricantes*

<b>SOFTWARE PARA HMI</b>	<b>FABRICANTE</b>
Wonderware	Wonderware
Factory Talk View	Rockwell Automation
WinCC	Siemens
Vijeo Designer	Schneider Electric
Panel Builder 6000	ABB

---

<p><b>CODESYS VISUALIZATION</b></p> <p>Movicon WEBHMI</p> <p>GP-PRO EX</p> <p>Proficy HMI / SCADA</p> <p>Candera CGI Studio</p> <p>PcVue</p> <p>iControl</p> <p>VDS</p> <p>Cognex Designer</p> <p>GT SoftGOT1000</p> <p>Panel Studio</p>	<p><b>CODESYS</b></p> <p>Emerson</p> <p>Pro-face</p> <p>General Electric</p> <p>CGISTUDIO</p> <p>PcVue Solutions</p> <p>iGrid T&amp;D</p> <p>YOKOGAWA</p> <p>Cognex</p> <p><b>MITSUBISHI ELECTRIC AUTOMATION</b></p> <p>BrainChild</p>
--	--

---

*Fuente:* (Autores)

Durante el proceso de diseño de software y hardware se deben tener en cuenta diversos factores para que el proceso sea exitoso debido a que todos los PLCs no son compatibles con todas las HMIs, por lo tanto, el proceso de selección se debe realizar de acuerdo a la compatibilidad entre ellos y de acuerdo con el protocolo de comunicación de cada elemento.

Actualmente, las soluciones para suplir las necesidades de comunicación industrial se agrupan en el estándar IEC 61158 y en el estándar IEC 62439. En este estándar se definen las ofertas para comunicaciones de procesos industriales, entre las que más se destacan por su amplia cobertura y soporte las siguientes: Profinet-Profibus, Foundation Fieldbus, EthernetIP, ControlNet y Modbus. (Ortíz, 2019)

A continuación, se muestran algunos de los softwares más utilizados a nivel industrial, dichos programas son usados en la mayoría de las industrias como, por ejemplo, láctea, cervecera, manufactura, agropecuaria, Oil & Gas, entre otros. Estos proporcionan productividad gracias a la simplificación del desarrollo de sistemas con diversas herramientas que reducen el tiempo de puesta en marcha.

**Tabla 6**

*Algunos tipos de software para PLC y sus fabricantes*

<b>NOMBRE SOFTWARE (MARCA)</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>
<p><b>Studio 5000</b> (Rockwell Automation)</p>	<p>Intuitivo ambiente de diseño integrado se enfoca en un diseño rápido, reutilización, colaboración y diseño virtual. La interfaz de usuario actualizada ofrece una experiencia de usuario moderna en todas las aplicaciones Studio 5000. (Rockwell Automation, 2018)</p>
<p><b>TIA Portal</b> (Siemens)</p>	<p>El Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) es un software de programación avanzado, integra diferentes productos SIMATIC en una aplicación de software que le permitirá aumentar la productividad y la eficiencia del proceso. Dentro del TIA Portal, los productos TIA interactúan entre sí, ofreciéndole soporte en todas las áreas implicadas en la creación de una solución de automatización. (Siemens, 2009)</p>
<p><b>UnityPro</b> (Schneider Electric)</p>	<p>Es el entorno software/hardware de Schneider Electric para la gestión de sus plataformas de automatización. El mismo entorno sirve para las diferentes gamas de PLC de la marca: Quamtum, Premium, Modicon 340 y Atrium. Dentro de Unity, la herramienta gráfica UnityPro es la que se utiliza para el desarrollo, explotación y mantenimiento de aplicaciones para los PLCs. Es una herramienta “todo en uno” que permite se puede configurar, programar, simular, depurar y monitorizar un PLC. (Candelas, 2011)</p>
<p><b>CoDeSys</b> (3S-Smart)</p>	<p>Es uno de los sistemas de programación del estándar IEC 61131-3 más comunes para PLCs y reguladores industriales. Permite programar autómatas de diferentes fabricantes, así como generar código para algunos microprocesadores y DSPs. (SUPPRESS, 2011)</p>
<p><b>Cx-Programmer</b> (Omron)</p>	<p>CX-Programmer es el software de programación para todas las series de PLC de Omron y está integrado en CX-One. (Gomes, 2017)</p>

<p><b>Automation Builder</b> (ABB)</p>	<p>Está disponible en tres versiones –Basic, Standard y Premium–, ajustándose así a las necesidades de los pequeños proyectos y dando respuesta a muchos de los grandes proyectos de integradores de sistemas. (ABB, 2014)</p>
<p><b>ISPSoft</b> (Delta)</p>	<p>Es la herramienta de desarrollo de software de última generación de Delta para controladores lógicos programables. Se adoptó IEC 61131-3, que admite cinco lenguajes de programación y una gran cantidad de instrucciones aplicadas. (Delta Electronics, 2017)</p>
<p><b>Pro.Lean</b> (Emerson)</p>	<p>Pro.Lean© está diseñado para ser sencillo y rápido. Es una solución de software todo incluido y lista para usar que viene equipada con asistentes de instalación para crear proyectos con una base de datos de cálculo SQL Server, cuadros de mando e informes de análisis de producción. (Emerson Automation, 2021)</p>

*Fuente:* (Autores)

#### **5.3.4. Herramientas de gestión de proyectos**

El uso de herramientas y técnicas en la gestión de proyectos establece una base sólida para que las empresas logren sus metas y objetivos, para el desarrollo de este proyecto se tendrán en cuenta diferentes herramientas para que los recursos técnicos, humanos y las tareas del proyecto se gestionen óptimamente.

Estas herramientas serán esenciales para cumplir con los requisitos del proyecto y para satisfacer las expectativas de los interesados ya que desde el inicio se puede tener un panorama claro del avance y de los diferentes riesgos que se puedan presentar, la aplicación de herramientas de gestión de proyectos permite resolver y gestionar el cambio de una mejor manera.

Antes de iniciar con las herramientas es importante reconocer que según (PMBOK, 2017) un proyecto es un esfuerzo temporal por un grupo determinado de personas para crear un producto o una solución determinada.

“La naturaleza temporal de los proyectos indica un principio y un final definidos. El final se alcanza cuando se logran los objetivos del proyecto o cuando se termina el proyecto porque sus objetivos no se cumplirán o no pueden ser cumplidos.” (PMBOK, 2017)

#### **5.3.4.1. Checklist**

El Checklist es una herramienta fundamental para la gestión de proyectos ya que con su aplicación se podrá revisar de forma clara y ordenada el cumplimiento de los objetivos y las tareas correspondientes de cada etapa del proyecto, la aplicación del Checklist permite tener un panorama claro y ordenado de todo el proyecto en general, así como también de una fase en específico.

Según (Solor, 2015) se ha demostrado la eficacia del Checklist tanto para garantizar la correcta ejecución de funciones y tareas, como en la reducción de errores u omisión de procedimientos teniendo un seguimiento y/o recordatorio de los mismos.

El Checklist correspondiente al presente proyecto se realiza con la ayuda visual de Power BI con el fin de tener claro y ordenado el cumplimiento de los objetivos y las tareas correspondientes en cada etapa del proyecto.

#### **5.3.4.2. Power BI**

Actualmente las herramientas tecnológicas y/o digitales han tomado un papel fundamental en el desarrollo de proyectos, Power BI es una herramienta de Microsoft y permite el análisis y la gestión de datos a través de informes caracterizados por la interactividad con los usuarios finales, los datos se pueden importar desde diferentes orígenes, el origen más común es Excel y el resultado de la aplicación de esta herramienta es optimizar el proyecto y la toma de decisiones a través de datos transformados y visualizados interactiva e intuitivamente. (Minguez, 2022)

#### **5.3.4.3. Stakeholders y matriz interés-poder**

Los stakeholders, o partes interesadas en un proyecto son las diferentes personas, grupos o entidades que tienen un interés en el proyecto y pueden verse afectados o beneficiados por sus resultados. Identificar y comprender a los stakeholders es fundamental para la gestión y el éxito de un proyecto ya que teniendo claros los stakeholders se puede realizar una categorización adecuada a través de la matriz interés poder, esta matriz permite conocer quiénes son los interesados más relevantes de acuerdo con su interés, poder e influencia a lo largo del proyecto, adaptando la matriz interés poder se puede tener una gestión más efectiva de las partes interesadas, ayudando a mantener su apoyo, minimizar los conflictos y asegurar el éxito del proyecto. (PMBOK, 2017)

#### **5.3.4.4. Estructura de desglose de trabajo EDT**

El desglose de trabajo tiene una participación importante ya que proporciona un marco de referencia de lo que se debe entregar, este proceso se lleva a cabo una sola vez o en puntos predefinidos del proyecto, proporciona una visión global de todas las actividades necesarias para lograr los objetivos del proyecto, según (PMBOK, 2017) esta herramienta también ayuda a los equipos de proyecto y a los responsables de la toma de decisiones a comprender la estructura del proyecto, a asignar recursos de manera adecuada y a gestionar el presupuesto de manera efectiva.

#### **5.3.4.5. Estructura de desglose de recursos**

Por medio de una lista jerárquica se desglosan los recursos físicos relacionados a través de categoría y tipo de recurso, esta herramienta sirve para gestionar la planificación y control del proyecto, permite a los gestores de proyecto y equipos de proyecto comprender claramente qué recursos se necesitan, cuándo se necesitan y quién es responsable de ellos. Según (PMBOK, 2017) la estructura de desglose de recursos es una herramienta que complementa la EDT y es fundamental para la gestión integral de un proyecto.

#### **5.3.4.6. Diagrama de espina de pescado**

El diagrama espina de pescado, también conocido como diagrama de Ishikawa se utiliza para desglosar las potenciales causas de un problema, permite identificar donde existe una oportunidad de mejora, el diagrama de espina de pescado muchas veces se combina con una etapa de definición conocida como 5W+1H, donde se describe el problema que se tiene, se indica el momento de tiempo para saber cuándo ocurre el problema, se indica el lugar específico donde ocurre el problema, también se indica el responsable y la tendencia del problema, esta tendencia puede ser crónica o al azar.

Con base en la información obtenida en el 5W+1H se realiza la espina de pescado para posteriormente elegir las causas más potenciales de la problemática, estas causas potenciales se analizan a profundidad por medio del 5 por que, permitiendo tener una idea cercana de la causa raíz del problema analizado, con base a esto se pueden implementar planes de acción para evitar la recurrencia, estos planes de acción pueden ser pequeñas acciones correctivas o el desarrollo de un proyecto enfocado en la solución de la problemática.

#### **5.3.4.7. Matriz de riesgos**

La matriz de riesgos es una herramienta importante para la gestión de proyectos, ayuda a priorizar los riesgos y a determinar dónde se deben concentrar los esfuerzos de gestión de riesgos. Además, proporciona una visión de la exposición del proyecto a los riesgos, con la matriz de riesgos se pueden tomar decisiones informadas sobre cómo mitigar, evitar o aceptar los riesgos. La gestión efectiva de los riesgos es esencial para garantizar el éxito de un proyecto al minimizar posibles obstáculos y sorpresas no deseadas. (PMBOK, 2017)

Según (Sánchez et al., 2015) cuando se tengan evaluados los riesgos, es recomendable revisar los que tuvieron mayor prioridad en la matriz y así definir cuáles serán efectivamente gestionados a lo largo del proyecto.

“Se sugiere en un inicio gestionar los riesgos que tengan mayor probabilidad de ocurrencia, y seguir evaluando la matriz al menos una vez al mes para verificar que no hayan cambiado de prioridad.” (Sánchez et al., 2015)

#### **5.3.4.8. Organigrama**

El organigrama se utiliza tradicionalmente para representar los diferentes cargos de las personas que participan en un proyecto, el organigrama se muestra en un formato gráfico descendente, según (PMBOK, 2017) el organigrama puede ser formal o informal, también puede ser muy detallado con información específica de cada integrante o por el contrario puede ser una representación general donde se indique cargo y nombre según las jerarquías establecidas.

## 5.4.MARCO CONCEPTUAL

El desarrollo del marco conceptual se divide en tres partes de acuerdo con lo visto en el marco teórico, es decir, proceso de diseño mecánico, proceso de diseño electrónico y diseño de automatización, de esta manera se incluirán los conceptos de mayor importancia para cada aspecto según el punto de vista de los principales autores que han profundizado en estos temas.

### 5.4.1. *Proceso de diseño mecánico*

- Proceso de diseño: “Es una secuencia lógica de pasos que sigue el diseñador a partir de ciertos datos de entrada, para obtener la solución de ingeniería más práctica y funcional que satisfaga un problema particular”. (Díaz del Castillo, 2011)
- Solución: “Consiste en el diseño final aprobado de un elemento de máquina, producto, máquina o proceso productivo; incluye planos, prototipo virtual, construcción y prueba de al menos un prototipo real y especificaciones del proceso de manufactura para su producción en serie”. (Díaz del Castillo, 2011)
- Estructura: “Aquella parte de la construcción que soporta el conjunto, es decir, que es capaz de resistir las diversas acciones que actúan sobre ella como, peso propio, sobrecargas de uso, viento, movimientos sísmicos, etc. (Cervera & Blanco, 2014)
- Aleación: “Son la mezcla de un metal principal con otros elementos para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del metal puro. Variando la composición de las aleaciones se puede conseguir un rango de propiedades diferentes para una amplia gama de aplicaciones”. (Díaz del Castillo, 2011)
- Aluminio: “El aluminio (Al) es un metal no férreo el cual presenta una combinación de propiedades que lo hacen un material útil para la industria e ingeniería”. (Rico, 2016)
- Arandelas: “Las arandelas son discos delgados con un agujero justo en el centro, que se encargan de asentar las tuercas y las cabezas de los tornillos”. (Londoño & Cardona, 2019)
- Tuercas: “Son elementos con un agujero roscado que permiten ser atornillados en el tornillo o colocados sobre la pieza”. (Londoño & Cardona, 2019)
- Paso de un tornillo: “Distancia entre dos crestas consecutivas o la distancia que avanza un tornillo al dar una vuelta completa”. (Londoño & Cardona, 2019)
- Bomba neumática de doble diafragma: “Consta de dos diafragmas conectados por un eje en la sección central que permite que las cámaras se muevan a la vez, siendo a su vez la separación física entre el producto a bombear y el aire



comprimido. Cuatro válvulas de bola situadas en las conexiones de aspiración e impulsión son las encargadas del dirigir el producto. La admisión del aire necesario para actuar la bomba se realiza a través de la válvula situada en la zona central de la bomba”. (TIMSA, 2011)

- Tanque de almacenamiento: “Estructura con dos funciones: almacenar la cantidad suficiente de un determinado producto para satisfacer la demanda de una población y regular la presión adecuada en el sistema de distribución dando así un servicio eficiente. Su diseño y construcción son variados y van a depender de las condiciones del terreno, del material disponible en el área, de la mano de obra existente, etc. Pueden estar localizados antes o después de la planta de tratamiento, pero, independientemente de la fuente de agua utilizada, se recomienda aplicar una desinfección directa”. (Vidas, 2008)
- Tamiz vibratorio: La idea de este equipo no es clasificar producto por tamaño de partículas, sino separar las impurezas normales que pueda contener la materia prima o producto a transportar. (INDUTRA, 2010)

#### ***5.4.2. Proceso de diseño electrónico / eléctrico***

- Sensor: “Dispositivo eléctrico que convierte magnitudes físicas a valores medibles, por lo general los valores medibles son señales eléctricas codificadas en analógico o digital”. (Torres & Fernandez, 2017)
- Transductor: “Dispositivo que convierte una magnitud física en otra más conveniente para los propósitos de la medida, en la mayoría de las aplicaciones se utilizan transductores de tipo eléctrico ya que ello permite un mejor tratamiento de la información”. (Rosselló, 2000)
- Transmisor: “Equipo que emite una señal, código o mensaje a través de un medio que está conectado al sensor mediante conductores eléctricos.”. (Gutiérrez & Iturralde, 2017)
- Rango: “El rango es el intervalo en el que el transductor o sistema de medida puede utilizarse para realizar medidas. Se expresa especificando los límites inferior y superior del intervalo en cuestión”. (Rosselló, 2000)
- Linealidad: “Relación directa entre la captación de medida física analógica con respecto a la respuesta de señal de salida analógica eléctrica entregada por el transductor”. (Rosselló, 2000)
- Calibración: “Procedimiento de comparación entre lo que indica un instrumento y lo que "debiera indicar" de acuerdo con un patrón de referencia con valor conocido. (Federación de enseñanza, 2011)
- Error: “Es la diferencia entre la salida real y la salida ideal, el error puede expresarse como un porcentaje de la lectura de la señal.”. (Gutiérrez & Iturralde,



2017)

- Exactitud: “Es la capacidad de un instrumento de medición de dar indicaciones o valores que se aproximen al valor verdadero de la variable medida”. (Gutiérrez & Iturralde, 2017)
- Resolución: “Variación mínima de la entrada para la que puede observarse una variación en la salida”. (Rosselló, 2000)
- Repetibilidad: “Capacidad del sistema de dar el mismo valor de la magnitud medida cuando se realizan distintas medidas en las mismas condiciones”. (Rosselló, 2000)
- Histéresis: “La histéresis es la diferencia entre el "punto de operación" (donde un objetivo detectado produce que el sensor conmute la salida del sensor al modo activo) y el "punto de liberación" (donde ya no se detecta más el objetivo y la salida del sensor se cambia al modo desactivado)”. (Lab-Volt, 2000)
- Estabilidad: “La estabilidad de un transductor o sistema de medida es su capacidad de mantener fija la curva de respuesta estática a lo largo del tiempo”. (Rosselló, 2000)
- Codificador digital: “Un codificador digital es un dispositivo que convierte desplazamientos lineales o rotacionales en una señal digital”. (Lab-Volt, 2000)
- Medición: “Comparación de una magnitud con su unidad de medida, con el fin de averiguar cuantas veces contiene la primera medida a la segunda medida”. (Federación de enseñanza, 2011)
- Tren de pulsos PTO: Serie de pulsos cuadrados que se suministran a un dispositivo de salida, tal como el driver de un servomotor. (Conde, 2015)
- Circuito eléctrico: “Circuito eléctrico es un conjunto de elementos (fuente, conductor y receptor) que permiten la existencia de un recorrido por el que la corriente llegará al punto al que sea requerido”. (Calvo, 2016)
- Señal digital: Señal que proporciona dos estados lógicos, 1 o 0 o en su defecto alto o bajo.
- Señal analógica: Señal en forma de tensión o corriente proveniente de un sensor captador de una medida física eterna.
- Sobre intensidad: “Intensidad de valor superior a la intensidad nominal debida a una causa cualquiera”. (ABB, 2022)
- Intensidad nominal: “intensidad ininterrumpida máxima soportada a temperatura ambiente sin sobrecalentamiento anormal”. (Schneider Electric, 2010)
- Selectividad eléctrica: “Es la coordinación de las protecciones eléctricas, para que un defecto proveniente de un punto cualquiera de la red sea eliminado por la protección ubicada inmediatamente aguas arriba del defecto, y sólo por ella”. (Schneider Electric, 2010)

- Protección eléctrica: “Dispositivo encargado de la apertura y cierre de un circuito protegiéndolo contra las sobrecargas”. (Schneider Electric, 2010)
- Tensión nominal: “Valor de tensión de suministro eléctrico específico y de funcionamiento de equipos con la cual pueden funcionar de manera segura y óptima”. (Schneider Electric, 2010)
- Transformador: “Máquina eléctrica que reduce o aumenta la tensión nominal en un valor específico”. (Schneider Electric, 2010)
- Banco de condensadores: “Conjunto de condensadores diseñados para corregir el factor de potencia”. (Schneider Electric, 2010)
- Factor de potencia: “Eficiencia con la que una carga eléctrica convierte la energía eléctrica en trabajo útil. Un factor de potencia cercano a 1 indica una alta eficiencia, mientras que valores bajos indican pérdidas de energía reactiva.”. (Schneider Electric, 2010)
- Media tensión: “Tensión nominal mayor a 1kV y menor a 62kV”. (Enerca, 2017)
- Baja tensión: “tensión nominal inferior a 1kV”. (Enerca, 2017)
- Potencia nominal: “Energía eléctrica potencialmente transformable en trabajo o iluminación”. (Enerca, 2017)
- Diagrama unifilar: “Diagrama que representa todas las partes que componen una instalación eléctrica de modo gráfico, teniendo en cuenta las conexiones que existen entre cada elemento de la instalación logrando una visualización completa del sistema”. (Cervantes & Villegas, 2009)

#### ***5.4.3. Proceso de diseño de software y automatización***

- Sistema automatizado: “Sistema donde se transfieren tareas de producción realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos”. (García Moreno, 1999)
- Lógica programada: “Tecnología desarrollada a partir de la aparición del microprocesador y de los sistemas programables basados en este, computador, controladores lógicos y autómatas programables”. (García Moreno, 1999)
- Automatización: “Se ha entendido como una tecnología en la cual se aplican los sistemas mecánicos, electrónicos y computarizados, con el fin de operar y controlar la producción, de bienes físicos de consumo, además involucra una gran variedad de sistemas y procesos que se ejecutan con mínima o ninguna intervención del ser humano”. (Groover Mikell, 2015)
- Sistema de control: “Ejecuta el programa de instrucciones del sistema automático y permite la realización del proceso”. (Vallejo & Vallejo, 2006)
- Arquitectura del sistema de control: “Se definen los requerimientos de sensórica, instrumentación, controladores lógicos programables (PLC) y sistemas de



supervisión, necesarios para ejecutar el proceso”. (Vallejo & Vallejo, 2006)

- PLC: “Dispositivo electrónico programable, destinada a cumplir funciones de automatismos lógicos y control de procesos de manufactura, en ambiente industrial y tiempo real, tanto sean de tipo combinacional o secuencial”.(Arrieta & Gonzales, 2003), además según (LogicBus, 2014) el PLC se ha diseñado para programar y controlar procesos en tiempo real y por lo general es posible encontrar este tipo de equipos en ambientes industriales.
- Programación: “Consiste en el establecimiento de una sucesión ordenada de instrucciones (disponibles en el equipo) que resuelven una determinada tarea de control”. (Arrieta & Gonzales, 2003)
- SCADA: Herramienta que permite el acceso y visualización a datos remotos de un proceso y permite el control de este utilizando herramientas de computación y comunicación. (Bustos, 2012)
- HMI: “Es una interfaz Hombre -Máquina que presenta los datos a un operador (humano) y a través del cual éste controla un determinado proceso” (Polo, 2008), la función de los HMI consiste en mostrar información operativa en tiempo real y casi en tiempo real, proporcionar gráficos de procesos visuales que aportan significado y contexto al estado del actuador y/o sensor, niveles de depósitos y otros parámetros del proceso, también suministran información operativa al proceso, y permiten el controlar y la optimización al regular los objetivos de producción y de proceso. (wonderware, 2013)
- Hardware: “Es el conjunto de todos los componentes físicos de una computadora, como, por ejemplo: las unidades de disco, el monitor, el teclado, los circuitos integrados, el microprocesador, el gabinete, las memorias, los cables, etc.” (Di Pietro, 2017)
- Software: “Conjunto de programas, procedimientos, reglas, documentación y datos asociados que forman parte de las operaciones de un sistema de computación”. (Di Pietro, 2017)
- Red: “Sistema de comunicaciones que conecta a varias unidades y que les permite intercambiar información”. (Di Pietro, 2017)
- Sistema de control por lazo cerrado: “La toma de decisiones del sistema no depende sólo de la entrada sino también de la salida.  
El sistema es más flexible y capaz de reaccionar si el resultado que está obteniendo no es el esperado; los sistemas a los que podemos llamar robots casi siempre son de lazo cerrado, este sistema es más completo ya que recibe información sobre los estados que va tomando la variable. Esta retroalimentación se logra colocando sensores que envían información de puntos clave del proceso para que así pueda actuar de manera autónoma”. (Atracen, 2016)



- Control PID: “Los controladores PID tienen tres módulos el control proporcional (P), el control integral (I) y el control derivativo (D), cada uno de estos 3 controles tiene una función determinada en la estabilización del sistema”. (Mazzone, 2002)
- Control proporcional: “Este es el control principal y su función es crear una respuesta en la salida proporcional al error”. (Mazzone, 2002)
- Control Integral: “Este se encarga de eliminar el error residual que da el control P, reduciéndolo a 0”. (Mazzone, 2002)
- Control Derivativo: “Se utiliza para eliminar las sobre oscilaciones generando una corrección en la señal de control proporcional al error”. (Mazzone, 2002)

#### ***5.4.4. Herramientas de gestión de proyectos***

- Checklist: “Herramienta estructurada utilizada para verificar que se haya llevado a cabo un conjunto de pasos o tareas necesarias”. (PMBOK, 2017)
- Power BI: “Programa de software utilizado para realizar una actividad a lo largo del proyecto”. (PMBOK, 2017)
- Stakeholders: “Interesados directos del proyecto, están clasificados según su nivel de influencia y poder en el proyecto”. (PMBOK, 2017)
- Matriz interés poder: “Matriz que compara y categoriza los niveles de participación y de influencia de los interesados”. (PMBOK, 2017)
- Estructura de desglose de recursos: “Incluye información sobre los recursos del equipo y ayuda a comprender que recursos están disponibles como y que recurso está faltando, representa los recursos por categoría y tipo”. (PMBOK, 2017)
- Estructura de desglose de trabajo EDT: “Proceso que consiste en subdividir los entregables del proyecto en componentes más pequeños y fáciles de manejar”. (PMBOK, 2017)
- Organigrama: “Documento que representa gráficamente a los miembros del equipo de acuerdo con la jerarquía y sus interrelaciones en el proyecto”. (PMBOK, 2017)
- Diagrama de espina de pescado: “Diagrama que desglosa las causas del problema identificando en ramas separadas, contribuye a identificar la causa raíz del problema”. (PMBOK, 2017)
- Riesgo: “Incidente o situación que podría presentarse en un lugar específico y ocurrir en un intervalo de tiempo particular que puede afectar el cumplimiento de los objetivos y alcance del proyecto”. (Mideplan, 2022)
- Matriz de riesgos: “Matriz que compara y categoriza los diferentes riesgos a los que está sujeto el proyecto”. (PMBOK, 2017)
- Proveedor: “Suministrador de productos, materiales, repuestos, maquinas, consumibles que se requieren en el proyecto. ”. (PMBOK, 2017)
- Contratista: “Suministrador de servicios y/o mano de obra externa que requiere el proyecto. (PMBOK, 2017)



- Criterios de selección de proveedores y contratistas: “Conjunto de atributos requeridos por el proyecto, los cuales deben satisfacer o superar para ser seleccionado para participar en el proyecto”. (PMBOK, 2017)
- Cronograma del proyecto: “Representa un listado de actividades con fechas, duraciones y recursos”. (PMBOK, 2017)

## 5.5.MARCO LEGAL

Referente a las disposiciones y normas legales relacionadas con las instalaciones automatizadas en Colombia existen: Leyes que regulan y promueven el uso de las energías alternativas y que reglamentan la producción de energía eléctrica de sistemas automatizados, su conexión a las redes eléctricas industriales y normas técnicas que rigen las características técnicas y la calidad de las instalaciones automatizadas.

### 5.5.1. *NORMAS TECNICAS*

El ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas) ha publicado varias normas que aplican en el diseño y construcción de instalaciones automatizadas y que serán tenidas en cuenta en este diseño:

Según la NTC 2050 (NTC 2050, 1998) se contemplan los siguientes requisitos para la implementación de un sistema de control automatizado.

#### 5.5.1.1. **Distribución de potencia en lazo cerrado y programada**

Dentro de las principales consideraciones se debe tener en cuenta que los componentes del sistema, incluyendo todos los equipos y conductores del sistema deben estar certificados e identificados con el fin de evitar errores humanos de las personas responsables de la operación. (NTC 2050, 1998)

**Control:** El equipo de control y todos los artefactos de conmutación accionados por dicho equipo deben estar certificados e identificados. El sistema debe funcionar de modo que:

a) No se deben energizar las salidas de un sistema de distribución en circuito cerrado si no están bien identificadas primero las características eléctricas de los equipos de utilización.

b) Las salidas se deben des energizar cuando se produzca alguna de las siguientes

circunstancias:

- Que, del equipo de utilización, conectado en la salida de un sistema de distribución de potencia en circuito cerrado, no se reciba una señal de reconocimiento que indique operación normal.
- Que exista una condición de falla a tierra.
- Que exista una condición de sobre corriente.
- Que el conductor puesto a tierra no esté adecuadamente puesto a tierra.
- Avería del controlador (PLC), si se produjera alguna avería en el controlador, todas las salidas dependientes del mismo se deben des energizar.

(NTC 2050, 1998)

#### **5.5.1.2. Limitación de potencia en circuitos de señalización**

En los circuitos de señalización que no pasen de 24 V, la corriente necesaria no debe pasar de 1A cuando estén protegidos por un dispositivo contra sobre corriente o por una fuente de alimentación intrínsecamente limitada. (NTC 2050, 1998)

#### **5.5.1.3. Cables y conductores.**

Cable híbrido: Bajo la misma chaqueta común se permite usar cables híbridos certificados, compuestos por conductores de fuerza, de comunicaciones y de señalización. La chaqueta debe estar aplicada de modo que separe los conductores eléctricos de los de comunicaciones y señalización. Se permite aplicar otra chaqueta externa opcional. Los conductores individuales de un cable híbrido deben cumplir las disposiciones aplicables de este Código en cuanto a características nominales de corriente, tensión y aislamiento. Los conductores de señalización deben ser de sección transversal menor a 0,2 mm<sup>2</sup> (24 AWG) en cobre. (NTC 2050, 1998)

Cables y conductores en el mismo armario, panel o caja. Se permite que los conductores de fuerza, comunicaciones y señalización de los cables híbridos certificados ocupen el mismo armario, panel o caja de salida u otro encerramiento similar que albergue las terminaciones eléctricas de los circuitos de alumbrado o de fuerza, pero sólo si los conectores utilizados están específicamente certificados para cables híbridos. (NTC 2050, 1998)

#### **5.5.1.4. Norma IEC-61131 en sistemas de automatización**

En la actualidad aún siguen existiendo sistemas de control específicos del fabricante, con programación dependiente y conexión compleja entre distintos sistemas de control. Esto significa para el usuario costos elevados, escasa flexibilidad y falta de normalización en las soluciones al control industrial. IEC 1131 es el primer paso en la estandarización de los autómatas programables y sus periféricos, incluyendo los lenguajes de programación que se deben utilizar. (Martin, 2006)

El programa de un controlador lógico programable (PLC) se puede adaptar flexiblemente a todas las tareas. Para elaborar un programa de mando conforme con la normativa, existen diferentes lenguajes de programación, todos ellos basados en la norma internacional IEC 61131. (Festo, 2018)

#### **5.5.1.5. Norma IEC-6052 grado de protección IP**

El grado de protección IP se describe en la publicación 60529 de la Comisión Electrotécnica Internacional, este grado de protección está identificado por un código que permite describir los grados de protección proporcionados por las envolventes contra la proximidad de las partes peligrosas, la penetración de cuerpos sólidos extraños y contra los efectos nocivos del agua. (Pasteau, 2001)

Según la norma, la primera cifra característica indica la protección de las personas contra el acceso a las partes peligrosas y la protección de los materiales contra la penetración de cuerpos sólidos extraños. La segunda cifra característica indica el grado de protección contra los efectos perjudiciales de la penetración del agua. (Pasteau, 2001)

#### **5.5.1.6. Norma IEC 60947-1 “Selectividad de disparo (para sobreintensidad)”**

La selectividad de actuación o disparo por sobreintensidad es la coordinación entre las características de funcionamiento de dos o más dispositivos de protección contra sobreintensidad de una instalación industrial, por ejemplo, de un tablero de control de motores eléctricos, al verificarse una sobreintensidad dentro de los límites establecidos, actúa sólo el dispositivo destinado a funcionar dentro de esos límites y los demás no intervienen. (ABB, 2022)

## **6. METODOLOGIA**

### **6.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION**

Esta propuesta se enfoca hacia el desarrollo e implementación de la metodología científica cuantitativa, debido a que el enfoque cuantitativo es de uso frecuente en desarrollos de prototipos y sistemas, por lo tanto, su aplicación es de vital importancia tanto en el diseño, monitoreo, implementación y validación de cada uno de los instrumentos según lo indica (Derviş, 2013).

La finalidad del proyecto es la eliminación de los derrames en la zona de tamizado, por lo tanto, las variables o indicadores de análisis se basarán en las toneladas de producto derramado y sedimento que se tendrá que disponer por medio de la empresa externa.

El enfoque cuantitativo parte del análisis de datos numéricos para dar una solución a nuestra pregunta de investigación y de esta manera determinar si el proyecto obtuvo los resultados adecuados utilizando instrumentos de medición los cuales deben brindar factibilidad y datos acertados que faciliten interpretar los resultados del proyecto en cada una de sus etapas.

En esta investigación se utilizarán técnicas como pruebas de rendimiento y recolección manual de información que lleven las características del diseño al máximo de exigencia para poder determinar su respuesta en ocasiones de alta exigencia.

Para que los resultados sean satisfactorios es necesario medir constantemente las pérdidas ocasionadas por los derrames, y a su vez los costos que esto implica, a través de esto se puede hacer una comparación de los resultados y determinar si son favorables o si la problemática continua.

De acuerdo con (Sampieri, 2006) si los resultados están a favor de la problemática planteada o son congruentes con las hipótesis iniciales, hay evidencia de resultados a favor hacia del proyecto, en caso contrario, se deben buscar nuevas explicaciones y nuevas formas de recolección de datos que justifiquen de sobremanera los nuevos resultados propuestos.

## **6.2.POBLACION**

La población considerada para el presente proyecto es la empresa Corona S.A teniendo como unidad de desarrollo el proceso de tamizado de la planta de pisos y paredes ubicada en sopo Cundinamarca.

## **6.3.PROCEDIMIENTO METODOLOGICO**

A continuación, se describen las actividades que se llevaran a cabo para el desarrollo de la propuesta, teniendo en cuenta las diferentes fases y los resultados esperados de cada una de las fases.

**Tabla 7**

*Metodología objetivo específico 1*

<b>OBJETIVO:</b>	
Analizar el proceso existente y diagnosticar los requerimientos técnicos mecatrónicos frente al proceso de tamizado definiendo las características de la solución tecnológica.	
<b>FASE</b>	<b>METODOLOGIA</b>
<b>A.</b> Revisión y diagnóstico del proceso existente	<b>A1.</b> Identificar la problemática en el proceso de tamizado de la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S. A
	<b>A2.</b> Crear procedimiento para medir los derrames generados
	<b>A3.</b> Medir cantidades derramadas y los costos generados por cada limpieza mensual de la cisterna
	<b>A4.</b> Analizar los diferentes procesos de tamizado industriales que se encuentren automatizados
	<b>A3.</b> Definición de la solución propuesta
<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	
Obtener información y evidencias de la problemática, cuantificar las pérdidas obtenidas por los derrames y los costos generados por limpiezas por contratistas externos, caracterizando el diseño de la propuesta de automatización.	

*Fuente:* (Autores)

**Tabla 8**

*Metodología objetivo específico 2*

<b>OBJETIVO:</b>	
Elaborar diseño mecánico, diseño electrónico, eléctrico y de software del sistema automatizado para controlar el proceso de tamizado a partir de los requerimientos establecidos.	
<b>FASE</b>	<b>METODOLOGIA</b>
<b>A.</b> Proceso de diseño mecánico	<b>A1.</b> Dimensionar la perfilería y soportes para un montaje flexible de los sensores
	<b>A2.</b> Seleccionar los sistemas de anclaje de los perfiles verificando su compatibilidad
	<b>A3.</b> Diseñar los elementos de acuerdo con las medidas reales del sensor
<b>B.</b> Proceso de diseño electrónico/ eléctrico	<b>B1.</b> Selección de sensores y actuadores
	<b>B2.</b> Linealizar las señales analógicas de sensores y actuadores
	<b>B3.</b> Dimensionamiento de protecciones y selectividad eléctrica
	<b>B4.</b> Diseño del diagrama eléctrico unifilar de la red de la planta
<b>C.</b> Proceso de diseño de software del sistema automatizado	<b>C1.</b> Selección del controlador (PLC) y la HMI
	<b>C2.</b> Dimensionar la fuente de alimentación del sistema
	<b>C3.</b> Diseño y programación del sistema de automatización
	<b>C4.</b> Programación y diseño de horómetros para tamices

	<b>C5.</b> Programación y diseño de interfaz gráfica HMI
<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	
Modelo de diseño mecatrónico de acuerdo con los requerimientos establecidos por la planta de pisos y paredes que se ajusten a las necesidades del proceso de tamizado.	

*Fuente:* (Autores)

**Tabla 9**

*Metodología objetivo específico 3*

<b>OBJETIVO:</b>	
Validar el correcto funcionamiento del sistema automatizado mediante pruebas y simulaciones.	
FASE	METODOLOGIA
<b>A.</b> Validación del sistema mecánico, eléctrico, electrónico, automatizado e interfaz gráfica HMI	<b>A1.</b> Realizar simulaciones y validación de funcionamiento del sistema automatizado.
	<b>A2.</b> Validación de los valores escalados en la interfaz HMI
	<b>A3.</b> Validación de las animaciones de la interfaz gráfica HMI
	<b>A4.</b> Graficar la respuesta del sistema de control de nivel
<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	
Pruebas de aceptación del modelo de automatización de acuerdo con los requerimientos establecidos y análisis de la respuesta del sistema de control teniendo en cuenta el Set Point definido para evitar el derrame del producto en el proceso de tamizado.	

*Fuente:* (Autores)

**Tabla 10**

*Metodología objetivo específico 4*

<b>OBJETIVO:</b>	
Implementar diferentes herramientas de gestión de proyectos para la correcta gestión de recursos técnicos y humanos a lo largo del proyecto.	
<b>FASE</b>	<b>METODOLOGIA</b>
<b>A.</b> Implementación de herramientas de gestión de proyectos.	<b>A1.</b> Creación de Checklist para el seguimiento de las tareas
	<b>A2.</b> Definición de los Stakeholders del proyecto
	<b>A3.</b> Creación de la estructura de desglose de trabajo y recursos
	<b>A4.</b> Creación del organigrama del proyecto
	<b>A5.</b> Creación de la matriz de riesgos del proyecto
	<b>A6.</b> Selección de proveedores mediante gráfico de radar
	<b>A6.</b> Selección de contratistas mediante gráfico de radar
<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	
Utilizar herramientas de gestión de proyectos que permitan analizar y tomar decisiones basadas en datos para la correcta gestión técnica y humana durante el desarrollo del proyecto.	

*Fuente:* (Autores)

## 7. DESARROLLO

### 7.1. REVISIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL PROCESO EXISTENTE

Actualmente la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A cuenta con el proceso de tamizado, dicho proceso tiene sistemas mecánicos, eléctricos, neumáticos y de control, los cuales son relevantes en el proceso de automatización industrial. En el proceso de optimización y actualización se encuentra una oportunidad de mejora implementando un sistema de automatización donde se puedan utilizar los diferentes instrumentos y actuadores que permitan tener un control del proceso y evitar los derrames producidos por la ausencia de personal humano durante la mayor parte del tiempo de operación del proceso.

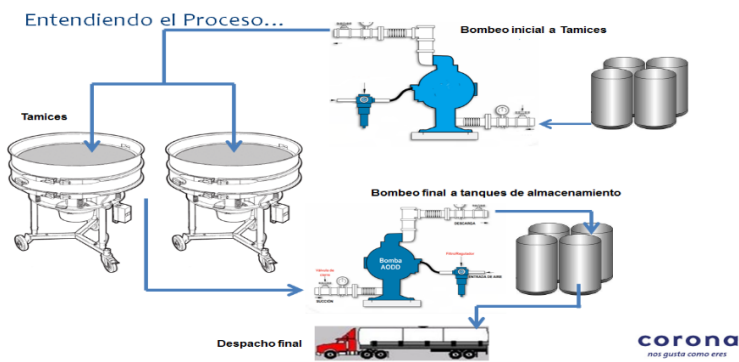
#### 7.1.1. Problemática del proceso de tamizado

El controlador del proceso interviene inicialmente el proceso para realizar diversas conexiones con mangueras desde el tanque de almacenamiento hasta la bomba neumática que bombea el producto hacia el tamizado, la bomba de descarga del tamiz también la conecta hacia otro tanque de almacenamiento, luego el controlador inicia el proceso y se va a realizar otras tareas en procesos que requieren de mayor atención, los derrames de producto pueden ocurrir en cualquier momento, por esto es difícil para el controlador darse cuenta en el momento preciso.

Luego del proceso de tamizado se procede a despachar el producto en carro tanques para el siguiente proceso de fabricación de pisos y paredes, en la figura 29 se muestra el proceso más detallado.

**Figura 29**

*Contextualización del proceso de tamizado*



Fuente: (Autores)

Cuando se manifiesta un derrame en el proceso de producción se evidencian efectos negativos tanto en la empresa como en el medio ambiente ya que inicialmente la empresa se ve afectada por una pérdida en la producción ya que los derrames constantes ocasionan interrupciones en el proceso, lo que significa que la empresa no puede fabricar la cantidad deseada de producto. Si los derrames afectan la calidad de los productos o causan retrasos en los pedidos, la reputación de la empresa puede verse perjudicada ya que se tendrán retrasos con el despacho de los pedidos y los clientes insatisfechos pueden buscar a otros proveedores más confiables.

### **Figura 30**

*Evidencia de los derrames*



*Fuente:* (Autores)

En la figura 30 se evidencia un escenario industrial en la planta de pisos y paredes en el proceso de tamizado donde se aprecia claramente un derrame de producto. El derrame tiene un aspecto oscuro y viscoso ya que se trata de una arcilla, el líquido se extiende a través del piso del área de tamizado, formando una mancha de forma irregular que abarca una considerable área del suelo.

### **Figura 31**

*Evidencia de los derrames*



*Fuente:* (Autores)

Se pueden observar algunas consecuencias visuales del derrame, como propagación del producto a través de un área considerable de la zona. También se aprecia la presencia de elementos de limpieza como mangueras de agua, se pueden ver máquinas industriales y estructuras, lo que sugiere que el derrame ha ocurrido en un entorno de producción o industrial. La foto transmite una sensación de urgencia y la necesidad de tomar medidas inmediatas para abordar la situación y minimizar los impactos ambientales, de producción y de seguridad.

Los productos derramados pueden contaminar el suelo y el agua cercanos a la planta de producción. Esto puede dañar la salud de la fauna y la flora local y afectar negativamente el ecosistema circundante, si los productos químicos derramados son considerados peligrosos, su manejo y disposición incorrectos pueden representar una amenaza adicional para el medio ambiente. La gestión inadecuada de estos residuos puede llevar a la contaminación a largo plazo y al deterioro del desarrollo sostenible, en la figura 32 se evidencia la cisterna donde llegan los derrames, esta cisterna debe de pasar por un proceso de limpieza donde personal contratista saca entre 2 y 4 toneladas de sedimento.

### **Figura 32**

*Cisterna con sedimento*




*Fuente:* (Autores)

La limpieza de los derrames requiere tiempo, esfuerzo y recursos, la empresa debe gastar dinero en productos químicos, mano de obra y limpieza, estos costos adicionales pueden reducir la rentabilidad de la empresa.

Para analizar esta problemática se acude a las herramientas de análisis que usa la empresa, el formato de caso de estudio tipo B con el 5W+1H, la espina de pescado y los 5 porque, permiten identificar las principales causas del problema y plantear las soluciones necesarias que se consideren adecuadas.

**Figura 33**

*Caso de estudio tipo B con 5W+1H*

 <b>CASO DE ESTUDIO TIPO B</b>		HORÓMETRO	N/A
		No. TARJETA	N/A
CATEGORÍAS (Marque con una X)	NOMBRE PARTICIPANTES Lius Roncancio Daniel Mendez Alejandro Rojas Camilo Izquierdo Luis Aguirre Mateo Gonzales Nestor Jurado Marisol Cortes Elkin soche Jonatan Muñoz	REGISTRO No.	47
1. Avería		FECHA AVERÍA	N/A
2. Paro por avería		TURNO	N/A
3. Preventivo			N/A
4. Mejora <b>X</b>		SUPERVISOR:	FECHA DEL ÚLTIMO MANTENIMIENTO
5. Predictivo			
PLANTA: Pisos y paredes Sopo	MÁQUINA:	1000000633	
LÍNEA: Tamizado	ID MÁQUINA:		
TIEMPO DE INTERVENCIÓN (Min)	AVERÍA REPETITIVA <b>SI</b> NO	CUANDO?	Cronico/Frecuente
TIEMPO ESPERA REPUESTOS (Min)	HORA DE PARADA (24hrs):		
TIEMPO TOTAL PARO (Min)	HORA DE INTERVENCIÓN (24hrs):		
<b>ETAPA DEFINICIÓN: DEFINA EL PROBLEMA CON EL 5W+1H</b>			
¿Qué problema se tiene? Describa el problema que se tiene. Ejemplo: molino no arranca, alta temperatura en la chumacera, polea reventada, etc.	Derrames constantes de producto en el proceso de tamizado y sedimentación excesiva de la cisterna de planta de agua		
¿Cuándo ocurre? Indique el momento de tiempo o espacio en el que ocurrió el problema. Ejemplo: en el turno de la noche, cada vez que se prende el equipo, cuando se presiona el botón, etc.	Durante el funcionamiento diario del proceso de tamizado		
¿Dónde ocurre? Indique la máquina o proceso en donde ocurre el problema. Ejemplo: en el molino 7, en la trituradora, en la tolva báscula, etc.	Tamices del 1 al 10		
¿Quién es el responsable? Indique quién es el responsable de la máquina o el proceso donde se tiene el problema. Ejemplo: el colaborador de planta, el técnico de mantenimiento, el facilitador, etc.	El controlador del proceso		
¿Cuál es la tendencia del problema? Al azar o crónico.	Cronico		
¿Cómo ocurre? Describa con mayor detalle cómo ocurre el problema y sus consecuencias.	Durante el proceso de tamizado se generan constantes derrames de producto en los tamices del 1 al 10, ocurre crónicamente y no se puede evitar fácilmente, esto ocasiona sedimentación excesiva en P. Agua.		

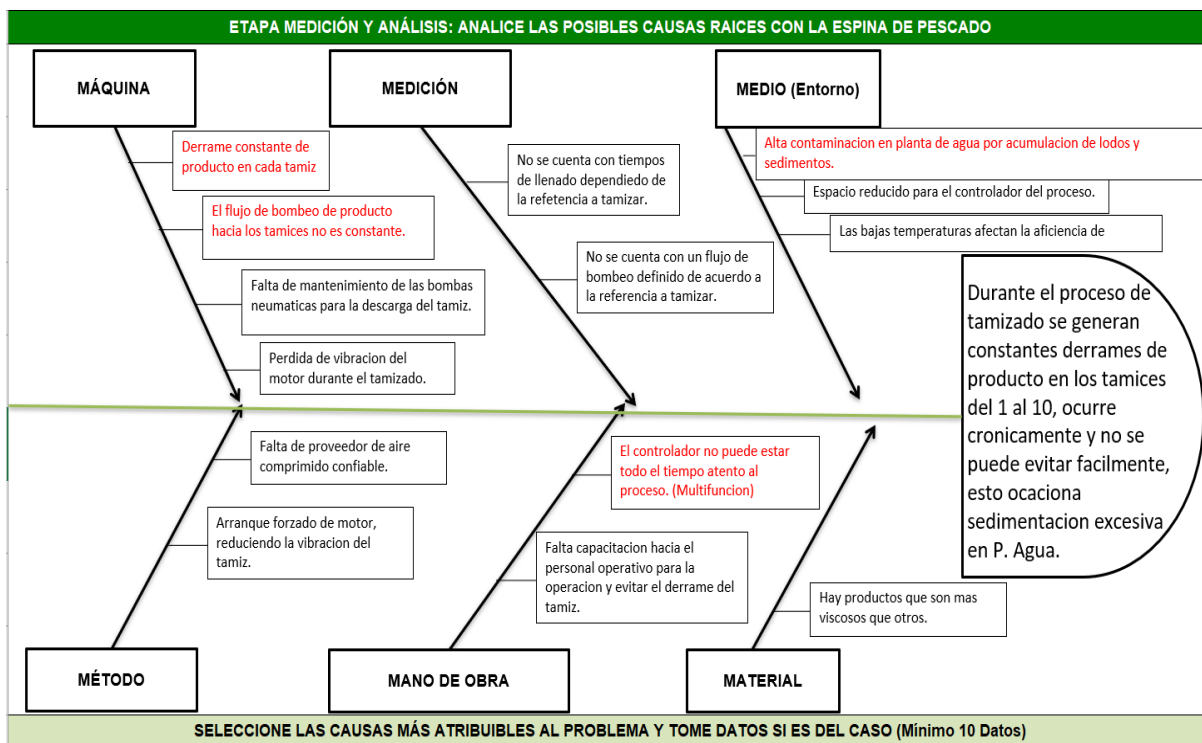
**Fuente:** (Autores)

Inicialmente el formato de caso estudio tipo B muestra un encabezado con datos básicos del proceso, indica también los participantes, con el 5W+1H se obtiene la información necesaria y el contexto de la problemática con las preguntas que se muestran en la figura.

Es importante que este análisis se lleve a cabo con personas de distintas áreas ya que todas las opiniones e ideas pueden dar como resultado la identificación de todas las posibles causas del problema y de esta forma llegar a la mejor solución.

**Figura 34**

*Caso de estudio tipo B con espina de pescado*



Fuente: (Autores)

El caso de estudio tipo B continua con la espina de pescado la cual busca obtener las principales causas raíz del problema, la espina de pescado se compone de las 6M para el proceso de análisis (Maquina, Medición, Medio, Método, Mano de obra, Material) donde por medio de una lluvia de ideas se buscan las principales causas que atribuyen el problema mostrado en la cabeza del pescado como se muestra en la figura.

Esta lluvia de ideas puede generar muchas causas, sin embargo, el equipo al final selecciona por medio de votación y consenso las más destacadas, estas causas más destacadas se señalan de color rojo.

Las causas que más votación tuvieron fueron las siguientes. “Derrame constante de producto en cada tamiz” , “El flujo de bombeo de producto hacia los tamices no es constante”, “Alta contaminación en planta de agua por acumulación de lodos y sedimentos”, “El controlador no puede estar todo el tiempo atento al proceso”. Con base en estas causas las cuales son las más atribuibles se procede a la etapa de análisis a través del 5 por qué.

### Figura 35

#### Caso de estudio tipo B con 5 por que

ETAPA MEDICIÓN Y ANÁLISIS: ESCOJA LAS CAUSAS MAS ATRIBUIBLES AL PROBLEMA Y REALICE EL ANÁLISIS 5 POR QUÉ A CADA UNA				
1. ¿POR QUÉ?	2. ¿POR QUÉ?	3. ¿POR QUÉ?	4. ¿POR QUÉ?	5. ¿POR QUÉ?
<i>Derrame constante de producto en cada tamiz?</i>	Por que el tamiz se llena muy rapido y el operario no se da cuenta?	Por que el operario arranca el proceso y se va a otra zona ?	Por que no puede estar todo el tiempo en el tamizado?	Por que tiene que estar atento a multiples procesos?
Porque el tamiz se llena muy rapido y el operario no se da cuenta	Porque el operario arranca el proceso y se va a otra zona	Porque no puede estar todo el tiempo en el tamizado	Porque tiene que estar atento a multiples procesos	Porque no hay un personal definido para estar 100% en el tamizado.
<i>El flujode bombeo hacia los tamices no es constante ?</i>	Por que la presion neumatica varia constantemente en la planta?	Por que el operario tiene que regular manualmente el caudal de cada bomba neumatica?	Por que algunos tamices se llenan mas rapido que otros?	Por que no hay un regulador de caudal en cada bomba ?
Porque la presion neumatica varia constantemente en la planta	Porque el operario tiene que regular manualmente el caudal de cada bomba neumatica	Porque algunos tamices se llenan mas rapido que otros	Porque no hay un regulador de caudal en cada bomba	Porque el sistema de tamizado no se encuentra automatizado.
<i>Alta contaminacion en planta de agua por acumulacion de lodos y sedimentos?</i>	Por que llegan grandes residuos del proceso de tamizado de la planta de ceramica?	Por que hay desperdicios diarios que se generan en el proceso de tamizado?	Por que en los 3 turnos del dia ocurren al menos 2 derrames en la zona de tamizado?	Por que los tamices se llenan y el operario no se da cuenta oportunamente?
Porque llegan grandes residuos del proceso de tamizado de la planta de pisos y paredes	Porque hay desperdicios diarios que se generan en el proceso de tamizado	Porque en los 3 turnos del dia ocurren al menos 2 derrames en la zona de tamizado	Porque los tamices se llenan y el operario no se da cuenta oportunamente	Porque no se tiene un sistema de control que monitoree y controle el llenado de los tamices.
ETAPA DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS: REALICE LA MATRIZ AMEF				
Realiza la matriz AMEF (el formato se encuentra en la hoja de excel llamada AMEF o lo puedes solicitar al practicante de mantenimiento o de mejoras)				
ETAPA DE MEJORA Y CONTROL: DEFINA LOS PLANES DE ACCIÓN, RESPONSABLES Y FECHAS				
PLAN DE ACCIÓN (Defina los planes de acción necesarios para garantizar que el problema no se vuelva a presentar)		FECHA	RESPONSABLE	EJECUTADA (SI/NO)
1	Crear procedimiento para medir los derrames generados	30/05/2023	Alejandro Rojas	SI
2	Medir los derrames y costos por limpiezas mensuales	15/06/2023	Equipo de produccion	SI
3	Proponer sistema de automatizacion y control de llenado de tamices que elimine el derrame constante	15/07/2023	Alejandro Rojas	SI

Fuente: (Autores)

El 5 por que permite desglosar a profundidad cada una de las causas indagando cada respuesta como se muestra en la figura, es una herramienta efectiva para el análisis de la mayoría de las problemáticas que se presentan en la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A, ayuda a abordar problemas de manera colectiva, mejorando la

calidad, prevenir recurrencias y promover una cultura de mejora continua en organizaciones a través de proyectos.

La finalidad es llegar a implementar planes de acción efectivos que se traduzcan en la eliminación del problema, estos planes de acción tienen un responsable con fechas definidas, el responsable puede apoyarse de los diferentes participantes para obtener los mejores resultados del plan de acción, estos planes de acción pueden ser desde medidas de gestión hasta la implementación de un proyecto de mejora.

### *7.1.2. Procedimiento para la recolección de datos de los derrames*

Para tener un valor aproximado de la cantidad de los derrames se implementó un procedimiento para realizar una medición cada vez que ocurra un derrame, de esta manera se puede cuantificar y tener un valor real de las pérdidas por los derrames y los costos generados por limpieza realizados por personal contratista externo en un periodo de 3 meses.

El proceso de recolección y medición se dividió en los siguientes pasos teniendo en cuenta la seguridad del controlador y del entorno del proceso.

#### **Paso 1:** Preparación y Equipamiento

Antes de comenzar, el controlador debe asegurarse de que está debidamente equipado con el equipo de protección personal (EPP) necesario, que incluye guantes resistentes a productos químicos, gafas de seguridad, botas, protector respiratorio y un controlador de apoyo en caso de ser necesario.

#### **Paso 2:** Identificación de los derrames

El controlador debe inspeccionar regularmente el área de producción en busca de derrames. Esto puede requerir una inspección visual periódica o el apoyo de controladores de áreas cercanas con el fin de notificar cuando ocurra el evento, los jefes del área deben tener en cuenta que el controlador del proceso destinara tiempo para la cuantificación del derrame, en este proceso el controlador debe registrar el producto derramado con el fin de tener un consolidado al final del mes.

#### **Paso 3:** Recolección de Derrames

Con el EPP adecuado y siguiendo las instrucciones de seguridad, el controlador debe recoger cuidadosamente los derrames con herramientas apropiadas, como paletas, cepillos, escurridores o recogedores.

#### **Paso 4: Almacenamiento Temporal**

Los derrames recogidos deben colocarse en contenedores adecuados y etiquetados de forma clara con información sobre el tipo de producto derramado y el # de evento.

#### **Paso 5: Pesaje**

El controlador debe llevar los contenedores con los derrames recogidos a una balanza de precisión. Antes de pesar, debe tarar la balanza con el contenedor vacío para obtener una medición precisa del peso del derrame.

#### **Paso 6: Registro de Datos**

Anotar el peso de los derrames recogidos en un registro específico, junto con detalles como la fecha y referencia del producto derramado.

#### **Paso 7: Eliminación Segura**

Después de pesar y registrar los derrames, el controlador debe seguir los procedimientos de eliminación segura definidos en la planta de producción, en este caso debe de disponer el producto derramado en la cisterna definida para esto.

#### **Paso 8: Limpieza y Descontaminación**

Finalmente, el área contaminada debe limpiarse y descontaminarse adecuadamente. Esto puede requerir el uso de productos químicos de limpieza específicos y la eliminación de cualquier residuo o material contaminado de manera segura. Luego de esto el controlador puede volver a sus actividades.

#### **Pasos de Seguridad Importantes:**

- El operario debe estar bien entrenado en el manejo de sustancias peligrosas y conocer las propiedades de las sustancias derramadas.
- Usar el EPP adecuado en todo momento para protegerse de los riesgos químicos.
- Evitar el contacto directo con los derrames y asegurarse de que no haya fugas en los contenedores utilizados para su recolección.
- Comunicar cualquier incidente al personal de seguridad y a los coordinadores de la planta.

Este proceso garantiza la eficiencia en la cuantificación de las pérdidas y la seguridad del controlador y del entorno de trabajo. Además, es fundamental mantener un programa de capacitación y concienciación para todos los trabajadores involucrados en el manejo de derrames.

### *7.1.3. Medición de cantidades derramadas y costos de limpiezas*

La medición de los productos que se derraman y conocer el costo de cada limpieza son prácticas esenciales ya que esto permite a la empresa tener una visión clara de cuántos recursos se están perdiendo en cada evento, esta información es esencial para tomar decisiones en cuanto a las cantidades producidas efectivas y las cantidades desperdiciadas.

El procedimiento implementado proporciona información valiosa para identificar áreas de mejora en los procesos de producción. Esto permite implementar medidas preventivas y correctivas para minimizar o eliminar los derrames en el futuro.

Conocer el costo de cada limpieza permite asignar adecuadamente los recursos financieros para estas tareas. Esto garantiza una asignación eficiente de los presupuestos de limpieza y ayuda a controlar los gastos operativos, de igual forma motiva a la empresa a buscar soluciones que no solo reduzcan los gastos de limpieza, sino que también eviten futuros derrames, mejorando la eficiencia general del proceso.

**Tabla 11**

*Medición de derrames mes 1*

<b>MES 1</b>		
<b>N°</b>	<b>Producto</b>	<b>Cantidad Kg (aprox)</b>
1	Engobe E3	94
2	Arcilla HSM	89
3	Arcilla maría	81
4	Engobe E3	106
5	Engobe E3	66
6	Cristalina 325	154
7	Arcilla HSM	106
8	Protectora 911	115
9	Engobe 1012	93
10	Engobe E3	88
11	Engobe 988	53

12	Cristalina 325	48
13	Arcilla HSM	124
14	Protectora 911	205
15	Engobe 988	176
16	Engobe 1012	159
17	Engobe E3	234
18	Arcilla HSM	184
19	Engobe 988	152
20	Cristalina 325	137
21	Engobe E3	149

Producto	Kg (aprox)	Eventos
Arcilla HSM	503	4
Arcilla maría	81	1
Cristalina 325	339	3
Engobe 1012	252	2
Engobe 988	381	3
Engobe E3	737	6
Protectora 911	320	2
<b>Total general</b>	<b>2613</b>	<b>21</b>

*Fuente:* (Autores)

En la tabla 11 se muestra un registro de 21 derrames, cada uno de los cuales involucra 7 productos diferentes. En conjunto, estos derrames han acumulado un total de 2613 kilogramos (kg) de producto derramado. Esta tabla proporciona un desglose detallado de la cantidad de producto derramado por cada incidente, lo que permite un seguimiento preciso de los derrames y una mejor comprensión de su impacto en la producción, los costos de limpieza se muestran a continuación en la tabla 12.

## Tabla 12

### *Costos de limpieza mes 1*

LIMPIEZA CISTERNA		
Contratista	Costo	Tiempo (hr)
Sodexo	\$ 6.540.000	37

*Fuente:* (Autores)

La tabla 12 proporciona un resumen claro del costo y el tiempo asociado a la limpieza de la cisterna, limpieza realizada por un contratista externo, el costo total de la limpieza asciende a \$6.540.000, mientras que el tiempo necesario para completar la limpieza fue

de 37 horas. Esta información es fundamental para evaluar el impacto financiero y de recurso humano requerido por los derrames.

Este mismo procedimiento se realizó por 3 meses, a continuación, se muestran los datos obtenidos.

**Tabla 13**

*Medición de derrames mes 2*

MES 2		
N°	Producto	Cantidad Kg (aprox)
1	Engobe E3	98
2	Arcilla HSM	156
3	Arcilla HSM	187
4	Engobe E3	162
5	Arcilla HSM	184
6	Cristalina 325	208
7	Arcilla HSM	264
8	Protectora 911	300
9	Engobe 1012	102
10	Protectora 911	95
11	Engobe 988	87
12	Cristalina 325	106
13	Arcilla HSM	126
14	Protectora 911	145
15	Cristalina 325	99
16	Engobe E3	102

Producto	Kg (aprox)	Eventos
Arcilla HSM	917	5
Cristalina 325	413	3
Engobe 1012	102	1
Engobe 988	87	1
Engobe E3	362	3
Protectora 911	540	3
<b>Total general</b>	<b>2421</b>	<b>16</b>

*Fuente:* (Autores)

En la tabla 13 se muestra un registro de 16 derrames, cada uno de los cuales involucra 6 productos diferentes. En conjunto, estos derrames han acumulado un total de 2421 kilogramos (kg) de producto derramado, los costos de limpieza del mes 2 se muestran a continuación en la tabla 14.

**Tabla 14**

*Costos de limpieza mes 2*

LIMPIEZA CISTERNA		
Contratista	Costo	Tiempo (hr)
Sodexo	\$ 5.950.000	30

*Fuente:* (Autores)

La tabla 14 proporciona un resumen claro del costo y el tiempo asociado a la limpieza de la cisterna, limpieza realizada por un contratista externo, el costo total de la limpieza asciende a \$5.950.000, mientras que el tiempo necesario para completar la limpieza fue de 30 horas. Los datos del mes 3 se muestran a continuación.

**Tabla 15**

*Medición de derrames mes 3*

MES 1		
N°	Producto	Cantidad Kg (aprox)
1	Cristalina 325	52
2	Engobe 988	155
3	Arcilla maria	205
4	Cristalina 325	125
5	Engobe 988	45
6	Cristalina 325	62
7	Arcilla HSM	97
8	Protectora 911	95
9	Engobe 1012	136
10	Engobe E3	255
11	Engobe 988	158
12	Cristalina 325	175
13	Arcilla HSM	231
14	Protectora 911	94
15	Engobe 988	151
16	Engobe 1012	137

17	Engobe E3	45
18	Arcilla HSM	94
19	Engobe 988	112
20	Engobe E3	13
21	Engobe E3	144
22	Engobe E3	166
23	Engobe 988	135
24	Cristalina 325	122
25	Arcilla HSM	98
26	Arcilla HSM	109

Producto	Kg (aprox)	Eventos
Arcilla HSM	629	5
Arcilla maría	205	1
Cristalina 325	536	5
Engobe 1012	273	2
Engobe 988	756	6
Engobe E3	623	5
Protectora 911	189	2
<b>Total general</b>	<b>3211</b>	<b>26</b>

*Fuente:* (Autores)

En la tabla 15 se muestra un registro de 26 derrames, cada uno de los cuales involucra 7 productos diferentes. En conjunto, estos derrames han acumulado un total de 3211 kilogramos (kg) de producto derramado, los costos de limpieza del mes 2 se muestran a continuación en la tabla 17.

## Tabla 16

### *Costos de limpieza mes 2*

LIMPIEZA CISTERNA		
Contratista	Costo	Tiempo (hr)
Sodexo	\$ 7.369.000	43

*Fuente:* (Autores)

La tabla 16 proporciona un resumen claro del costo y el tiempo asociado a la limpieza de la cisterna, limpieza realizada por un contratista externo, el costo total de la limpieza asciende a \$7.369.000, mientras que el tiempo necesario para completar la limpieza fue de 43 horas.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores se evidencia que los derrames varían mes a mes, sin embargo, los registros de cada mes son significativos en cuanto a producto perdido y en cuanto a costos de limpieza, estos dos factores afectan directamente la eficiencia del proceso y la rentabilidad de la planta, por esto es necesario implementar una solución que reduzca o elimine los derrames en la zona de tamizado en la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A.

#### *7.1.4. Análisis de los procesos de tamizado automatizados*

En la industria cerámica, el tamizado es un proceso importante para garantizar la calidad y uniformidad de los materiales cerámicos. Existen varios procesos de tamizado utilizados en la cerámica, dependiendo de las necesidades específicas de producción. Algunos de los procesos de tamizado comunes son el tamizado en seco que implica el uso de tamices separar partículas más grandes de las más pequeñas en materiales cerámicos en polvo, el material cerámico se vierte sobre el tamiz, y las partículas más pequeñas pasan a través de las aberturas del tamiz, mientras que las partículas más grandes quedan atrapadas en la parte superior este proceso es similar a un coladero o a una zaranda.

En el tamizado húmedo el material cerámico se mezcla con agua u otro líquido para formar una suspensión que se vierte sobre el tamiz, y el líquido permite que las partículas más pequeñas pasen a través de las aberturas del tamiz mientras las partículas más grandes quedan retenidas, esto es útil para eliminar impurezas y asegurar la uniformidad de la suspensión.

En el tamizado por vibración se utiliza una máquina de tamizado por vibración que agita el tamiz, lo que ayuda a separar las partículas más pequeñas de las más grandes de manera eficiente a través del paso del producto por una malla que puede ser de 100 hilos por pulgada cuadrada, este método es rápido y adecuado para lotes de producción grandes y es el método utilizado en la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A.

El tamizado al vacío se puede ver en ciertas aplicaciones cerámicas, se utiliza el tamizado al vacío para eliminar el aire atrapado en las partículas cerámicas durante la producción, esto ayuda a compactar y consolidar el material cerámico, este proceso es utilizado en la planta de vajillas de la empresa Corona S.A, sin embargo, este proceso no es el foco de esta propuesta.

La elección del método de tamizado depende de las características del material cerámico, los requisitos de producción y la calidad deseada del producto final, en el proceso de producción el tamizado es esencial para garantizar que los materiales tengan las propiedades adecuadas y cumplan con los estándares de calidad necesarios en la

fabricación de pisos y paredes ya que cualquier imperfecto se nota a simple vista al momento de inspeccionar el piso o la pared final.

Si realizamos una revisión de los procesos de tamizado podemos ver que no es posible encontrar un proceso de tamizado automatizado, una razón para la escasez de información sobre procesos de tamizado automatizados es que las empresas cada vez buscan que sus procesos sean más rápidos y eficientes, por lo tanto sus métodos de producción tienen a ser confidenciales con el fin de ser altamente competitivos en la industria.

Muchas empresas consideran sus métodos y tecnologías de automatización como ventajas estratégicas y, por lo tanto, evitan compartir detalles específicos sobre sus procesos públicamente, la protección de la propiedad intelectual y la innovación en la mejora de la eficiencia y la calidad de los productos son motivos válidos para mantener estos detalles lo más privado posible.

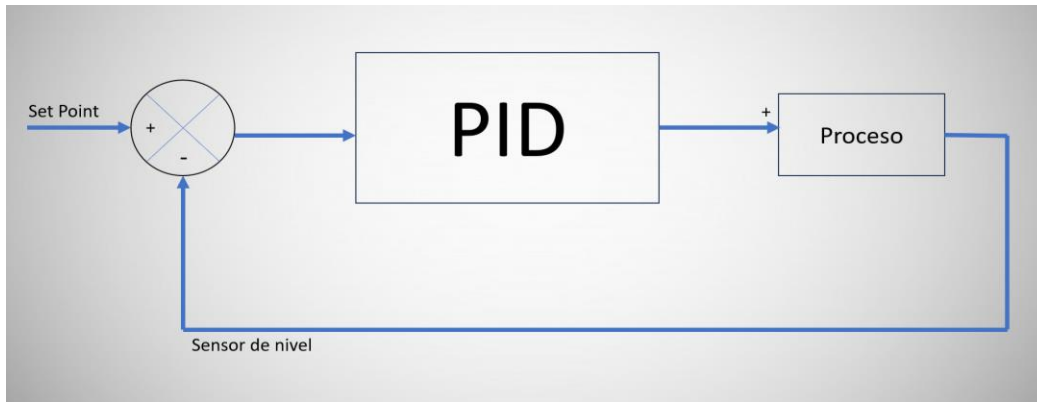
#### ***7.1.5. Definición de la solución propuesta***

La problemática de derrames en el proceso de tamizado puede abordarse eficazmente mediante un sistema automatizado que controle el llenado y el flujo de aire hacia la bomba neumática que alimenta el tamizado, por medio de un controlador lógico programable (PLC) y una interfaz gráfica (HMI), a continuación, se muestra la explicación detallada de la solución

Se propone un sistema automatizado por medio de un PLC Siemens S7-1500 y una pantalla HMI KTP 900 como interfaz gráfica, por medio de un sensor de nivel con salida de 4-20mA se monitoreará el llenado del tamiz, en el proceso, una electroválvula reguladora de flujo con salida de 4-20mA controlará la bomba neumática de doble diafragma que envía el producto hacia el tamiz, se definirá un Set Point de llenado a través de la pantalla HMI, este Set Point se puede ajustar según los criterios de la operación del proceso, por medio de un control PID que se programara en el PLC Siemens S7-1500 se controlará el flujo de aire que ingresa a la bomba neumática de doble diafragma con el fin de no tener derrames en el tamiz, el Set Point, el sensor de nivel y la electroválvula reguladora de flujo interactúan entre sí como se muestra en la figura 36.

**Figura 36**

*Diagrama PID*



*Fuente:* (Autores)

El PLC trabajara de la siguiente manera, Se tiene el Set Point y el sensor de nivel en retroalimentación, la diferencia entre el Set Point y el sensor de nivel dará el error del sistema de control, este error entra al controlador PID el cual proporcionara una señal controlada que actuara directamente sobre la electroválvula reguladora de flujo permitiendo que se regule de forma eficiente el bombeo a través de la bomba neumática de doble diafragma.

#### 7.1.5.1. Componentes clave

El controlador lógico programable (PLC) es el cerebro del sistema de automatización, el PLC Siemens S7-1500 es una unidad de control programable capaz de realizar tareas lógicas y de control en tiempo real, se utilizará para coordinar todas las funciones del sistema.

La interfaz gráfica HMI KTP 900 permitirá a los controladores interactuar con el sistema, proporciona una representación visual del proceso y permite la configuración, supervisión y operación en tiempo real.

Sensor de nivel con Salida de 4-20mA se utilizará para medir el nivel de llenado en el tamiz, la salida de 4-20mA proporciona una señal proporcional al nivel y permite al PLC conocer el estado de llenado en cualquier instante de tiempo.

Electroválvula reguladora de flujo con Salida de 4-20mA controlará el flujo de aire hacia la bomba neumática de doble diafragma, la salida de 4-20mA permitirá al PLC ajustar el flujo de aire de acuerdo con las necesidades para evitar derrames.

El control PID se utilizará para regular el flujo de aire hacia la bomba neumática, a través de cálculos continuos, ajustará la electroválvula reguladora de flujo para mantener el nivel de llenado cerca del Set Point deseado.

#### **7.1.5.2. Beneficios y ventajas de la solución propuesta**

El principal beneficio será la eliminación de los derrames de los productos, como se mostró anteriormente las cantidades medidas en los derrames en los 3 meses de prueba siempre superaron los 2000 Kg, esta solución garantiza que el nivel de llenado en el tamiz se mantenga dentro de los límites deseados, evitando derrames costosos y potencialmente peligrosos, además se garantiza la eficiencia en el uso de recursos ya que se optimiza el uso de la bomba neumática y el flujo de aire, también el encendido y apagado del motor vibrador del tamiz, reduciendo el consumo de energía y mejorando la eficiencia del proceso.

La eliminación de los derrames en el proceso puede traducirse en ahorros significativos en costos de producción y limpieza, como se mostró en la tabla 13, 15 y 17 los costos de limpieza durante los 3 meses fueron de \$19.859.000, si estos costos se eliminan la empresa tendrá mayor flujo de caja y tendrá presupuesto para realizar diferentes inversiones que beneficien los procesos y a los colaboradores.

#### **7.1.5.3. Funcionamiento detallado de la solución propuesta**

Para definir el funcionamiento detallado se gestionó una reunión con los controladores encargados del proceso, supervisores de producción y mantenimiento, con el fin de definir una secuencia lógica y eficiente para el control del proceso, es importante que cada uno aporte ideas y sugerencias para llegar a la solución más conveniente, de esta manera los controladores del proceso aportan información valiosa para determinar el óptimo funcionamiento de acuerdo a las necesidades del proceso y que facilite el trabajo de cada controlador durante la operación.

La propuesta también tiene requerimientos por parte del área de mantenimiento, las cuales involucran diferentes condiciones con el fin de garantizar la disponibilidad de los equipos a costos razonables de mantenimiento. Los requerimientos del área de mantenimiento se describen a continuación.

- Optimización del bombeo eliminando el trabajo en vacío de las bombas y del motor vibrador del tamiz.
- Funcionamiento en modo automático y en modo manual del proceso de tamizado, caracterizando la secuencia lógica de arranque y parada determinada por los controladores.



- Registro de alarmas del proceso, es decir, es sistema debe de notificar por medio de la HMI las diferentes alarmas que se puedan presentar durante el proceso de tamizado, por ejemplo, si el motor de un tamiz presenta falla y se dispara su protección eléctrica.
- Se debe de monitorear el nivel de la cisterna, con el desarrollo de la propuesta se eliminarán los derrames, sin embargo, hay demás procesos que utilizan agua industrial para lavado de máquinas, esta agua industrial llega a la cisterna para ser tratada en planta de agua.
- Realizar un registro de tiempos de funcionamiento de cada tamiz con el fin de llevar a cabo los planes de mantenimiento de forma más precisa.

Teniendo en cuenta lo anterior, se muestra a continuación la propuesta del funcionamiento detallado del proceso.

#### ***7.1.5.3.1. Inicio del proceso en modo automático***

Al iniciar el tamizado a través de un botón en la HMI la electroválvula reguladora de flujo de la bomba abrirá proporcionalmente y se iniciará el bombeo hacia los tamices.

Pasado un tiempo de (5s) arrancaran los respectivos tamices de cada batería, este tiempo permitirá que se cargue la tubería y los motores vibradores arranquen cuando hay producto en el tamiz.

El tamiz se empezará a llenar hasta una referencia máxima de llenado definida en la HMI como Set Point, el sensor de nivel mide constantemente el nivel de llenado y transmite esta información al PLC a través de la señal de 4-20mA, el PLC compara el valor medido con el Set Point definido previamente. Si el nivel está por debajo del Set Point, el PLC envía una señal a la electroválvula reguladora de flujo para que la bomba continúe bombeando hasta que el nivel deseado se alcance, si el nivel se mantiene cerca del Set Point, la electroválvula reguladora de flujo tendrá una determinada apertura que garantizara el flujo óptimo de aire hacia la bomba neumática, lo que mantiene la velocidad de bombeo y evita el derrame.

El controlador PID en el PLC utiliza los principios de control proporcional, integral y derivativo para ajustar la electroválvula reguladora de flujo de manera precisa y rápida, manteniendo el nivel de llenado tan cerca del Set Point como sea posible.



#### ***7.1.5.3.2. Finalización del proceso en modo automático***

- El controlador decide en qué momento finalizar a través de un botón en la HMI.
- Si el sistema detecta que el nivel de llenado es insuficiente a través del sensor que emite una señal de 4-20mA el tamizado finalizara, esto con el fin de no tener la bomba neumática y el motor vibrador del tamiz operando en vacío
- La electroválvula reguladora de flujo se cerrará por completo y no habrá bombeo hacia los tamices
- Luego de (1min) se apagarán los tamices con el fin de que se terminen de desocupar y posteriormente la bomba de descarga.

#### ***7.1.5.3.3. Inicio y finalización del proceso en modo manual***

El controlador podrá arrancar y detener cada tamiz y cada bomba por separado según necesite, este modo manual será mayormente utilizado durante el proceso de lavado de los tamices, el lavado de tamices se realiza durante cambios de referencia de productos, así se evita la contaminación entre las diferentes referencias del proceso.

#### ***7.1.5.3.4. Operación y visualización***

A través de la pantalla HMI KTP 900 se facilitará a los operadores supervisar y operar el proceso en tiempo real, también podrán realizar ajustes a los parámetros si es necesario. También proporciona notificaciones visuales y de alarma en caso de manifestarse algún evento que afecte el desarrollo óptimo del proceso. La HMI debe de permitir al operador accionar e identificar rápidamente lo siguiente.

- Seleccionar el modo de trabajo, Manual o Automático.
- Arrancar y finalizar el proceso de tamizado rápidamente pulsando un botón en la HMI.
- Identificar cual tamiz se encuentra encendido o apagado por medio de un control visual en la HMI, este control visual será por medio de colores donde: Gris: Tamiz detenido. Verde: Tamiz en funcionamiento. Rojo: Tamiz en falla.
- Identificar cual tamiz presenta una falla por medio de un control visual en la HMI y por medio de un registro de alarmas, de esta manera sabrá rápidamente cual tamiz está fallando para tomar rápidamente las acciones correctivas y dar aviso al área de mantenimiento.
- Identificar si las bombas neumáticas están encendidas o apagadas por medio de un control visual en la HMI, este control visual maneja los mismos colores que los tamices donde: Gris: Bomba detenida. Verde: Bomba en funcionamiento. Rojo: Bomba en falla.

La implementación de este sistema automatizado ofrece una solución efectiva y precisa para abordar la problemática de los derrames en tamices en la producción de pisos y paredes de la empresa Corona S.A, La función principal será monitorear y controlar el nivel de llenado de manera continua y ajustar el flujo de aire de manera inteligente, esta solución no solo previene los derrames, sino que también optimiza el uso de recursos y mejora la eficiencia operativa, ya que el controlador podrá estar atento a diferentes procesos que requieren más atención sin estar preocupado por los derrames que comúnmente ocurren en el área de tamizado, esto contribuye a un proceso de producción más seguro, rentable y sostenible en el tiempo.

## **7.2.ELABORACION DEL DISEÑO MECANICO, ELECTRONICO, ELECTRICO Y DE SOFTWARE DEL SISTEMA AUTOMATIZADO**

Actualmente en la industria nos apoyamos en diversos recursos para facilitar y disminuir tiempos de ejecución, como herramientas, técnicas, y programas informáticos, entre otros, (Diego, 2007). En el ámbito de diseño ingenieril contamos con tres programas informáticos conocidos como:

CAD “Computer Aided Desing”, el cual cuenta con una interfaz desarrollada con el propósito de crear, modificar y optimizar un diseño en 2D o 3D donde se puede indicar procesos, materiales, dimensiones, etc.(Rojas, 1999)

CAE “Computer Aided Engineering”, este tipo de software permite analizar y simular los diseños realizados para valorar características, viabilidad y rentabilidad con la finalidad de optimizar su desarrollo y costos de fabricación. (Rojas, 1999)

CAM “Computer Aided Manufacturing”, se utiliza para controlar las máquinas involucradas en los procesos de manufactura con el objetivo de ejecutar una acción o ciclo de forma más rápida y precisa. (Rojas, 1999)

Haciendo uso del software disponible utilizado en Ingeniería Mecatrónica como son AutoCAD, SolidWorks, Solid Edge, Cade Simu, Tia portal, Power BI, entre otros se llevará a cabo el diseño de automatización del proceso de tamizado. Con la implementación de estas herramientas tecnológicas vitales para el proceso de diseño se pretenden realizar diseños mecánicos, diseños eléctricos y programación de todas las señales y componentes implementados en el proceso de automatización siendo esto una ventaja significativa como lo detalla (Garcia & Carlos, 2006).

### *7.2.1. Proceso de diseño mecánico*

El diseño mecánico ha tenido un rol crucial en el avance de la tecnología, ya que es necesario para crear eficazmente una amplia gama de elementos y sistemas, desde objetos comunes como sillas hasta estructuras más complejas como puentes, edificios y naves espaciales. Según (Vicente & Useche, 2018) la aplicación de conocimientos en el diseño mecánico nos capacita para prever con cierta exactitud cómo se comportarán estas estructuras y máquinas, permitiéndonos diseñarlas de manera que se ajusten a los comportamientos deseados.

Es importante tener en cuenta que la propuesta se basa en una solución eléctrica, electrónica y de automatización, por lo tanto no habrá un diseño mecánico sustancioso, sin embargo, es necesario diseñar y gestionar diversas piezas para el montaje de los elementos del sistema de automatización, teniendo en cuenta que según (Budynas & Keith Nisbett, 2017) diseñar es crear un plan para satisfacer una necesidad específica, si el plan resulta en la creación de algo físicamente real partiendo de una idea inicial, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse utilizarse de forma segura y hasta comercializarse.

Para realizar el montaje del sensor de nivel de forma fácil y flexible, y permitir la regulación de su altura, los perfiles de aluminio tipo T-slot son una excelente opción, estos perfiles son versátiles y proporcionan una estructura robusta para fijar el sensor de nivel. Los perfiles T-slot de aluminio son ligeros, resistentes y versátiles. Pueden cortarse y ensamblarse según las necesidades, lo que permite crear estructuras personalizadas para montar sensores y otros componentes. (Mechatronics, 2020)

Para facilitar el montaje se pueden utilizar soportes de montaje específicos para perfiles T-slot, estos soportes se ajustan fácilmente a los perfiles y proporcionan una base estable para el sensor de nivel junto con los numerosos accesorios de fijación diseñados para trabajar con perfiles T-slot, como tuercas en T, pernos en T y conectores en T que permiten una sujeción segura y ajustable. Teniendo en cuenta que es un proceso industrial la flexibilidad de montaje es importante, ya que en caso de mantenimiento o avería el sensor debe de desmontarse y montarse de forma rápida para no perder tiempo de producción.

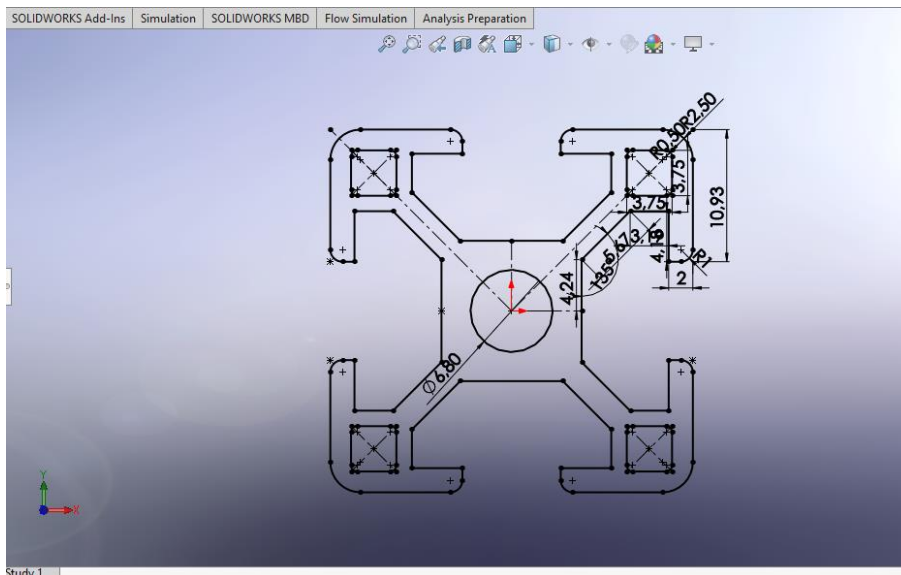
La combinación de estos elementos permite crear una estructura de montaje personalizada y ajustable que se adapte a las necesidades específicas del sensor de nivel y del entorno del proceso de tamizado.

### 7.2.1.1. Diseño del soporte con perfil T-Slot

El proceso de diseño del perfil se realiza de acuerdo con las medidas necesarias para el montaje, es importante definir las medidas correspondientes para realizar el proceso de corte del perfil sin tener perdidas de material, se realiza el diseño mecánico del perfil de aluminio mediante el software SolidWorks.

**Figura 37**

*Diseño inicial perfil T-slot*



*Fuente:* (Autores)

En la figura 37, se puede ver el diseño inicial de un perfil T-slot que ha sido creado utilizando el software SolidWorks, para el diseño se utilizan herramientas como la simetría de entidades, que se ha utilizado para asegurar que el perfil T-slot tenga una forma equilibrada y simétrica en relación con su eje central, esto es fundamental para garantizar que el perfil sea uniforme y se ajuste correctamente en las estructuras de montaje.

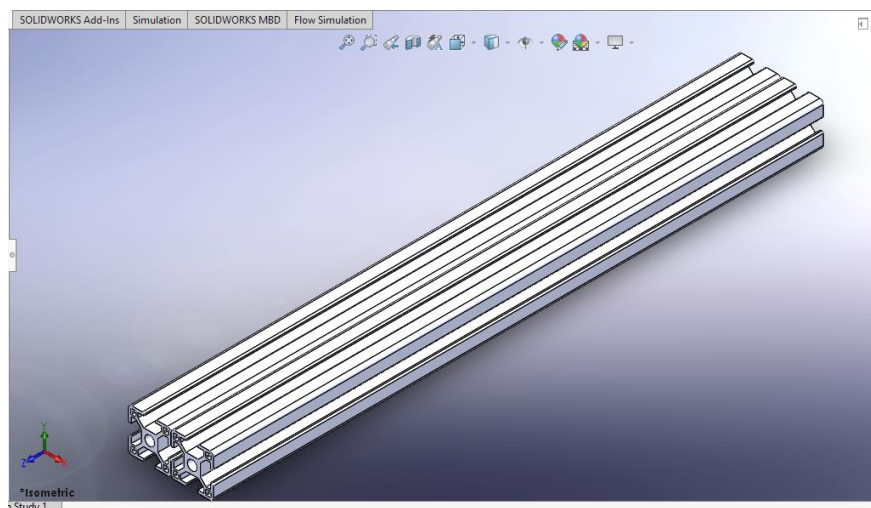
Las cotas inteligentes, claramente visibles en la imagen, proporcionan mediciones precisas de las dimensiones clave del perfil, estas medidas son esenciales para asegurar que el diseño cumpla con las especificaciones requeridas y se ajuste adecuadamente a la estructura destinada para el montaje.

El redondeo de bordes es otra característica importante que se ha aplicado al diseño, ya

que los bordes redondeados no solo mejoran la estética del perfil, sino que también evitan puntas afiladas que podrían representar riesgos en el entorno de trabajo para los operadores, técnicos e ingenieros que intervengan el proceso durante el montaje.

## Figura 38

### *Diseño en 3D del perfil T-slot*



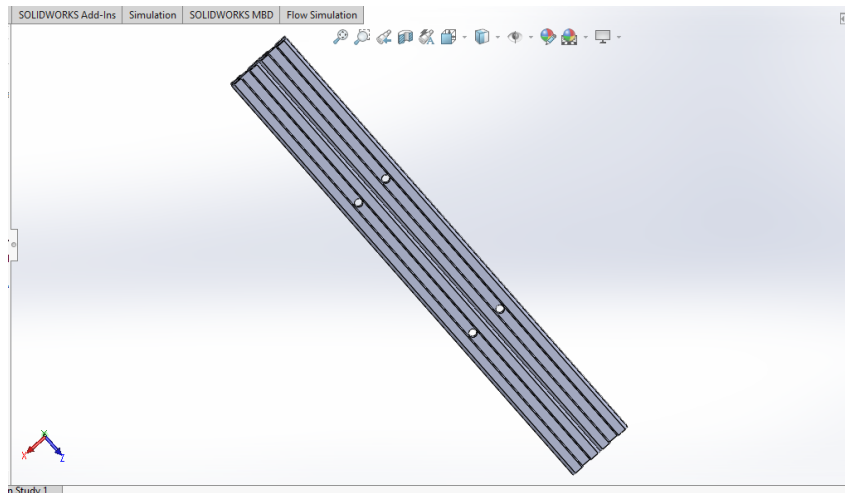
*Fuente:* (Autores)

La figura 38 muestra la extrusión del perfil T-slot, donde el diseño bidimensional se ha convertido en un objeto sólido, a través de la herramienta de simetría de entidades se convierte el perfil 30x30 en un perfil más robusto de 30x60, esto es fundamental para representar adecuadamente la forma y las dimensiones del perfil.

La figura 39 muestra cuatro (4) perforaciones de 8mm en el perfil, estas perforaciones servirán para anclar el perfil a la estructura, la ventaja de estos perfiles es que sus mecanismos de anclaje no interfieren con los elementos montados en el perfil, es decir, que el tornillo de anclaje que pasara por la perforación de 8mm no afectara en ningún momento el movimiento del soporte del sensor.

## Figura 39

### *Perforaciones en perfil T-slot*



*Fuente:* (Autores)

Este proceso ilustra cómo SolidWorks se utiliza de manera efectiva para crear el diseño inicial de un perfil T-slot, aplicando principios de simetría, mediciones precisas, redondeo de bordes, extrusión y corte para lograr un diseño equilibrado y funcional, teniendo en cuenta que según (SolidWorks, 2015) este software es una aplicación de automatización de diseño mecánico que le permite a los diseñadores croquizar ideas con rapidez, experimentar con operaciones y cotas, obteniendo como resultado final y dibujos detallados.

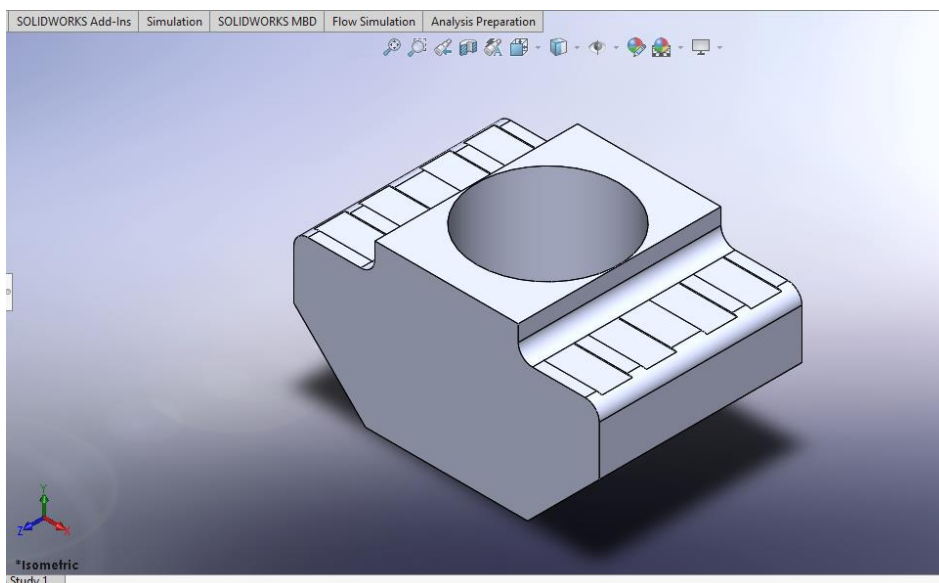
#### **7.2.1.2. Diseño de las tuercas en T**

Un aspecto importante para la correcta operación del sensor de nivel es garantizar que este permanezca estable y bien sujeto al perfil T-slot, esto es esencial para mantener las mediciones precisas y evitar lecturas erróneas del sensor, teniendo en cuenta que según (Vásquez García, 2015) las vibraciones mecánicas se refieren a la oscilación de un cuerpo o un sistema mecánico alrededor de su posición de equilibrio. Para el caso del proceso de tamizado la vibración excesiva del motor vibrador del tamiz puede ocasionar que se aflojen las uniones y las conexiones llegando a producir la caída del sensor.

Para garantizar el anclaje rápido y seguro se realiza el diseño mecánico de la tuerca en T, la cual debe de ingresar holgadamente en cada slot del perfil, el diseño de la tuerca en T se muestra a continuación en la figura 40.

## Figura 40

### *Diseño en 3D de la tuerca en T*



*Fuente:* (Autores)

La correcta selección de los elementos de ajuste es importante para que el sensor se pueda anclar al perfil T-slot, de esta manera tendrá flexibilidad de posicionamiento, permitiendo ajustar la posición y la altura del sensor de manera rápida, esto es esencial para adaptar el sensor a diferentes situaciones o para realizar ajustes precisos según las necesidades del proceso o la producción.

Los elementos de sujeción con una medida correcta facilitan las intervenciones del sensor, una ventaja importante es que simplifica las labores de mantenimiento, calibración o reemplazo del sensor, lo que ahorra tiempo y reduce el tiempo de inactividad del proceso de tamizado en caso de una falla.

#### **7.2.1.3. Diseño mecánico del sensor**

Es necesario tener claras las dimensiones del sensor para definir los elementos de sujeción, para este procedimiento se toma de soporte la galería CAD de IFM Electronics para tener un modelo detallado de la referencia, el sensor a utilizar para la medición de nivel es el Sensor óptico O1D100, en la figura 41 se muestra un modelo gráfico en 3D del sensor.

## Figura 41

Modelo 3D sensor óptico O1D100

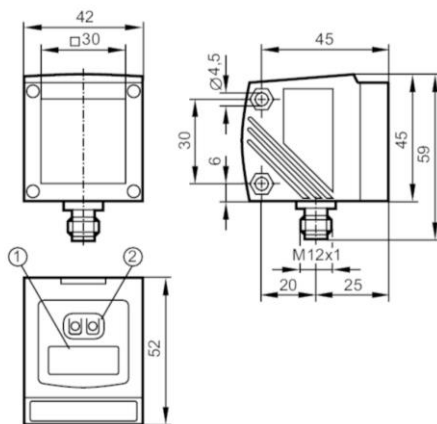


Fuente: (IFM, 2023)

Teniendo el modelo 3D del sensor se obtiene las dimensiones respectivas utilizando la galería CAD de IFM Electronics, estas dimensiones se muestran en la figura 42, esto permite obtener medidas exactas del dispositivo y proporciona eficiencia y rapidez en el diseño de ingeniería.

## Figura 42

Dimensiones sensor óptico O1D100

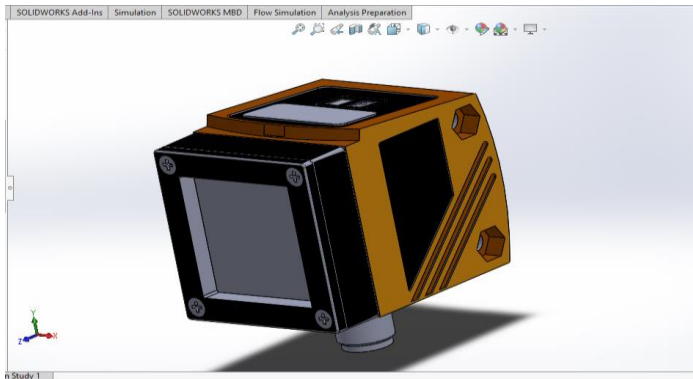


Fuente: (IFM, 2023)

Con la ayuda de la galería CAD de IFM Electronics se obtienen las medidas exactas las cuales se utilizan para crear un modelo 3D propio mediante el software SolidWorks, el modelo se muestra en la figura 43.

### Figura 43

#### Modelo 3D sensor óptico O1D100 en SolidWorks

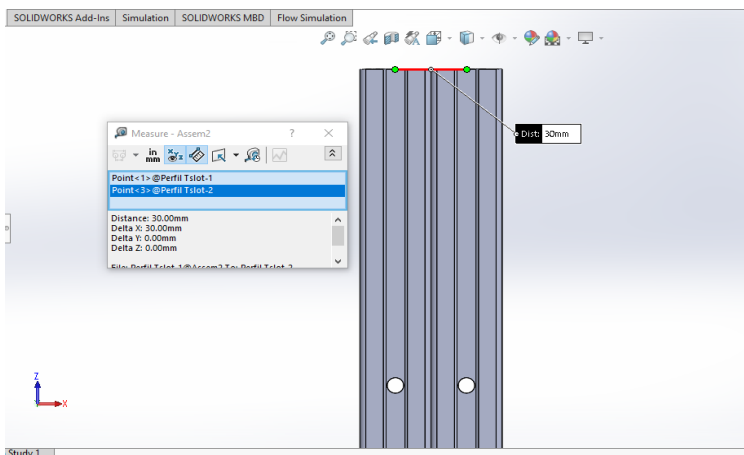


Fuente: (Autores)

La figura 44 muestra claramente la medida entre centros de cada Slot, esto con el fin de comparar las medidas con las de la figura 34, donde se evidencia que la distancia entre los orificios de anclaje del sensor IFM son de 30mm, por lo tanto, se comprueba que el diseño del perfil de aluminio se adapta con seguridad a las dimensiones del sensor.

### Figura 44

#### Medidas entre centros de cada Slot del perfil



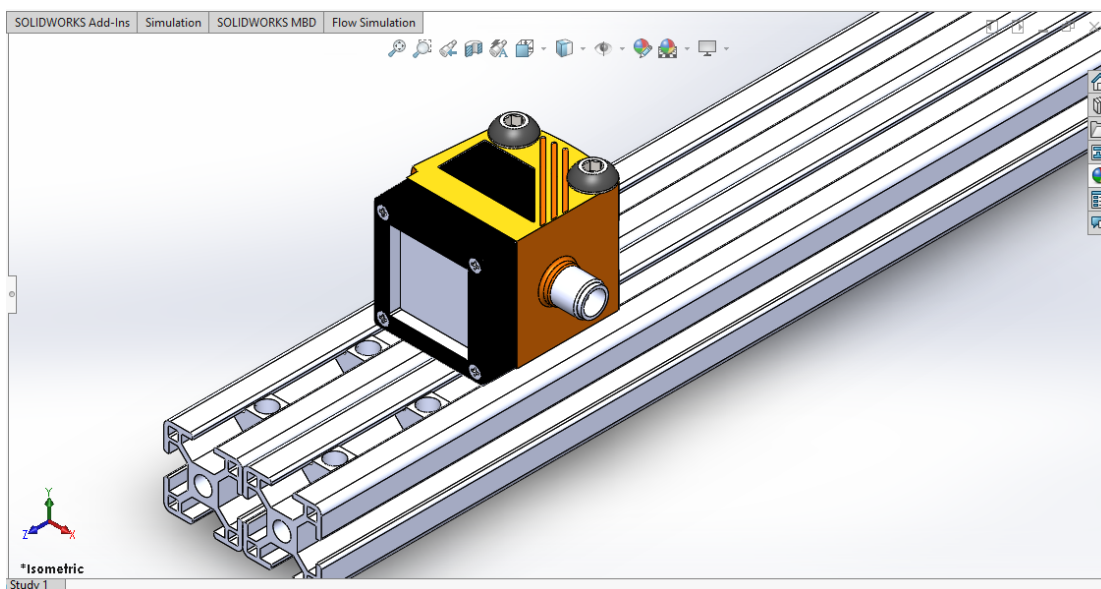
Fuente: (Autores)

#### 7.2.1.4. Ensamble del sistema mecánico

Teniendo diseñados los principales elementos se realiza el procedimiento de ensamble mecánico en SolidWorks para ver como sería el montaje final del sensor en el perfil de aluminio T-slot, teniendo cada pieza diseñada por separado se realiza la unión mecánica utilizando herramientas de simetría de entidades, en ensamble del sistema se muestra a continuación en la figura 45.

**Figura 45**

*Ensamble del sistema*



*Fuente:* (Autores)

El ensamblaje de varias piezas con la herramienta de ensamble en SolidWorks es esencial para crear modelos 3D completos que representen las ideas iniciales del diseño, según (SolidWorks, 2015) en este proceso, se seleccionan las piezas deseadas y se colocan en un área de ensamblaje, donde se aplican restricciones y relaciones para garantizar que las piezas estén posicionadas y orientadas de manera precisa y realista.

La herramienta de restricciones ayuda a limitar el movimiento de las piezas en relación con otras, mientras que las relaciones establecen reglas geométricas para su interacción y como lo explica (Fernandez, 2015) se verifica la ausencia de interferencias entre las piezas y se pueden realizar ajustes para asegurar que el ensamblaje funcione correctamente.

En conclusión, el diseño mecánico aporta diferentes métodos de diseño para transformar una idea en algo potencialmente real, aporta las herramientas necesarias para crear los modelos iniciales sencillos hasta modelos finales más complejos garantizando que la relación entre las partes diseñadas cumpla los requerimientos e interactúen de manera coherente antes de la fabricación o el montaje físico.

### ***7.2.2. Proceso de diseño electrónico / eléctrico***

El diseño electrónico ha tenido un papel importante a lo largo de los años en el desarrollo de la tecnología, desde máquinas de gran tamaño implicadas en grandes procesos de transformación y producción industrial hasta pequeños dispositivos que cumplen tareas importantes en el sector de la salud.

Dentro de los procesos de diseño electrónico una parte fundamental es la selección de sensores y actuadores, esto con el fin de tener claras las características de cada elemento, teniendo claras estas características se conocen las tensiones de los circuitos que intervienen en la solución, también se pueden realizar cambios de los sensores o actuadores si no cumplen con los requerimientos o si no cumplen con el presupuesto.

Como se mostró en el marco teórico del presente proyecto, existen diversos sensores en la industria, cada sensor puede tener unas características y aplicaciones específicas, una de esas características es la variable de detección, las más importantes en la industria son: distancia, presión, caudal, temperatura, velocidad, entre otras. Para estas variables se utilizan sensores con salida tipo IV, los tipos de salida se describen claramente en el marco teórico del presente proyecto.

Para el desarrollo del proyecto se utilizará un sensor con salida tipo IV, el valor de estas señales está en los siguientes rangos, 0-10V, -10-10V, 0-20mA, 4-20mA. Estas señales a pesar de ser las más utilizadas industrialmente, es común que se traten, se linealicen y se escalen de forma incorrecta y esto causa la pérdida de datos y valores no correspondientes al valor real de la variable.

#### **7.2.2.1. Criterios de selección del sensor**

Seleccionar un sensor puede ser una tarea fácil y algunas veces puede ser una tarea que se complica dependiendo de la aplicación o de la variable a medir, sin embargo, siempre el objetivo es seleccionar la mejor opción, según (Gutiérrez & Iturralde, 2017) los sensores para uso en aplicaciones industriales de ingeniería, pueden significar la diferencia entre mediciones confiables o números disparados y poco confiables de la

variable a medir, el objetivo principal al seleccionar un sensor es medir con exactitud y con un rango de error aceptable según los requerimientos del proceso.

La selección del sensor que se utilizara para la medición del nivel de llenado en el proceso de tamizado de la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A se debe realizar teniendo en cuenta diversos factores que se describen a continuación.

- **Definición de la aplicación**

Es importante tener clara la aplicación donde se desempeñará el sensor, con esto se garantiza que el sensor va a responder satisfactoriamente ya que no es lo mismo seleccionar un sensor que mida presión si queremos medir el nivel, distancia, caudal o temperatura. Para el caso de este proyecto la aplicación será netamente la medición del nivel de llenado de un elemento contenedor, en este caso el tamiz vibratorio del proceso.

- **Tipo de alimentación eléctrica**

Seleccionar adecuadamente la fuente de alimentación eléctrica de un sensor es esencial para garantizar su óptimo funcionamiento, también su durabilidad, eficiencia y seguridad, además, también contribuye a mediciones precisas y confiables y ayuda a mantener la compatibilidad con el sistema en el que se integra el sensor en este caso con el controlador lógico programable (PLC), lo que es fundamental en aplicaciones industriales y de control.

- **Salida necesaria para el proceso, ¿analógica o digital?**

La señal de salida del sensor es un punto clave el diseño, como se mostro en el marco teórico del presente proyecto, se tienen diferentes tipos de salidas que pueden ser usadas en diversas aplicaciones, teniendo clara la aplicación podemos seleccionar la señal de salida tipo IV, la cual nos entrega señales estandarizadas en los rangos de 0-10V, -10-10V, 0-20mA, 4-20mA, siendo 4-20mA una de las mejores alternativas industrialmente ya que es menos susceptible a interferencias eléctricas y ruido que las señales de voltaje, como 0-10 V ya que esta corriente no se ve afectada durante largos trayectos de cableado a causa de la resistencia del cable.

Otro aspecto destacado de la señal de 4-20mA es que permite la identificación rápida de fallas en la lectura, si se interrumpe el circuito o hay una falla en el sensor, se detecta automáticamente ya que el valor inicial de la salida del sensor es de 4mA, supongamos que hay una falla en el cableado como una rotura en algún punto del tramo, inmediatamente la señal se convierte en 0mA, lo que se detenta fácilmente en el controlador lógico programable (PLC) como una falla y se puede diagnosticar rápidamente.

- **Características del objeto o variable a medir**

Identificar desde el inicio las características específicas de la variable a medir permite seleccionar un sensor que pueda desempeñarse según sus características de diseño y proporcionar mediciones confiables, teniendo en cuenta lo que afirma (Pepperl + Fuchs, 2017) cada sensor tiene un rango de operación y una resolución óptima, y elegir uno que se ajuste adecuadamente a las características de la variable garantiza una medición certera y hasta optimización de costos del proyecto.

Para el caso de este proyecto el reto es medir el nivel de diferentes productos utilizados en la producción de pisos y paredes partiendo de productos como la arcilla líquida que su viscosidad es baja hasta productos como el engobe que tiene una viscosidad alta, según (Martínez & Jaco, 2010) el engobe es un producto importante en la producción cerámica y es un producto líquido coloreado de composición y consistencia cremosa que se aplica sobre una pieza cruda y húmeda durante la producción de productos de la industria cerámica, en este caso se aplica sobre la línea de producción de pisos y paredes de la empresa Corona S.A.

- **Características del medio donde se va a instalar el sensor**

Es fundamental tener en cuenta desde el principio las características del medio en el que se va a instalar el sensor, ya que estas condiciones pueden tener un impacto significativo en el rendimiento y la durabilidad del sensor. Las características más comunes de un medio industrial pueden ser la temperatura, la humedad, la vibración, el polvo, el agua, la presión, exposición a sustancias químicas, área de difícil acceso entre otras.

Para el caso de este proyecto el sensor estará expuesto a salpicaduras de los productos cerámicos indicados en la tabla 12, otra característica del medio de la planta de pisos y paredes en el proceso de tamizado es el polvo, humedad por agua y vapor, por lo tanto, la selección del sensor debe tener presente estos aspectos y así evitar problemas de funcionamiento y daños que podrían surgir debido a la exposición a factores ambientales adversos.

- **Distancia de medición del sensor**

La distancia de medición del sensor es fundamental para la adquisición de datos confiables del nivel de llenado del tamiz vibratorio, si estos datos son lo suficientemente confiables se podrán eliminar los derrames del proceso satisfactoriamente. Si la distancia de medición no se tiene en cuenta, el resultado sería la medición del nivel poco confiable o inexacta, lo que podría tener consecuencias negativas para el desarrollo del proyecto.

### 7.2.2.2. Selección del sensor para la medición de nivel

Teniendo en cuentas los factores de selección se tuvieron en cuenta diferentes referencias de sensores basándose en la ficha técnica, se realizan pruebas para determinar la respuesta y la calidad de señal de cada uno en la medición de los diferentes productos, esto es posible ya que la empresa Corona S.A tiene diferentes convenios con diferentes proveedores del sector de la automatización industrial que facilitan los instrumentos en modo de préstamo con el fin de probarlos antes de iniciar el proceso de compra, de esta manera se puede seleccionar el sensor teniendo como base las pruebas realizadas en campo y analizando su comportamiento.

El sensor elegido para la aplicación es el sensor óptico O1D100, este sensor detecta los niveles de material a granel y fluidos opacos sin entrar en contacto con el producto, lo cual facilita la medición de los productos y las tareas de mantenimiento reduciendo las tareas de limpieza, sus principales características se muestran a continuación en la tabla 17.

**Tabla 17**

*Características sensor óptico O1D100*

<b>Sensor Óptico O1D100</b>	
<b>Características del producto</b>	
Número total de salidas (Parametrizables analógica o digital)	2
Numero de salidas analógicas	1
Salida analógica de corriente (mA)	4...20
Salida analógica de tensión (V)	0...10
Protección contra corto circuitos	Si
Tensión de alimentación eléctrica	18...30VDC
Tipo de alimentación	PNP
Conector eléctrico	M12

Rango de medición (m o mm) configurable	0,2...10
Frecuencia de medición (Hz)	1...50
Zona muerta	Si. Parametrizable
Temperatura de trabajo (°C)	(-10...60)
Grado de protección	IP 67
Peso (g)	243,5
Tipo de forma de la carcasa	Rectangular
Dimensiones físicas (mm)	59 x 42 x 52
Orientación de la óptica	Óptica lateral

*Fuente:* (Autores)

En la tabla 17 se muestra un sensor versátil, inicualmente se puede ver que cuenta con dos (2) salidas parametrizables tanto digital como analógica, para el caso de este proyecto se utilizara una salida analógica tipo IV, siendo la más conveniente la de 4-20mA como se indicó anteriormente.

La alimentación eléctrica está comprendida entre 18 y 30VDC y se adecua a las fuentes de corriente directa (DC) utilizadas por la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A. El rango de medición también es un factor flexible ya que se puede configurar de 0.2m hasta 10m con una zona muerta parametrizable, lo cual favorece las condiciones mecánicas de montaje. Las condiciones ambientales son favorables en cuanto a las características del medio donde se va a instalar ya que tiene un amplio rango de temperatura de funcionamiento de -10 hasta 60 °C.

Su grado de protección IP es 67, donde la primera cifra indica el grado de protección contra el ingreso de cuerpos solidos donde cero (0) equivale a no protegido y seis (6) equivale a totalmente protegido. La segunda cifra indica el grado de protección contra el ingreso de agua donde cero (0) equivale a no protegido y ocho (8) equivale a protegido contra inmersión prolongada, esto contribuye a un óptimo desempeño a la exposición contra polvo y agua, teniendo en cuenta que el grado de protección IP según (Galizia, 2017) es la protección que tienen las envolturas de equipos y materiales eléctricos y/o electrónicos contra el ingreso de materiales solidos como polvo, viruta, material particulado), también es la protección contra el ingreso de agua, este grado de protección

es de gran importancia en las instalaciones industriales y una causa de muchas averías en entornos industriales es tener equipos en operación expuestos a agua y polvo sin contemplar saber su grado de protección desde el inicio.

Los datos mecánicos indican facilidad de montaje y manipulación, se hará siguiendo la metodología y el diseño establecido en el diseño mecánico mostrado anteriormente.

### 7.2.2.3. Linealización de la señal analógica de los sensores

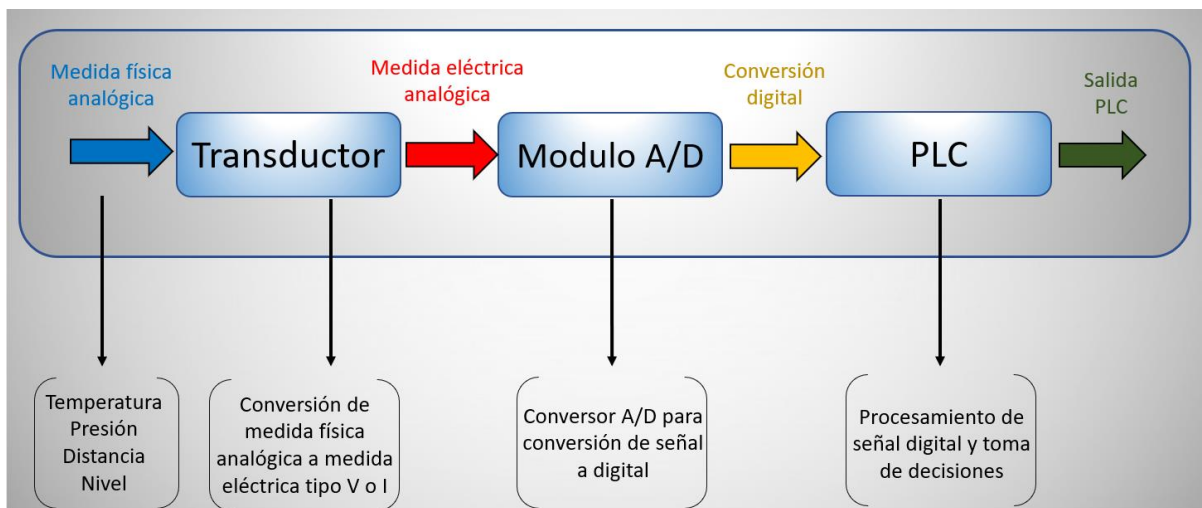
Como se mostró en el marco conceptual la linealidad es la relación directa entre la captación de medida física analógica con respecto a la respuesta de señal de salida analógica eléctrica entregada por el transductor según (Planas Rosselló, 2000), por tanto es importante realizar la linealización del sensor elegido para el desarrollo del proyecto, en este caso el sensor óptico O1D100.

Antes de realizar la linealización es importante tener en cuenta que del correcto tratamiento de una señal analógica depende la calidad de los datos provenientes de un sensor, en este caso el sensor utilizado para medir el nivel de llenado del tamiz vibratorio del proceso de tamizado de la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A.

La linealización es importante ya que permite ver de forma gráfica el comportamiento de la señal y los diferentes valores para cada valor del proceso.

**Figura 46**

*Diagrama de conversión de una señal analógica*



Fuente: (Autores)

La figura 46 muestra el diagrama de conversión para tratar una señal analógica desde el inicio como medida física analógica hasta su procesamiento con un controlador lógico programable (PLC), en este caso veremos la linealización de medida física analógica a medida eléctrica analógica, el resto del proceso se detallará más adelante en el diseño de automatización.

Inicialmente se tiene la medida física analógica la cual es procedente del sensor, esta medida física analógica puede ser de temperatura, presión, distancia, nivel, caudal, velocidad, etc. Para el caso de este proyecto la medida física analógica será de nivel, sin embargo, es importante tener en cuenta que esta señal de nivel se expresara en milímetros y el sensor óptico O1D100 permite su parametrización ya sea en metros o milímetros. Como se dijo anteriormente la salida del sensor será de 4-20mA.

Para realizar la linealización del sensor es necesario definir los valores de entrada de medida física analógica mínimos y máximos en este caso nivel en milímetros y los valores de salida de medida eléctrica analógica, en este caso 4-20mA, con estos valores se puede iniciar la linealización.

**Tabla 18**

*Valores de entrada y salida del sensor*

<b>Valores</b>	
Vsal(max)	20
Vsal(min)	4
Vent(max)	250
Vent(min)	0
K	4

*Fuente:* (Autores)

Para el proceso de tamizado es necesario controlar el nivel de llenado del tamiz el cual tiene un recipiente de 1200mm de diámetro x 250mm de alto, por lo tanto, el nivel se monitoreará entre 0mm y 250mm donde 0mm es vacío y 250mm es lleno, también se puede monitorear en % de llenado donde 0mm es 0% y 250mm es 100%.

La tabla 18 muestra los valores mínimos y máximos que interactúan en la conversión de medida física analógica a medida eléctrica analógica lo cual corresponde a la pendiente de la recta y se expresa en la ecuación (1) donde:

$V_{sal(max)}$ : Valor máximo de la medida eléctrica analógica del sensor

$V_{sal(min)}$ : Valor mínimo de la medida eléctrica analógica del sensor

$V_{ent(max)}$ : Entrada máxima de la variable a medir, en este caso 250mm

$V_{ent(min)}$ : Entrada mínima de la variable a medir, en este caso 0mm

$K$ : Valor mínimo de la medida eléctrica analógica del sensor, también conocido como offset

$$\left( \frac{V_{sal(max)} - V_{sal(min)}}{V_{ent(max)} - V_{ent(min)}} * V_{entActual} \right) + K \quad (1)$$

Utilizando la ecuación (1) se realiza la linealización del sensor como se muestra a continuación:

Para cero (0) milímetros:  $\left( \frac{20mA - 4mA}{250mm - 0mm} * 0mm \right) + 4mA = 4mA$

Para sesenta y tres (63) milímetros:  $\left( \frac{20mA - 4mA}{250mm - 0mm} * 63mm \right) + 4mA = 8.032mA$

Para ciento veinte cinco (125) milímetros:  $\left( \frac{20mA - 4mA}{250mm - 0mm} * 125mm \right) + 4mA = 12mA$

Para ciento noventa (190) milímetros:  $\left( \frac{20mA - 4mA}{250mm - 0mm} * 190mm \right) + 4mA = 16.16mA$

Para doscientos cincuenta (250) milímetros:  $\left( \frac{20mA - 4mA}{250mm - 0mm} * 250mm \right) + 4mA = 20mA$

Los resultados obtenidos se definen en la tabla 19 y sirven de base para graficar el comportamiento de la señal con las variaciones en milímetros.

**Tabla 19**

*Linealidad del sensor óptico O1D100*

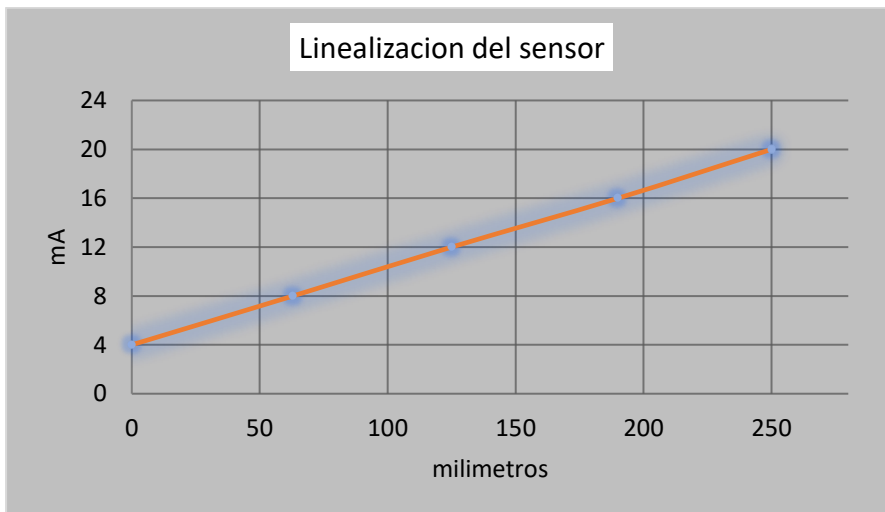
<b>Linealidad Sensor</b>	
mm	mA
0	4
63	8.032
125	12
190	16.16
250	20

*Fuente:* (Autores)

Los resultados se muestran en la figura 47, se obtiene la relación directa entre la medida física analógica y la medida eléctrica analógica, dando como resultado una señal totalmente linealizada, la cual es favorable para el proceso de medición de nivel del proceso de tamizado en la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A. Con esta respuesta del sensor se puede realizar un tratamiento de la señal y tener datos acertados ya que para cada valor en milímetros existe un valor único en el rango de 4-20mA.

### Figura 47

*Linealización de la señal del sensor óptico O1D100*



Fuente: (Autores)

#### 7.2.2.4. Selección del actuador del sistema de control

La selección del actuador, en este caso la electroválvula reguladora de flujo también se debe hacer con sumo cuidado, en el mercado existen diferentes tipos de válvulas eléctricas reguladoras, por lo tanto, la correcta elección adecuada del actuador garantiza que el sistema pueda controlar el nivel de manera precisa y consistente.

Una válvula inadecuada podría no proporcionar el flujo requerido para mantener el nivel deseado, lo que resultaría en fluctuaciones no deseadas, si el actuador no puede regular el flujo de aire que llega a la bomba neumática de doble diafragma de manera eficiente, existe el riesgo de desbordamientos si se llena demasiado el contenedor del tamiz vibratorio o de caídas en el nivel si el flujo es insuficiente. Ambos escenarios pueden tener consecuencias graves, inicialmente que el problema de los derrames continúe, o

un proceso de tamizado ineficiente donde el tamiz vibratorio este encendido sin la cantidad suficiente de producto para tamizar.

La electroválvula reguladora de flujo elegida es la PREL-90-HP3-A4-A-20CFX-S1-4, el regulador de presión proporcional VPPL determina la presión de salida de la válvula eléctrica reguladora de presión PREL mediante un sensor de presión integrado y la compara internamente con el valor de consigna. En caso de constatarse divergencias, el VPPL activa el regulador de la PREL hasta que la presión de salida haya alcanzado el valor de consigna. (Festo, 2023) El valor de la consigna será proporcionado por la salida del controlador PID programado en el controlador lógico programable (PLC), las principales características de la electroválvula reguladora de flujo PREL-90-HP3-A4-A-20CFX-S1-4 se muestran a continuación en la tabla 21.

### Figura 48

*Electroválvula reguladora PREL-90-HP3-A4-A-20CFX-S1-4*



*Fuente:* (Festo, 2023)

### Tabla 20

*Características Electroválvula reguladora PREL-90-HP3-A4-A-20CFX-S1-4*

<b>Electroválvula reguladora PREL-90-HP3-A4-A-20CFX-S1-4</b>	
<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Serie	L
Posición de montaje	Vertical
Tipo de accionamiento	Eléctrico

Forma constructiva	Regulador de presión ajustable eléctricamente
Función del regulador	Presión inicial constante Con compensación de la presión inicial Con escape de aire secundario
Presión de funcionamiento	0 MPa ... 5 MPa Regulable
Presión de funcionamiento	0 bar ... 50 bar Regulable
Margen de regulación de presión	0.5 bar ... 20 bar Regulable
Tensión nominal de funcionamiento DC	24 V
Margen de señal de la salida analógica	4 - 20 mA
Margen de señal de la entrada analógica	4 - 20 mA
Valores nominales/reales	Tipo de corriente 4-20 mA
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4] Gases inertes
Clase de resistencia a la corrosión CRC	2 - riesgo de corrosión moderado
Temperatura de almacenamiento	-10 °C ... 60 °C
Temperatura del medio	5 °C ... 50 °C
Peso del producto	6100 g
Conexión eléctrica IN	Conector M12, 5 pines, codificación A
Conexión eléctrica OUT	Conector, M12, 5 pines, codificación A
Nota sobre el material	Conformidad con la Directiva RoHS
Material de la tapa inferior	Aluminio, anodizado
Material del muelle	Acero para muelles
Material del cuerpo	Aluminio, anodizado

*Fuente:* (Autores)

La tabla 20 muestra una válvula versátil de accionamiento eléctrico, cuenta con un rango de presión de funcionamiento amplio para diversas aplicaciones que se puede regular, la alimentación eléctrica es de 24VDC y se adecua a las fuentes de corriente directa (DC) utilizadas por la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A

La entrada analógica que corresponde al valor de la consigna de operación de la válvula, para el caso de este proyecto se utilizara una salida analógica tipo IV proveniente del controlador lógico programable (PLC), siendo la más conveniente la de 4-20mA.

Las condiciones ambientales son favorables en cuanto a las características del medio donde se va a instalar ya que tiene un amplio rango de temperatura de funcionamiento de 5 hasta 50 °C.

### 7.2.2.5. Linealización de la señal analógica de la electroválvula reguladora de flujo

El proceso de linealización de la señal analógica de un actuador se realiza de forma inversa a la realizada para el sensor ya que el actuador recibe una señal analógica eléctrica y la respuesta es el porcentaje de apertura, lo que determina la presión de salida de aire comprimido de la válvula eléctrica reguladora de presión PREL, esta presión de salida es la que llega a la bomba neumática y controla la velocidad de bombeo hacia los tamices vibratorios.

Para realizar la linealización de la señal del actuador es necesario definir los valores de la entrada analógica eléctrica que lo controlara, en este caso 4-20mA, los valores de porcentaje de apertura que definen la presión de salida de aire comprimido, con estos datos se puede realizar satisfactoriamente la linealización.

**Tabla 21**

*Valores de entrada y salida del actuador*

Valores	
Vsal(max)	100
Vsal(min)	0
Vent(max)	20
Vent(min)	4
K	4

*Fuente:* (Autores)

Para el proceso de tamizado es necesario controlar la presión de salida de aire comprimido que llega a la bomba neumática y controla la velocidad de bombeo hacia los tamices vibratorios.

La presión de aire comprimido que ingresa a la bomba neumática se controlara con la apertura de la electroválvula PREL entre 0 y 100% donde 0% equivale a 0PSI y 100% equivale 70PSI.

La tabla 21 muestra los valores mínimos y máximos que interactúan en la conversión de medida eléctrica analógica a medida física analógica lo cual corresponde a la pendiente de la recta y se expresa en la ecuación (2) donde:

*Vsal(max)*: Valor máximo del porcentaje de apertura de la válvula, 100%

*Vsal(min)*: Valor mínimo del porcentaje de apertura de la válvula, 0%

$Vent(max)$ : Valor máximo de la medida eléctrica analógica que ingresa a la válvula, en este caso 20mA

$Vent(min)$ : Valor mínimo de la medida eléctrica analógica que ingresa a la válvula, en este caso 4mA.

$K$ : Valor mínimo de la medida eléctrica analógica que ingresa a la válvula, también conocido como offset

$$\left( \frac{Vsal(max) - Vsal(min)}{Vent(max) - Vent(min)} * (VentActual - Vent(min)) \right) + Vsal(min) \quad (2)$$

Utilizando la ecuación (2) se realiza la linealización de la electroválvula reguladora de flujo como se muestra a continuación:

Para cuatro (4) mA:  $\left( \frac{100\% - 0\%}{20mA - 4mA} * (4mA - 4mA) \right) + 0\% = 0\%$

Para ocho (8) mA:  $\left( \frac{100\% - 0\%}{20mA - 4mA} * (8mA - 4mA) \right) + 0\% = 25\%$

Para doce (12) mA:  $\left( \frac{100\% - 0\%}{20mA - 4mA} * (12mA - 4mA) \right) + 0\% = 50\%$

Para dieciséis (16) mA:  $\left( \frac{100\% - 0\%}{20mA - 4mA} * (16mA - 4mA) \right) + 0\% = 75\%$

Para veinte (20) mA:  $\left( \frac{100\% - 0\%}{20mA - 4mA} * (20mA - 4mA) \right) + 0\% = 100\%$

Los resultados obtenidos se definen en la tabla 22 y sirven de base para graficar el comportamiento de la señal con las variaciones en % de apertura de la válvula.

## Tabla 22

*Linealidad de la válvula PREL-90-HP3-A4-A-20CFX-S1-4*

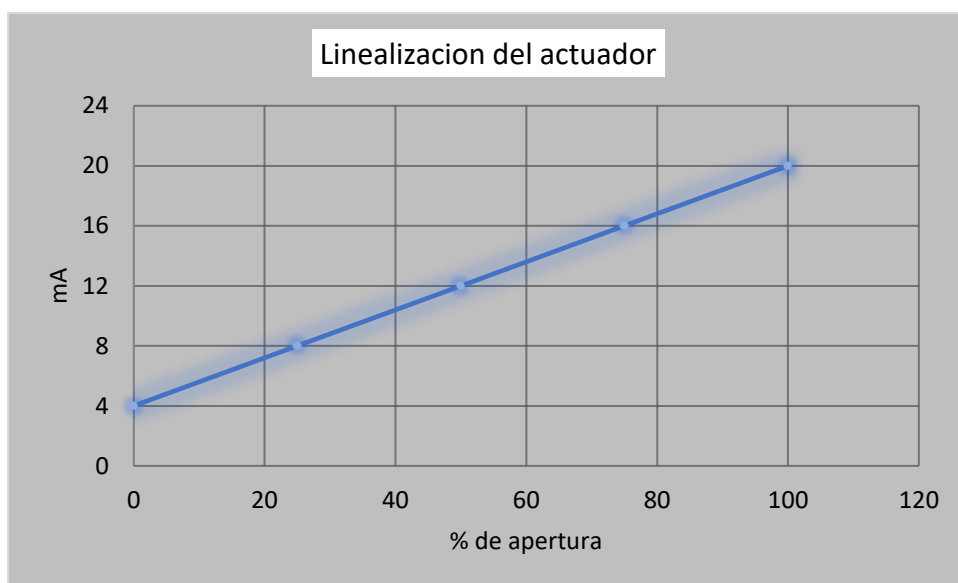
Linealidad del actuador	
% apertura	mA
0	4
25	8
50	12
75	16
100	20

Fuente: (Autores)

Los resultados se muestran en la figura 49, se obtiene la relación directa entre la medida eléctrica analógica y la medida física analógica, dando como resultado una señal totalmente linealizada, la cual es favorable para el proceso de medición de nivel para poder controlar la velocidad de bombeo hacia los tamices del proceso de tamizado en la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A. Con esta respuesta del actuador se puede realizar un tratamiento de la señal y controlar óptimamente la salida del controlador PID ya que para cada valor en % de apertura existe un valor único en el rango de 4-20mA.

**Figura 49**

*Linealización de la señal de la válvula PREL-90-HP3-A4-A-20CFX-S1-4*



Fuente: (Autores)

#### 7.2.2.6. Dimensionamiento de protecciones y selectividad eléctrica

Como se indicó en el marco legal del presente proyecto y como lo indica la Norma IEC 60947-1, si se verifica una sobreintensidad dentro de los límites de protección establecidos, debe de actuar el dispositivo de protección destinado a funcionar dentro de esos límites y no alguno diferente, para el caso del presente proyecto se debe de tener selectividad eléctrica en el tablero de control del proceso de tamizado, donde el motor vibrador de cada tamiz tendrá su respectiva protección contra sobre intensidad, por lo tanto, si existe una sobre intensidad en alguno de ellos, debe de actuar la protección automática correspondiente al motor vibrador del tamiz que tiene la falla por sobre

intensidad, no la protección automática de algún motor vibrador diferente, ni mucho menos la protección principal.

Para el dimensionamiento de protecciones y selectividad eléctrica de la propuesta en el proceso de tamizado de la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A, se utilizará el software Simaris Design, este software es una herramienta que permite el cálculo de la red y el dimensionamiento rápido y eficiente de la distribución de energía en instalaciones comerciales e industriales. (Siemens, 2020)

Como base de inicio para el dimensionamiento y diseño de selectividad eléctrica es necesario tener la información necesaria de los requerimientos de la planta de producción y del proceso de tamizado, estos requerimientos se describen a continuación.

#### **7.2.2.6.1. *Requerimientos para el diseño de selectividad eléctrica***

La planta cuenta con una subestación eléctrica conformada por un transformador de 1500kVA, con tensión de entrada de 35.4kV y salida en 460V, Este transformador es capaz de suministrar energía eléctrica a la planta de producción donde se encuentra el proceso de tamizado, 3 líneas de producción, oficinas, taller y tres hornos de cocción.

Se debe de garantizar que los 3 hornos de cocción siempre estén energizados ya que se puede perder la producción de pisos y paredes, para esto existe un generador que alimenta exclusivamente a los 3 hornos ante una falta de energía en la planta de producción. Para esto existe un interruptor de enlace para separar los hornos del resto de la instalación, se debe instalar el tablero eléctrico nuevo para el proceso de tamizado, garantizando la selectividad eléctrica de todo el sistema, es decir, que una falla en el proceso de tamizado no afecte los demás procesos ni mucho menos el suministro eléctrico de los 3 hornos. El proceso de tamizado se compone de 10 tamices vibratorios, es decir, que el tablero eléctrico debe de tener una protección general y cada motor vibrador una protección individual, es objetivo de la selectividad es que, si hay una falla en el motor de un tamiz, esta falla no afecte a los demás tamices y se genere un derrame de producto masivo, la falla en cada tamiz debe de ser eliminada exclusivamente por su propia protección.

Para garantizar la correcta selectividad eléctrica se debe:

1. Dimensionar correctamente los interruptores, cables y demás componentes del circuito.
2. Realizar la selectividad entre los diferentes interruptores de salida y de entrada de las diferentes áreas mencionadas.

Para cumplir estos requerimientos se necesita información que se debe recoger en la planta como la distancia de cableado y capacidades de corto circuito, entre otros.

La información de planta necesaria para el cálculo de selectividad se muestra a continuación:

1. Red de media tensión MT  
Entrada del circuito  $V=35.4\text{kV}$ ,  $S_{cc}(\text{max})=300\text{MVA}$ .  
Los conductores de potencia en MT tendrán un calibre máximo de  $240\text{mm}^2$  y mínimo de  $25\text{mm}^2$ .
2. Red de baja tensión BT  
Sistema en baja tensión será a  $460\text{VAC}$ ,  $3\text{F}+\text{N}$ ,  $\text{TN-S}$ ,  $60\text{Hz}$ . La máxima caída de tensión permisible debe ser del 4%.  
Los conductores de potencia en BT tendrán un calibre máximo de  $240\text{mm}^2$  y mínimo de  $4\text{mm}^2$ .
3. El cable de conexión entre la celda y el transformador tendrá una distancia de  $20\text{m}$ , instalado en canal bajo tierra, revestido en XLPE, tipo NA2XS2Y.
4. El transformador tiene una potencia nominal de  $1500\text{kVA}$ , impedancia 6%, tensión primaria  $35.4\text{kV}$  y secundaria  $460\text{V}$ .
5. La distancia de los ductos de barras que conectan los transformadores con los interruptores generales es de  $10\text{m}$ , IP54, en aluminio.
6. Todos los cables de BT son unipolares, instalación aérea en bandejas. Distancias: Proceso de tamizado  $50\text{m}$ , 3 líneas de producción  $20\text{m}$ , oficinas  $50\text{m}$ , taller  $50\text{m}$ , hornos de cocción  $40\text{m}$ .
7. Potencias y factor de potencia actuales: Proceso de tamizado ( $2.2\text{kW}$  / FP 0.85), líneas de producción ( $150\text{kW}$  / FP 0.85), oficinas ( $40\text{kW}$  / FP 0.9), taller ( $200\text{kW}$  / FP 0.8), hornos de cocción ( $80\text{kW}$  / FP 0.92).

Teniendo claros los requerimientos de diseño y con la información recogida en campo se realiza el dimensionamiento a través de Simaris Design, obteniendo resultados que serán útiles para el montaje del tablero eléctrico en la zona de tamizado garantizando que exista selectividad en las protecciones y no se afecten las demás áreas, también se garantiza que la protección de cada tamiz actúe individualmente en caso de una falla.

**Tabla 23**

*Parámetros de la red de Media tensión MT*

<b>Media tensión</b>	
Tension nominal	34,5 kV
Punto de referencia de la tensión de operación	100 %
Factor de tensión c max	1,1
Factor de tensión c min	1
Potencia Máx/Mín de cortocircuito	300 / 100 MVA
Máx/Mín corriente de corotcircuito	5,02 / 1,673 kA
Tipo de neutro en la instalación	Baja resistencia
Relación R1/X1	0,2

*Fuente:* (Autores)

La tabla 23 muestra los parámetros de la red de media tensión, los cuales corresponden a los datos obtenidos en la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A.

**Tabla 24**

*Parámetros de la red de Baja tensión BT*

<b>Baja Tension</b>	
Tensión nominal	460 V
Sistema de red	TN-S
Frecuencia del sistema	60 Hz
Tensión de contacto tolerable	50 V
Temperatura ambiente de los dispositivos	45 °C
Factor de tensión c max	1,1
Factor de tensión c min	0,9
Punto de referencia del cálculo de la caída de tensión	Terminales del secundario del transformador
Máx. caída de tensión permitida en la red	4 %

*Fuente:* (Autores)

La tabla 24 evidencia los parámetros de la red de baja tensión, la cual será la red que alimenta directamente al proceso de tamizado, es importante tener en cuenta que la planta opera con un voltaje de 460V y descarta el trabajo con 220V ya que los costos de

instalación serían mayores dado que la corriente de las cargas sería el doble si se compara con la corriente con voltaje de 460V.

**Tabla 25**

*Interruptores ideales para la selectividad por zonas*

Sitio	Designación	Referencia	In [A]	Icu/Icn [kA]	Icu/Icn [kA] necesarias	Tipo de disparador / características	Cantidad
Interruptor Principal MT	Interruptor Principal BT	3WA11202FE010A A0	2.000	55	43,163	ETU600	1
Circuito generador	Interruptor Generador	3VA24635HN420A A0	630	36	6,797	ETU350	1
Acoplamiento de barras 1-2	IA 1-2A	3WA11202AE010A A0	2.000	55	43,163	ETU600	1
Interruptor principal	Interruptor tamicés principal	3VA20406HN360A A0	40	55	43,163	ETU350	1
Interruptor principal	Interruptor tablero tamicés	3VA20405HN360A A0	40	36	2,611	ETU350	1
Hornos	Interruptor Hornos	3VA21166HL360AA 0	160	55	43,163	ETU320	3
Lineas de producción	Interruptor Lineas Prod.	3VA22256HL320AA 0	250	55	43,163	ETU320	3
Oficinas	Interruptor Oficinas	3VA20636HL360AA 0	63	55	43,163	ETU320	1
Taller	Interruptor Taller	3VA23406HL320AA 0	400	55	43,163	ETU320	1

*Fuente:* (Autores)

Teniendo configurada la red de media y baja tensión con los parámetros mostrados anteriormente en Simaris Design, se realiza el dimensionamiento de la red teniendo en cuenta las distancias de cada carga en específico con respecto al tablero principal de alimentación, se realiza el dimensionamiento y a través del software se obtienen los interruptores ideales para garantizar una selectividad total en los circuitos de la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A, donde se muestran la respectivas zonas, es decir, líneas de producción, Oficinas, Taller y Hornos. También se obtiene la referencia de cada interruptor principal de cada tablero eléctrico que participa en la red eléctrica de la planta.

**Tabla 26**

*Interruptores ideales para la selectividad para cada motor*

Sitio	Designación	Clase de arranque	In motor [A]	Referencia	Dispositivo	Pmecánica [kW]	Cantidad
Barraje Tablero Tamizado	Interruptor Tamiz	Arranque directo	3,747	3RV23111EC10 3RU21161EB0 3RT20241AP00	Interruptor Relé de sobrecarga Contactor	2,2	10

*Fuente:* (Autores)

Del mismo modo la tabla 26 muestra las referencias recomendadas para los interruptores ideales del motor de cada tamiz, si se aplican estas recomendaciones la selectividad de protecciones será óptima y no se tendrán problemas de disparos por cargas no deseadas en las instalaciones de la planta y mucho menos en el proceso de tamizado, donde se requiere un control total para evitar los derrames en el proceso productivo

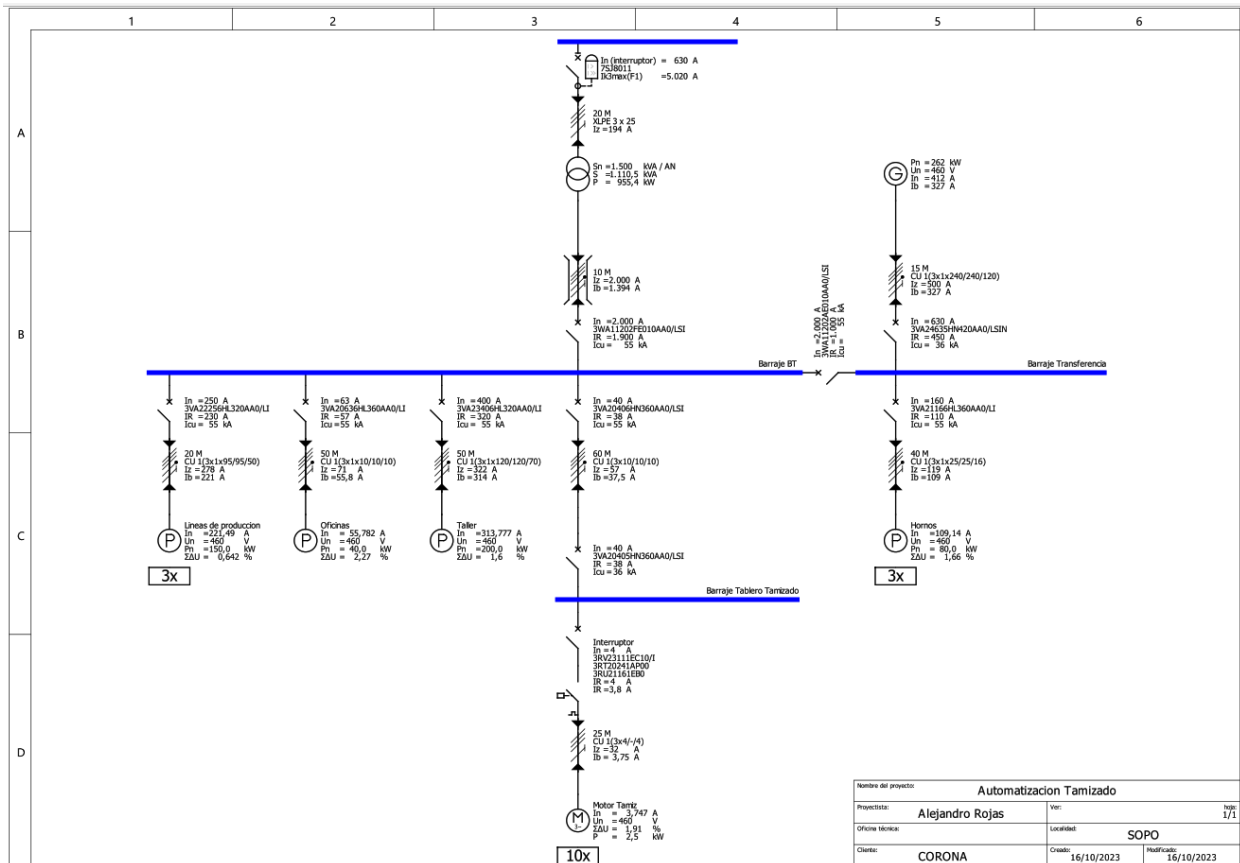
**7.2.2.6.2. Diseño del diagrama eléctrico unifilar de la red de la planta**

El diseño del diagrama eléctrico unifilar de la red de la planta se realiza teniendo en cuenta los datos de las tablas con el fin de tener un diagrama unifilar completo, adicionalmente se incluyen los datos de las tablas mostrando la información detallada, los cuales serán un aporte significativo ya que proporciona una representación simplificada y clara del sistema eléctrico de la planta.

Con el diagrama unifilar rápidamente, los ingenieros y técnicos pueden comprender cómo están conectados los componentes y cómo fluye la energía. Esto es fundamental para la seguridad, el mantenimiento y la operación eficiente de las instalaciones eléctricas. Además, por medio de Simaris Design se complementa el diagrama mostrando los valores que contribuyen a la selectividad, es decir, el valor de corriente de regulación del interruptor de protección, teniendo en cuenta que comercialmente no hay dispositivos de protección diseñados a la medida, por lo tanto los fabricantes diseñan dispositivos de protección con un rango de actuación, dentro de ese rango de actuación se debe regular la corriente que satisface la selectividad en la instalación como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 50**

*Diagrama unifilar de la red*



*Fuente:* (Autores)

Si se analizan las protecciones del área de tamizado, se muestra que el interruptor principal es de una corriente nominal In de 40A, para garantizar la selectividad debe tener una corriente de regulación IR de 38A, aguas abajo de esta protección se encuentran todos los motores de los 10 tamices con su protección individual, cada motor tiene una corriente nominal de 3,747A, el interruptor de cada tamiz tiene una corriente nominal de 4A, para garantizar la selectividad individual debe tener una corriente de regulación IR de 3.8A, con esto se garantiza que si existe una sobreintensidad en un motor de un tamiz determinado, se abre el interruptor de ese motor en específico, protegiendo el circuito y el motor, mientras que los demás interruptores del resto de motores permanecen cerrados, de igual forma el interruptor principal regulado en 38A, garantizando la alimentación al resto de la instalación, evitando paradas innecesarias de equipos que no tienen fallas por sobre intensidad.

En conclusión, se puede decir que un diagrama unifilar ayuda a documentar y estandarizar los sistemas eléctricos, lo que es fundamental en entornos industriales como en el caso de este proyecto. El diagrama unifilar detallado garantiza que las instalaciones cumplan con las normativas y facilita la expansión o modificación de sistemas existentes ya que se tiene la información detallada de cada elemento de la red, si se quisiera hacer una ampliación se puede garantizar la selectividad ya que se tienen regulador los interruptores con los valores ideales de selectividad.

### *7.2.3. Proceso de diseño de software del sistema automatizado*

Actualmente la industria está viviendo la cuarta revolución industrial, la automatización está evolucionando a la digitalización de la producción, como indica (Siemens, 2023) el objetivo es aumentar la eficiencia, productividad, rapidez y calidad, dando lugar a una alta competitividad de las empresas en su camino hacia el futuro de la industria.

Dentro de los procesos de diseño en automatización una parte fundamental es la selección del controlador lógico programable (PLC) que será el cerebro del sistema, dependiendo de la complejidad de las aplicaciones se tiene una amplia gama de controladores divididos en diversas marcas, como se mostró en el marco teórico del presente proyecto, se pueden encontrar compactos y modulares, sin embargo últimamente los controladores compactos no son muy apetecidos industrialmente debido a su baja flexibilidad ante una futura ampliación, el objetivo del presente proyecto es controlar el proceso de tamizado de la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A, sin embargo, la empresa está en constante cambio y mejoramiento de sus procesos, por lo tanto la opción más conveniente será la elección de un controlador lógico programable (PLC) modular, ya que permite realizar integraciones futuras con demás procesos y/o maquinas sin tener que adquirir un controlador nuevo.

Previamente se realizó la selección del sensor que se usara en la medición del nivel, de la misma manera se seleccionó el actuador que controlara la velocidad de bombeo hacia cada tamiz, las características de estos elementos se muestran en la tabla 18 y 21 y la figura 38 y 40 nos muestran la linealización realizada para cada elemento, esto es la base para iniciar con la elección del controlador lógico programable (PLC).

Teniendo claro que la señal del sensor es tipo IV en el rango de 4-20mA se debe contar con un controlador lógico programable (PLC) que admita señales analógicas, por otro lado, el actuador se controlará también por medio de una señal tipo IV en el rango de 4-20mA que será proporcionada por el controlador lógico programable (PLC). Por lo tanto, se debe de contar con un controlador que tenga salidas analógicas. Además de las

señales de sensores y actuadores se deben cumplir los requisitos de encendido y apagado de cada motor vibratorio de cada tamiz, control de alarmas y visualización.

Para tener más información y poder elegir el controlador más adecuado se muestra el listado de entradas y salidas digitales que se necesitan para controlar todos los equipos del proceso de tamizado.

**Tabla 27**

*Listado de entradas digitales del controlador lógico programable (PLC)*

<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Dirección</b>
<b>ENTRADAS DIGITALES</b>		
Disparo_Termico_T401	Digital	%I10.0
Disparo_Termico_T402	Digital	%I10.1
Disparo_Termico_T403	Digital	%I10.2
Disparo_Termico_T404	Digital	%I10.3
Disparo_Termico_T405	Digital	%I10.4
Disparo_Termico_T406	Digital	%I10.5
Disparo_Termico_T407	Digital	%I10.6
Disparo_Termico_T408	Digital	%I10.7
Disparo_Termico_T410	Digital	%I11.0
Disparo_Termico_T411	Digital	%I11.1
Disparo_Termico_Ag_cisterna	Digital	%I11.2
Candadeo_T401	Digital	%I11.3
Candadeo_T402	Digital	%I11.4
Candadeo_T403	Digital	%I11.5
Candadeo_T404	Digital	%I11.6
Candadeo_T405	Digital	%I11.7
Candadeo_T406	Digital	%I12.0
Candadeo_T407	Digital	%I12.1
Candadeo_T408	Digital	%I12.2
Candadeo_T410	Digital	%I12.3
Candadeo_T411	Digital	%I12.4
Candadeo_Ag_Cisterna	Digital	%I12.5
Paro_Emergencia	Digital	%I12.6

*Fuente:* (Autores)

En la tabla 27 se muestra el desglose de entradas digitales, las cuales corresponden a los disparos térmicos de cada motor vibrador de cada tamiz, también el disparo térmico

del motor de agitación de la cisterna donde llegan los residuos de lavado del proceso, estas entradas se utilizarán para mostrar de forma rápida en la interfaz gráfica HMI las fallas de cada dispositivo.

Como protocolo de seguridad en la planta de pisos y paredes se utilizan procedimientos de bloqueo y candado para tareas de mantenimiento, por lo tanto, se utilizan entradas digitales para evitar que el motor vibrador de cada tamiz pueda ser encendido durante una actividad de mantenimiento, este bloqueo se realiza externamente y el controlador bloquea los comandos de arranque.

De igual forma se destina una entrada digital para el paro de emergencia, que será utilizado en cualquier momento en caso de una emergencia en el proceso con el fin de deshabilitar todos los equipos que estén operando. En total se requieren 23 entradas digitales.

### Tabla 28

*Listado de salidas digitales del controlador lógico programable (PLC)*

Nombre	Tipo	Dirección
<b>SALIDAS DIGITALES</b>		
Motor_T401	Digital	%Q4.0
Motor_T402	Digital	%Q4.1
Motor_T403	Digital	%Q4.2
Motor_T404	Digital	%Q4.3
Motor_T405	Digital	%Q4.4
Motor_T406	Digital	%Q4.5
Motor_T407	Digital	%Q4.6
Motor_T408	Digital	%Q4.7
Motor_T410	Digital	%Q5.0
Motor_T411	Digital	%Q5.1
Bomba_Descarga_Bat1	Digital	%Q5.2
Bomba_Descarga_Bat2	Digital	%Q5.3
Bomba_Descarga_Bat3	Digital	%Q5.4
Bomba_Descarga_Bat4	Digital	%Q5.5
Bomba_Descarga_Bat5	Digital	%Q5.6
Sirena_Alarma	Digital	%Q5.7
Agitador_Cisterna	Digital	%Q6.0
Bomba_Cisterna	Digital	%Q6.1

*Fuente:* (Autores)

En la tabla 28 se muestra el desglose de salidas digitales, las cuales corresponden a cada motor vibratorio de cada tamiz, también a la bomba que realiza la descarga, una sirena de alarma, motor de agitación de la cisterna donde llegan los residuos de lavado del proceso y la bomba que realiza el bombeo de la cisterna hacia planta de agua.

Para la lectura de los sensores que medirán el nivel de llenado se requieren entradas analógicas y de la misma manera para el control de la electroválvula reguladora de flujo se requieren salidas analógicas tipo IV, el desglose de entradas y salidas analógicas se muestra a continuación en la tabla 29.

**Tabla 29**

*Listado de entradas y salidas analógicas del (PLC)*

<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Dirección</b>
<b>ENTRADAS ANALOGICAS</b>		
LT_Bat1	Int	%IW0
LT_Bat2	Int	%IW2
LT_Bat3	Int	%IW4
LT_Bat4	Int	%IW6
LT_Bat5	Int	%IW8
LT_Cisterna	Int	%IW126
<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>dirección</b>
<b>SALIDAS ANALOGICAS</b>		
PV_Envio_Bat2	int	%QW2
PV_Envio_Bat2	Int	%QW2
PV_Envio_Bat3	Int	%QW128
PV_Envio_Bat4	Int	%QW130
PV_Envio_Bat5	Int	%QW132

*Fuente:* (Autores)

En la tabla 30 se detalla la cantidad de entradas y salidas, tanto digitales como analógicas, esto es fundamental para una selección precisa del PLC en el sistema de automatización. Estos datos proporcionan una visión clara de los requisitos del sistema, lo que evita problemas de capacidad insuficiente o sobredimensionamiento, permite tomar decisiones claras al elegir el controlador lógico programable (PLC) que cumpla con las necesidades específicas para controlar el proceso, además, sirve como referencia durante todo el proceso de diseño y configuración del sistema, mejorando la eficiencia y la precisión del proyecto en general, también sirve para determinar cuanta capacidad adicional se tendrá para futuras ampliaciones de acuerdo al controlador lógico

programable elegido.

**Tabla 30**

*Cantidades totales de entradas y salidas requeridas*

Cantidades	
Entradas	Cantidad
Digital	23
Total entrada digital	23
Salidas	Cantidad
Digital	18
Total salida digital	18
Entradas	Cantidad
Analógicas	6
Total entrada analógica	6
Salidas	Cantidad
analógicas	5
Total salidas analógicas	5

*Fuente:* (Autores)

### 7.2.3.1. Selección del controlador lógico programable (PLC)

Teniendo en cuenta las necesidades de entradas y salidas se tuvieron en cuenta diferentes referencias de controladores, sin embargo, es necesario que el sistema de automatización que se instale en el proceso de tamizado sea compatible con los demás procesos de automatización de la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A, con el fin de realizar una futura interconexión basándose en los modelos de industria 4.0, para ello se necesita compatibilidad de marcas y compatibilidad de comunicación.

De acuerdo con lo anterior, se elige el sistema de automatización SIMATIC S7-1500 que ofrece la flexibilidad y el rendimiento necesarios para un elevado ancho de banda de las aplicaciones de control en la construcción de instalaciones y máquinas. La estructura escalable permite adaptar el controlador a las condiciones locales. Además de las funciones tecnológicas de control de movimiento y control PID existentes de forma estándar en S7-1500, El sistema de automatización SIMATIC S7-1500 cumple el grado de protección IP20 y está previsto para la instalación en un armario eléctrico en un entorno seco. (Siemens, 2023)

**Tabla 31**

*Referencia del controlador lógico programable (PLC)*

<b>Referencia de dispositivos</b>	
Nombre	Referencia
CPU 1512C-1 PN	6ES7512-1CK01-0AB0 (Controlador lógico programable)
S7-1500, AI 4xU/I/RTD/TC ST	6ES7531-7QD00-0AB0 (Modulo de expansión de entradas analógicas)
S7-1500, AQ 4xU/I ST	6ES7532-5HD00-0AB0 (Modulo de expansión de salidas analógicas)

*Fuente:* (Autores, Obtenido con Tia Selection Tool)

La tabla 31 muestra la referencia del controlador lógico programable (PLC) seleccionado y la referencia de los módulos de expansión de entradas y salidas analógicas.

El controlador lógico programable elegido es el Siemens S7-1500 CPU 1512C-1 PN, junto al módulo de expansión AI 4xU/I/RTD/TC ST para el tratamiento de las señales analógicas del sensor que medirá el nivel de llenado de los tamices, también el módulo de expansión AQ 4xU/I ST que se encargará de controlar la electroválvula reguladora de flujo.

La tabla 32 muestra un controlador lógico programable (PLC) muy flexible, las condiciones ambientales son favorables en cuanto a las características del medio donde se va a instalar ya que tiene un amplio rango de temperatura de funcionamiento de 0 hasta 40 °C.

Para el desarrollo del presente proyecto se le agregaron dos módulos adicionales mencionados anteriormente, sin embargo, este controlador tiene la capacidad de gestionar máximo 30 módulos, es decir, tiene capacidad de 28 módulos de ampliación adicionales.

Cuenta con 32 entradas digitales y con 32 salidas digitales, en cuanto a las entradas analógicas cuenta con 9 y 6 salidas analógicas respectivamente, lo cual se ajusta de forma óptima a las necesidades mostradas en la tabla 27.

La alimentación eléctrica es de 24VDC y se adecua a las fuentes de corriente directa (DC) utilizadas por la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A, el consumo de corriente es de 0.8A y junto a los módulos de expansión la corriente es de 1.155A y

como valor pico 2.255A para lo cual se requiere una fuente de alimentación capaz de gestionar esa corriente.

**Tabla 32**

*Características del controlador lógico programable (PLC)*

<b>Propiedades especiales del producto</b>	
<b>Entorno</b>	
Mínima (°C)	0
Máxima (°C)	40
<b>Armario de distribución</b>	
Posición de montaje	horizontal
Número de módulos de periferia	
Número	2
Número máximo	30
Dimensiones del dispositivo	
Altura [mm]	147
Ancho de los módulos [mm]	170
Profundidad [mm]	129
Ancho del perfil soporte [mm]	245
Señales de entrada/salida	
Entradas digitales	32
Salidas digitales	32
Entradas analógicas	9
Salidas analógicas	6
Consumo de corriente	
Consumo [A] valor nominal	1,155
Consumo de corriente [A] valor pico	2,255
Tensión de alimentación	
Tensión [VDC]	24
Capacidad de alimentar módulos de ampliación	Si, con socket

*Fuente:* (Autores, Obtenido con Tia Selection Tool)

El desarrollo de la programación para este controlador lógico programable seleccionado se lleva a cabo a través de Tia Portal (Totally Integrated Automation Portal) que integra diferentes productos SIMATIC en una aplicación de software que permite aumentar la productividad y la eficiencia del proceso. Dentro del TIA Portal, los productos TIA

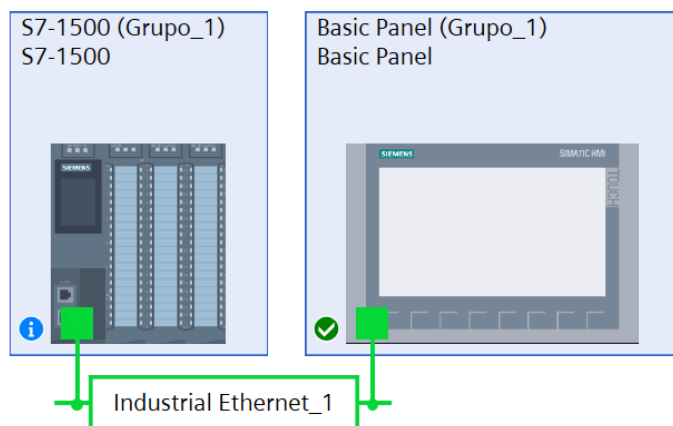
interactúan entre sí, ofreciéndole soporte en todas las áreas implicadas en la creación de una solución de automatización (Siemens, 2018) por lo tanto la selección de la interfaz gráfica HMI será un producto Simatic con el fin de garantizar la compatibilidad y la eficiencia en el proceso de ingeniería.

### 7.2.3.2. Selección de la interfaz gráfica HMI

En el mercado actual existe una gran variedad de interfaces graficas HMI, desde modelos completamente tecnológicos que ofrecen diversas prestaciones dentro del sistema de automatización hasta dispositivos básicos que solo muestran información del proceso al que pertenecen. Como se dijo anteriormente la interfaz gráfica se seleccionará garantizando la compatibilidad entre en controlador lógico programable (PLC) y el software de programación Tia Portal, este software integra numerosos dispositivos Simatic en un solo software lo que permite desarrollar aplicaciones de forma rápida y la solución de problemas esta centralizada en un solo software.

**Figura 51**

*Integración del controlador lógico programable (PLC) y la interfaz HMI en el mismo software*



*Fuente:* (Autores)

En la figura 51 se muestra la integración de un controlador lógico programable S7-1500 con una HMI Simatic en el mismo software Tia Portal.

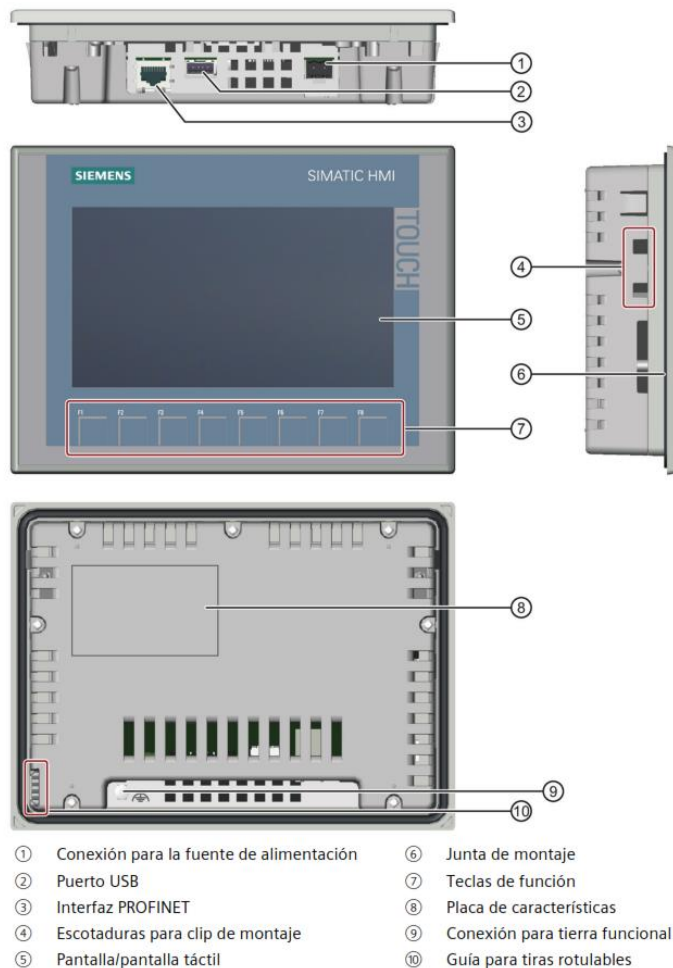
Para el presente proyecto se debe tener en cuenta que la visualización del proceso de tamizado debe ser clara y precisa, se puede elegir una HMI básica y de tamaño prudente,

sin embargo, es importante garantizar una visibilidad óptima teniendo en cuenta que además de visualizar se va a operar el proceso, lo que debe facilitar al controlador de proceso accionar y detener de forma rápida sin complicarse al oprimir algún comando en la pantalla HMI.

Con las interfaces graficas HMI Simatic, se atiende las altas exigencias del mercado con una visualización y un manejo de alta calidad, tanto en máquinas pequeñas o procesos de tamaño considerable. Los aspectos más destacados de las HMI Simatic son su alta resolución y la intensidad de 65.500 colores, (Siemens AG, 2021), otro aspecto destacado es la facilidad de comunicación, las HMI Simatic son flexibles y se ajustan a diversos protocolos de comunicación como Industrial Ethernet, Profibus, etc.

**Figura 52**

*Estructura de una HMI Simatic*



*Fuente:* (Siemens AG, 2021)

La figura 52 muestra la estructura de una HMI Simatic donde se evidencia su pantalla frontal, con teclas funcionales, puertos de comunicación, puerto para la conexión de la fuente de alimentación eléctrica y los elementos necesarios para el montaje mecánico.

La interfaz gráfica HMI elegida es la Simatic KTP900 basic PN, la cual proporciona una pantalla de 9" que se ajusta para los requerimientos del proceso de tamizado, cuenta con 8 teclas de función aisladas de la pantalla táctil, su protocolo de comunicación con el controlador lógico programable es con Industrial Ethernet lo cual facilita la integración el Tia Portal.

### Tabla 33

#### *Características de la interfaz gráfica HMI*

<b>Dispositivo</b>	
Nombre	Referencia
SIMATIC HMI KTP900 Basic	6AV2123-2JB03-0AX0
Tamaño de pantalla	9"
<b>Dimensiones</b>	
Dimensiones del dispositivo	
Altura [mm]	182
Ancho del perfil soporte [mm]	267
Profundidad [mm]	55
<b>Intensidad</b>	
Consumo de corriente	
Nombre	Total [A]
Consumo [A] valor nominal	0,23
Consumo de corriente [A] valor pico	0.3
<b>Voltaje</b>	
Tensión de alimentación	
Nombre	Total [V]
Tensión de alimentación [VDC]	24
<b>Comunicación</b>	
Tipo de comunicación	
Nombre	
Profinet Industrial Ethernet]	Si
Usb	Si

*Fuente:* (Autores, Obtenido con Tia Selection Tool)

La tabla 33 muestra una interfaz gráfica que se adapta a las necesidades del proceso la alimentación eléctrica es de 24VDC y se adecua a las fuentes de corriente directa (DC) utilizadas por la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A, el consumo de corriente es de 0.23A y como valor pico 0.3A para lo cual se requiere una fuente de alimentación capaz de gestionar esa corriente junto con la corriente de consumo del controlador lógico programable (PLC).

### 7.2.3.3. Dimensionamiento de la fuente de alimentación del sistema

Una fuente de alimentación adecuadamente dimensionada garantiza que todos los dispositivos funcionen de manera confiable. En los procesos de producción una parada del proceso puede significar numerosas pérdidas de producción y económicas, al dimensionar correctamente la fuente de alimentación eléctrica de 24VDC se evita problemas como reinicios inesperados, fallos de hardware y operación intermitente, que pueden ocurrir cuando la fuente de alimentación no puede proporcionar la potencia requerida de manera constante.

El dimensionamiento de la fuente de alimentación eléctrica de 24VDC debe de cumplir los siguientes requerimientos de demanda de corriente del sistema.

**Tabla 34**

*Demanda de corriente*

<b>Dispositivo</b>	<b>Corriente (A)</b>
CPU 1512C-1 PN	1,155
HMI KTP900 Basic	0,23
Reserva futura	5
<b>Total</b>	<b>6,385</b>

*Fuente:* (Autores)

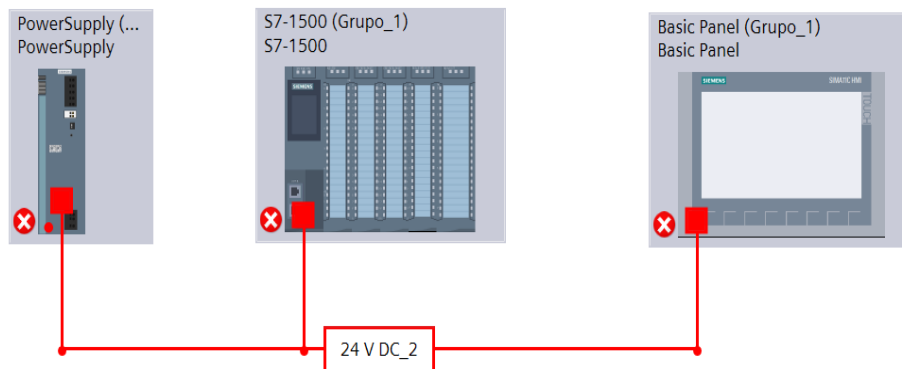
La tabla 34 muestra la demanda de corriente de los dispositivos del sistema de automatización, en este caso el controlador lógico programable (PLC) y la interfaz gráfica HMI, además, se muestra un requerimiento de una reserva de corriente de 5A para futuras ampliaciones, el dimensionamiento de la fuente debe garantizar estos valores para que no existan fallos inesperados por una fuente de alimentación sin la capacidad requerida, también se debe de adaptar a futuros consumidores teniendo una reserva de

5A, el total de la corriente sería de 6.385A, sin embargo la selección de la fuente de alimentación de 24VDC se debe adaptar a los valores comerciales.

Teniendo seleccionado el controlador (PLC) y la HMI se puede hacer el dimensionamiento a través del software Tia Selection Tool, la figura 41 muestra el PLC y la HMI, se agrega una nueva fuente de alimentación y se interconectan los dispositivos como se muestra en la figura 53. Si se tuvieran más dispositivos o estaciones remotas de entradas y salidas se realiza el mismo procedimiento, esto con el fin de sumar todas las corrientes que intervienen en el sistema.

### Figura 53

*Interconexión de fuente de alimentación con PLC y HMI*

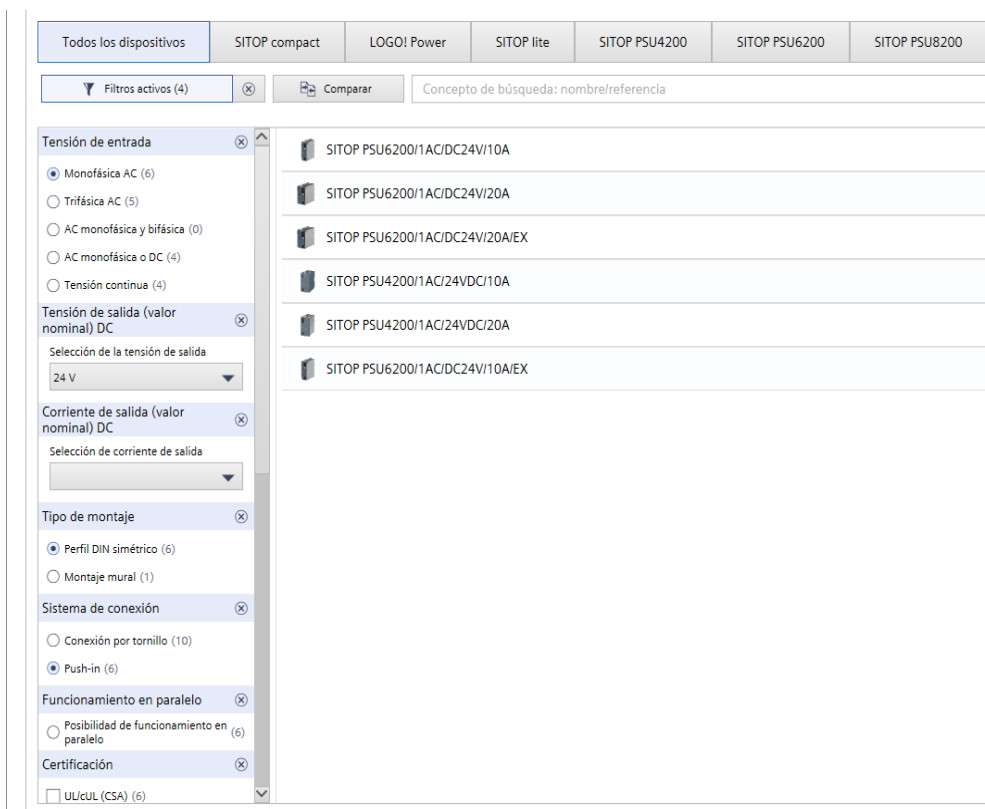


*Fuente:* (Autores)

Luego de realizar la interconexión el software Tia Selection Tool muestra una amplia gama de fuentes de alimentación, se debe de seleccionar las características necesarias, como la tensión de entrada de la fuente, en este caso se selecciona Monofásica, la tensión de salida de voltaje DC, en este caso se selecciona 24V, el tipo de montaje, en este caso se selecciona Perfil DIN simétrico, el sistema de conexión, en este caso Push-in por facilidad y rapidez de conexión.

**Figura 54**

*Fuentes de alimentación según los requerimientos*



*Fuente:* (Autores)

Realizando la selección el software realiza un filtro de las fuentes de alimentación que se ajusten a esos requerimientos, esto se puede ver en la figura 54, para el caso de este proyecto se selecciona la primera opción que corresponde a la SITOP PSU6200/1AC/DC24V/10A ya que su corriente es de 10A, teniendo en cuenta los datos de la tabla 31 esta corriente se ajusta óptimamente.

Teniendo seleccionada la fuente de alimentación de 24VDC se puede mejorar el sistema a través de un sistema redundante, esto se hace siempre y cuando el proceso lo requiera y se ajuste al presupuesto. Para el caso de este proyecto la empresa Corona S.A cuenta con el presupuesto para el montaje de una fuente de alimentación redundante con el fin de garantizar la operación continua del proceso de tamizado en caso de una falla en la fuente principal, la configuración redundante consiste en tener dos (2) fuentes de alimentación y un módulo que realiza el swicheo entre una y otra fuente.

**Figura 55**

*Configuración de fuente de alimentación redundante*

Consumidores

Fuente de alimentación

Configuración redundante

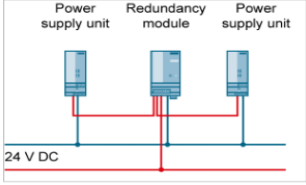
Protección selectiva

Respaldo de cortes de la red eléctrica

Resultado

**Módulo de redundancia**

Para la configuración redundante de la alimentación de 24 V se conectan a un módulo de redundancia SITOP dos fuentes cada fuente de alimentación. La señalización se realiza mediante LED y contacto de señalización.




¿Desea una configuración redundante de la fuente de alimentación seleccionada?

Sí  No

Módulo de redundancia seleccionado

1x SITOP RED1200/M.RED./DC24/48V/2X10A



6EP4346-7RB00-0A00

Módulo de redundancia SITOP RED1200 Entrada/salida: 24/48 V DC/20 A apto para desacoplar dos fuentes de alimentación SITOP con una intensidad de salida de 10 A máx. cada una

[Industry Online Support](#)

*Fuente:* (Autores)

La configuración de la fuente redundante se realiza como se muestra en la figura 55, se muestran las dos (2) fuentes de 24VDC conectadas al módulo que se encarga de realizar el switcheo cuando sea necesario.


**Figura 56**

*Dimensionamiento de la fuente de alimentación de 24VDC*

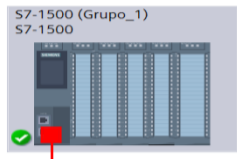
Vista de consumidores de 24 V DC

Nueva fuente de alimentación

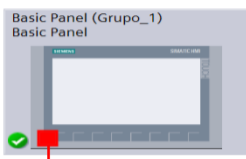
Fuente de alimentaci...  
SITOP



S7-1500 (Grupo\_1)  
S7-1500



Basic Panel (Grupo\_1)  
Basic Panel



24 V DC\_1

---

Detalles

Propiedades especiales del producto

Nombre Fuente de alimentación

Fuente de alimentación seleccionada SITOP PSU6200/1A/DC24V/10A (6EP3334-7S800-3A00)

	Consumo	Reserva	Factor de simultaneidad	Teórico	Real	Diferencia
Corriente nominal	1,0 A	5,0 A	100 %	6,0 A	10,0 A	4,0 A
Corriente de pico	2,2 A	5,0 A	100 %	7,2 A	10,0 A	2,8 A

Redundancia SITOP RED1200/M.RED./DC24/48V/2X10A (6EP4346-7RB00-0A00), Número: 1

*Fuente:* (Autores)

En la figura 56 se muestra el resultado final del dimensionamiento, inicialmente se muestran las dos fuentes de alimentación SITOP PSU6200/1AC/DC24V/10A conectadas al módulo SITOP RED1200/M.RED./DC24/48V/2X10A y a su vez la alimentación al controlador lógico programable (PLC) CPU 1512C-1 PN con sus respectivos módulos de ampliación, se garantiza el suministro a la HMI KTP900 Basic y la reserva establecida de 5A.

#### 7.2.3.4. Diseño y programación del sistema de automatización

Iniciar el diseño y la programación de un sistema de automatización la mayoría de veces puede ser un proceso complicado debido a la falta de información sobre el sistema a controlar, muchas veces se eligen controladores que no cumplen las especificaciones requeridas y los proyectos se pueden limitar, las numerosas marcas de controladores lógicos programables (PLC) tienen su propia metodología de programación, por lo tanto las empresas buscan estandarizar sus dispositivos de automatización buscando eficiencia, compatibilidad, escalabilidad, flexibilidad y rápida solución de problemas.

Como se mencionó anteriormente el desarrollo del proyecto se llevará a cabo bajo el entorno de programación de Tia Portal, este potente software dispone de seis (6) lenguajes de programación, los cuales pueden ser usados de acuerdo con las necesidades o complejidad del sistema a controlar.

A continuación, se muestra en la tabla 35 una breve descripción de los lenguajes de programación que tienen Tia Portal.

**Tabla 35**

*Lenguajes de programación Tia Portal*

Lenguaje	Descripción
KOP (Diagrama de contactos)	Se trata de la representación del programa mediante el esquema de contactos o Ladder, que asemejaría el automatismo realizado eléctricamente. Este lenguaje muchas veces es más sencillo, sin embargo, se pueden desarrollar programas de automatización de alta complejidad. (Marino, 2019)
FUP (Diagrama de funciones)	Utiliza cuadros del álgebra booleana. Resulta especialmente útil para operaciones booleanas en serie por ser compacto y sencillo de utilizar. Se muestran físicamente las compuertas lógicas como AND, OR XOR, etc. (Marino, 2019)

AWL (Lista de instrucciones)	En un lenguaje de texto en el que se citan líneas por líneas las diferentes operaciones del sistema de automatización. Este lenguaje es más completo, ya que permite programar todas las operaciones que el automatismo es capaz de realizar. (Marino, 2019)
SCL (Lenguaje de texto estructurado)	Es un lenguaje que cuenta con un lenguaje de alto nivel, es bastante útil para usuarios familiarizados con programación de Python o similares. (Marino, 2019)
GRAPH (Lenguaje funcional de secuencia)	Es un lenguaje que permite programar automatismos cíclicos, partiendo de su diagrama de estados. (Marino, 2019)
CEM (Matriz de causa y efecto)	Mediante una matriz, se puede configurar las dependencias entre los módulos basándose al principio de causa y efecto. Esta configuración es sencilla gracias a la interfaz gráfica de usuario.

*Fuente:* (Autores)

Teniendo como base el controlador seleccionado y el contexto claro de los que se quiere realizar en el proceso de tamizado de la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A, se obtuvo información importante en las tablas 27,28 y 29 que sirve de base para iniciar la programación de acuerdo con los requerimientos establecidos y a la descripción planteada en el funcionamiento detallado de la solución propuesta.

#### ***7.2.3.4.1. Escalamiento y tratamiento de la señal analógica del sensor***

Previamente se mostró en la figura 46 el diagrama de conversión para tratar una señal analógica desde el inicio como medida física analógica hasta su procesamiento con un controlador lógico programable (PLC), en este caso veremos la conversión de medida eléctrica analógica a valor digita.

Con la respuesta del sensor mostrada en la figura 47 se puede realizar la conversión de la señal y tener datos acertados ya que para cada valor en milímetros existe un valor único en el rango de 4-20mA, el escalamiento se realiza por medio de bloques de funciones o instrucciones integradas en Tia Portal, sin embargo, es importante interpretar la relación matemática que realiza el bloque para entender el proceso de escalamiento.

Cuando la señal analógica proveniente del sensor es conectada al controlador lógico programable (PLC), el controlador, por medio de su conversor analógico digital realiza la conversión de forma rápida, y convierte ese valor a decimal en el rango de -327689 hasta

32767, la figura 57 muestra los valores decimales y hexadecimales de los posibles rangos de medición de intensidad.

### Figura 57

*Rangos de medición de intensidad de 0-20mA y de 4-20mA*

Valores		Rango de medición de intensidad		
dec.	hex.	de 0 a 20 mA	de 4 a 20 mA	
32767	7FFF	>23,52 mA	>22,81 mA	Rebase por exceso
32511	7EFF	23,52 mA	22,81 mA	Rango de saturación por exceso
27649	6C01			
27648	6C00	20 mA	20 mA	Rango nominal
20736	5100	15 mA	16 mA	
1	1	723,4 nA	4 mA + 578,7 nA	
0	0	0 mA	4 mA	
-1	FFFF			Rango de saturación por defecto
-4864	ED00	-3,52 mA	1,185 mA	
-32768	8000	< -3,52 mA	< 1,185 mA	Rebase por defecto

*Fuente:* (Siemens, 2016)

Los valores decimales para el valor de 4-20mA según (Siemens, 2016) están comprendidos entre 0 y 27648 y la instrucción "Normalizar", normaliza el valor de la variable de la entrada representándolo en una escala lineal. Los valores mínimo y máximo sirven para definir los límites de un rango de valores que se refleja en la escala. Se calcula el resultado y se deposita como número en coma flotante en la salida OUT. Si el valor que se debe normalizar es igual al valor mínimo, la salida devuelve el valor "0.0". Si el valor que se debe normalizar es igual al valor máximo, la salida devuelve el valor "1.0". (Siemens, 2016)

$$NORM\_X\ OUT = \frac{Value - Min}{Max - Min} \quad (3)$$

La ecuación 3 muestra el comportamiento de la instrucción normalizar con los valores de entrada en el rango de 0 a 27648 correspondientes a la señal del sensor de 4-20mA, si se utiliza la ecuación 3 para comprobar la normalización se obtienen los siguientes resultados.

$$NORM\_X\ OUT = \frac{Value - Min}{Max - Min} = \frac{0 - 0}{27648 - 0} = 0.0$$

$$NORM\_X\ OUT = \frac{Value - Min}{Max - Min} = \frac{27648 - 0}{27648 - 0} = 1.0$$

Se puede comprobar matemáticamente que la instrucción proporciona buenos resultados, sin embargo, este resultado no es un valor entendible o racional para un controlador de una planta, si en el proceso de tamizado se está monitoreando el nivel de llenado, lo ideal es mostrar el valor en mm de 0 a 250 o en porcentaje de llenado de 0 a 100%. Para realizar este proceso en el controlador lógico programable (PLC) se utiliza la instrucción "escalar", la instrucción "Escalar" escala el valor de la entrada mapeándolo en un determinado rango de valores, al ejecutar la instrucción "Escalar", el número en coma flotante de la entrada VALUE se escala al rango de valores definido por los parámetros mínimo y máximo deseado (Siemens, 2016), el resultado de la escala es un número entero que proporciona el valor ya sea en mm de 0 a 250 o en porcentaje de llenado de 0 a 100%.

$$SCALE\_X\ OUT = (Value * (Max - Min)) + Min \quad (4)$$

La ecuación 4 muestra el comportamiento de la instrucción escalar con los valores de entrada en el rango de 0.0 a 1.0 correspondientes al valor normalizado de la señal de 4-20mA, si se utiliza la ecuación 4 para comprobar el escalamiento se obtienen los siguientes resultados.

$$SCALE_x\ OUT = (0.0 * (250mm - 0mm)) + 0mm = 0mm$$

$$SCALE_x\ OUT = (1.0 * (250mm - 0mm)) + 0mm = 250mm$$

$$SCALE_x\ OUT = (0.0 * (100\% - 0\%)) + 0\% = 0\%$$

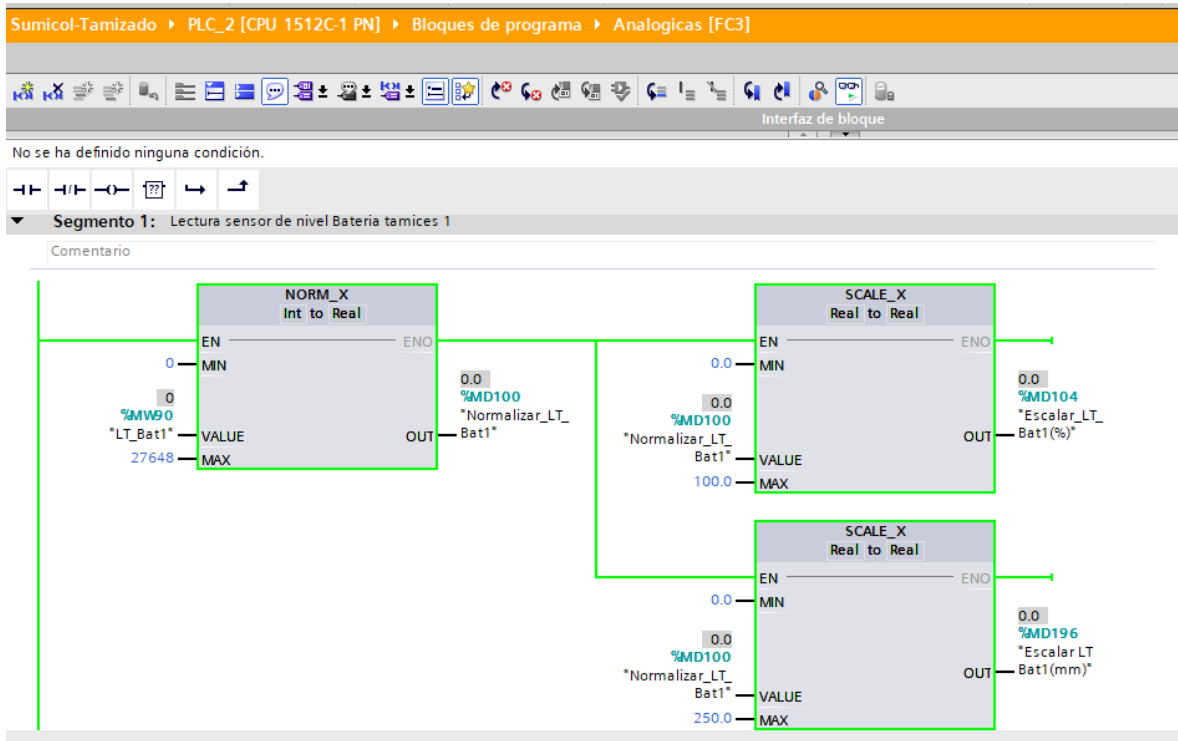
$$SCALE_x\ OUT = (1.0 * (100\% - 0\%)) + 0\% = 100\%$$

Se puede comprobar matemáticamente que la instrucción proporciona buenos resultados, se obtiene el valor real de la variable que se quiere monitorear, en ambos casos se puede ver el valor convertido a mm de 0 a 250 y a porcentaje de llenado de 0 a 100%, con estos valores el controlador del proceso del proceso de tamizado puede tener un panorama claro del llenado del tamiz.

La programación realizada en el controlador lógico programable (PLC) para obtener estos valores se muestran a continuación

**Figura 58**

*Programación del escalamiento y tratamiento de la señal del sensor para 0mm y 0% de llenado.*

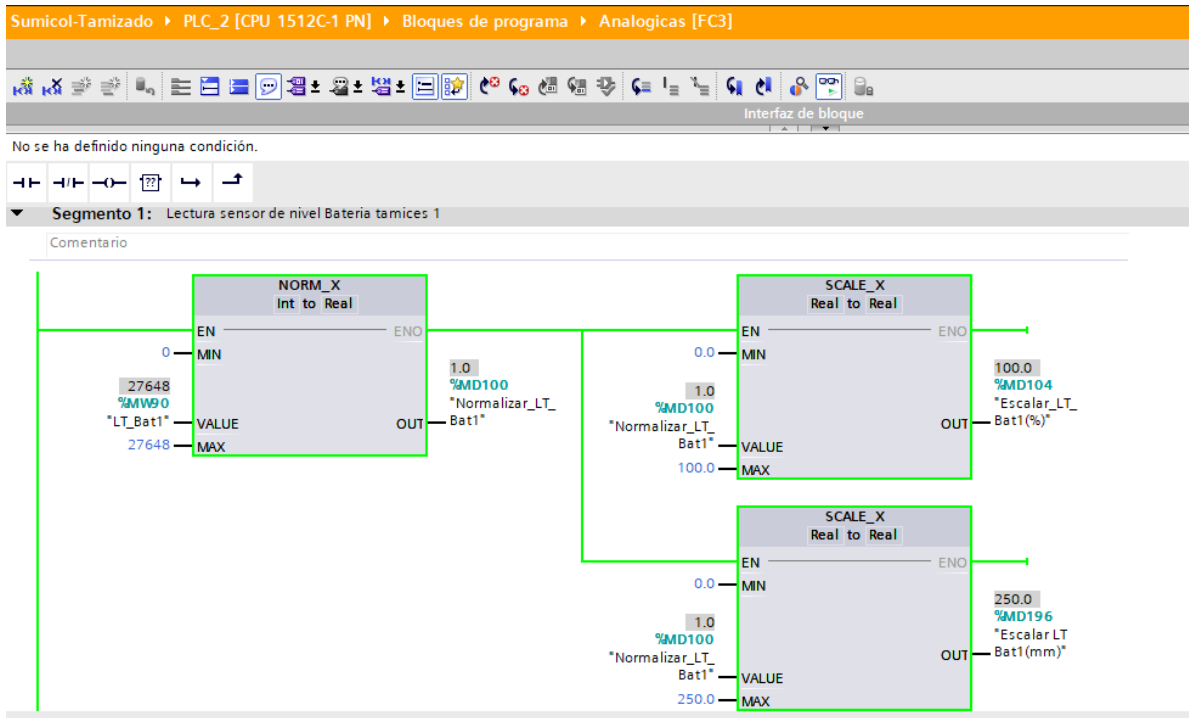


*Fuente:* (Autores)

La figura 58 muestra el proceso de normalización de la señal analógica de 4-20mA del sensor óptico O1D100, el controlador lógico programable (PLC) realiza la conversión por medio de su conversor analógico digital y convierte ese valor a decimal en el rango de 0 a 27648 como se mostró en la figura 57, por medio de la instrucción normalizar se convierte el valor a un rango de 0.0 a 1.0 como se demostró por medio de la ecuación 3, ese valor es escalado por medio de la instrucción escalar y se obtiene el valor tanto en mm de 0 a 250 y en porcentaje de llenado de 0 a 100% como se demostró por medio de la ecuación 4. En la figura 58 se muestra el valor escalado de 0mm y de 0%, a continuación, en la figura 59 se muestra el valor escalado de 250mm y 100% para verificar la funcionalidad de la programación realizada.

**Figura 59**

*Programación del escalamiento y tratamiento de la señal del sensor para 250mm y 100% de llenado.*



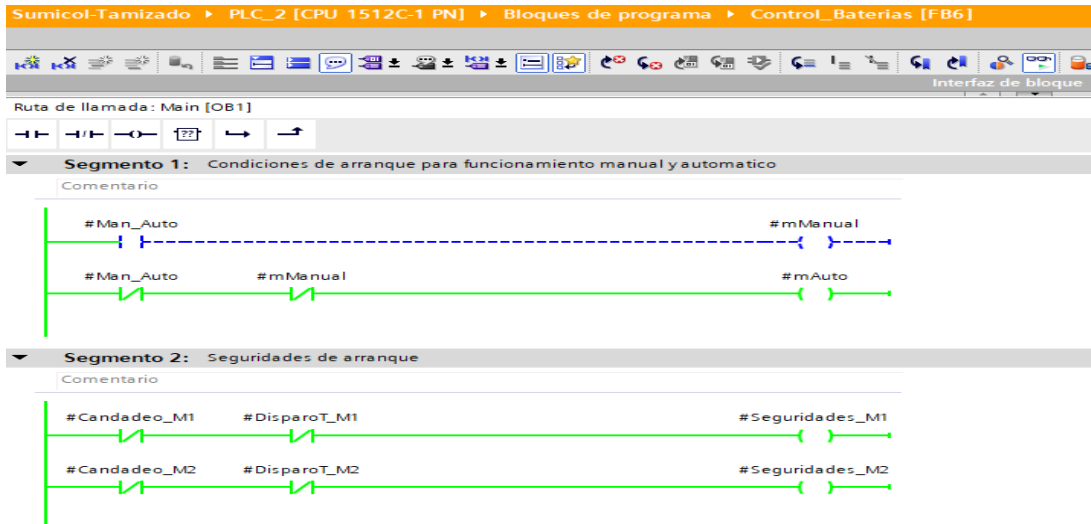
Fuente: (Autores)

#### 7.2.3.4.2. Control del proceso en modo automático y manual

El control del proceso de tamizado de la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A se debe programar de acuerdo con lo establecido en el funcionamiento detallado de la solución propuesta mostrado anteriormente, teniendo en cuenta que el proceso cuenta con 10 tamices es necesario realizar el control de arranque de los 10 tamices, para esto se recurre a una estrategia de programación basada en bloques de funciones los cuales son bloques lógicos que depositan sus valores de forma permanente en bloques de datos de instancia, de modo que siguen estando disponibles después de procesar el bloque, esto quiere decir que es necesario realizar una lógica de programación de la secuencia de arranque y esta lógica se puede reproducir las veces que sean necesarias.

**Figura 60**

*Condiciones de arranque manual y automático*

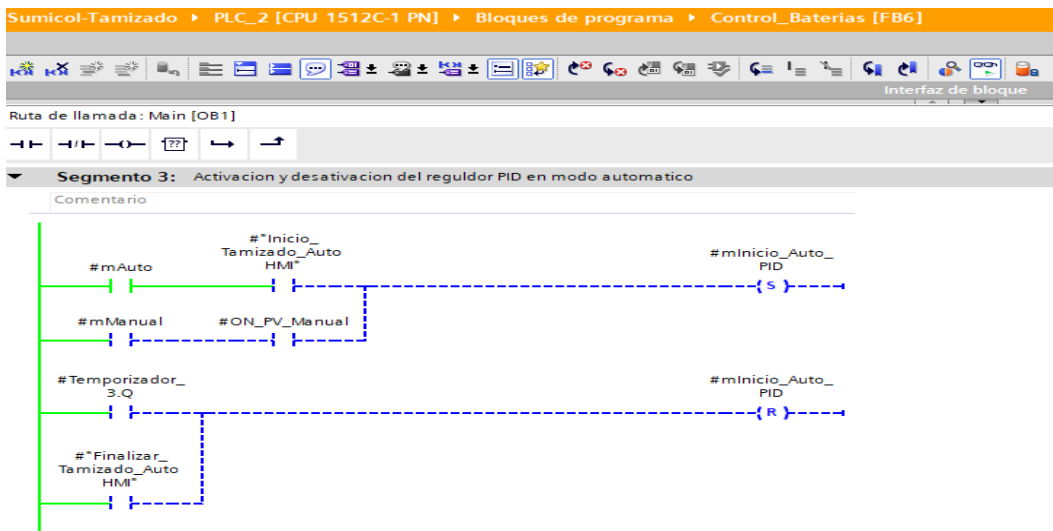


*Fuente:* (Autores)

La figura 60 muestra las condiciones de arranque ya sea en modo manual o en modo automático, se muestran las condiciones de seguridad para el arranque como el candado y el disparo por falla térmica en el motor eléctrico de cada tamiz.

**Figura 61**

*Activación y desactivación del regulador PID en modo automático*

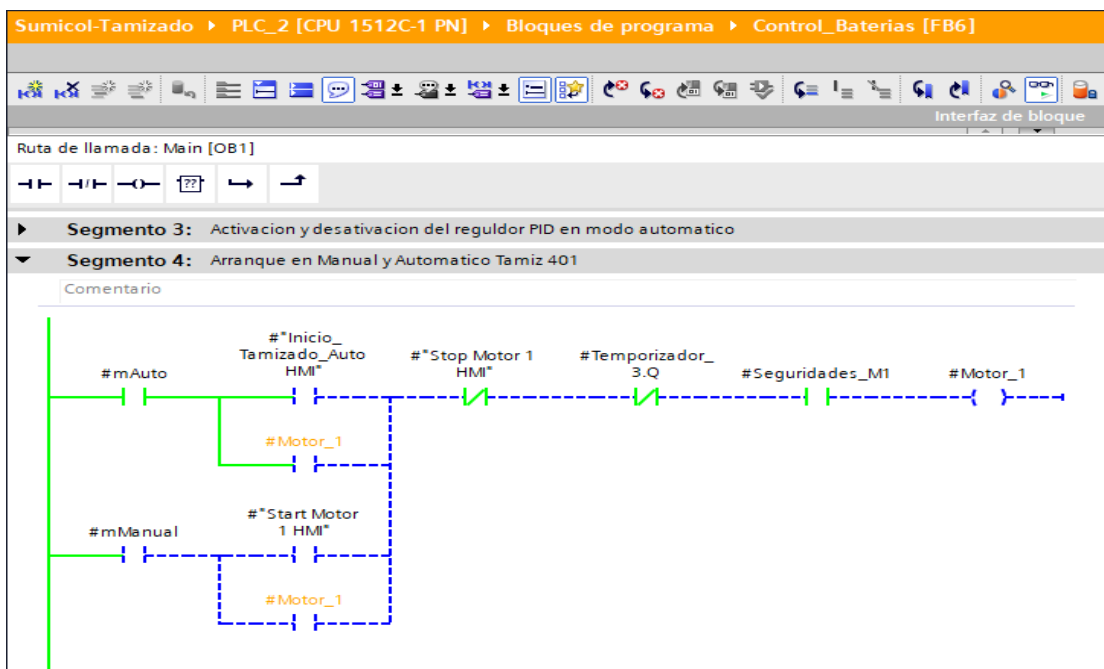


*Fuente:* (Autores)

La figura 61 muestra la programación de la activación y desactivación del regulador PID en modo automático, es regulador PID solo funcionará en modo automático ya que el modo manual solo será utilizado para procedimientos de lavado, el proceso de tamizado de los productos cerámicos que son sujetos a derrames y generan sedimentos como se mostró en la tabla 16 deben ser tamizados en modo automático para controlar el nivel y evitar el derrame.

## Figura 62

### Arranque en modo manual y automático tamiz 1

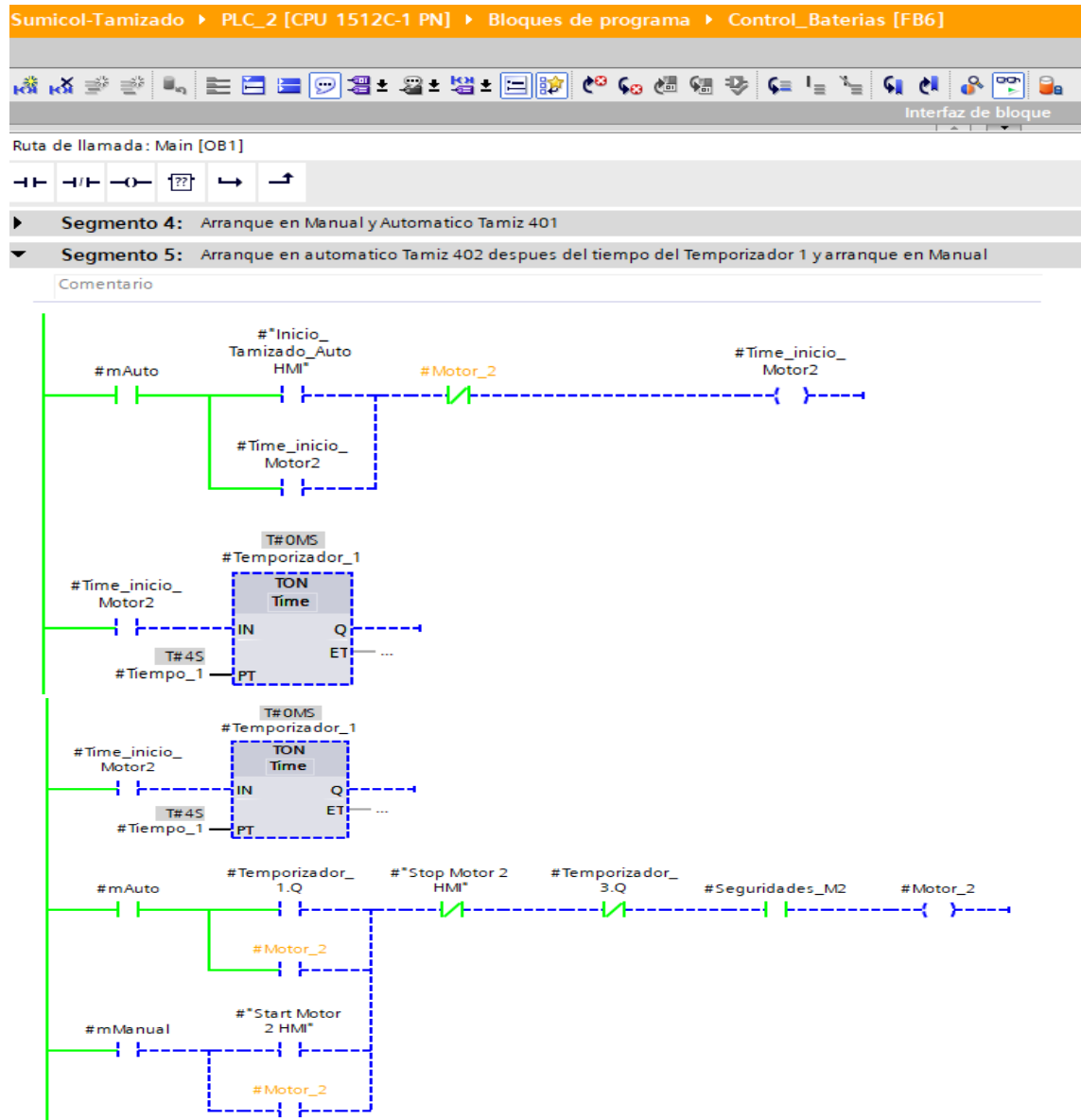


Fuente: (Autores)

En la figura 62 se programa el arranque en modo manual y en modo automático del tamiz 1 teniendo en cuenta las condiciones de seguridad mostradas en la figura 60, el inicio del proceso de tamizado en modo automático y en modo manual se realizará por medio de un botón configurado en la interfaz gráfica HMI y el diseño se mostrará más adelante.

**Figura 63**

*Arranque en modo automático tamiz 2 y arranque en manual*

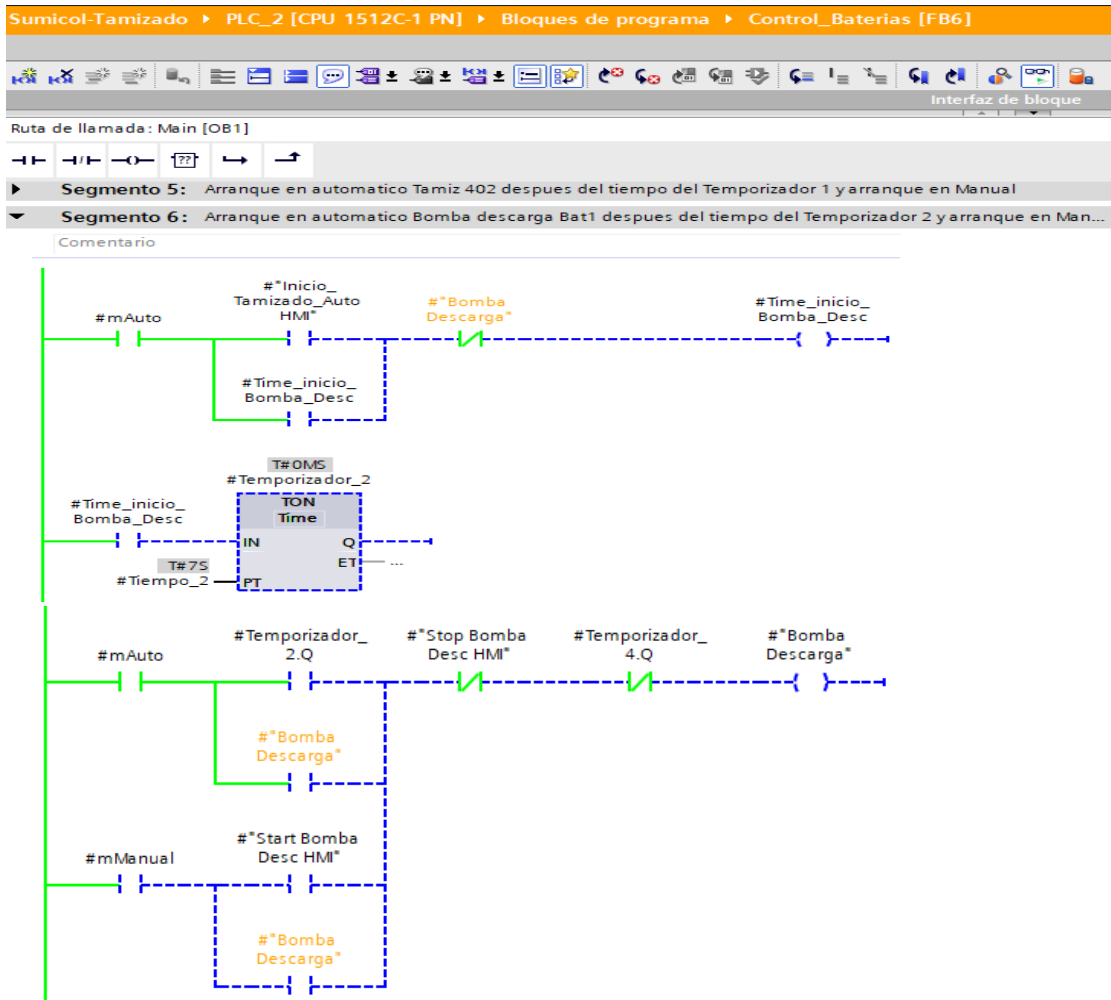


Fuente: (Autores)

La programación mostrada en la figura 63 muestra el arranque en modo automático del tamiz 2 después del tiempo de temporización, esto con el fin de no tener varios motores arrancando simultáneamente, el motor 2 también se puede arrancar en modo manual individualmente desde un botón ubicado en la interfaz gráfica HMI que mostrara el diseño más adelante.

**Figura 64**

*Arranque en modo automático bomba de descarga tamices*

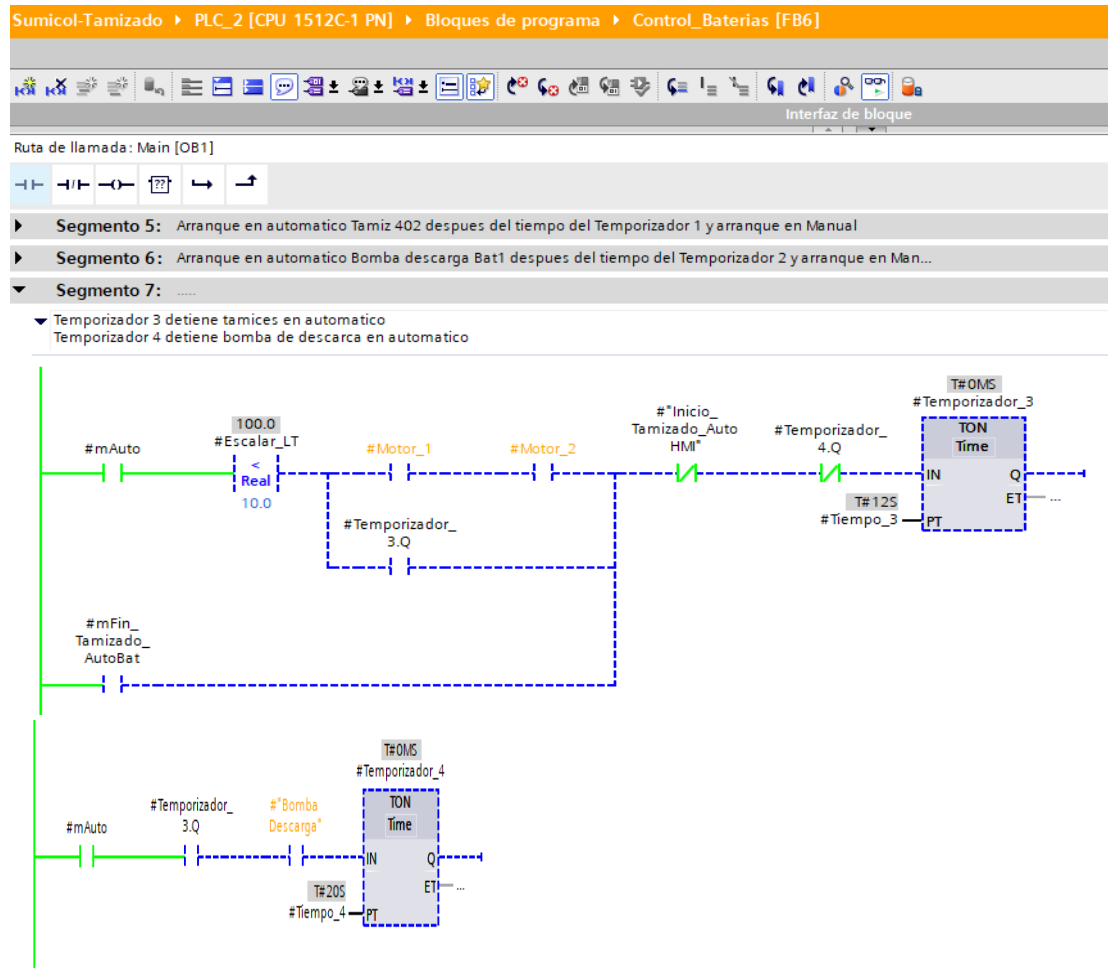


Fuente: (Autores)

La programación mostrada en la figura 64 detalla el arranque en modo automático y en modo manual de la bomba de descarga de tamices, se cumple un tiempo de temporización con el fin de esperar que los tamices tengan un nivel de llenado mínimo para no entrar en funcionamiento en vacío. El arranque en modo manual aplica para todos los equipos para procedimientos de lavado, es importante resaltar que el modo automático es el que garantiza el control del nivel de llenado para eliminar los derrames que causan sedimentación en las cisternas.

**Figura 65**

*Detención de tamices y bomba de descarga en automático*

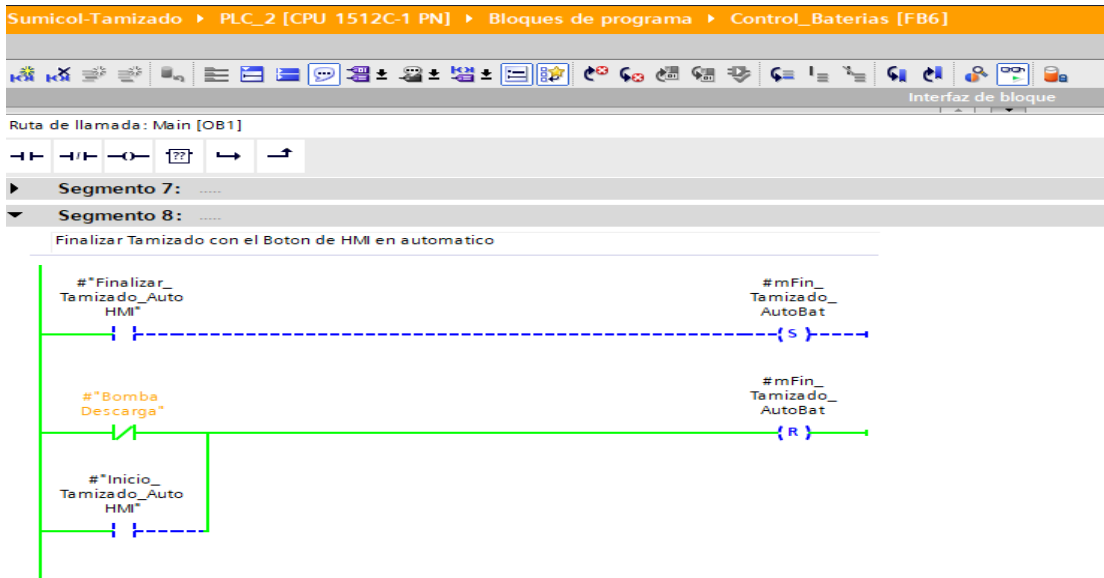


Fuente: (Autores)

La programación mostrada en la figura 65 muestra el detalle de la condición de apagado de los tamices y la bomba de descarga en modo automático según un tiempo de temporización definido, esto con el fin de tener una secuencia controlada según las indicaciones del controlador del proceso, esta secuencia de detalle anteriormente en el funcionamiento detallado del proceso.

**Figura 66**

*Apagado de todo el proceso en modo automático*

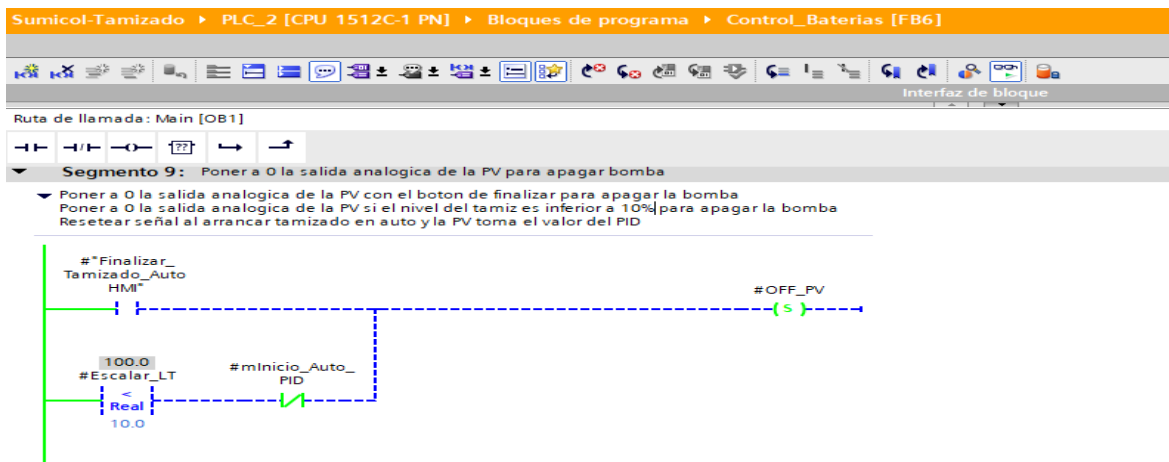


*Fuente:* (Autores)

La programación mostrada en la figura 66 muestra el detalle de la condición de apagado de todo el proceso en modo automático, esta condición activa toda la secuencia de apagado del proceso en modo automático, el tamizado lo podrá finalizar el controlador desde la interfaz gráfica HMI por medio de un botón configurado para dicha acción.

**Figura 67**

*Poner a cero (0) la salida analógica del actuador que controla la bomba*



*Fuente:* (Autores)

La programación de la figura 67 es fundamental ya que se pone a cero (0) el valor de la salida analógica de 4-20mA si el controlador finaliza el proceso de tamizado desde la HMI y si el nivel de llenado es inferior al 10% con el fin de finalizar el proceso automáticamente si se detecta que no hay producto, así se evita tener los equipos funcionando en vacío y se contribuye al ahorro energético desde el proceso de tamizado.

#### 7.2.3.4.3. Programación y configuración del regulador PID

Para realizar la programación y configuración del regulador PID hay que tener en cuenta la figura 36 donde se muestra la integración del sensor de nivel, el controlador y la electroválvula reguladora de flujo en el proceso, el nivel de llenado de los tamices se mide con un sensor y se transmite a un regulador PID integrado en el controlador lógico programable, este compara el nivel actual con una consigna o Set Point y calcula un valor de salida para controlar la electroválvula reguladora de flujo.

Un regulador PID programado y configurado correctamente alcanzará el Set Point lo más rápido posible y luego se mantendrá constante, eso es lo que se pretende con el control de nivel de llenado del proceso de tamizado de la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A.

Un resultado de regulación óptimo según (Siemens, 2022) sólo se puede alcanzar si se elige una estructura de regulador que sea afín al sistema regulado, y que se pueda adaptar al mismo dentro de determinados límites, la figura 68 muestra una vista general de las estructuras de regulación adecuadas en función de la magnitud física.

### Figura 68

#### Estructuras de regulación según la magnitud física

Magnitud física	Estructura de regulador			
	P	PD	PI	PID
	Error de regulación permanente		Error de regulación no permanente	
Temperatura	Para exigencias reducidas y sistemas P con $T_u/T_g < 0,1$	Muy apta	Estructuras de regulador idóneas para exigencias elevadas (con excepción de reguladores especiales adaptados)	
Presión	Apta, si el tiempo de retardo no es significativo	No apta	Estructuras de regulador idóneas para exigencias elevadas (con excepción de reguladores especiales adaptados)	
Caudal	No apta, porque el rango GAIN requerido suele ser demasiado grande	No apta	Válido, pero el regulador I solo suele ser mejor	Casi no es necesaria

Fuente: (Siemens, 2022)

Para la programación y configuración del regulador a través de Tia Portal, se requiere una instrucción con el algoritmo de regulación y un objeto tecnológico, en este caso el objeto tecnológico para un regulador en Tia Portal equivale al DB de instancia de la instrucción. En el objeto tecnológico, se guarda la configuración y la optimización del regulador.

## Figura 69

*Objetos tecnológicos dependiendo de la CPU utilizada*

CPU	Librería	Instrucción	Objeto tecnológico	Descripción
S7-1200	Compact PID	PID_Compact V1.x	PID_Compact V1.x	Regulador PID universal con optimización integrada
S7-1200		PID_3Step V1.x	PID_3Step V1.x	Regulador PID para válvulas con optimización integrada
S7-1500 S7-1200 V4.x		PID_Compact V2.x	PID_Compact V2.x	Regulador PID universal con optimización integrada
S7-1500 S7-1200 V4.x		PID_3Step V2.x	PID_3Step V2.x	Regulador PID para válvulas con optimización integrada
S7-1500 ≥ V1.7 S7-1200 ≥ V4.1		PID_Temp V1.x	PID_Temp V1.x	Regulador de temperatura PID universal con optimización integrada
S7-1500/300/40-0	Funciones básicas de PID	CONT_C	CONT_C	Regulador continuo
S7-1500/300/40-0		CONT_S	CONT_S	Regulador paso a paso para elementos finales de control de acción integrativa
S7-1500/300/40-0		PULSEGEN	-	Generador de impulsos para elementos finales de control de acción proporcional
S7-1500/300/40-0		TCONT_CP	TCONT_CP	Regulador de temperatura continuo con generador de impulsos
S7-1500/300/40-0		TCONT_S	TCONT_S	Regulador de temperatura para accionadores integrables

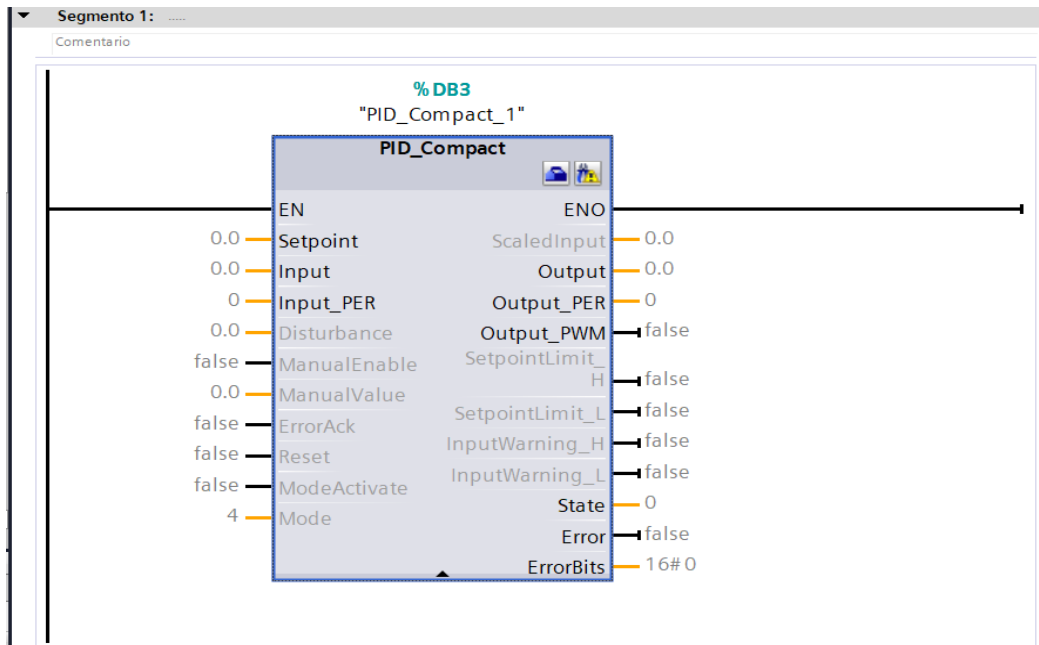
*Fuente:* (Siemens, 2022)

Como se mostró anteriormente, el controlador lógico programable elegido es el Siemens S7-1500 CPU 1512C-1 PN, junto al módulo de expansión AI 4xU/I/RTD/TC ST para el tratamiento de las señales analógicas del sensor que medirá el nivel de llenado de los tamices, también el módulo de expansión AQ 4xU/I ST que se encargará de controlar la electroválvula reguladora de flujo, en este caso según la figura 69 (Siemens, 2022) indica que para este modelo de CPU la instrucción más apropiada es la PID\_Compact que ofrece un regulador PID con optimización integrada para actuadores de acción proporcional, por lo tanto la programación y configuración se realizara con dicha instrucción.

La figura 70 muestra la instrucción PID\_Compact sin configurar, es un bloque de instancia con entradas y salidas y unos parámetros internos que se deben configurar para un óptimo funcionamiento.

**Figura 70**

*Instrucción PID\_Compact*



Fuente: (Autores)

En las entradas del bloque PID\_Compact se encuentra EN, que se utiliza para habilitar el bloque, el Set Point el cual será el valor de nivel deseado del proceso de tamizado, este valor se asignará por medio de la interfaz gráfica HMI y es un valor que se puede cambiar dependiendo de la cantidad deseada, este valor puede estar sobre el 50 o 60% de llenado con el fin de controlar los derrames del proceso. La entrada Input\_PER es el valor de una entrada analógica que se utiliza como el origen del valor real de llenado del proceso de tamizado, en este caso será el valor escalado del sensor de nivel demostrado por medio de la ecuación 4 y los mostrados en la programación de la figura 48 y 49, se utilizará en valor escalado en % de llenado de 0 a 100%.

La entrada ManualEnable se utilizará para definir un porcentaje de salida fijo de la electroválvula reguladora de flujo, como se indicó anteriormente, el modo manual aplicara únicamente para procesos de lavado, este porcentaje fijo se define en la entrada ManualValue, si ManualEnable tiene una señal de entrada, la seña de la salida

analógica que controla la electroválvula reguladora de flujo tomara en valor de ManualValue.

En las salidas del bloque PID\_Compact se encuentra Output que tomara el valor de salida Real, la salida Output\_PER será una salida de valor analógico, en este caso se utilizara para controlar la salida analógica de la electroválvula reguladora de flujo, el valor de salida será de 4-20mA y se mostrada en %de apertura de 0 100%.

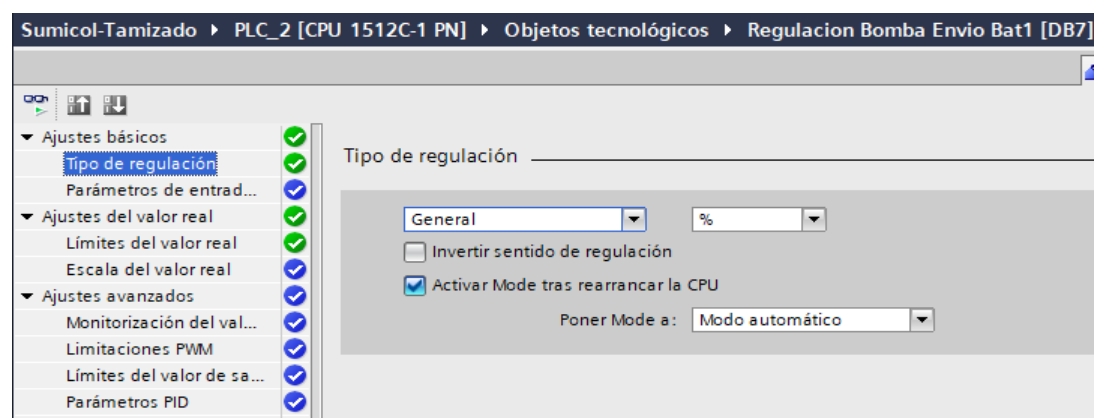
Las salidas del bloque PID\_Compact también ofrecen monitoreo del estado actual, es decir, se pueden tener valores de salida de alarmas o de supervisión para el estado del regulador, si entra en modo de error, si está en modo manual o modo automático entre otros.

La configuración interna del bloque PID\_Compact se describe a continuación.

La figura 71 muestra el ajuste inicial del regulador PID, se puede elegir el tipo de regulación donde se puede especificar la variable a controlar, por ejemplo, temperatura, presión, caudal velocidad, etc. En este caso de elige modo general ya que para la facilidad del controlador del proceso es más cómodo elegir un porcentaje de control y no un valor determinado de la variable.

## Figura 71

### *Tipo de regulación PID\_Compact*

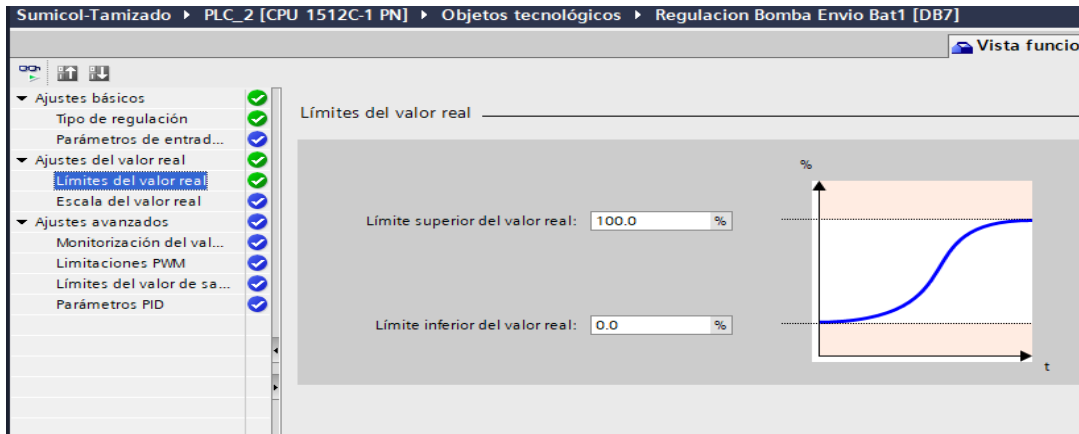


Fuente: (Autores)

La figura 72 muestra el ajuste de los límites del valor real que se va a controlar en el regulador PID, en este caso se define de 0 a 100% como se indicó anteriormente. Se puede activar un sentido inverso de regulación en caso de ser necesario.

**Figura 72**

*Límites del valor real PID\_Compact*

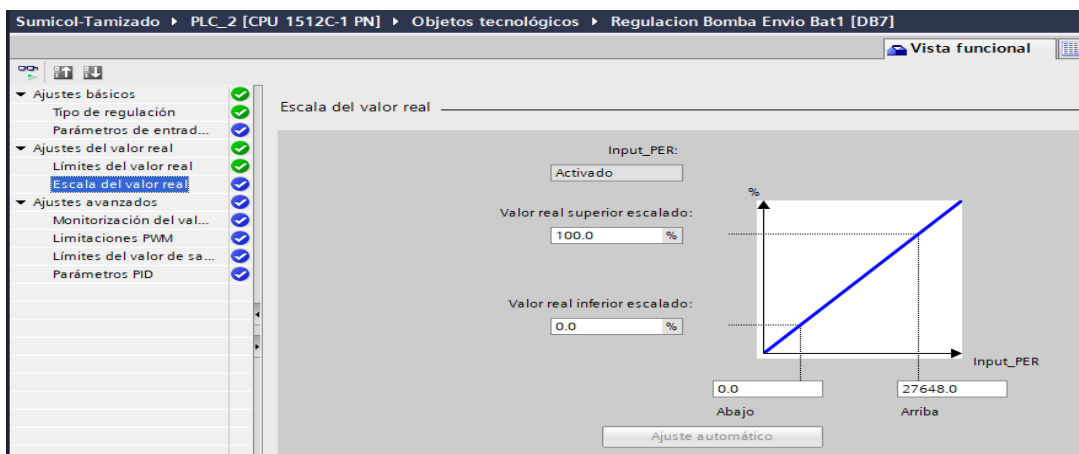


*Fuente:* (Autores)

La figura 73 muestra el ajuste de la escala del valor real del regulador PID, en este caso se relaciona la Input\_PER indicando el valor real de la entrada analógica que se escaló previamente de en % de llenado 0 a 100%. Para la salida Output\_PER se realiza la escala de la salida analógica de 4-20mA en el rango de 0 a 27648, este proceso lo realiza el controlador lógico programable siendo una conversión digital analógica, siendo los valores de 0 a 27648 valores decimales que se traducen en una señal de salida controlada de 4-20mA.

**Figura 73**

*Escala del valor real PID\_Compact*

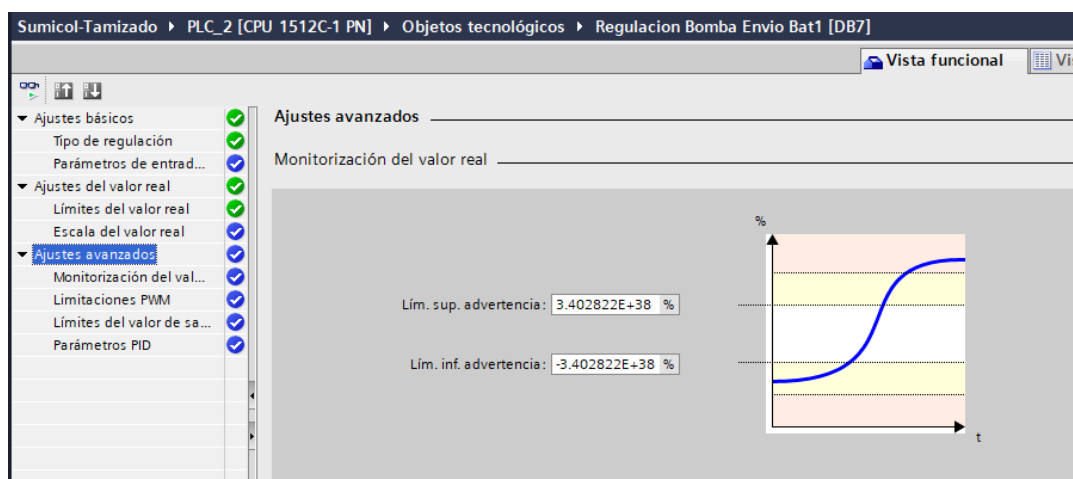


*Fuente:* (Autores)

La monitorización del valor real se emplea para generar avisos de advertencia cuando los valores reales previamente escalados son superados por un umbral superior o inferior, como se muestra en la figura 74 por facilidad se dejan los valores sugeridos por el software, aproximadamente 3% en nivel superior y -3% en nivel inferior.

## Figura 74

### Monitorización del valor real PID\_Compact

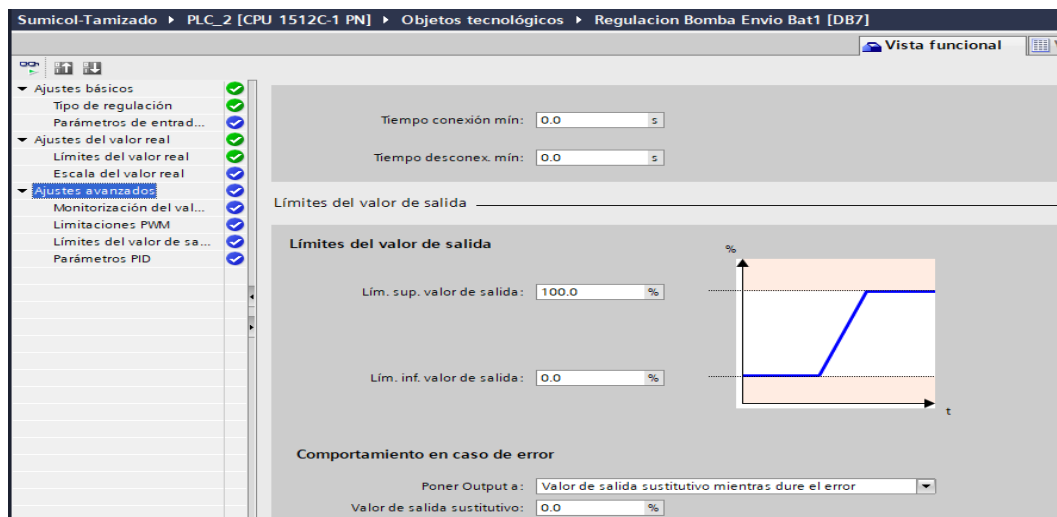


Fuente: (Autores)

Los límites del valor de salida y valor sustituto en caso de error del regulador PID se ajustan rápidamente como se muestra en la figura 75, los límites se establecen de 0 a 100% como se hizo anteriormente, si el controlador PID entra en estado de error se puede determinar un valor fijo para la salida controlada de 4-20mA. Por seguridad del proceso se configura en 0.0, de esta forma en caso de error en controlador PID asigna el valor de 0.0 en la salida analógica controlada, de esta forma se tendrá un valor de 4mA lo cual será una apertura del 0% en la electroválvula reguladora de flujo que controla la bomba neumática que envía los productos hacia el tamiz vibratorio.

**Figura 75**

*Límites del valor de salida y valor sustituto en caso de error del PID\_Compact*

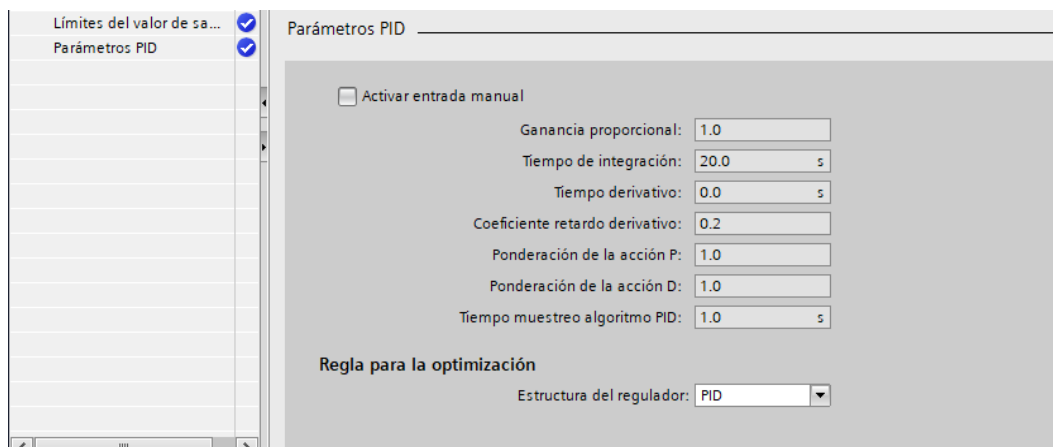


*Fuente:* (Autores)

Los parámetros correspondientes a la ganancia proporcional, tiempo de integración, tiempo derivativo y demás, se obtendrán por medio de la optimización automática del regulador PID a través de Tia Portal. En caso de ser necesario estos valores se pueden ajustar manualmente como se muestra en la figura 76 si se requiere más precisión en la respuesta de salida.

**Figura 76**

*Parámetros del PID\_Compact*

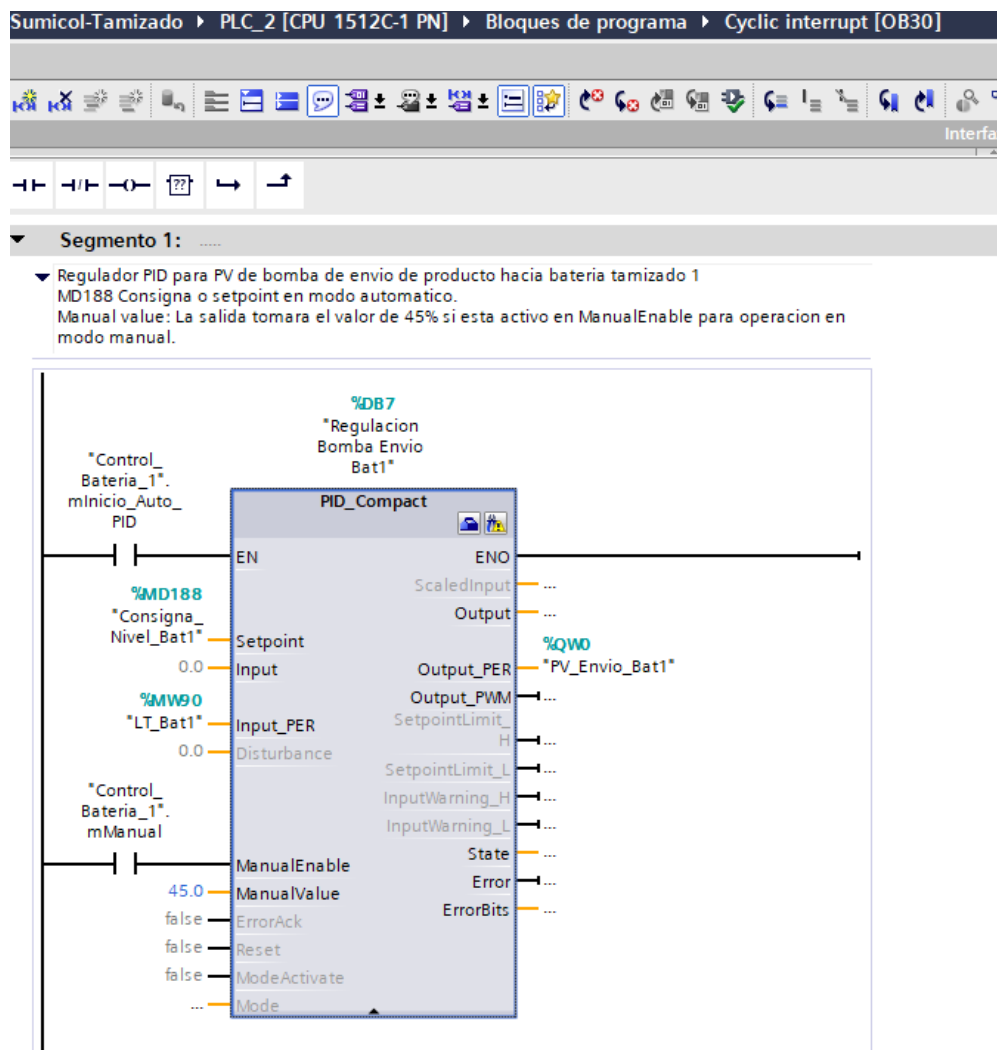


*Fuente:* (Autores)

Teniendo la configuración interna realizada, en la figura 77 se muestra la asignación de las variables correspondientes teniendo coherencia con lo configurado internamente en el bloque, de no ser así el bloque PID\_Compact entrada en estado de error, en la entrada EN se asigna una entrada de habilitación la cual corresponde al modo automático, el Set Point toma el valor que se asignara a través de la interfaz gráfica HMI, la entrada Input\_PER tomara el valor de la entrada analógica correspondiente al sensor de nivel, la entrada ManualEnable se asigna una entrada para activar el modo manual, si ManualEnable tiene una señal de entrada, la señal de la salida analógica que controla la electroválvula reguladora de flujo tomara en valor de ManualValue.

**Figura 77**

*Bloque PID\_Compact con entradas y salidas asignadas*



Fuente: (Autores)

### **7.2.3.5. Programación y diseño de horómetros para el proceso de tamizado**

El horómetro en los últimos años ha tenido un papel muy importante en los sistemas de automatización, debido a que las empresas buscan día a día complementar y mejorar sus estrategias de mantenimiento, según (Colsein, 2019) un horómetro es un dispositivo que registra el número de horas que un equipo, eléctrico o mecánico, por lo general una máquina en general ha funcionado desde la última vez que se ha iniciado. Estos dispositivos son utilizados para monitorear el tiempo trabajado de cada maquina y así controlar las intervenciones de mantenimiento preventivo de los equipos. Una fábrica tiene un programa de mantenimiento preventivo basado en las horas de funcionamiento, dependiendo de la estrategia de mantenimiento estos mantenimientos pueden ser por cada cierta hora de trabajo de los equipos.

Actualmente el proceso de tamizado tiene horómetros para cada tamiz, sin embargo, estos dispositivos están al alcance los controladores del proceso y en ocasiones borran el tiempo de trabajo por desconocimiento, también son dispositivos muy antiguos que se han deteriorado y en muchas ocasiones el registro de tiempo no se ve claramente.

Teniendo en cuenta los requerimientos por parte del área de mantenimiento, se realiza el diseño y la programación para el registro de tiempos de funcionamiento de cada tamiz con el fin de llevar a cabo los planes de mantenimiento de forma más precisa, este registro de tiempos se visualizará en la interfaz gráfica HMI en una ventana exclusiva para los horómetros con el fin de tener una clara visión del registro.

El procedimiento de programación y diseño de los horómetros para el proceso de tamizado se muestra a continuación.

Inicialmente se crea un bloque de datos global donde se ingresan las variables necesarias para el conteo de tiempo de cada tamiz, estas variables corresponden a la entrada, la cual recibe la señal de conteo cuando el motor vibratorio de cada tamiz este encendido, la variable de pulso será la encargada de recibir pulsos de 1Hz, el reset se utilizara para borrar el registro del horómetro en caso de ser necesario, segundos minutos y horas para visualizar el registro de tiempo, estas variables se ingresan para cada tamiz y así tener un registro de tiempo separado, la figura 78 muestra el bloque de datos global con cada una de las variables creadas.

**Figura 78**

*Bloque de datos con variables de horómetros*

Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en ...	Valor de a...
Static							
Entrada_Bat1	Bool	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Pulso_Bat1	Bool	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Reset_Bat1	Bool	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Segundos_1	Dint	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Minutos_1	Dint	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Horas_1	Dint	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Entrada_Bat2	Bool	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Pulso_Bat2	Bool	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Reset_Bat2	Bool	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Segundos_2	Dint	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Minutos_2	Dint	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Horas_2	Dint	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Entrada_Bat3	Bool	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Pulso_Bat3	Bool	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Reset_Bat3	Bool	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Segundos_3	Dint	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Minutos_3	Dint	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Horas_3	Dint	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Entrada_Bat4	Bool	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Pulso_Bat4	Bool	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Reset_Bat4	Bool	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Segundos_4	Dint	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Minutos_4	Dint	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Fuente: (Autores)

Teniendo creado el bloque de datos global con las variables de cada tamiz, se crea un bloque de función donde se especifican las variables mencionadas anteriormente, para el caso del bloque de función, las variables correspondientes a entrada, pulso y reset serán variables de entrada, por otro lado, las variables de segundos, minutos y horas serán variables de salidas, esta configuración se muestra en la figura 79.

**Figura 79**

*Bloque de función para horómetros*

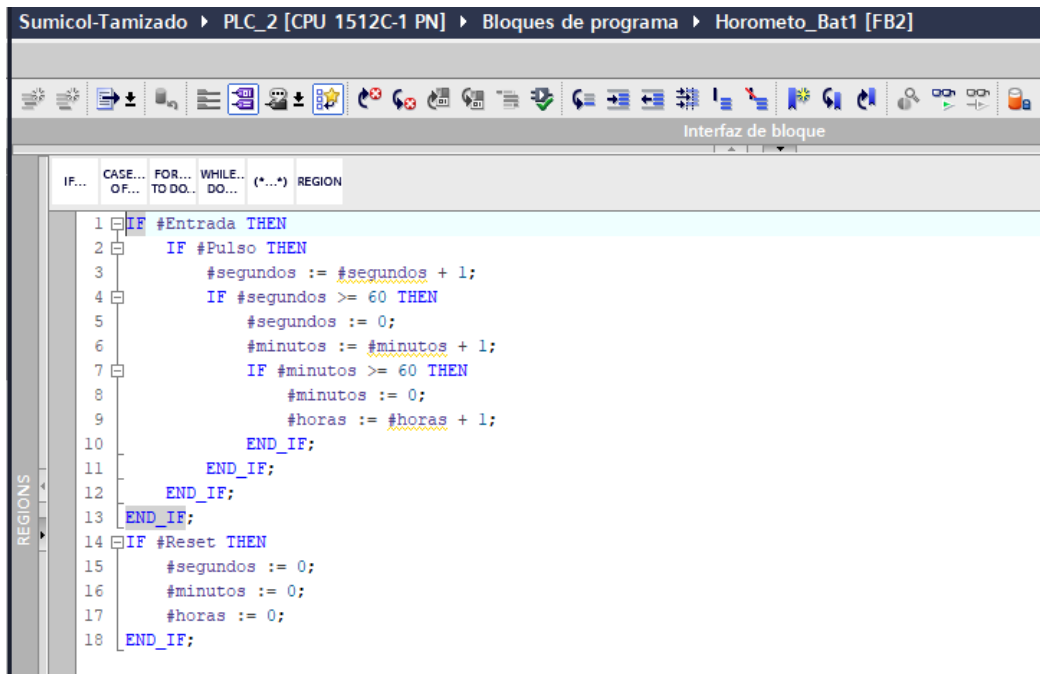
Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia	Accesible d...	Escrib...	Visible en ...	Valo
Input							
Entrada	Bool	false	No rem...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Pulso	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Reset	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Output							
segundos	Dint	0	Remanente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
minutos	Dint	59	Remanente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
horas	Dint	235680	Remanente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
InOut							

Fuente: (Autores)

Por medio del lenguaje SCL (Lenguaje de texto estructurado) se realiza la programación del contador de tiempo, el cual estará contenido en el bloque de función y se replicará las veces que sean necesarias para el control de tiempo de las maquinas requeridas, la figura 80 muestra la programación en SCL para el conteo de tiempo, donde las variables correspondientes a segundos, minutos y horas aumentan en +1 cuando se cumplen las condiciones de la secuencia programada.

**Figura 80**

*Contador de tiempo en SCL*



```

Sumicol-Tamizado > PLC_2 [CPU 1512C-1 PN] > Bloques de programa > Horometo_Bat1 [FB2]
Interfaz de bloque
IF... CASE... FOR... WHILE... (*..*) REGION
OF... TO DO... DO...
1 IF #Entrada THEN
2   IF #Pulso THEN
3     #segundos := #segundos + 1;
4     IF #segundos >= 60 THEN
5       #segundos := 0;
6       #minutos := #minutos + 1;
7       IF #minutos >= 60 THEN
8         #minutos := 0;
9         #horas := #horas + 1;
10      END_IF;
11    END_IF;
12  END_IF;
13 END_IF;
14 IF #Reset THEN
15   #segundos := 0;
16   #minutos := 0;
17   #horas := 0;
18 END_IF;
  
```

*Fuente:* (Autores)

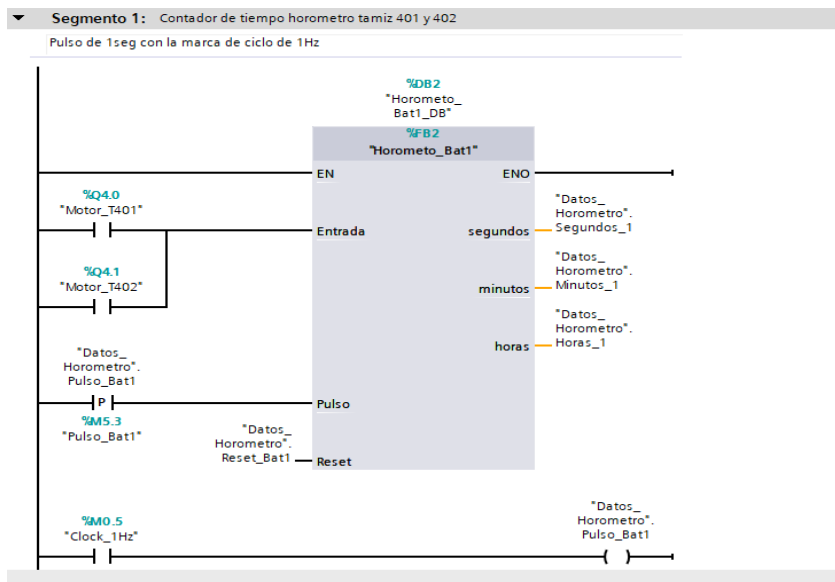
La figura 81 muestra el bloque de función final correspondiente al contador de tiempo, se compone de entradas y salidas como se mencionó anteriormente, estas entradas y salidas se configuran externamente con las condiciones de cada tamiz, el conteo de tiempo se realiza únicamente si se tiene una señal activa en la variable “entrada”, la variable “pulso” recibe pulsos constantes de 1 segundo a través de la marca de ciclo de 1Hz, en las variables de segundos, minutos y horas se verá reflejado el tiempo acumulado.

En la interfaz gráfica HMI se mostrará únicamente el valor de las horas, ya que en la

planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A realizan en registro del conteo de tiempo con una frecuencia de tiempo semanal con el fin de alimentar los planes de mantenimiento.

**Figura 81**

*Bloque final del contador de tiempo*



Fuente: (Autores)

### 7.2.3.6. Programación y diseño de la interfaz gráfica HMI

El proceso de diseño de la interfaz gráfica HMI toma una participación importante en el desarrollo del proyecto, será la herramienta del controlador para gestionar, adquirir, monitoreo y controlar las diferentes variables del proceso de tamizado, obteniendo la información en tiempo real del comportamiento de los equipos que intervienen en el proceso de tamizado de la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A, es importante que el diseño de la interfaz gráfica HMI sea ordenado y aporte información importante, el diseño de una interfaz gráfica HMI no se debe centrar en ocupar todo el espacio de visualización ya que se tendrían elementos que no aportan valor y contaminan visualmente el espacio gráfico.

Para el desarrollo de la interfaz gráfica HMI se utilizará el software WinCC, este software está incluido dentro del entorno de programación de Tia Portal, lo cual es una ventaja importante para reducir tiempos de programación ya que el enlace de variables se realiza de forma rápida y clara, además se tendrán en cuenta las siguientes recomendaciones

que sugiere (Solorzano, 2015) para mejorar el rendimiento y la interacción del controlador del proceso con el entorno gráfico.

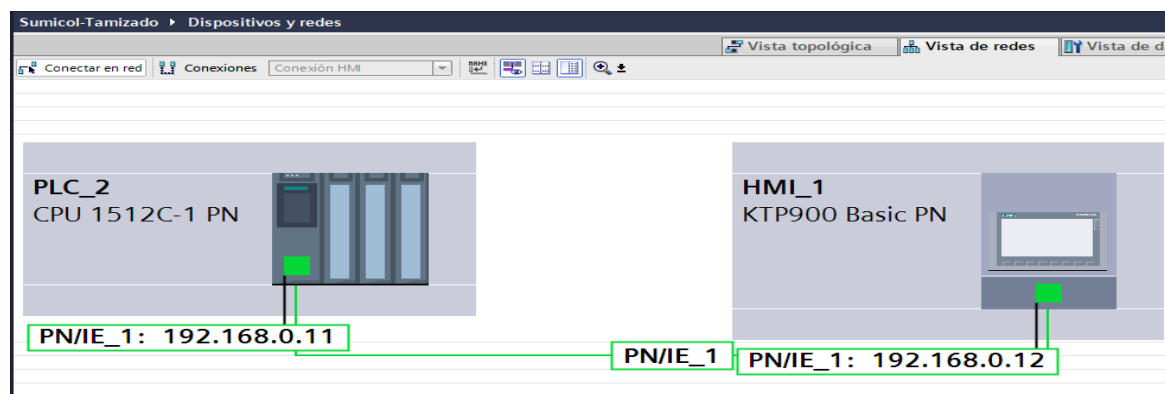
Las recomendaciones de (Solorzano, 2015) se muestran a continuación.

- Diseño simple, orden lógico y bien etiquetado de cada equipo o variable
- Indicaciones cuantitativas mostradas de forma gráfica.
- Unidades con estándares generares, entendibles de forma fácil y rápida por el controlador del proceso.
- Un solo tipo de fuente para cada ventana de la aplicación.
- Estados binarios de forma ON/OFF con instancias gráficas y cambios de color.
- Implantación de paleta de colores utilizados con medida, para el color de las pantallas se recomiendan colores de fondo que son grandes áreas de pantalla vacías y que llevan colores neutros para no forzar la vista con contrastes excesivos.

Para el enlace de la interfaz gráfica HMI con el controlador lógico programable (PLC) se realiza la comunicación por Industrial Ethernet que permite la transferencia de información bidireccional en cuanto lectura y escritura de forma rápida para actualizar las variables dentro del programa desarrollado anteriormente, de esta forma se muestra el comportamiento de las variables del proceso en la HMI en tiempo real, este enlace se muestra en la figura 82.

## Figura 82

### *Red de comunicación entre PLC y HMI*



Fuente: (Autores)

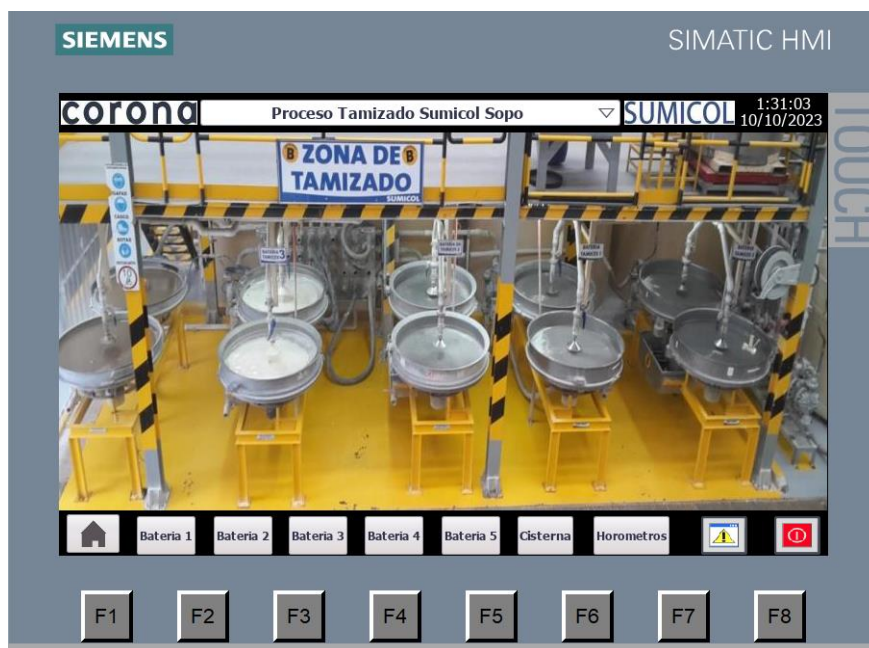
La red creación de la red es flexible y permite la comunicación entre distintas áreas de la planta de producción, también se adapta a futuras ampliaciones del sistema de automatización, haciendo así más rápida la recolección de información, esta información se puede presentar en tiempo real a las personas encargadas de las tareas de diagnóstico y monitorización remota con solo dar una dirección IP a los sistemas que componen el entorno de automatización. (Giraldo & Hoyos, 2009)

La interfaz gráfica HMI se compone de un menú óptimo para que el controlador del proceso opere y navegue dentro del proceso de tamizado. El menú de la interfaz gráfica HMI se muestra en la figura 83 y se describe a continuación.

- Portada o imagen principal, con una imagen del proceso de tamizado de la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A.
- Encabezado con el logo de la empresa y la planta encargada del proceso de tamizado, hora y fecha actual, este encabezado se mantiene en todas las ventanas de la HMI.
- Tecla de Home, muestra una imagen inicial del proceso real, al pulsar esta tecla la interfaz muestra la portada o imagen principal.
- Batería 1, acceso para el control y visualización de proceso del tamiz 1 y 2.
- Batería 2, acceso para el control y visualización de proceso del tamiz 3 y 4.
- Batería 3, acceso para el control y visualización de proceso del tamiz 5 y 6.
- Batería 4, acceso para el control y visualización de proceso del tamiz 7 y 8.
- Batería 5, acceso para el control y visualización de proceso del tamiz 10 y 11.
- Horómetros, acceso para la visualización del registro de tiempo de los horómetros de cada batería de tamices
- Alarmas, acceso para la visualización y reinicio de las alarmas que sucedan durante el proceso.

**Figura 83**

*Pantalla principal interfaz gráfica HMI*



*Fuente:* (Autores)

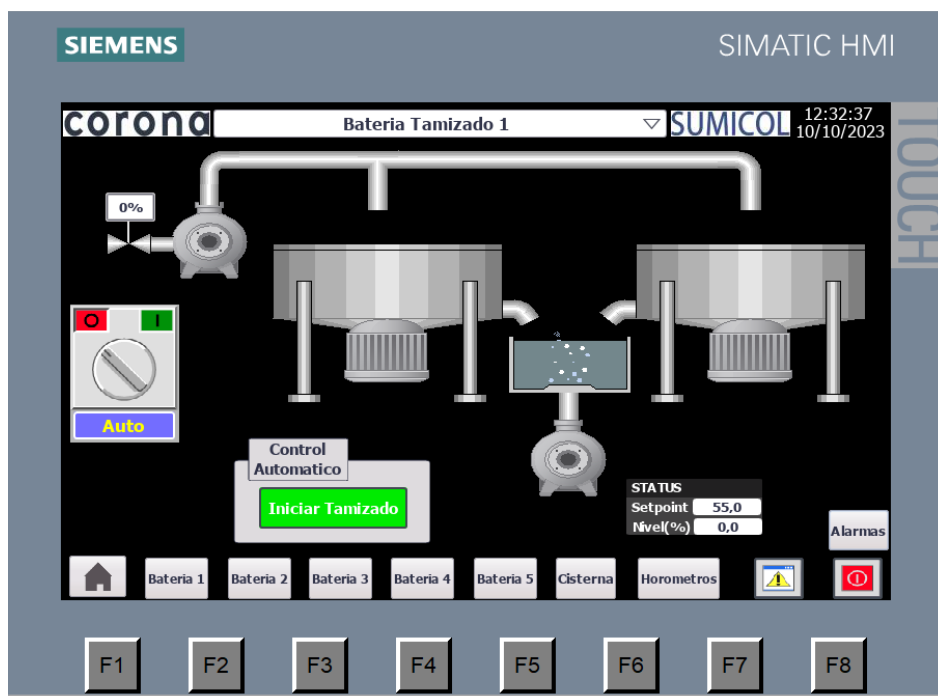
Dentro del menú de cada tamiz se muestra la visualización que le permite al controlador realizar las acciones necesarias, en la figura 84 se muestra el conmutador Manual-Automático que funciona como un selector para que el operador seleccione el modo de trabajo del proceso de tamizado, se visualiza el modo de trabajo actual, en este caso es automático, si se cambia a manual se visualiza manual.

El botón de iniciar tamizado arranca el proceso el tamizado con la secuencia especificada, en el área de estatus se asigna el nivel deseado o Set Point y se visualiza la cantidad de llenado en porcentaje (%), cuando el proceso está en curso el botón cambia de estado a “finalizar tamizado” de esta forma la operación se vuelve más intuitiva y fácil para el controlador del proceso.

El controlador del proceso también puede ver el porcentaje de apertura de la electroválvula reguladora de flujo que controla la bomba neumática que envía el producto hacia los tamices.

**Figura 84**

*Operación y visualización en modo automático*

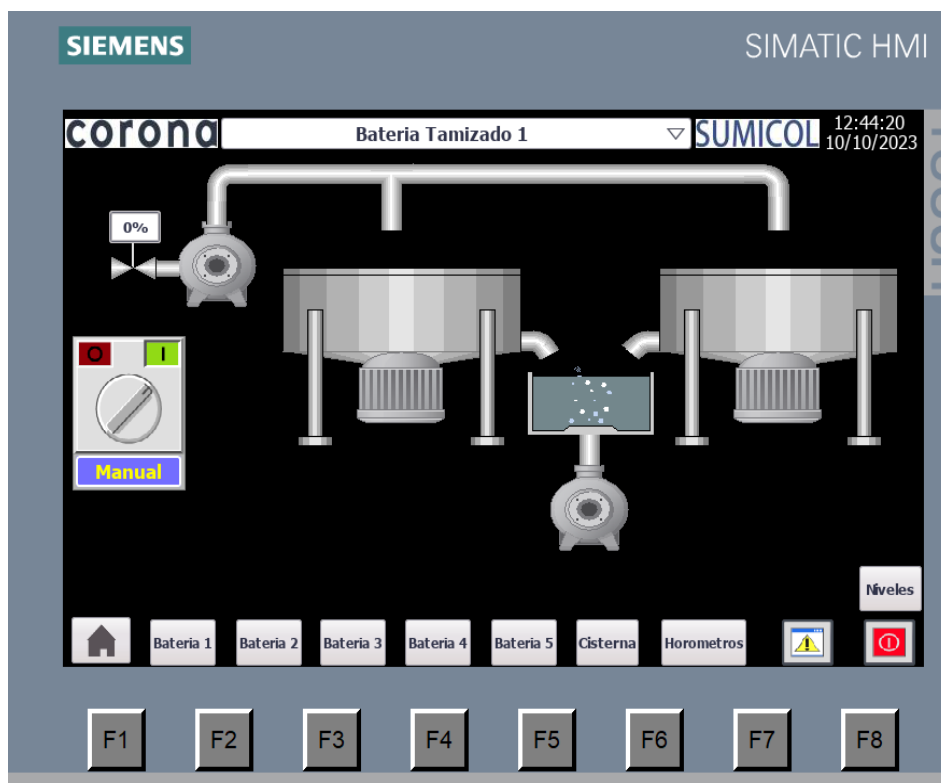


*Fuente:* (Autores)

La figura 85 muestra el comportamiento de la interfaz gráfica HMI cuando el controlador del proceso selecciona el modo manual, la visualización del proceso no cambia, únicamente se desaparece el botón de iniciar tamizado que realiza el arranque de todo el proceso con un solo pulso, en el modo manual se debe arrancar cada equipo por separado pulsando sobre el grafico correspondiente, como se indicio anteriormente, el modo manual se debe usar para procesos de lavado, para esto el controlador del proceso encenderá cada motor vibrador de cada tamiz por separado, al igual que la bomba de envío y descarga respectivamente.

**Figura 85**

*Operación y visualización en modo manual*



*Fuente:* (Autores)

A continuación, se realizarán las pruebas necesarias con el fin de verificar el correcto funcionamiento del sistema de automatización, realizando pruebas y simulaciones donde se evidencie que la respuesta de la lógica programada en el controlador lógico programable (PLC) y en la interfaz gráfica HMI respondan satisfactoriamente frente a los requerimientos de control establecidos.

## **7.3.VALIDAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO MEDIANTE PRUEBAS Y SIMULACIONES.**

En los procesos de diseño de ingeniería, es importante acudir las diferentes herramientas computacionales con el fin de imitar o estudiar el comportamiento de un sistema o modelo determinado, por medio de la simulación se realiza una representación simplificada y controlada del sistema de automatización del proceso de tamizado de la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A, con esto se analiza el funcionamiento en condiciones controladas y seguras, sin necesidad de intervenir el proceso actual, según (Cabrera, 2009) la simulación es la representación ficticia de situaciones reales, donde el objetivo es comprender el comportamiento del sistema por medio de innumerables pruebas y ensayos antes de desarrollar el sistema en el ámbito real.

### ***7.3.1. Simulación y validación de funcionamiento del sistema automatizado***

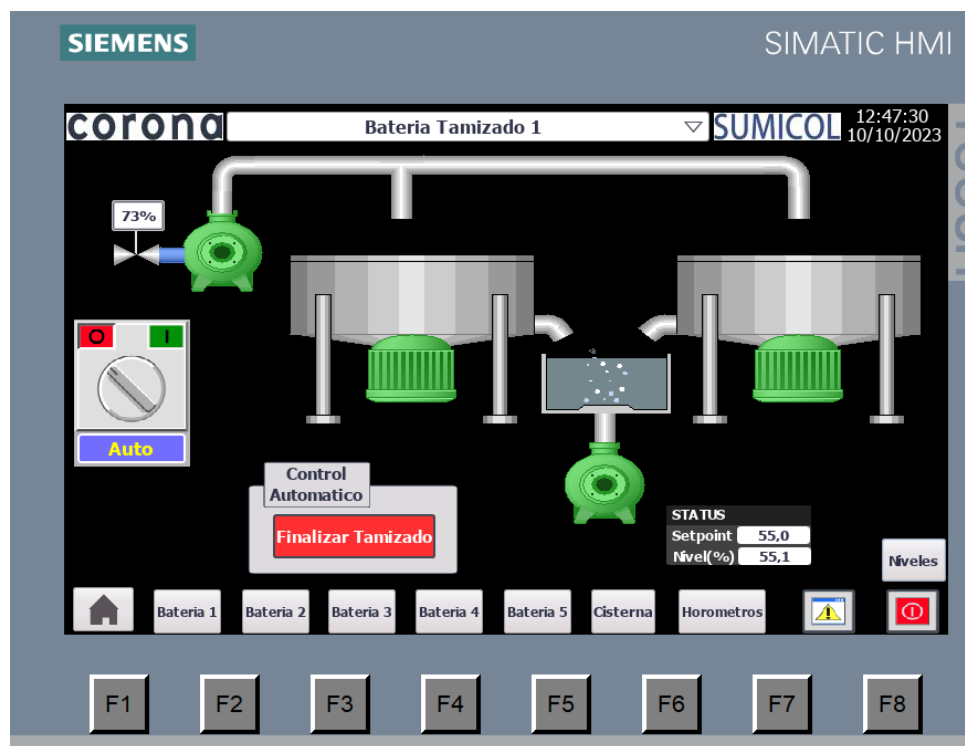
La simulación del sistema de automatización desarrollado se realiza con la ayuda del entorno de programación Tia Portal, el cual incluye el PLC SIM, esta herramienta permite simular el controlador lógico programable (PLC) y la interfaz gráfica HMI como si fueran los dispositivos reales, de esta forma se tiene un escenario previo antes de realizar la adquisición de los equipos, de acuerdo con (Siemens, 2016) los sistemas de simulación apoyan el desarrollo de programas y el despliegue en producción, en los sistemas de automatización industrial un entorno de prueba simulado acorta la puesta en marcha ya que es posible probar todo el sistema y hacer los ajustes necesarios de forma segura antes de poner en funcionamiento en la planta.

#### **7.3.1.1. Simulación del proceso en modo automático**

El desarrollo de la simulación del sistema propuesto para el proceso de tamizado de la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A, se lleva a cabo teniendo en cuenta los requerimientos de funcionamiento definidos inicialmente, en la figura 86 se muestra la simulación del proceso en modo automático, donde se puede visualizar claramente los equipos que se encuentran en operación, el control visual por medio de colores facilita la lectura a los controladores del proceso, se muestra el Set Point seleccionado, en este caso 55% de llenado, a su vez se muestra el nivel actual que se encuentra en 55.1% de llenado, también se identifica el porcentaje de apertura de la electroválvula reguladora de flujo que controla la velocidad de bombeo hacia los tamices, en este caso 73% de apertura.

**Figura 86**

*Simulación del proceso en modo automático*



Fuente: (Autores)

### 7.3.1.2. Simulación de una falla con potencial de causar un derrame de producto

Teniendo en cuenta que los tamices funcionan a través de un motor eléctrico vibrador, es común que los motores presenten fallas durante su operación, ya sea alguna falla mecánica o eléctrica, el sistema eléctrico debe de estar en la capacidad de identificar y deshabilitar el motor que presente la falla por medio de sus protecciones eléctricas, el sistema automatizado debe proporcionar la información necesaria al controlador del proceso para poder tomar las acciones necesarias de forma rápida y oportuna.

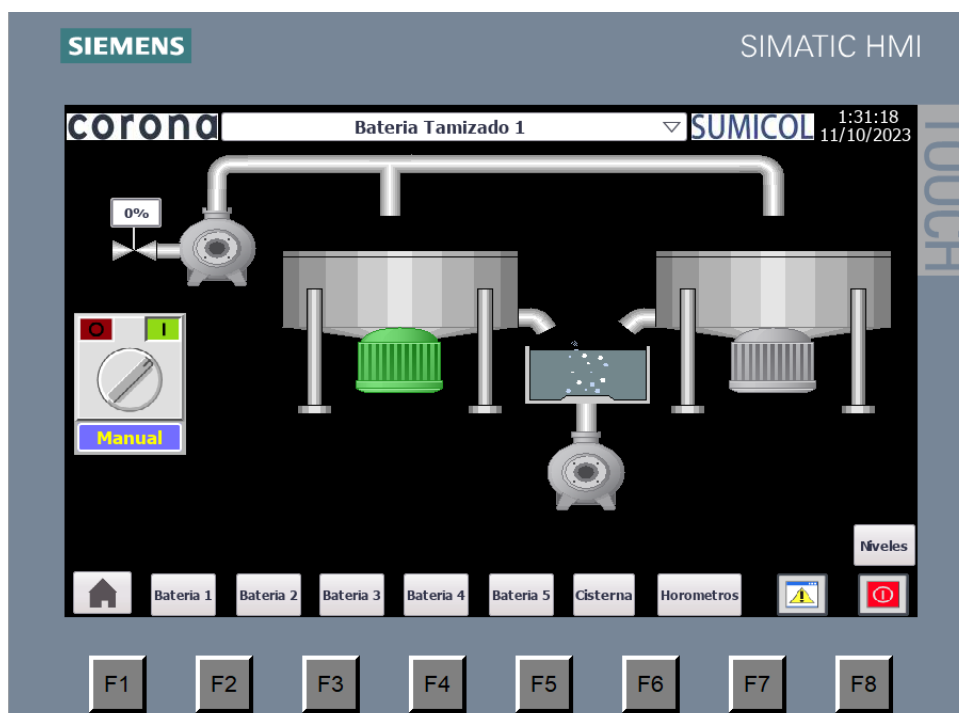
La simulación de una falla se realiza forzando las variables correspondientes al disparo térmico de los motores, al forzar la variable de entrada el controlador lógico programable (PLC) detecta una condición anormal y desactiva la salida de activación del motor en falla y muestra en la interfaz gráfica el aviso de falla a través de cambio de color de verde a rojo como se muestra en la figura 87. Para este caso se simula una falla en 2 motores y



proceso no inicia según la secuencia definida ya que el arranque de los equipos de realiza de forma individual, si el controlador enciende solo un tamiz esto mismo se muestra en la interfaz gráfica HMI, no se muestra el Set Point ya que es para el modo automático.

**Figura 88**

*Simulación del proceso en modo manual*



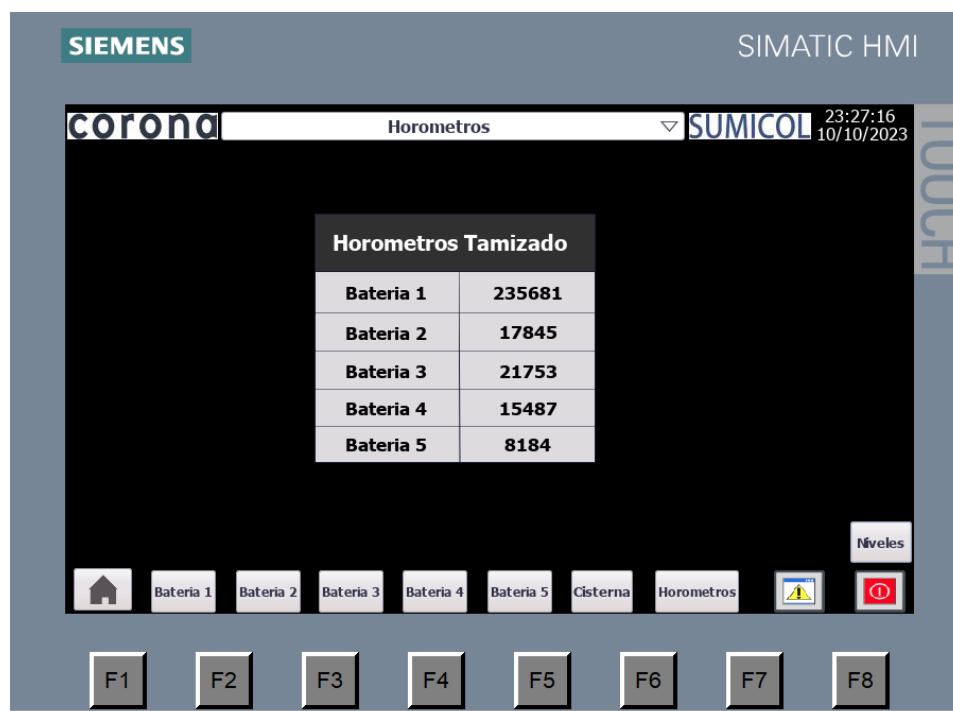
Fuente: (Autores)

#### 7.3.1.4. Simulación y visualización del registro de horómetros

El registro de horómetros lo realiza el controlador lógico programable (PLC) según lo programado y mostrado en la figura 80, por medio de la interfaz gráfica HMI se obtienen los horómetros correspondientes a cada batería de tamizado como se muestra en la figura 89, este valor permanece estable en una ventana de la interfaz, el acceso es rápido pulsando el botón “horómetros”, el personal de mantenimiento no tendrá el problema de perder el registro de tiempos por el reseteo intensional del horómetro físico.

**Figura 89**

*Simulación y visualización del registro de horómetros*



*Fuente:* (Autores)

### 7.3.1.5. Simulación y visualización de las alarmas del proceso

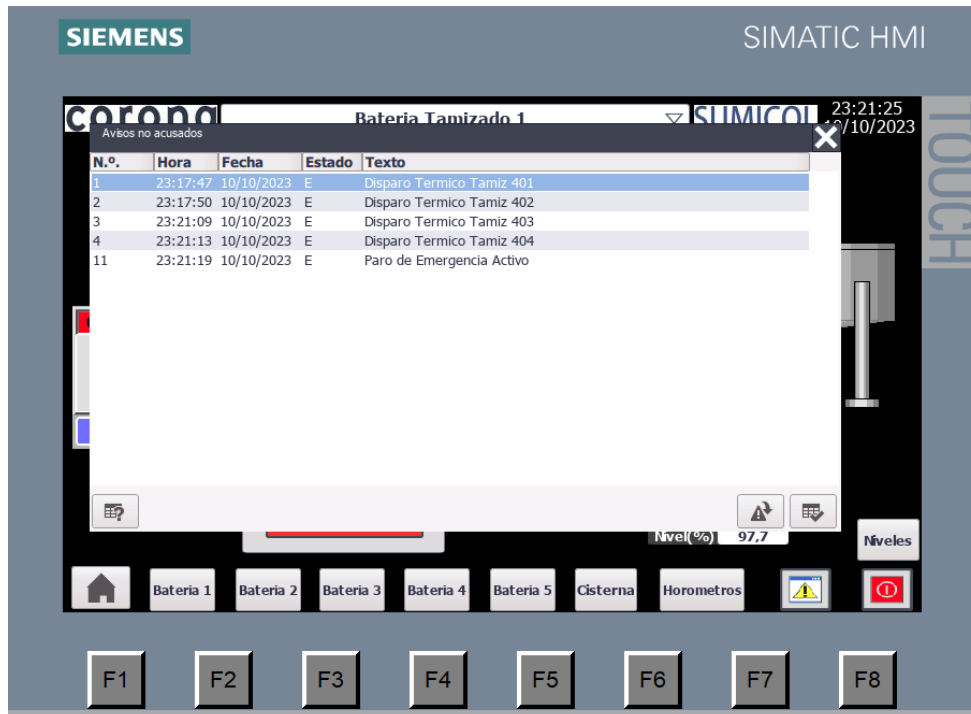
La visualización rápida de las alarmas del proceso facilita al controlador la toma de decisiones rápidas, usualmente las fallas o alarmas de los procesos se evidencian por medio de alguna señal sonora o lumínica, si bien es cierto que es la forma más tradicional, también es un método funcional de avisar o notificar sucesos anormales en el proceso de producción, sin embargo, pueden haber procesos con múltiples alarmas y para los controladores del proceso se vuelve un reto identificar rápidamente cada alarma o advertencia.

Con el desarrollo de los procesos de automatización industrial se puede acceder a múltiples alarmas de un proceso con un solo click, también se puede tener una señal lumínica o sonora, pero con un click se puede acceder a un listado donde se evidencian las diferentes fallas con fecha y hora. Esto permite que el personal de producción pueda tomar decisiones rápidas y confiables que le permitan garantizar una operación segura y confiable del proceso al que pertenecen, en este caso esto será una herramienta

importante en el proceso de tamizado de la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A.

**Figura 90**

*Simulación y visualización de alarmas del proceso*



*Fuente:* (Autores)

Una falla como la descrita en la figura 87 con potencial de causar un derrame de producto se puede identificar de forma rápida en la ventana de alarmas mostrada en la figura 90, en el momento que la falla se materializa la ventana de alarmas aparece automáticamente sobreponiéndose a la ventana de visualización actual, esto con el fin de llamar la atención y que el controlador de proceso pueda identificar rápidamente el suceso.

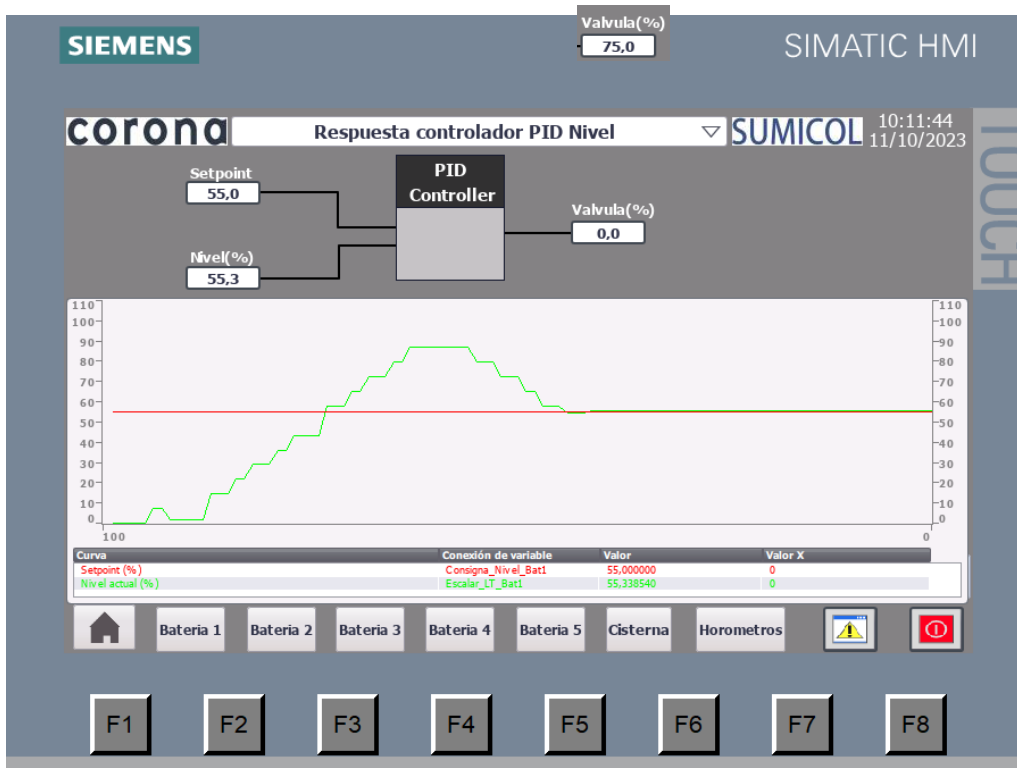
### 7.3.1.6. Grafica de la respuesta del regulador PID a través de simulación

Es importante tener una visual de la respuesta del sistema de control de nivel, esto se puede visualizar de forma rápida en la interfaz gráfica HMI, en la figura 91 se muestra un gráfico representativo del sistema donde se muestra el Set Point seleccionado, para este caso 55% de llenado, este Set Point se muestra a través de la línea roja, con la línea verde se visualiza el control del nivel de llenado de acuerdo con el % de apertura de la

electroválvula reguladora de flujo que controla la bomba de envío hacia el tamizado, la curva de respuesta verde inicia el crecimiento progresivamente y supera el valor del Set Point, después logra estabilizarse en 55,3% de llenado, con esto se logra mantener el nivel del proceso de tamizado en el nivel deseado.

**Figura 91**

*Respuesta del regulador PID a través de simulación con Setpoint de 55%*



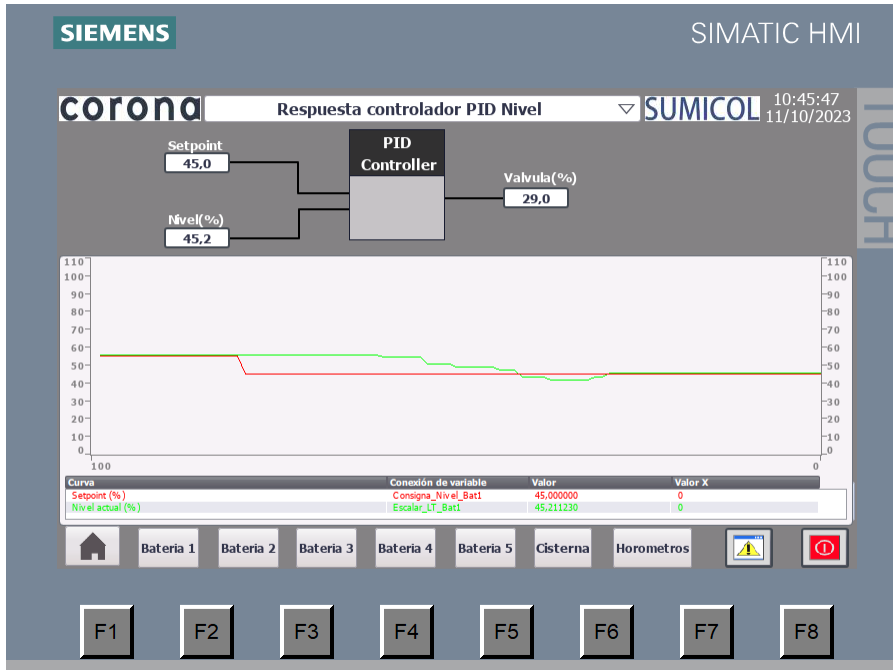
*Fuente:* (Autores)

La simulación del sistema debe realizarse con diferentes valores de SetPoint ya que esto puede ser una condición normal del proceso real, para esto se cambia el Setpoint a 45% de llenado y la respuesta se muestra en la figura 92, la curva roja desciende a 45% mientras que la curva verde del nivel de llenado desciende progresivamente y su valor queda inferior al Setpoint, el regulador PID busca igualar el valor del Setpoint a través del control de la electroválvula reguladora de flujo que controla la bomba de envío hacia los tamices, luego de esto el valor de nivel se estabiliza en un valor de 45,2% de llenado, garantizando que el nivel se mantenga en el valor deseado y no se manifieste el derrame de producto en el proceso.

Este comportamiento del sistema refleja el éxito o la poca probabilidad de que el proceso no cumpla su objetivo, ya que, si el nivel de llenado no se mantiene en el nivel deseado, el derrame de producto ocurrirá como pasa actualmente.

**Figura 92**

*Respuesta del regulador PID a través de simulación con Setpoint de 45%*



*Fuente:* (Autores)

En conclusión, con el sistema de control propuesto se logra obtener un control óptimo del proceso de tamizado de la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A, por medio de la simulación de la respuesta del sistema se evidencia que es posible eliminar los derrames del proceso logrando mantener el nivel de llenado del proceso en los niveles deseados, el controlador PID integra las tres acciones de control y por medio del control proporcional se corrigen los errores actuales, el control integral corrige los errores pasados y acumulados y el control derivativo controla las oscilaciones y los cambios bruscos de la respuesta de control.

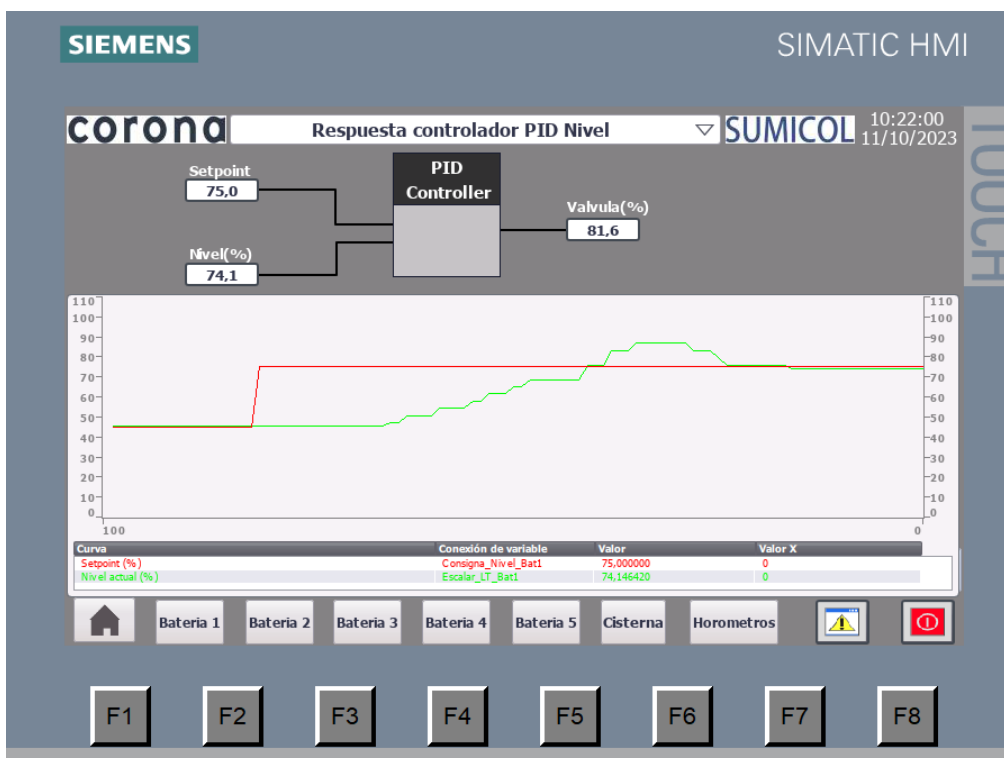
Cuando se configura adecuadamente, el regulador PID integra estas tres acciones para mantener la variable controlada lo más cerca posible del Setpoint deseado.

Esta combinación de acciones hace que el sistema sea estable y esto es esencial en aplicaciones de control industriales, en este caso evitando el derrame constante de los productos a tamizar.

Hay que tener en cuenta que esta respuesta al ser simulada, la gráfica presenta retardos de tiempo, sin embargo, la gráfica muestra resultados satisfactorios, en la figura 93 se muestra un Setpoint de 75%, la curva roja asciende a 75% mientras que la curva verde del nivel de llenado asciende progresivamente y su valor supera el Setpoint, el regulador PID busca igualar el valor del Setpoint a través del control de la electroválvula reguladora de flujo que controla la bomba de envío hacia los tamices, luego de esto el valor de nivel se estabiliza en un valor de 74,1% de llenado, garantizando que el nivel se mantenga en el valor deseado y no se manifieste el derrame de producto en el proceso.

**Figura 93**

*Respuesta del regulador PID a través de simulación con Setpoint de 75%*



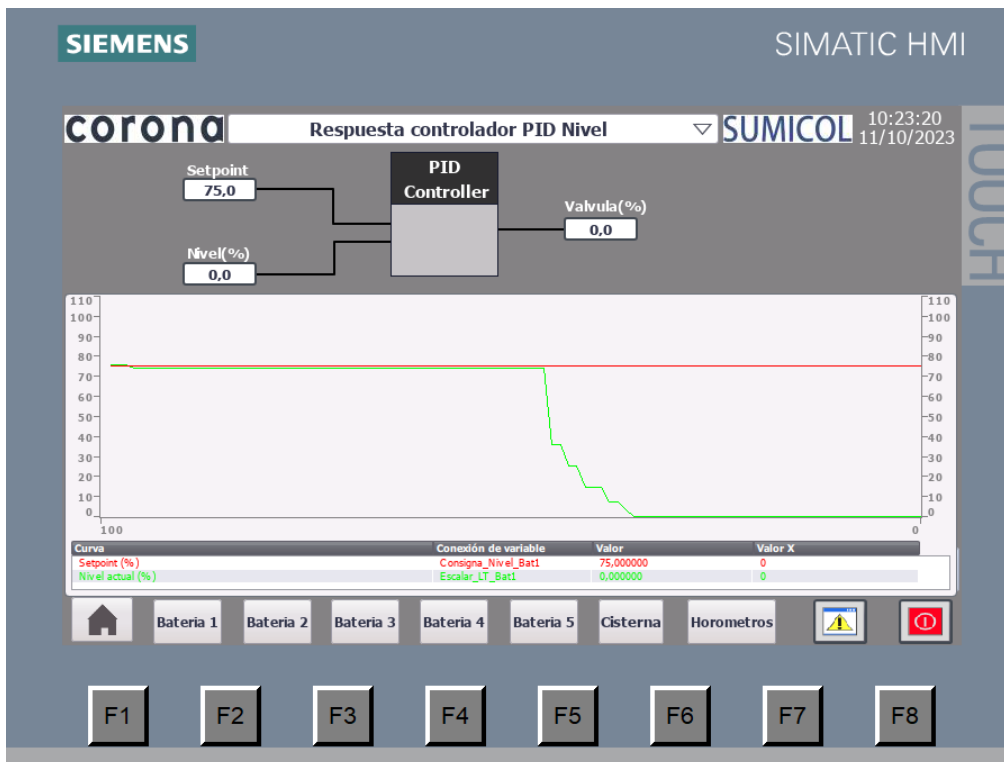
*Fuente:* (Autores)

Una condición normal del proceso real es que el controlador finalice el tamizado desde la interfaz gráfica HMI, cuando esto ocurre el sistema de control debe actuar sin alterar el llenado y sin causar un potencial derrame, cuando eso ocurre el Setpoint no se modifica, pero el nivel de llenado si debe descender hasta lo más mínimo por medio del control de la electroválvula reguladora de flujo que controla la bomba de envío al tamizado.

La simulación de esta condición se muestra en la figura 94, donde se evidencia que el Setpoint permanece estable en 75% mientras que el porcentaje de apertura de la electroválvula reguladora de flujo está en 0%, con esto el nivel de llenado descenderá progresivamente hasta desocuparse y obtener un nivel del 0%.

**Figura 94**

*Respuesta del regulador PID cuando el proceso finaliza*



*Fuente:* (Autores)

Con este comportamiento se obtiene una respuesta segura ante los diferentes cambios que se puedan presentar en el proceso real, es importante llevar a cabo un cronograma de capacitación y entrenamiento para el personal operativo del proceso cuando la propuesta se haya implementado, con el fin de que los controladores aprendan a operar el sistema sin errores e interactuando con la interfaz gráfica HMI satisfactoriamente, logrando un proceso más eficiente que contribuye con el desarrollo y la competitividad de la empresa, también logrando reducir el impacto ambiental generado actualmente por la disposición de los residuos de sedimento que se extraen de las cisternas de planta de agua.

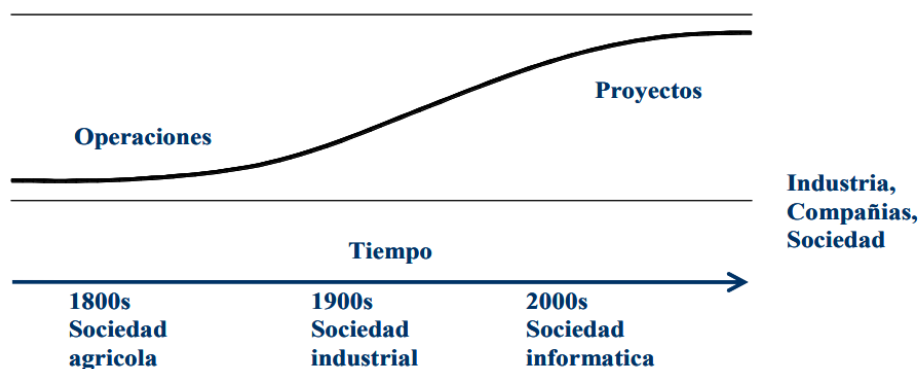
## 7.4. IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE PROYECTOS

En la mayoría de las plantas de producción industriales dividen sus departamentos entre Operaciones, Mantenimiento y Proyectos. En la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A estos departamentos tienen sus diferentes funciones y objetivos dentro del desarrollo óptimo de la producción, sin embargo, últimamente se ha tenido una gran participación del departamento de proyectos por la alta demanda de productos para la construcción y mejora del hogar, lo que implica un mejoramiento continuo en la innovación de los procesos.

Este escenario no solo se refleja en la empresa Corona S.A, es un escenario global y según (Shenhar & Dvir, 2007) el departamento de proyectos crece y se acelera como se muestra en la figura 95, ya que la mayoría de las empresas buscan ser más competitivas en el mercado, el desarrollo de proyectos con una gestión adecuada es un impulso importante para optimizar sus procesos.

**Figura 95**

*Incremento de los proyectos*



*Fuente:* (Shenhar & Dvir, 2007)

Si bien es cierto que los proyectos se incrementan es necesario acudir a las herramientas necesarias para optimizar los procedimientos y trabajar de forma ágil con el fin de tener la capacidad de tomar las mejores decisiones a lo largo de cada etapa del proyecto, con la ayuda de Excel y Power BI se utilizan las diferentes herramientas para la gestión óptima del proyecto y de esta manera poder tener una visión cercana y acertada del avance del proyecto.

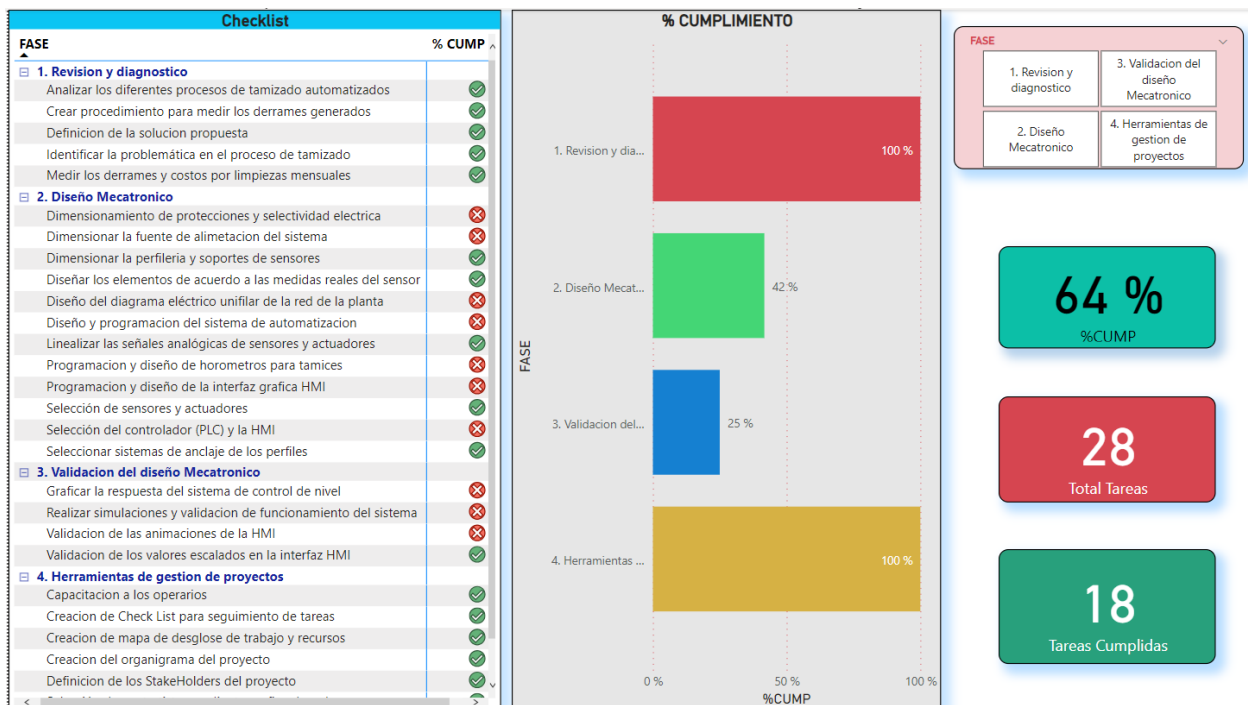
### 7.4.1. Creación de Checklist

La creación del Checklist es una herramienta importante ya que de esta forma se puede verificar que se haya llevado a cabo una serie de procedimientos para el desarrollo del proyecto, el Checklist puede utilizarse para hacer seguimiento a cualquier fase el proyecto o a todas las fases en general, usualmente en un proyecto de gran tamaño pueden existir varios Checklist específicos como por ejemplo, Checklist de compras y recursos, Checklist de materiales, Checklist de procedimientos para uso de equipos o maquinas, Checklist de tareas de mantenimiento, etc.

Para el caso de este proyecto se realiza un Checklist para tener un seguimiento rápido y visual de todas las fases del proyecto, por medio de Excel se crea la lista de tareas correspondiente a cada fase, con Power BI se transforman los datos en un dashboard que proporciona la información detallada del avance en general del proyecto.

**Figura 96**

#### Checklist del proyecto



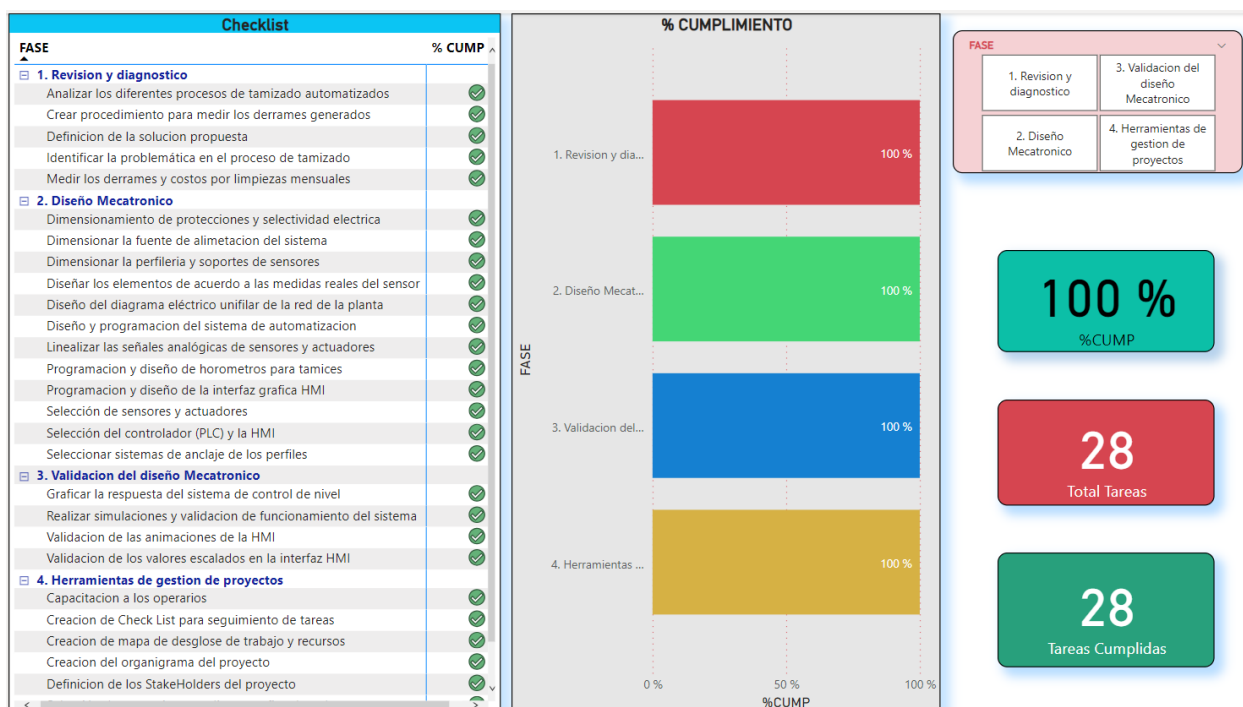
Fuente: (Autores)

La figura 96 muestra el dashboard y se tiene una visualización amigable del Checklist con cada fase del proyecto y las tareas correspondientes a cada fase, se muestra un

gráfico de barras con cada fase diferenciada por colores con el porcentaje (%) de cumplimiento de cada fase, un dato importante es la cantidad de tareas totales y la cantidad de tareas ejecutadas, esto permite tener claridad del porcentaje (%) de avance general de todo el proyecto.

**Figura 97**

*Checklist del proyecto con avances en cada etapa*



*Fuente:* (Autores)

Los datos se actualizan rápidamente y se muestra un panorama claro del avance desglosado y general del proyecto como se muestra en la figura 97, El Checklist también sirve como herramienta para mejorar los procedimientos ya existentes asignando nuevas tareas o eliminando tareas que no son relevantes y no aportan valor.

### 7.4.2. Definición y categorización de los Stakeholders

Teniendo un Checklist que aporte información de valor sobre el estado del proyecto se puede utilizar para la gestión de los Stakeholders, teniéndolos informados de manera rápida y concreta, y en caso de ser necesario se pueden realizar ajustes en el proyecto. Esta información puede ser relevante para muchos, pero para otros no tanto, por esto es

importante la categorización de los interesados y así darle un correcto uso a la transferencia de la información a lo largo del proyecto.

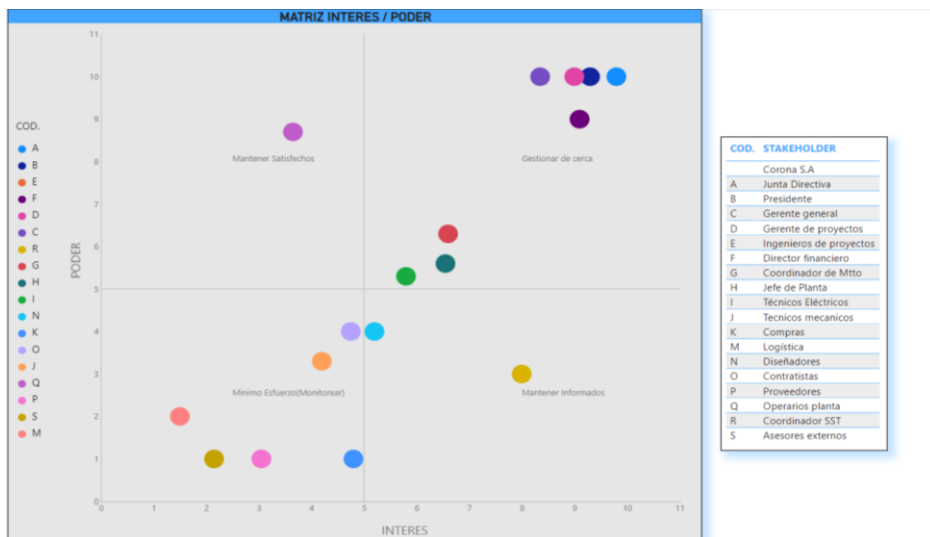
Iniciar a categorizar los Stakeholders parte de tener claro quiénes serán los participantes desde el inicio, en la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A se tienen diferentes niveles de participación y dependiendo de la inversión y el impacto que genere el proyecto se tiene participación de personal de cargos que están en la junta directiva, presidencia y gerencia, de igual forma si no participan directamente son personas que están involucradas en la aprobación de presupuestos y se deben mantener informados acertadamente ya que tienen influencia y control directo.

El recurso humano que participa en el proyecto también incluye personal especializado del área de ingeniería, mantenimiento, operaciones, área financiera, logística, y personal externo como proveedores y contratistas. En la figura 98 se muestra el listado de Stakeholders identificados con una letra para su identificación la matriz interés poder.

La categorización se realiza teniendo en cuenta factores como la influencia en la toma de decisiones del proyecto, el nivel de control a lo largo del proyecto, también se incluyen aspectos de participación técnica, ambiental, legal, de salud, económica y desarrollo personal. Por medio de Excel se da una puntuación de 0 a 10 dependiendo del nivel de cada persona en cada aspecto, con Power BI se transforman los datos en un dashboard que proporciona la matriz interés poder con la respectiva categorización como se muestra en la figura 98.

**Figura 98**

*Listado de Stakeholders*



Fuente: (Autores)

Esta categorización se divide en 4 cuadrantes donde cada cuadrante indica el nivel de interés y el nivel de poder de cada participante en el proyecto, el cuadrante que usualmente se le da más importancia es el primer cuadrante donde están los interesados que se deben gestionar de cerca, es decir, los participantes que tienen mayor poder en la toma de decisiones y los que se verán más beneficiados por el éxito del proyecto, inicialmente se tiene a la junta directiva que se beneficiaran con los resultados del proyecto dados los ahorros que se tendrían eliminando desperdicios y los costos de limpieza, de igual forma la presidencia, la gerencia y el área financiera, se tienen también a los ingenieros de proyectos que están siempre encargados del desarrollo especializado del proyecto y la gestión de los recursos, junto con el coordinador de mantenimiento y el jefe de planta, los técnicos eléctricos también están en este cuadrante dada su alta participación técnica durante la implementación del proyecto.

El segundo cuadrante es ocupado por los integrantes que se deben mantener satisfechos, esto significa que tienen participación en el proyecto, pero su nivel de influencia y control en el proyecto es bajo, en esta categoría se encuentran los controladores o operarios de planta, estos participan de forma operativa y apoyo en la gestión, desarrollo y implementación del proyecto, su mayor beneficio será poder tener un proceso controlado libre de derrames de producto.

El tercer cuadrante es ocupado por los integrantes que requieren de un esfuerzo mínimo y básico en el proyecto, en esta categoría se encuentra personal de logística y compras, técnicos mecánicos, asesores externos, proveedores, y contratistas, sin embargo, en muchos proyectos industriales los contratistas toman un papel importante durante la implementación dado su aporte técnico a lo largo del proyecto.

Finalmente, en el cuarto cuadrante se encuentran los integrantes que se deben mantener informados en el proyecto, en esta categoría se encuentra personal de seguridad y salud en el trabajo SST y diseñadores. En este caso el personal de seguridad y salud en el trabajo se encarga de gestionar los procedimientos de seguridad, los diseñadores se deben mantener informados ante cualquier desviación o modificación en el proyecto, que implique cambios significativos a lo establecido inicialmente.

### ***7.4.3. Creación de la estructura de desglose de trabajo EDT***

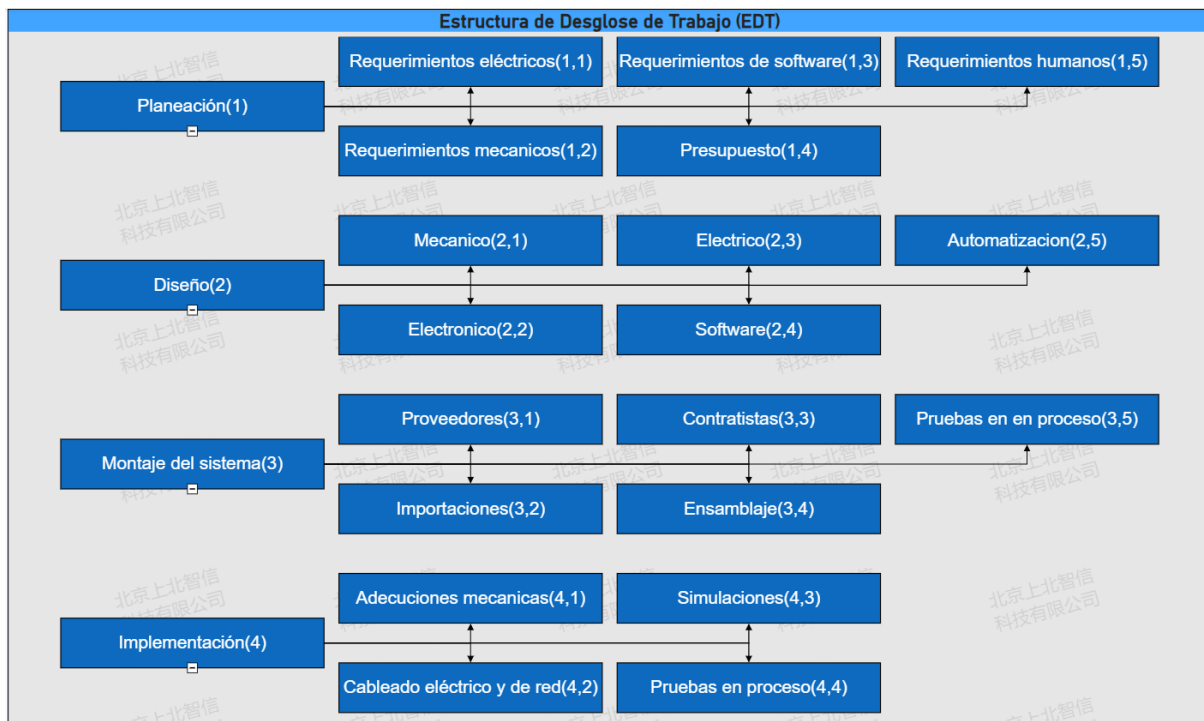
En el marco teórico se mencionó la importancia de la estructura de desglose de trabajo, en la práctica es funcional para dividir un proyecto en componentes más pequeños para gestionar de cerca, con el fin de contribuir en la planificación inicial, llevar un orden y

tener en cuenta actividades importantes que pueden significar demoras o puntos de atención significativos para el desarrollo de cada etapa del proyecto.

Por medio de Excel crea el listado general de las actividades y se dividen en diferentes grupos de atención y se crea una jerarquía por niveles, con Power BI se transforman los datos en un dashboard que proporciona un gráfico con la estructura de desglose de trabajo EDT, la EDT se puede ver en la figura 99.

**Figura 99**

*Estructura de desglose de trabajo EDT del proyecto*



*Fuente:* (Autores)

En la EDT se pueden identificar las diferentes actividades según el grupo de atención definido, el gráfico es similar a un mapa conceptual donde se dividen las actividades detalladamente, se divide el proyecto en componentes más pequeños o específicos con el fin de hacer zoom a diferentes actividades necesarias para los objetivos del proyecto, el desarrollo del proyecto incluye adecuaciones mecánicas, eléctricas y recursos para la programación, con la EDT se puede tener un escenario más claro para no dejar a un lado los requerimientos necesarios según las condiciones actuales del proceso de tamizado de la planta de pisos y paredes de la empresa Corona S.A.

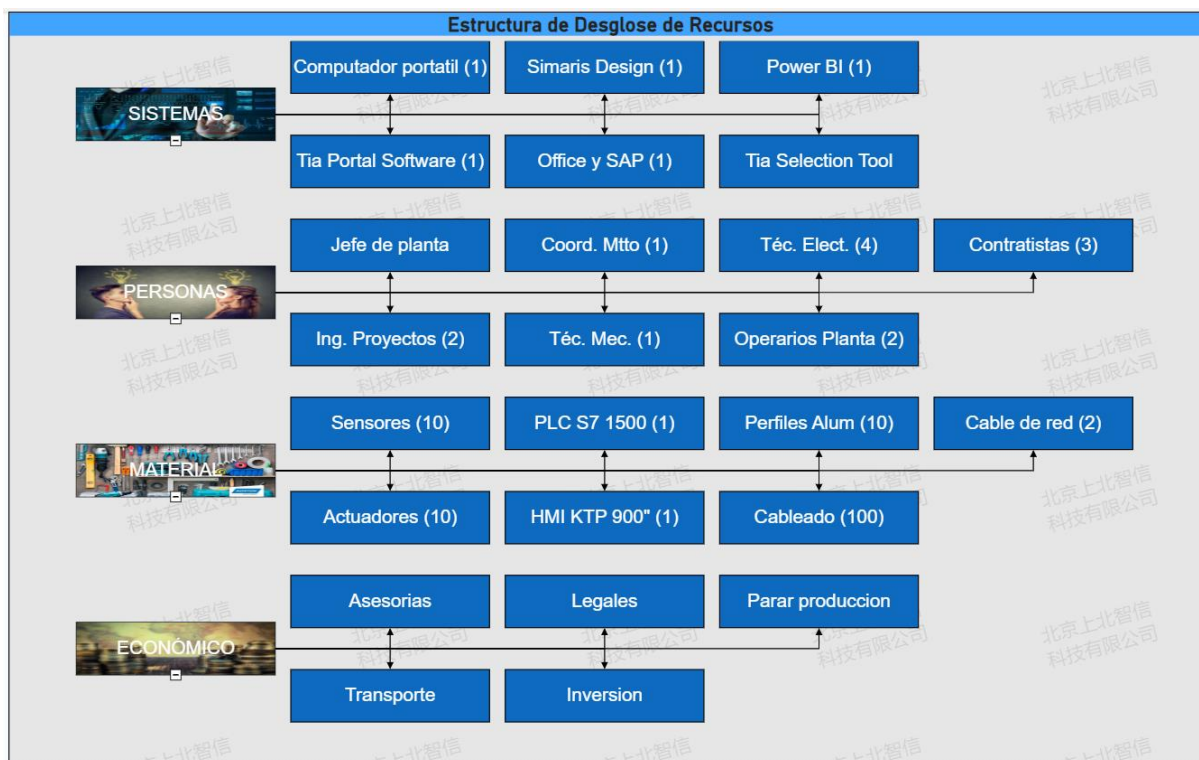
Con la EDT se puede gestionar de cerca los diferentes elementos que requieren importación y hacer seguimiento para la llegada y su montaje oportuno, también se puede gestionar las adecuaciones y modificaciones tanto eléctricas como mecánicas para la implementación, esto debido a que el proceso ya existe y la implementación se debe hacer sin detener el proceso, lo que comúnmente se conoce como montaje y adecuación en caliente, si a los requerimientos eléctricos y mecánicos se les hace una gestión temprana no habrían inconvenientes mayores durante la implementación.

#### 7.4.4. Creación de la estructura de desglose de recursos

Según (PMBOK, 2017) la estructura de desglose de recursos es una herramienta que complementa la EDT y es fundamental para la gestión integral de un proyecto. La estructura de desglose de recursos tiene una apariencia similar a la EDT, en esta estructura se relacionan los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto, esta estructura se divide en cuatro (4) grupos como se muestra en la figura 100.

**Figura 100**

*Estructura de desglose de recursos del proyecto*



Fuente: (Autores)

El primer grupo muestra los recursos de sistemas, incluye las herramientas de sistemas necesarias para el desarrollo del proyecto, en este caso se destacan los diferentes softwares para realizar la solución de automatización del proceso de tamizado, los cuales son de gran importancia en toda la etapa de diseño e implementación.

El recurso humano se muestra en el segundo grupo, donde se incluyen los cargos y las cantidades de personas necesarias para el proyecto, estas cantidades pueden estar sujetas a cambios y los encargados de la gestión deben adaptar sus procesos para suministrar el personal de apoyo al proyecto.

Los materiales necesarios se muestran en el tercer grupo, donde se especifican cantidades de sensores y actuadores, el controlador lógico programable (PLC), la interfaz gráfica HMI, entre otros.

El cuarto grupo lo compone la parte económica donde se incluyen los diferentes ítems que pueden ser necesitados y requieren de inversión económica para el desarrollo del proyecto, por ejemplo, las asesorías, en caso de ser necesario se debe gestionar una asesoría para dar la mejor solución.

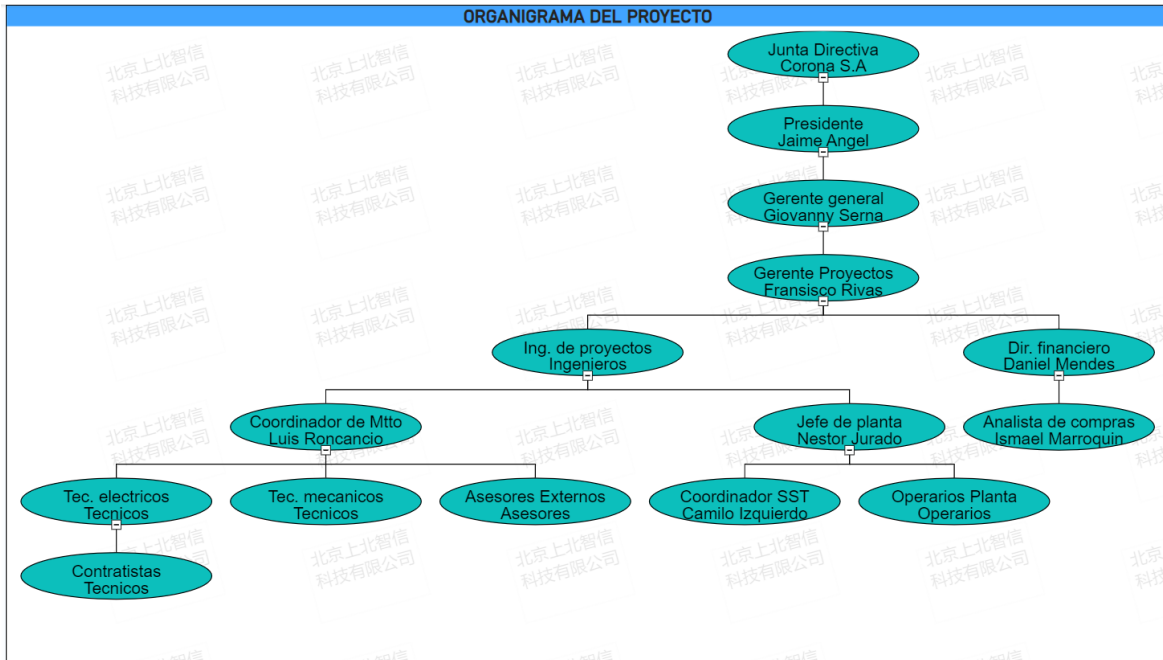
La estructura de desglose de recursos del proyecto puede implicar la creación de nuevos Checklist para realizar seguimientos por el personal de apoyo, todas las herramientas pueden interactuar entre sí en busca de la mejor gestión para el proyecto.

#### ***7.4.5. Creación del organigrama del proyecto***

El organigrama del proyecto proporciona una representación gráfica de la estructura organizativa y de roles dentro del equipo de trabajo del proyecto. El organigrama resulta útil ya que facilita la comunicación, la asignación de responsabilidades y la comprensión de quién hace qué en el proyecto, también facilita saber rápidamente quien es el líder de cada dependencia o equipo del proyecto.

**Figura 101**

*Organigrama del proyecto*



*Fuente:* (Autores)

El organigrama del proyecto se muestra en la figura 101 y se realiza con un diseño informal, indicando cargo y nombre según las jerarquías establecidas, no se realiza con diseño formal mostrando información detallada y específica ya que cada líder del proyecto se encarga de gestionar dicha información con el equipo de trabajo. En el organigrama se muestran los principales Stakeholders y los diferentes participantes como ingenieros, coordinadores, jefes y su equipo a cargo correspondiente.

**7.4.6. Matriz de riesgos del proyecto**

La matriz de riesgos del proyecto ayudara a visualizar los riesgos que pueden afectar el proyecto durante y después de la ejecución, si estos riesgos son planificados y gestionados no tendrán efectos negativos para el proyecto.

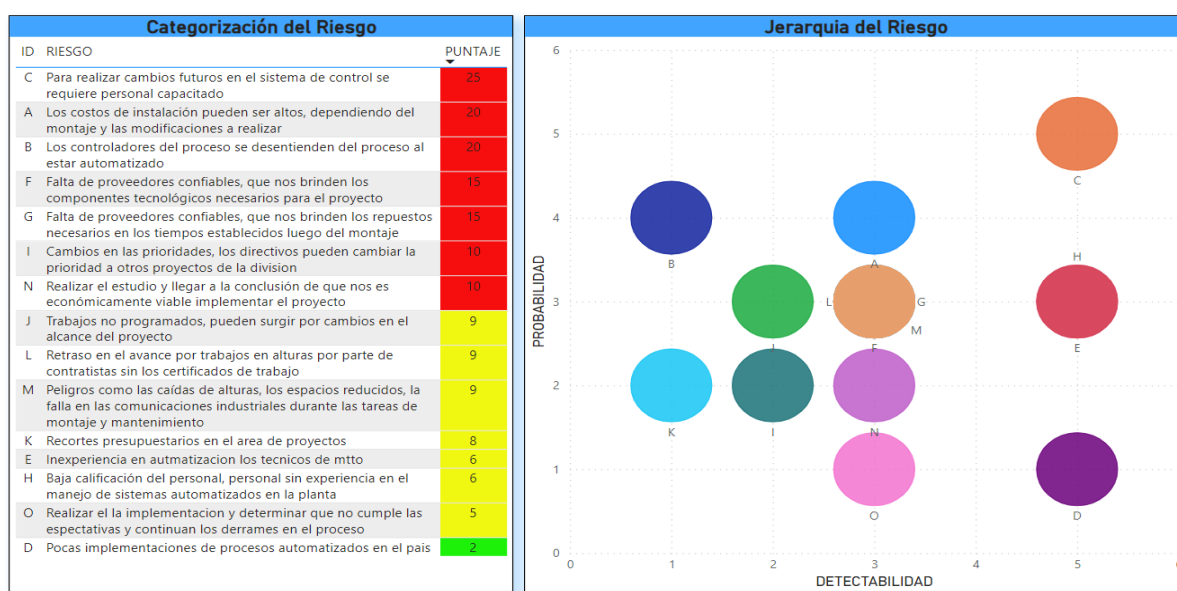
Para realizar la matriz de riesgos se propone gestionar una reunión con los participantes y generar una lluvia de ideas de acuerdo con la experiencia de cada integrante en la planta y en el proceso de tamizado, con estas ideas se realiza un listado donde el propósito es evaluar la probabilidad de que cada riesgo se materialice, estos se califican

en una escala de 1 a 5 donde 1 es baja probabilidad y 5 alta probabilidad. De la misma manera se realiza con el impacto donde se evalúa el nivel de impacto en el proyecto si es riesgo se llega a materializar, según (PMBOK, 2017) el impacto se relaciona con la seguridad, el presupuesto, las entregas, la calidad y el medio ambiente. Por último se califica la detectabilidad, cuando un riesgo es altamente detectable, significa que existen herramientas de monitoreo y control eficaces en su lugar, esto permite que el equipo del proyecto identifique y gestione el riesgo a tiempo y tome medidas para mitigarlo antes de que cause algún aspecto negativo en el proyecto, según (PMBOK, 2017) un riesgo con baja detectabilidad puede pasar desapercibido y no ser identificado a tiempo, lo que aumenta la probabilidad de que cause impactos no deseados en el proyecto.

Teniendo la calificación de probabilidad, impacto y detectabilidad se obtiene un puntaje general, con Power BI se transforman los datos en un dashboard que proporciona la matriz de los riesgos según el puntaje obtenido, en la figura 102 a través de control visual por colores se identifican los riesgos con mayor, medio y bajo puntaje para así mismo concentrar los esfuerzos de gestión, la matriz también jerarquiza los riesgos relacionando la probabilidad y la detectabilidad, con esta herramienta se pueden focalizar los riesgos y definir las medidas tentativas necesarias para evitar su materialización, también los riesgos que son probablemente indetectables pero que pueden causar efectos adversos en el proyecto.

**Figura 102**

*Matriz de riesgos del proyecto*



Fuente: (Autores)

Si se analiza el riesgo con mayor puntaje, “Para realizar cambios futuros en el sistema de control automatizado se requiere personal capacitado”, este riesgo obtuvo el mayor puntaje ya que tiene alta probabilidad de materializarse y el impacto en los resultados del proyecto también son altos, sin embargo, muestra una alta detectabilidad con una calificación de 5, con esto se pueden tomar las medidas para controlar óptimamente este riesgo, un plan de acción sería la capacitación de los técnicos eléctricos de mantenimiento por parte de los ingenieros de proyectos para la gestión y la modificación futura del sistema automatizado en caso de ser necesario, garantizando que los futuros cambios y tareas de mantenimiento se puedan realizar directamente por el personal de mantenimiento, la intervención futura de los ingenieros de proyectos debe ser para soporte y seguimiento después del desarrollo.

De la misma manera se pueden analizar y gestionar todos los riesgos según su categorización, el uso y la aplicación de esta herramienta puede definir el futuro del proyecto al implementar las medidas de gestión temprana a tiempo sin dejar que los riesgos se materialicen y retrasen o compliquen los resultados del proyecto.

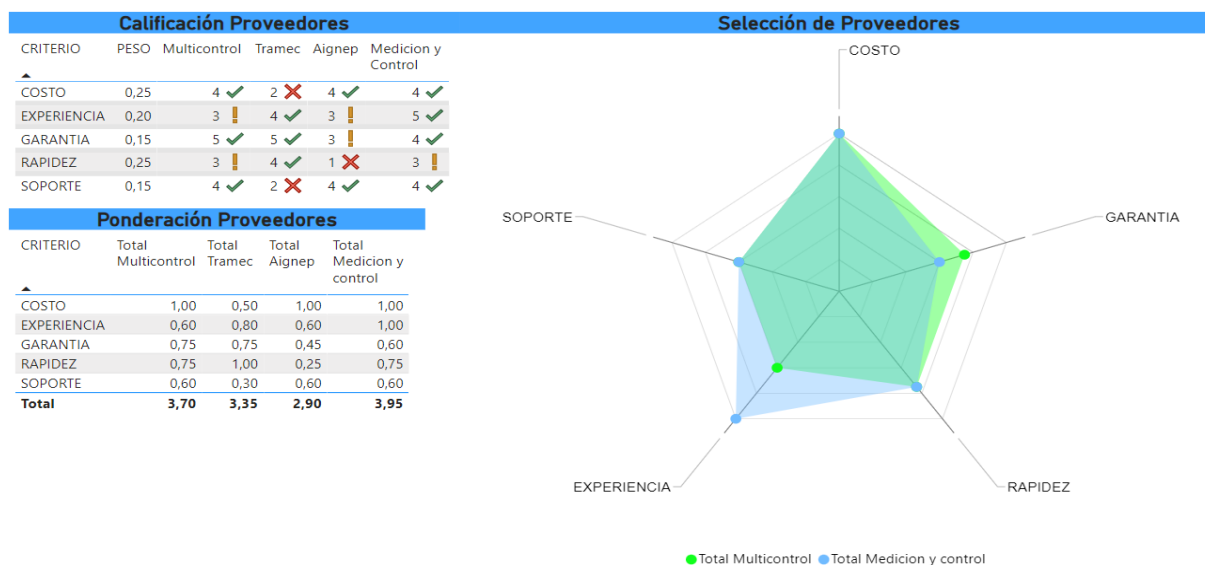
#### ***7.4.7. Selección de proveedores para el proyecto***

En la mayoría de los proyectos industriales se requiere la participación de proveedores los cuales suministran los diferentes recursos que se necesitan a lo largo del proyecto, estos recursos pueden ser desde materiales o consumibles de oficina hasta partes o repuestos críticos de maquinaria para el proyecto. Para este proyecto se requieren proveedores del sector industrial enfocados en soluciones y productos de automatización industrial capaces de proveer los diferentes elementos necesarios para la solución de automatización del proyecto de tamizado.

La empresa cuenta con un amplio portafolio de proveedores, sin embargo, es necesario realizar un filtro para elegir el proveedor que mejor respuesta pueda tener ante las exigencias de tiempo del proyecto. Para este filtro se seleccionan cuatro (4) de los proveedores más destacados y se someten a una calificación basada en criterios como el costo, experiencia, garantía, rapidez y soporte.

**Figura 103**

*Selección de proveedores mediante grafico de radar*



Fuente: (Autores)

Cada criterio tiene un peso en porcentaje para la calificación total, estos pesos se muestran en la figura 103, la calificación la realiza directamente los participantes que tienen el criterio para la calificación, en este caso serán los ingenieros de proyectos, coordinador de mantenimiento y el jefe de planta de acuerdo con sus experiencias anteriores.

El peso en porcentaje se multiplica por la calificación obtenida y se obtiene una ponderación, con Power BI se transforman los datos en un dashboard que proporciona los resultados de forma fácil de analizar por medio de iconos que indican una calificación alta, media y baja como se muestra en la figura 103. A través de un gráfico de radar se puede identificar rápidamente cual sería el proveedor más confiable según las calificaciones obtenidas en los diferentes criterios. Esta herramienta permite tomar decisiones rápidas basadas en datos y hechos las cuales benefician directamente el desarrollo del proyecto.

#### 7.4.8. Selección de contratistas para el proyecto

Al igual que con los proveedores, en la mayoría de los proyectos industriales se requiere la participación de contratistas los cuales tienen participación directa en diversas

actividades dependiendo de la naturaleza y complejidad del proyecto, algunos ejemplos de actividades realizadas por contratistas son los procesos de soldadura, procesos de mecanizado y corte, servicios eléctricos con trabajos en alturas, servicios de obras civiles, entre otros.

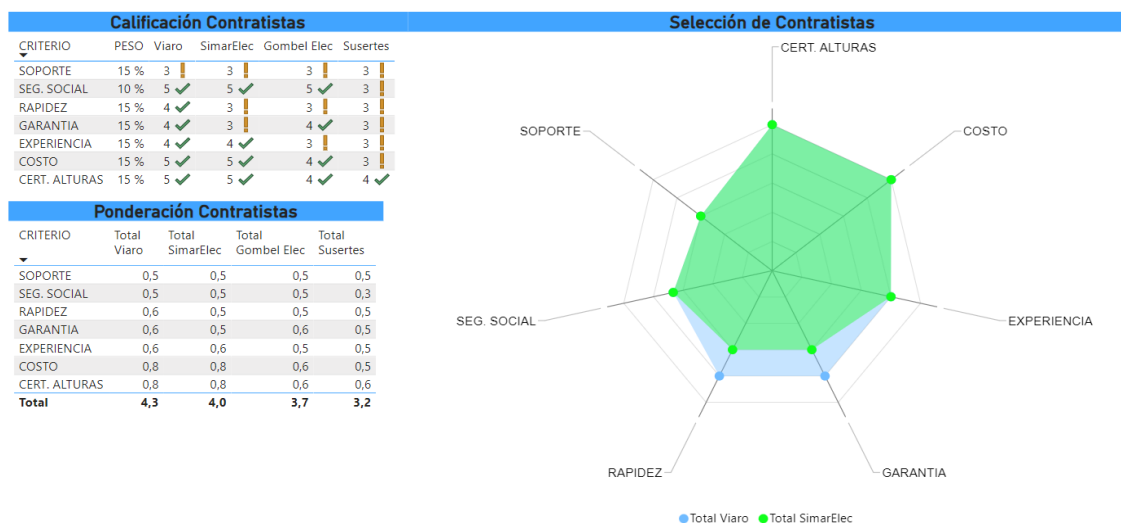
Para este proyecto se requieren contratistas enfocados en servicios eléctricos con trabajo en alturas, capaces de realizar la instalación de las diferentes acometidas y cableados eléctricos que requieren de un esfuerzo físico superior.

Del mismo modo que con los proveedores, la empresa cuenta con un amplio portafolio de contratistas, sin embargo, es necesario realizar un filtro para elegir el proveedor que mejor respuesta pueda tener ante las exigencias de tiempo del proyecto, también es necesario no dejar a un lado los requerimientos de la planta en su operación normal. Para este filtro se seleccionan cuatro (4) de los contratistas más destacados y se someten a una calificación basada en criterios como certificación de trabajo en alturas, costo, experiencia, garantía, rapidez, soporte y afiliación de sus colaboradores a la seguridad social

Cada criterio tiene un peso en porcentaje para la calificación total, estos pesos se muestran en la figura 104, la calificación la realiza directamente los participantes que tienen el criterio para la calificación, en este caso serán los ingenieros de proyectos, coordinador de mantenimiento y el jefe de planta de acuerdo con sus experiencias anteriores.

**Figura 104**

*Selección de contratistas mediante grafico de radar*



*Fuente:* (Autores)

El proceso de calificación sigue la misma metodología que se hizo con los proveedores, el peso en porcentaje se multiplica por la calificación obtenida y se obtiene una ponderación, con Power BI se transforman los datos en un dashboard que proporciona los resultados de forma fácil de analizar por medio de iconos que indican una calificación alta, media y baja como se muestra en la figura 104.

Del mismo modo, el grafico de radar identifica rápidamente cual sería el contratista más confiable según las calificaciones obtenidas en los diferentes criterios. Esta herramienta permite tomar decisiones rápidas basadas en datos y hechos las cuales benefician directamente el desarrollo del proyecto.

En conclusión, la aplicación de las diferentes herramientas de gestión de proyectos contribuyen a que la gestión y el desarrollo de un proyecto se lleve de una manera más organizada, teniendo en cuenta los participantes y su nivel de responsabilidad, también permite tener una visión clara de los factores que pueden alterar el curso del proyecto, estas herramientas permiten gestionar y definir los planes de acción necesarios para evitar sucesos no previstos en el proyecto, también permiten tomar decisiones acertadas que benefician los resultados y las exigencias de los principales interesados y patrocinadores del proyecto, se puede decir que estas herramientas no son indispensables ni obligatorias pero si aumentan la probabilidad de éxito de un proyecto.

## 8. RECURSOS DISPONIBLES

Crear un análisis de costos y presupuesto y apegarse a él es una de las decisiones más importantes en la planeación financiera de cualquier proyecto.

Consiste en hacer una estimación de los gastos e ingresos, una predicción de los gastos y una asignación de los recursos. Es una herramienta que se considera indispensable para saber en qué dirección va tu negocio y cómo hará para alcanzar sus metas. (bancobase.com, 2017)

De acuerdo con lo anterior se definen los recursos disponibles para ejecutar el proyecto de acuerdo con las diferentes cotizaciones realizadas a través de diferentes distribuidores.

**Tabla 36**

*Costos de los materiales para la instalación*

Cantidad	Rubro	Detalle	Unidad	Valor	Valor Total
1	Personal	Estudiante Investigador	Hora		
1	Personal	Director	Hora		
1	Profesional	Asesores Externos	Hora	120.000	360.000
1	Propiedades, planta y equipo	Predio empresa	N/A	obliga	
10	Tamices	Predio empresa	UN	7'200.000	72'000.000
10	Bombas neumáticas	Predio empresa	UN	4'280.000	42'800.000
1	PLC	Compra empresa	UN	8'570.000	8'570.000
1	HMI	Compra empresa	UN	4'920.000	4'920.000
5	Sensor analógico 4-20mA	Compra empresa	UN	1,125.000	5,625.000
5	Válvula proporcional 4-20mA	Compra empresa	UN	2,200.000	11,000.000

	Materiales e Insumos	Predio empresa	N/A	N/A	N/A
1	Transportes	Empresa	Km	obliga	N/A
5	Libros, revistas, folletos, guías.	Empresa	UN	obliga	N/A
10	Impresiones, fotocopias y Empaste	Empresa	UN	obliga	N/A
1	Software	Propio empresa	UN	obliga	N/A

*Fuente:* (Autores)

## 9. CRONOGRAMA

El cronograma de proyecto es secuencias lógicas para la realización de las actividades con sus respectivos tiempos a lo largo de un proyecto, con esta secuencia lógica se pretende conseguir y entregar los resultados esperados. Según (Siles & Mondelo, 2018) el tiempo es una de las restricciones más importantes de un proyecto, por esto el cronograma se convierte en la herramienta que el director del proyecto o la junta directiva usará con más frecuencia, no solo para controlar el avance del proyecto, sino también para realizar el análisis y los ajustes correspondientes que sean necesarios con el fin de buscar los mejores beneficios en general.

El cronograma del proyecto se muestra a continuación en la figura 105, donde se detallan las respectivas tareas con sus tiempos de ejecución en meses, en la mayoría de proyectos el cronograma no se cumple al pie de la letra en cuanto a los tiempos de ejecución, sin embargo el retraso no del cronograma no significa que el proyecto tenga una mala gestión o que vaya por mal camino, el retraso se puede ver afectado por factores adversos como por ejemplo las condiciones climáticas , también se puede ver afectado por la disponibilidad del proceso de tamizado para realizar adecuaciones durante su funcionamiento.

**Figura 105**

*Cronograma del proyecto*

CRONOGRAMA GENERAL DEL PROYECTO														
Objetivo general	Objetivos específicos	Fases	Actividades	Ejecucion (meses)										
				1	2	3	4	5	6	7	8			
Desarrollar un sistema automatizado que permita eliminar el derrame de productos en el proceso de tamizado evitando derrames de productos que causan sedimentos y lodos en las plantas de agua, apoyado en herramientas de gestión de proyectos	Analizar el proceso existente y diagnosticar los requerimientos técnicos mecatrónicos frente al proceso de tamizado definiendo las características de la solución tecnológica.	Revision y Diagnostico del proceso existente	Identificar la problemática en el proceso de tamizado	█										
			Crear procedimiento para medir los derrames generados	█										
			Medir los derrames y costos por limpiezas mensuales	█										
			Analizar los diferentes procesos de tamizado automatizados	█										
			Definición de la solución propuesta	█										
	Elaborar diseño mecánico, diseño electrónico, eléctrico y de software del sistema automatizado para controlar el proceso de tamizado a partir de los requerimientos establecidos.	Proceso de diseño mecánico	Dimensionar la perfilera y soportes de sensores		█									
			Seleccionar sistemas de anclaje de los perfiles		█									
			Diseñar los elementos de acuerdo a las medidas reales del sensor		█									
		Proceso de diseño electrónico / eléctrico	Selección de sensores y actuadores	█										
			Linealizar las señales analógicas de sensores y actuadores		█									
			Dimensionamiento de protecciones y selectividad eléctrica			█								
			Diseño del diagrama eléctrico unifilar de la red de la planta			█								
		Proceso de diseño de software del sistema automatizado	Selección del controlador (PLC) y la HMI				█							
			Dimensionar la fuente de alimentación del sistema				█							
			Diseño y programación del sistema de automatización					█						
			Programación y diseño de horómetros para tamicés						█					
			Programación y diseño de la interfaz gráfica HMI							█				
		Validar el correcto funcionamiento del sistema automatizado mediante pruebas y simulaciones.	Validación del sistema mecatrónico	Realizar simulaciones y validación de funcionamiento del sistema							█			
	Validación de los valores escalados en la interfaz HMI									█				
	Validación de las animaciones de la HMI										█			
	Graficar la respuesta del sistema de control de nivel											█		
	Implementar diferentes herramientas de gestión de proyectos para la correcta gestión de recursos técnicos y humanos a lo largo del proyecto.	Implementación de herramientas de gestión de proyectos	Creación de Check List para seguimiento de tareas	█										
			Definición de los Stakeholders del proyecto	█										
			Creación de la estructura de desglose de trabajo y recursos	█										
			Creación del organigrama del proyecto	█										
			Creación de la matriz de riesgos del proyecto	█										
			Selección de proveedores mediante gráfico de radar		█									
Selección de contratistas mediante gráfico de radar				█										
Documentación	Propuesta									█				
	Anteproyecto									█				
	Proyecto final										█	█		

Fuente: (Autores)

## 10. BIBLIOGRAFIA

- ABB. (2014). *Industrial Automation & Motion PLCs, HMIs, Drives, Servo Drives, Motion Controllers*.
- ABB. (2022). Selectividad en baja tensión con interruptores automáticos ABB.
- Aguilar, J. A. (2009). *Mecánica de corte*.
- Álvarez, F. (2015). *Implementación de nuevas tecnologías: Valuación, Variables, riesgos y escenarios tecnológicos*.
- Arrieta, R. E., & Gonzales, F. (2003). *Tutorial básico para programación de PLC*.
- Autonics. (2017). *Sensores Fotoeléctricos*.
- Bermúdez Moreno, P. B. (2012). Disponible en:  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75025842013>.
- Bongiovanni, R., Mantovani, E. C., Best, S., & ROEL, A. (2006). *Agricultura de precisión integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. ProciSur/IICA.
- Budynas, R. G., & Keith Nisbett, J. (2017). *Diseño en ingeniería mecánica*.
- Burgos, E. F., Ferri, S., & Malacrida, J. (2015). *Aporte de la ingeniería en agrimensura a la agricultura de precisión*.
- Bustos, M. F. (2012). *Diseño e implementación del sistema ScadaWinCC de Siemens a una máquina prototipo empacadora de galletas en el laboratorio de automatización de procesos de la UPB*.
- Calvo, J. (2016). *Manual básico de seguridad en instalaciones eléctricas de baja tensión*.
- Candelas, F. A. (2011). *Introducción al software UnityPro y a los PLCs M340 de Schneider*.
- Cabrera, M. (2009). Propuesta de manual de prácticas de simulación de sistemas discretos con PROMODEL.
- Castillo, A. (2011). "Nuevas Tendencias en Sistemas Mecatrónicos." *Ingeniería*, 15(2).
- CEPAL. (2019). *Planificación para el desarrollo territorial sostenible en América Latina y el Caribe*. [www.cepal.org/apps](http://www.cepal.org/apps)
- Cervera, M., & Blanco, E. (2014). *Mecánica de Estructuras*.
- Cervantes, S., & Villegas, J. (2009). Coordinación de protecciones de la red eléctrica de la Esime Zacatenco.
- Comisión Europea. (2011). *Mejores técnicas disponibles de referencias europea, sector de la fabricación cerámica*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Centro de Publicaciones.
- Conde, D. (2015). *Diseño de una Red Industrial Ethernet con autómatas Simatic S7-1200*.
- Colsein. (2019). HORÓMETRO PARA MÁQUINA.
- Custodio, R., Bragos, R., & Pallas, R. (1999). *Sensores inteligentes: Una historia con futuro*.
- De La Cruz, J. (2012). *Proceso de taladrado*.
- Del Castillo, F. (2008). *Materiales y sus propiedades*.
- Delta Electronics. (2017). *ISPSOFT User Manual*. [www.deltawww.com](http://www.deltawww.com)
- Derviş, B. (2013). Prototipo De Sistema De Información Apoyado En Imágenes Tomadas Con Drones, Para La Evaluación Y Análisis Del Impacto Producido En Desastres Naturales. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Di Pietro, F. (2017). *Hardware, Software y Redes Informática*.
- Díaz del Castillo, F. (2011). *Diseño de elementos de máquina*.
- Diego, V. (2007). *Determinantes de la actividad innovadora en la industria manufacturera*

#### Colombia. 4.

- Ebel, F., & Nestel, S. (1993). Capítulo 1: Notas generales. *Sensores Para La Técnica de Procesos y Manipulación*, 1–28.
- Emerson Automation. (2021). *ProLean Emerson Automation*.
- Enerca. (2017). Norma de construcción de redes de media y baja tensión. [www.enerca.com.co](http://www.enerca.com.co)
- Federación de enseñanza. (2011). *Instrumentos de medición y verificación*.
- Fernandez, J. (2015). Manual de practicas CAD utilizando el programa SolidWorks.
- Fernandez, J. (2015). Manual de practicas CAD utilizando el programa SolidWorks.
- Frank, R. (2000). *Understanding Smart Sensors Second Edition*.
- Galarza, A. B. (2002). *Escuela politécnica nacional*.
- Galizia, C. (2017). Interpretación de los Grados de Protección según IEC y NEMA.
- García, C., & Carlos, J. (2006). Tecnología avanzada del diseño y manufactura asistidos por computador - CAD/CAM. *Prospectiva*, 4(1), 75–81.
- García Moreno, E. (1999). *Automatización de procesos industriales, Robótica y automática*.
- Giraldo, J., & Hoyos, R. (2009). Ethernet en la optimización de procesos industriales.
- Gomes, V. (2017). *Equipo de prueba de convertidores auxiliares*.
- Gonzales, F. (2014). *Reinventar la empresa en la era digital*.
- Groover Mikell, P. (2015). *Automation, Production Systems, and Computer- Integrated Manufacturing*.
- Guadalupe, Z. (1985). *Marzo de 1985*. I, 48.
- Guerrero, O. E. (2008). *Procesos de manufactura en ingeniería industrial*.
- Gutierrez, M., & Iturralde, S. (2017). Fundamentos básicos de instrumentación y control.
- Hernandez, M. M. R. (2004). *Ingeniería de la automatización*. 55.
- Ibarra, L. (2012). *Diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos con sensores*.
- IFM, E. (2023). O1D100 Sensor de distancia óptico.
- Lab-Volt. (2000). *Fluidos y Sensores*.
- Londoño, J. A., & Cardona, H. F. (2019). *Manual de bolsillo para la identificación y especificación de roscas y tornillos*. Carolrhoda Books.
- Mateos Matin, F. (2006). *Autómatas programables: Introducción a estándar IEC-61131*.
- Marino, G. (2019). Optimización de un proceso de carga de inyectables farmacéuticos mediante brazo robótico.
- Martinez, J., & Jaco, C. (2010). ESTUDIO CERÁMICO PARA LA FORMULACIÓN DE ENGOBES DE BAJA TEMPERATURA, UTILIZANDO MATERIALES CERÁMICOS Y ARCILLAS PROCEDENTES DE LOS AUSOLES.
- Mayné, J. (2003). *Sensores Acondicionadores y Procesadores de señal*.
- McGraw-Hill. (2009). Automatismos industriales. *Aspectos Generales De La Planificación Tributaria En Venezuela*, 2009(75), 31–47.
- Mechatronics, N. (2020). *Perfil de aluminio rectangular*.
- Medrano, S. (2002). *Termopares*. [www.metas.com.mx](http://www.metas.com.mx)
- Mideplan. (2022). Guía de la aplicación de la matriz general de riesgos. [www.mideplan.go.cr](http://www.mideplan.go.cr)
- Miguel, M. G., & Bolado, E. M. (2015). *Mercedes Granda Miguel Elena Mediavilla Bolado*.
- Minguez, J. L. (2022). Power BI y su utilidad en la gestión empresarial.
- Mitsubishi, E. (2015). *El libro de la automatización - Un mundo lleno de soluciones*.
- NTC 2050. (1998). *Código eléctrico Colombiano*.
- Ochoa Duarte, A., & Forero Pachon, A. (2012). *Actualidad y tendencias de la Agricultura de Precisión*. <https://www.researchgate.net/publication/324156309>
- Ordóñez, L. (2007). *El desarrollo tecnológico en la historia*.
- Ortiz, A. (2019). Programación de PLC, HMI y comunicaciones en la industria. In *Journal of*

- Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Pallás, R. (2006). Goniometría Cuerpo. In *Book* (pp. XIV, 480).
- Pasteau, J. (2001). Cuaderno Técnico no 166 Envoltentes y grados de protección.  
<http://www.schneiderelectric.es>
- Pepperl + Fuchs. (2017). *Ultrasonic Sensors for Any Industrial Application*. [www.pepperl-fuchs.com/ultrasonicsensors](http://www.pepperl-fuchs.com/ultrasonicsensors)
- Perdigones, A., & Pascual, Y. V. (2004). artículo Debido a la importancia de los sensores Sensores para el control climático en invernadero revista artículo. *Horticultura*, 179, 44–49.
- PMBOK. (2017). Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK).
- Planas Rosselló, J. (2000). *Introducción a la instrumentación*.
- Polo, R. C. (2008). *Diseño e implementación de un registrador de temperatura ReTe8 versión 1.0 basado en equipamiento BrainChild*.
- Rey, W. (2009). *Automatización industrial evolución y retos en una economía globalizada*.
- Rico, V. (2016). *Análisis de las propiedades de tenacidad, Esfuerzo de tensión y dureza de la aleación de aluminio 2024 T4, Tratado térmicamente mediante el endurecimiento por precipitación a 180°C*.
- Rockwell Automation. (2018). *Studio 5000 Automation Engineering & Design Environment*.
- Roel, V. (1998). *La tercera revolución industrial y la era del conocimiento*.
- Rojas, L. (1999). *Producción automatizada sistema CAD/CAE/CAM*.
- Sanchez, A., Pardo, R., & Toro, J. (2015). Guía para la gestión de proyectos de investigación de la universidad EAFIT.
- Salichs San José, E. (2012). *Desarrollo de un sistema HMI para un almacén automatizado*. 120.
- Sampieri, R. (2006). *Metodología de la investigación\_4ta edicion\_sampieri*.
- Schneider Electric. (2010). Manual y Catálogo del Electricista Schneider Electric.  
[www.schneider-electric.com.ar](http://www.schneider-electric.com.ar)
- Schneider, E. (2016). *Interruptores de posición Osiswitch*.
- Schneider, E. (2017). *Modicon M221 Logic Controller - Guía de hardware*. [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)
- Shenhar, Aaron., & Dvir, Dov. (2007). *Reinventing project management : The diamond approach to successful growth and innovation*. Harvard Business School Press.
- Sena. (2005). *PLC-Controladores Lógicos Programables*.
- Serna, E., & Serna, A. (2015). Crisis de la Ingeniería en Colombia – Estado de la cuestión. *Ingeniería y Competitividad*, 17(1), 63–74.
- Siemens. (2016a). Módulo de entradas analógicas AI 8xU/I HS (6ES7531-7NF10-0AB0).
- Siemens. (2018). Documentación didáctica/ para cursos de formación Siemens Automation Cooperates with Education (SCE) | A partir de la versión V14 SP1.  
[www.siemens.com/sce/contact](http://www.siemens.com/sce/contact)
- Siemens. (2020). Tutorial SIMARIS design Software for efficient dimensioning of power distribution systems. [www.siemens.com/simarisdesign](http://www.siemens.com/simarisdesign)
- Siemens. (2022). SIMATIC S7-1200 - S7-1500 Regulacion PID.
- Siemens. (2023). SIMATIC S7-1500/ET 200MP Sistema de automatización.
- Siemens AG. (2021). SIMATIC HMI Paneles de operador Basic Panels 2nd Generation.
- Siemens. (2016b). S7-PLCSIM Advanced Function Manual Preface Guide.
- Siemens. (2009). *SIMATIC TIA Portal STEP 7 Basic V10.5 Introducción al TIA Portal*.
- Siemens. (2020). *Sistema de manejo y visualización/ PC-based automation*.  
[www.siemens.com/industrymall](http://www.siemens.com/industrymall)
- Siemens AG. (2006). *Detectores de proximidad SIMATIC PX para detección, contaje, medición*

o *vigilancia fiables.*

- Siemens AG. (2009). *Instrumentos para medida de temperatura SITRANS T.*
- Siemens AG. (2021). *Medición de temperatura, Sensores de temperatura termorresistencias.*
- Siles, R., & Mondelo, E. (2018). Herramientas y técnicas para la gestión de proyectos de desarrollo PM4R. <https://goo.gl/6fMCI9>
- SolidWorks, C. (2015). *Introducción a SolidWorks.*
- Solor, A. (2015). The checklist as a tool for the development of the surgical patient safety. In *Revista Cubana de Anestesiología y Reanimación* (Vol. 14, Issue 1). <http://scielo.sld.cu>  
<http://scielo.sld.cu>
- Solorzano, H. (2015). Diseño e implementación de una interfaz gráfica de usuario entre el sistema de control de proceso T5554 y un PLC Siemens S7-300.
- SUPPRESS, G. (2011). *Introducción al software de programación Codesys.*  
<http://ira.unileon.es1.0>
- Torres, F., & Fernandez, C. (2017). *Sensores y detectores.*
- Vásquez García, O. (2015). *Vibraciones Mecánicas.*
- Vallejo, B. M., & Vallejo, S. B. (2006). Aspectos generales de la automatización industrial del sector farmacéutico. In *Rev. Col. Cienc. Quím. Farm* (Vol. 35, Issue 1).  
[www.farmacia.unal.edu.co](http://www.farmacia.unal.edu.co)
- Vicente, L., & Useche, V. (2018). *Diseño de elementos de máquina.*
- WEG. (2020). *Sensores Industriales - Solución versátil para las más diversas aplicaciones.*  
[www.weg.net](http://www.weg.net)
- WIKA. (2016). *El uso de termopares WIKA.*