



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**  
**EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

**“AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE DOSIFICACIÓN, ENSACADO Y  
CONTROL DE PESO EN LAZO CERRADO PARA LA MÁQUINA  
MEZCLADORA DE BALANCEADO DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL  
TUNSHI ESPOCH”**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:  
**INGENIERO EN ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

**AUTORES: CRISTHYAN JAVIER CARRILLO VELARDE**  
**GERARDO RAÚL CALERO LÓPEZ**

**TUTOR: ING. BYRON ANDRÉS CASIGNIA VÁSCONEZ**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

**2016**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**  
**EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El proyecto técnico: “AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE DOSIFICACIÓN, ENSACADO Y CONTROL DE PESO EN LAZO CERRADO PARA LA MÁQUINA MEZCLADORA DE BALANCEADO DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI ESPOCH”, de responsabilidad de los señores Cristhyan Javier Carrillo Velarde y Gerardo Raúl Calero López, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Miguel Tasambay. Ph.D. <b>DECANO DE LA FIE</b>	.....	.....
Ing. Alberto Arellano <b>DIRECTOR ENCARGADO ESCUELA ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES</b>	.....	.....
Ing. Byron Casignia <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN.</b>	.....	.....
Ing. Cristhiam Núñez. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL.</b>	.....	.....
<b>NOTA:</b>	.....	

Nosotros, **CRISTHYAN JAVIER CARRILLO VELARDE** y **GERARDO RAÚL CALERO LÓPEZ** somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

.....  
CRISTHYAN JAVIER CARRILLO VELARDE

.....  
GERARDO RAÚL CALERO LÓPEZ

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de titulación en primer lugar a Dios por darme la oportunidad de seguir vivo, a mis queridos padres Guido y Cecilia, quienes con su dedicación y su amor han estado conmigo guiándome y dándome fortaleza para continuar y han sido pilares fundamentales en mi formación académica. A mis hermanos Guido y David, por sus palabras de aliento, su ejemplo y sus respaldos en toda adversidad. A mis abuelitos por su amor incondicional y sus buenos consejos. A Fernanda por compartir muchos momentos y apoyarme en todas las circunstancias. A mis maestros, amigos y a todas las personas que de una forma u otra me han ayudado en alcanzar esta meta.

Cristhyan

El presente Trabajo de Titulación está dedicado principalmente a Dios por brindarme la oportunidad de seguir adelante cada día, a mis amados padres Gerardo y Nancy a quienes admiro mucho por esa intensa lucha para lograr lo mejor para sus hijos y han sido el pilar fundamental en mi vida, a pesar de la adversidad han estado siempre a mí lado. A mis queridas hermanas Karina, Verónica Raquel y Gabriela quienes me han apoyado incondicionalmente en todo momento y son mi ejemplo a seguir. A mis sobrinos que son una de mis alegrías y que vean en mí un ejemplo. A mis abuelitos por sus Bendiciones y a toda mi familia por sus palabras de aliento. A mi persona especial Diana por haberme dado su apoyo incondicional en todo este tiempo y sin importar las circunstancias ha confiado en mí. A mis maestros y amigos quienes me han brindado su amistad y todo su apoyo para culminar esta meta en mi vida académica.

Raúl

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos agradecer a Dios por darnos la vida y la oportunidad de compartir junto a nuestros seres queridos cada paso que damos en nuestras vidas, como es cumplir una meta académica muy importante para nosotros. Al Ing. Byron Casignia por brindarnos todo su apoyo y conocimientos de una manera muy desinteresada, a todos quienes forman parte de la Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales, a nuestros maestros por su dedicación y entrega para compartir sus conocimientos y formar grandes profesionales. A la Facultad de Ciencias Pecuarias, al Ing. Carlos Santos por la apertura y colaboración para que este proyecto se lleve a cabo de la mejor manera.

Cristhyan y Raúl

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>X</b>
<b>INDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xv</b>
<b>SUMARY .....</b>	<b>xv</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Introducción.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2 Sistematización del proceso .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.1 Sistemas de ensacado .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.2 Concentrados .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.2.1 Manejo de sólidos en la industria de concentrados .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.3 Proceso .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.3.1 Almacenamiento .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.3.2 Tolvas .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.3.3 Mezcladora .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.3.4 Dosificación.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2.3.5 Transporte interno .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.3.6 Empaque.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.3.7 Sellado .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.3.8 Pasos a seguir en el ensacado de balanceados.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3 Automatización de procesos. ....</b>	<b>19</b>
<b>1.3.1 Introducción.....</b>	<b>19</b>
<b>1.3.2 Fases para poner en marcha un proyecto de automatización.....</b>	<b>20</b>
<b>1.3.2.1 Automatización .....</b>	<b>21</b>
<b>1.3.2.2 Supervisión .....</b>	<b>21</b>
<b>1.3.2.3 Interacción.....</b>	<b>22</b>
<b>1.3.2.4 Implementación.....</b>	<b>22</b>
<b>1.3.2.5 Pruebas.....</b>	<b>23</b>
<b>1.4 Sistemas eléctricos y electrónicos .....</b>	<b>24</b>
<b>1.4.1 Introducción.....</b>	<b>24</b>
<b>1.4.2 Transductores y sensores .....</b>	<b>24</b>

1.4.2.1	<i>Acondicionamiento y presentación</i> .....	25
1.4.2.2	<i>Clasificación</i> .....	26
1.4.2.3	<i>Sensores de Peso</i> .....	27
<b>1.4.3</b>	<b><i>Actuadores</i></b> .....	<b>30</b>
1.4.3.1	<i>Motores de corriente continua</i> .....	30
1.4.3.2	<i>Motores de corriente alterna</i> .....	30
1.4.3.3	<i>Motores paso a paso</i> .....	31
<b>1.4.4</b>	<b><i>Elementos eléctricos</i></b> .....	<b>31</b>
1.4.4.1	<i>Elementos de mando</i> .....	31
1.4.4.2	<i>Elementos de control</i> .....	31
1.4.4.3	<i>Elementos de protección</i> .....	32
<b>1.4.5</b>	<b><i>Sistemas y tipos de control</i></b> .....	<b>33</b>
1.4.5.1	<i>Generalidades de un Sistema de Control</i> .....	33
1.4.5.2	<i>Elementos de un sistema de control automático</i> .....	33
1.4.5.3	<i>Métodos de control clásico</i> .....	33
<b>1.4.6</b>	<b><i>Controlador lógico programable</i></b> .....	<b>35</b>
1.4.6.1	<i>Funciones del PLC</i> .....	35
1.4.6.2	<i>Comparación entre control por PLC y por relevadores</i> .....	36
1.4.6.3	<i>Arquitectura del PLC</i> .....	36
1.4.6.4	<i>Programación de autómatas</i> .....	37
1.4.6.5	<i>Control PID y su aplicación en la automatización</i> .....	37
1.4.6.6	<i>PID Industriales</i> .....	39
1.4.6.7	<i>HMI</i> .....	39
<b>1.5</b>	<b><i>Sistemas neumáticos</i></b> .....	<b>40</b>
1.5.1.1	<i>Aire comprimido</i> .....	40
1.5.1.2	<i>Componentes de un circuito neumático</i> .....	41
1.5.1.3	<i>Producción y distribución del aire comprimido</i> .....	42
1.5.1.4	<i>Elementos de control</i> .....	43
1.5.1.5	<i>Actuadores neumáticos</i> .....	44
 <b>CAPITULO II</b>		
<b>2</b>	<b><i>MARCO METODOLÓGICO</i></b> .....	<b>45</b>
<b>2.2</b>	<b><i>Etapas previas a la automatización de la planta de balanceado</i></b> .....	<b>47</b>
<b>2.3</b>	<b><i>Etapas posteriores a la automatización de la planta de balanceado</i></b> .....	<b>47</b>
<b>2.4</b>	<b><i>Diseño de la estructura mecánica</i></b> .....	<b>48</b>
<b>2.5</b>	<b><i>Sistema de control en lazo cerrado</i></b> .....	<b>54</b>

<b>2.6</b>	<b>Programación del controlador lógico programable .....</b>	<b>57</b>
<b>2.6.1</b>	<b><i>Entorno de programación TIA portal.....</i></b>	<b>58</b>
<b>2.6.1.1</b>	<b><i>Configuración y programación del autómeta .....</i></b>	<b>58</b>
<b>2.7</b>	<b>Dimensionamiento y selección de elementos del sistema automático.....</b>	<b>64</b>
<b>2.8</b>	<b>Diseño del sistema neumático. ....</b>	<b>64</b>
<b>2.8.1</b>	<b><i>Dimensionamiento de cilindros neumáticos.....</i></b>	<b>65</b>
<b>2.8.1.1</b>	<b><i>Cilindros para las compuertas.....</i></b>	<b>65</b>
<b>2.8.1.2</b>	<b><i>Cilindros para la sujeción del saco.....</i></b>	<b>74</b>
<b>2.8.2</b>	<b><i>Selección de una unidad de mantenimiento de aire.....</i></b>	<b>77</b>
<b>2.8.3</b>	<b><i>Dimensionamiento del generador de aire.....</i></b>	<b>78</b>
<b>2.9</b>	<b>Diseño del sistema electrónico. ....</b>	<b>80</b>
<b>2.9.1</b>	<b><i>Sensores.....</i></b>	<b>80</b>
<b>2.9.1.1</b>	<b><i>Celdas de carga .....</i></b>	<b>80</b>
<b>2.9.1.2</b>	<b><i>Acondicionamiento de la señal de las celdas de carga.....</i></b>	<b>84</b>
<b>2.9.1.3</b>	<b><i>Final de carrera.....</i></b>	<b>87</b>
<b>2.9.1.4</b>	<b><i>Sensores ópticos.....</i></b>	<b>88</b>
<b>2.10</b>	<b>Comunicación Ethernet entre PLC y HMI.....</b>	<b>89</b>
<b>2.10.1</b>	<b><i>Implementación de la comunicación PLC con el HMI.....</i></b>	<b>89</b>
<b>2.10.2</b>	<b><i>Configuración del HMI Delta DOP-BO3E211 .....</i></b>	<b>89</b>
<b>2.10.3</b>	<b><i>Configuración del PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C.....</i></b>	<b>91</b>

### **CAPITULO III**

<b>3</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN.....</b>	<b>93</b>
<b>3.1</b>	<b>Implementación del control electro-neumático en el tablero de control. ....</b>	<b>94</b>
<b>3.2</b>	<b>Implementación del mecanismo de compuertas. ....</b>	<b>97</b>
<b>3.3</b>	<b>Implementación del mecanismo de sujeción de sacos. ....</b>	<b>98</b>
<b>3.4</b>	<b>Calibración de las celdas de carga.....</b>	<b>99</b>
<b>3.4.1</b>	<b><i>Calibración celda de carga derecha.....</i></b>	<b>99</b>
<b>3.4.2</b>	<b><i>Calibración celda de carga izquierda. ....</i></b>	<b>101</b>
<b>3.5</b>	<b>Adquisición de datos analógicos en el PLC. ....</b>	<b>102</b>
<b>3.6</b>	<b>Análisis del control en adelanto y retroalimentado.....</b>	<b>104</b>
<b>3.6.1</b>	<b><i>Modelo del sistema de pesaje .....</i></b>	<b>104</b>
<b>3.6.2</b>	<b><i>Simulación del sistema en adelanto.....</i></b>	<b>107</b>
<b>3.7</b>	<b>Resultados del proceso previo a la automatización.....</b>	<b>108</b>
<b>3.7.1</b>	<b><i>Tiempo de producción previo a la automatización.....</i></b>	<b>108</b>
<b>3.7.2</b>	<b><i>Optimización de recursos previo a la automatización .....</i></b>	<b>111</b>

<b>3.8</b>	<b>Resultados del proceso con la automatización.....</b>	<b>112</b>
<b>3.8.1</b>	<b><i>Pruebas de ensacado.....</i></b>	<b>112</b>
<b>3.8.1.1</b>	<b><i>Resultados obtenidos para peso requerido de 30 kg. ....</i></b>	<b>112</b>
<b>3.8.1.2</b>	<b><i>Resultados obtenidos para peso requerido de 40 kg. ....</i></b>	<b>114</b>
<b>3.8.1.3</b>	<b><i>Resultados obtenidos para peso requerido de 50 kg. ....</i></b>	<b>116</b>
<b>3.8.2</b>	<b><i>Tiempo de producción con la automatización.....</i></b>	<b>117</b>
<b>3.8.3</b>	<b><i>Optimización de recursos con la automatización.....</i></b>	<b>120</b>
<b>3.9</b>	<b>Comparación de resultados para los dos procesos. ....</b>	<b>122</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>125</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>126</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>127</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>130</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b>	<b>Comparación entre control por PLC y por relevadores.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 1-2</b>	<b>Fuerzas de cilindros neumáticos a varias presiones. ....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 2-2</b>	<b>Montajes de cilindros y factor de pandeo.....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 3-2</b>	<b>Consumo de aire total. ....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 4-2</b>	<b>Dimensiones de las celdas de carga tipo S. ....</b>	<b>83</b>
<b>Tabla 5-2</b>	<b>Dimensiones de la celda de carga tipo S de 200 kg. ....</b>	<b>83</b>
<b>Tabla 6-2</b>	<b>Especificaciones celda de carga XL8101-200 kg. ....</b>	<b>83</b>
<b>Tabla 7-2</b>	<b>Especificaciones amplificador de señal SMOWO RW-ST01A. ....</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 8-2</b>	<b>Diagrama de conexión del amplificador de señal SMOWO RW-ST01A. ....</b>	<b>87</b>
<b>Tabla 1-3</b>	<b>Calibración celda de carga derecha. ....</b>	<b>100</b>
<b>Tabla 2-3</b>	<b>Calibración celda de carga izquierda. ....</b>	<b>101</b>
<b>Tabla 3-3</b>	<b>Datos de los acondicionadores de señal al PLC.....</b>	<b>103</b>
<b>Tabla 4-3</b>	<b>Análisis estadístico del tiempo de producción del proceso manual.....</b>	<b>109</b>
<b>Tabla 5-3</b>	<b>Análisis estadístico del peso en el proceso manual.....</b>	<b>112</b>
<b>Tabla 6-3</b>	<b>Pruebas para peso requerido de 30 kg.....</b>	<b>113</b>
<b>Tabla 7-3</b>	<b>Análisis estadístico para peso requerido de 30 kg.....</b>	<b>114</b>
<b>Tabla 8-3</b>	<b>Pruebas para peso requerido de 40 kg.....</b>	<b>114</b>
<b>Tabla 9-3</b>	<b>Análisis estadístico para peso requerido de 40 kg.....</b>	<b>115</b>
<b>Tabla 10-3</b>	<b>Pruebas para peso requerido de 50 kg.....</b>	<b>116</b>
<b>Tabla 11-3</b>	<b>Análisis estadístico para peso requerido de 50 kg.....</b>	<b>117</b>
<b>Tabla 12-3</b>	<b>Análisis estadístico para el tiempo de .....</b>	<b>118</b>
<b>Tabla 13-3</b>	<b>Porcentajes promedio de distribución del proceso .....</b>	<b>119</b>
<b>Tabla 14-3</b>	<b>Análisis estadístico de peso automatizado para lotes de 40 Kg .....</b>	<b>121</b>
<b>Tabla 15-3</b>	<b>Prueba t para tiempo de producción .....</b>	<b>123</b>
<b>Tabla 16-3</b>	<b>Prueba t para optimización de recursos .....</b>	<b>124</b>

## INDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Figura 1-0</b>	<b>Diagrama de procesos de la planta de balanceados ESPOCH .....</b>	<b>3</b>
<b>Figura 2-0</b>	<b>Procesos automatizados de la planta de balanceados ESPOCH .....</b>	<b>7</b>
<b>Figura 1-1</b>	<b>Tolvas para almacenamiento y dosificación .....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 2-1</b>	<b>Tolva simple y compuesta recta.....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 3-1</b>	<b>Tolvas simple y compuesta acodada.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 4-1</b>	<b>Tolvas simple y compuesta acodada.....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 5-1</b>	<b>Máquina ensacadora .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 6-1</b>	<b>Esquema de una planta de concentrados .....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 7-1</b>	<b>Flujo de una planta de concentrados típica .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 8 -1</b>	<b>Fases para automatizar un proceso .....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 9-1</b>	<b>Interacción Hombre-máquina. ....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 10-1</b>	<b>Lenguaje GRAFCET.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 11-1</b>	<b>Función de un operario .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 12-1</b>	<b>Acondicionador de señal .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 13-1</b>	<b>Clasificación de los sensores.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 14-1</b>	<b>Puente de Wheastone.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 15-1</b>	<b>Celda de carga de compresión .....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 16-1</b>	<b>Celda de tensión y compresión.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 17-1</b>	<b>Celda en forma de S.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 18-1</b>	<b>Celda de flexión de viga.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 19-1</b>	<b>Celda de un solo punto. ....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 20 -1</b>	<b>Elementos de mando.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 21 -1</b>	<b>Elementos de mando.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 22-1</b>	<b>Elemento de protección. ....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 23 -1</b>	<b>Unidades del PLC .....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 24-1</b>	<b>Arquitectura del PLC.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 25-1</b>	<b>Instrucción PID en un PLC.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 26-1</b>	<b>HMI Siemens.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 27 -1</b>	<b>Componentes de un sistema neumático.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 28 -1</b>	<b>Tipos de compresores. ....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 29-1</b>	<b>Depósito de un compresor. ....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 30-1</b>	<b>Unidad de mantenimiento. ....</b>	<b>43</b>

<b>Figura 31-1</b>	<b>Electroválvula .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 32-1</b>	<b>Válvula reguladora de caudal. ....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 33-1</b>	<b>Cilindro de simple efecto .....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 34-1</b>	<b>Cilindro de doble efecto.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 1-2</b>	<b>Diagrama del proyecto .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 2-2</b>	<b>Máquina mezcladora de balanceado Tunshi-ESPOCH.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 3-2</b>	<b>Etapas en la planta mezcladora de balanceado Tunshi-ESPOCH.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 4-2</b>	<b>Etapas automatizadas en la planta mezcladora de balanceado Tunshi-ESPOCH ...</b>	<b>48</b>
<b>Figura 5-2</b>	<b>Diseño de la modificación para la máquina mezcladora de balanceado.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 6-2</b>	<b>Diseño del codo para la máquina mezcladora de balanceado .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 7-2</b>	<b>Diseño de la boca de dosificación. Escala en mm. ....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 8-2</b>	<b>Diseño del soporte de la boca de dosificación. Escala en mm. ....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 9-2</b>	<b>Diseño del sistema móvil sobre riel para el cosido del saco .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 10-2</b>	<b>Ensamblado virtual de la máquina.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 11-2</b>	<b>Sistema de control.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 12-2</b>	<b>Sistema de control feedback propuesto para la planta .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 13-2</b>	<b>Sistema de control feedforward propuesto para la planta.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 14-2</b>	<b>Controlador Lógico programable S7-1200 .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 15-2</b>	<b>Vista del portal TIA Portal V12.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 16-2</b>	<b>Vista del proyecto TIA Portal V12 .....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 17-2</b>	<b>Diagrama de flujo y algoritmo propuesto para la programación del autómeta. ....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 18-2</b>	<b>Creación de un nuevo proyecto TIA PORTAL V12 .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 19-2</b>	<b>Agregar dispositivo TIA PORTAL V12.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 20-2</b>	<b>Editar tabla de variables TIA PORTAL V12 .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 21-2</b>	<b>Graficet del proceso .....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 22-2</b>	<b>Área efectiva de un cilindro de doble efecto .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 23-2</b>	<b>Diagrama presión-fuerza para cilindros neumáticos. ....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 24-2</b>	<b>Diagrama de pandeo.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 25-2</b>	<b>Diagrama de consumo de aire de un cilindro. ....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 26-2</b>	<b>Dimensionamiento de la unidad de mantenimiento .....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 27-2</b>	<b>Guía de compresores. ....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 28-2</b>	<b>Dimensionamiento del tanque de almacenamiento de aire. ....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 29-2</b>	<b>Galga extensiométrica .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 30-2</b>	<b>Puente de Wheatstone .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 31-2</b>	<b>Celda de carga de 200 kg.....</b>	<b>82</b>

<b>Figura 32-2</b>	<b>Dimensiones de la celda de carga tipo S</b> .....	<b>82</b>
<b>Figura 33-2</b>	<b>Acondicionador de señal de celdas de carga</b> .....	<b>85</b>
<b>Figura 34-2</b>	<b>Dimensiones del amplificador de señal de celdas de carga</b> .....	<b>85</b>
<b>Figura 35-2</b>	<b>Conexión del amplificador de señal de celdas de carga</b> .....	<b>86</b>
<b>Figura 36-2</b>	<b>Final de carrera de palanca</b> .....	<b>88</b>
<b>Figura 37-2</b>	<b>Sensores ópticos</b> .....	<b>88</b>
<b>Figura 38-2</b>	<b>Selección HMI en DOPSoft v2.0</b> .....	<b>89</b>
<b>Figura 39-2</b>	<b>Direccionamiento del PLC en DOPSoft v2.0</b> .....	<b>90</b>
<b>Figura 40-2</b>	<b>Direccionamiento del HMI en DOPSoft v2.0</b> .....	<b>90</b>
<b>Figura 41-2</b>	<b>Bloque TCON</b> .....	<b>91</b>
<b>Figura 42-2</b>	<b>Configuración del bloque TCON</b> .....	<b>92</b>
<b>Figura 1-3</b>	<b>Gabinete de control parte interna</b> .....	<b>94</b>
<b>Figura 2-3</b>	<b>Gabinete de control parte externa</b> .....	<b>95</b>
<b>Figura 3-3</b>	<b>Diagrama electrónico</b> .....	<b>96</b>
<b>Figura 4-3</b>	<b>Diagrama neumático de activación de los cilindros</b> .....	<b>97</b>
<b>Figura 5-3</b>	<b>Mecanismo de compuertas</b> .....	<b>97</b>
<b>Figura 6-3</b>	<b>Cilindro neumático con pivote</b> .....	<b>98</b>
<b>Figura 7-3</b>	<b>Mecanismo de sujeción de sacos</b> .....	<b>99</b>
<b>Figura 8-3</b>	<b>Curva característica de la celda de carga derecha</b> .....	<b>100</b>
<b>Figura 9-3</b>	<b>Curva característica de la celda de carga izquierda</b> .....	<b>102</b>
<b>Figura 10-3</b>	<b>Determinación de la función de transferencia</b> .....	<b>105</b>
<b>Figura 11-3</b>	<b>Aproximación de modelado del sistema</b> .....	<b>105</b>
<b>Figura 12-3</b>	<b>Respuesta al escalón unitario</b> .....	<b>106</b>
<b>Figura 13-3</b>	<b>Función de transferencia obtenida</b> .....	<b>106</b>
<b>Figura 14-3</b>	<b>Simulación en bloques control en adelanto</b> .....	<b>107</b>
<b>Figura 15-3</b>	<b>Salida del sistema con control en adelanto</b> .....	<b>107</b>
<b>Figura 16-3</b>	<b>Registro del tiempo de producción previo a la automatización</b> .....	<b>109</b>
<b>Figura 17-3</b>	<b>Distribución porcentual de las etapas del proceso</b> .....	<b>110</b>
<b>Figura 18-3</b>	<b>Peso del último saco de cada lote de 40 kg previo a la automatización</b> .....	<b>111</b>
<b>Figura 19-3</b>	<b>Curva de error peso de 30 kg</b> .....	<b>113</b>
<b>Figura 20-3</b>	<b>Curva de error peso de 40 kg</b> .....	<b>115</b>
<b>Figura 21-3</b>	<b>Curva de error peso de 50 kg</b> .....	<b>116</b>
<b>Figura 22-3</b>	<b>Registro del tiempo de producción con la automatización</b> .....	<b>118</b>
<b>Figura 23-3</b>	<b>Distribución porcentual del proceso automático</b> .....	<b>120</b>
<b>Figura 24-3</b>	<b>Peso del último saco de cada lote de 40 kg con la automatización</b> .....	<b>121</b>

## ABREVIATURAS

<b>kg</b>	Kilogramos
<b>Lbs</b>	Libras
<b>kgf</b>	Kilogramo fuerza
<b>F</b>	Fuerza
<b>N</b>	Newton
<b>Bar</b>	Bares
<b>Pa</b>	Pascal
<b>mm</b>	Milímetros
<b>V</b>	Volumen
<b>Q</b>	Consumo
<b>t</b>	Tiempo
<b>DC</b>	Corriente continua
<b>AC</b>	Corriente alterna
<b>A</b>	Amperios
<b>V</b>	Voltios
<b>W</b>	Watts
<b>VAC</b>	Voltaje de Corriente Alterna
<b>VDC</b>	Voltaje de Corriente Directa
<b>CPU</b>	Unidad de Control de Procesos
<b>GRAF CET</b>	Gráfico Funcional de Control de Etapas y Transiciones
<b>HMI</b>	Interfaz hombre máquina
<b>IP</b>	Protocolo de Internet
<b>PLC</b>	Controlador Lógico Programable
<b>SCADA</b>	Supervisión, Control y Adquisición de Datos

## RESUMEN

El objetivo fue optimizar el tiempo de producción y la automatización del proceso de dosificación, ensacado y control de peso en lazo cerrado para la máquina mezcladora de balanceado de la Estación Experimental Tunshi de la ESPOCH, para lo cual se consideró un sistema de control retroalimentado (feedback) para la variable de peso, agregándole la técnica de control en adelanto (feedforward) debido a que el proceso presentó una perturbación medible. El proceso de ensacado empieza con la selección de peso mediante un Interfaz Hombre Maquina (HMI), al cumplir las condiciones de inicio y seguridad el proceso inicia con la etapa de ensacado mediante una prensa neumática, la dosificación está compuesta de dos compuertas activables de diferente tamaño para minimizar el error de ensacado, en el pesaje se utilizó dos celdas de carga tipo S que envían la señal al controlador lógico programable (PLC), luego de alcanzar el peso objetivo, el saco pasa a la etapa de sellado mediante un sistema electromecánico activando la cosedora manual portátil. La combinación del diseño e implementación de cada sistema forma un proceso robusto y adaptable a las necesidades de la planta, se determinó que con la automatización implementada en la máquina mezcladora de balanceado se optimizó el proceso reduciendo el tiempo de producción en el 59.92% y optimizó los recursos en un 100%, el desperdicio del proceso manual en el peso de un saco de balanceado es 1.4% mientras que en el proceso automatizado representa un desperdicio del 0%, lo cual demuestra una efectividad del sistema automatizado del 149.48%. Se recomienda al operario y al personal que haga uso de la máquina, leer el manual y los documentos afines a los datos técnicos de la máquina, previo a su primer uso y/o mantenimiento para prolongar la vida útil de los elementos que la componen y evitar la incorrecta manipulación.

**Palabras Clave:** <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA>, <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES>, <AUTOMATIZACIÓN DE LOS PROCESOS>, <CONTROL RETROALIMENTADO>, <CONTROL EN ADELANTO>, <INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)>, <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)>

## SUMMARY

The objective was to optimize production time and the dosing, bagging, and weight control process in a feedback system for the animal processed food mixing machine in the Experimental Station Tunshi in the ESPOCH, for which a feedback control was considered for the weight variable, adding the forward control technique since the process presented a measurable disturbance. The bagging process starts with the weight selection via Human Machine Interface (HMI), once the starting and security conditions are met, the process starts with the bagging step by a pneumatic press, the dosage is composed by two activatable gates of different size to minimize bagging error, in the weighting two loading areas type S were used which send the signal to the programmable logic controller (PLC), once the ideal weight was reached, the sack is sealed by an electromechanical system activated by the portable handheld sewing machine. The combination of the design and implementation of each system is part of a robust process which adapts to the production plant needs, it was determined that with the implement automation in the animal processed food mixing machine, the process was optimized and production time reduced to 59.92% and the resources were optimized 100%, the waste of the manual process in the animal processed food sack weight is 1.4%, while in the automation process the waste is 0%, this proves the automation process effectiveness in 149,48%. It is recommended that the machine operator and the staff, who handle the machine, read the manual and documents related to the machine technical data, before its first use or maintenance in order to extend the useful life of its elements and avoid improper handling.

**Keywords:** <ELECTRONICS ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING>, <CONTROL OF INDUSTRIAL PROCESSES>, <PROCESS AUTOMATION>, <FEEDBACK CONTROL>, <CONTROL IN PREVIEW>, <HUMAN MACHINE INTERFACE (HMI)>, <PROGRAMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)>.

# INTRODUCCIÓN

## Antecedentes

Actualmente existen en el país 107 plantas de balanceados, de las cuales 15 tienen tecnología adecuada con un sistema semiautomático en el cual la planta está distribuida por proceso y consta de una combinación de sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos y neumáticos de funcionamiento independiente controlado por operarios y 4 de éstas con tecnología de punta instalada aproximada al 98% de automatización con una planta distribuida por producto y un sistema de control automático completo en el cual desde el procesamiento de materia prima es llevado a cabo por un controlador lógico programable que conjuntamente con la maquinaria obtienen un tiempo de producción óptimo, hoy en día en la planta de balanceados de la ESPOCH, y en la mayoría de plantas la dosificación del alimento balanceado se realiza en forma manual, por lo cual la tecnología pone a disposición una amplia gama de técnicas para el control automático industrial como un sistema de control en lazo cerrado para procesos continuos que nos permiten la manipulación indirecta de las magnitudes a través de un sistema de control el cual tiene como objetivo gobernar la respuesta de la planta, sin que el operador intervenga directamente sobre sus elementos de salida.

Esta técnica de control industrial utiliza el control en lazo cerrado aplicado al proceso de pesado de balanceado para el sistema de producción de control de procesos continuos debido a que la principal fuente de información es la medida de las variables del proceso, ofreciendo un alto rendimiento en la dosificación de productos de alta viscosidad o difíciles de dosificar. Esta técnica da como resultado un sistema de control industrial robusto con los mecanismos, procesos industriales y monitoreo al sincronizar el flujo de entradas de sensores con el flujo de salidas a los actuadores.

En la actualidad existen diversas máquinas que se encargan del ensacado de productos sólidos, cada una tiene diferentes maneras de realizar la automatización de dicho proceso.

En la planta de balanceados de la “ESPOCH” el sistema es completamente manual lo cual provoca un proceso ineficiente con un extenso tiempo de producción donde el operario realiza el ensacado de balanceado de pocas unidades llevándose en este proceso varias horas en el día y a más de producir un desperdicio considerable de materia prima a diario. Esto sucede debido a que las etapas del proceso son realizadas por un operario, este problema es causado por la manipulación del producto en cada etapa provocando que cada proceso se complete en un tiempo diferente mayor o menor al anterior, el desperdicio de materia prima principalmente se

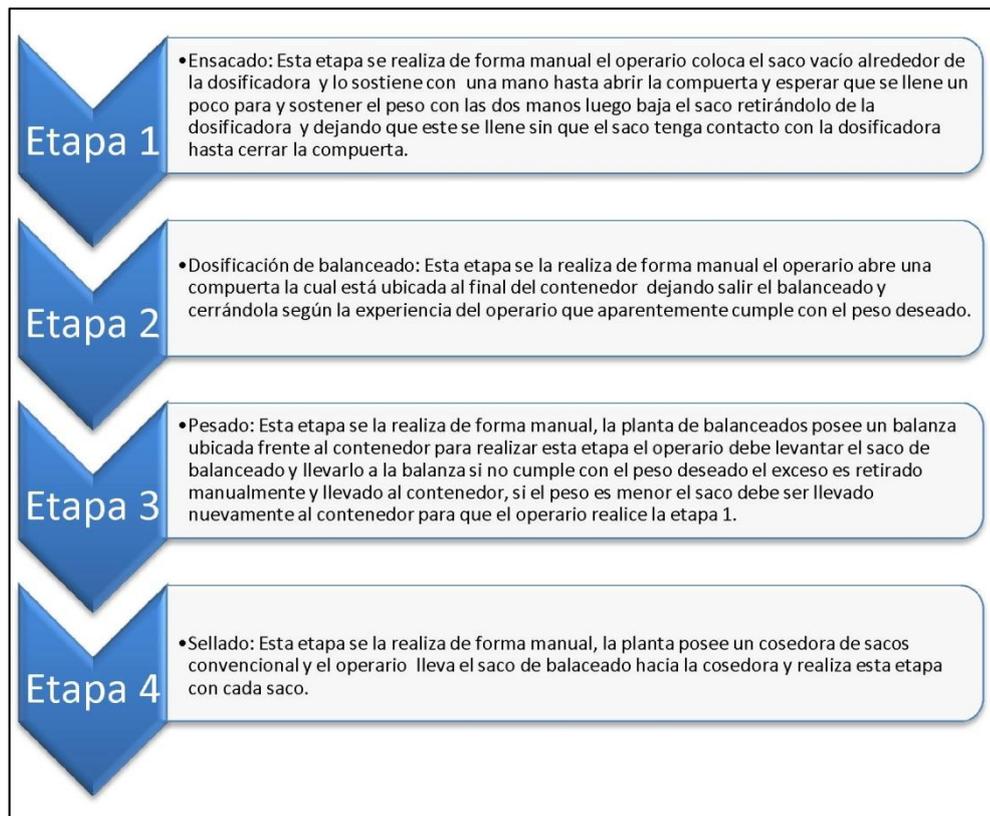
da en la transición de la etapa de dosificación y en la de pesado al compensar manualmente el error de pesado y el desperdicio producido al colocar y retirar el saco de la dosificadora.

Un sistema de automatización aplicado a este proceso en base a una variable de peso es de suma importancia ya que la industria alimenticia que se dedica a la producción de balanceado se basa en los estándares nutricionales de los animales con el peso exacto para la obtención de un producto final de calidad, a la vez el sistema tiene un control de todos los componentes que integran el proceso de ensacado, dosificado, pesado y sellado del producto utilizando tecnología moderna de control y sistemas neumáticos debido a su bajo impacto ambiental y su alto rendimiento para este proceso.

El proceso de ensacado, dosificación, pesado y sellado automático de balanceado es adaptable a cualquier sector de la población ganadera logrando una optimización en tiempo y recursos, lo cual ayuda a que los productores sean cada vez más eficientes.

Varios estudios se han realizado sobre la tecnología en este campo que demuestran su importancia como es el caso de la tesis de grado realizada por Núñez Núñez, M. L. Sisa Amaguaya, L. F. (2011,). Diseño e implementación de un módulo didáctico para simular y controlar el proceso de empaquetado de sólidos granulados, para el laboratorio de control de la EIE-CRI. ESPOCH, Elizondo, R., & Carlos, J. (2010). Diseño de un sistema de control para servomotor que mejore la eficiencia de una máquina ensacadora (Thesis). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Electrónica y Grijalva, R., & Andrés, P. (2013, noviembre). Diseño y construcción de un sistema automático de dosificación de micro nutrientes para optimizar el proceso de producción en la empresa AVIPAZ CÍA. LTDA. (Thesis). LATACUNGA / ESPE / 2013 y Jave Bobadilla, C. O. (2011). Implementación de la estación ensacadora de 50 kg de productos granulados. UNI, FIM, Lima.

A continuación, se detalla el diagrama del proceso actual de la planta.



**Figura 1-0 Diagrama de procesos de la planta de balanceados ESPOCH**  
 Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

### **Formulación del problema.**

¿Cómo se mejorará el tiempo de producción y la optimización de recursos en el proceso de dosificación, pesado, ensacado y sellado de balanceado mediante la implementación de un sistema automático?

### **Sistematización del problema.**

¿Qué métodos de control óptimos son utilizados actualmente en el proceso de dosificación, pesado, ensacado y sellado de balanceado para animales?

¿Cómo contribuirá el uso de tecnología en este campo y que impacto socio-tecnológico tendrá en la planta?

¿En qué porcentaje mejorará el tiempo de producción con la implementación del proceso automático de dosificación, pesado, ensacado y sellado a la máquina mezcladora de balanceado?

¿Cómo se reducirá el desperdicio de balanceado mediante la optimización de recursos en el proceso de dosificación?

## **Justificación teórica**

Se ha detectado que la baja eficiencia de la planta es provocada porque el operario interviene directamente en cada etapa provocando un proceso completamente manual, empezando en la dosificación en la cual el operario manipula una compuerta mecánica para el llenado de los sacos; posteriormente el pesado lo realiza basado en experiencia del operario, mediante un método de prueba y error hasta cumplir el peso requerido siendo comprobado en una balanza; para finalizar el proceso el operario realiza el sellado utilizando una cosedora de sacos.

Hemos visto necesario realizar la automatización de la máquina mezcladora de balanceado tanto para el proceso de pesado y para la dosificación en sacos mediante un control en lazo cerrado en donde la señal de salida del sistema (peso) que es la variable controlada tiene efecto directo sobre la acción de control (variable de control), este tipo de control permite que el sistema sea más flexible y capaz de reaccionar si el resultado que está obteniendo no es el esperado. Este control de la variable peso beneficia para la implementación en el pesado automático ya que al tener una trayectoria de realimentación se obtiene un control más exacto gracias a la igualación de los valores real y requerido para la variable, menos sensible a las perturbaciones, menos sensible a cambios en las características de los componentes y la velocidad de respuesta se incrementa.

Al realizar la automatización del proceso de dosificación y pesado reduciremos el tiempo de producción donde el operario podrá ensacar varios quintales de balanceado en un tiempo muy corto al que actualmente lleva a cabo la misma tarea, además de un ahorro de recursos tanto económicos al ahorrar el tiempo de empleo de un trabajador como de materia prima ya que no habrá desperdicios por una sobredosis en cada quintal ensacado sino que será llenado con la dosis exacta de balanceado requerida para cada animal.

Todo sistema de control retroalimentado o de lazo cerrado consta de un variable de entrada o valor de referencia que será el peso del balanceado que dependerá del requerimiento de cada animal pudiendo ser ganado porcino, bovino o equino; el peso de los sacos será medido mediante sensores denominados celdas de carga, transductores utilizados para convertir fuerza en una señal eléctrica, que además son dispositivos de muy bajo costo y permite tener un índice de error despreciable en este proceso; un elemento de comparación que determinará el error entre el valor requerido o de referencia de la variable a controlar con el valor medido de lo que se obtiene a la salida.

El elemento de control que decidirá la acción a tomar será un controlador lógico programable o PLC que es un dispositivo electrónico que puede ser programado por el usuario mediante software como Tia Portal, Twido Suit y Wago, dependiendo del modelo de controlador y se utiliza para resolver problemas de secuencias en la maquinaria o procesos y un elemento ampliamente utilizado en las industrias que nos ofrece una gran cantidad de ventajas para este proceso como lo son: control más preciso, mayor rapidez de respuesta, facilidad de programación, seguridad en el proceso, menor consumo de energía que otras tecnologías, menor mantenimiento, posibilidad de añadir modificaciones sin elevar costos, menor costo de instalación, operación y mantenimiento, posibilidad de gobernar varios actuadores con el mismo autómatas y existe gran literatura acerca de esta tecnología.

Otro factor clave es el fácil control y visualización del proceso por parte del operario que lo realizaremos mediante un “Human Machine Interface”, HMI, es decir, el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina debido a la necesidad de tener un control más preciso y agudo de las variables de producción y de contar con información relevante de los distintos procesos en tiempo real. Entre las ventajas para la elección del uso de un HMI está la posibilidad de hacer registro de datos y manejo inteligente de alarmas, permite reducir el tiempo para la toma de decisión y la acción, es decir, al operador se le presenta una alarma y en el mismo panel, la posibilidad de tomar distintas acciones.

El control del proceso de cosido de sacos lo realizará con el mismo PLC que automatizará una cosedora eléctrica implementada en un sistema electro-mecánico que permita ingresar los sacos con facilidad y realice el proceso de manera rápida y segura para el operario.

### **Justificación aplicativa**

El sistema tendrá la capacidad de realizar un control de peso del balanceado dependiendo del requerimiento de porciones diarias de alimento que se debe suministrar a cada animal pudiendo ser este ganado bovino, porcino o equino. El sistema tendrá la capacidad de seleccionar tres opciones de peso: 30 kg que es la cantidad de balanceado que consumen los animales equinos, de 40 kg para los animales bovinos y de 50 kg para los animales porcinos que serán seleccionados manualmente por un operario que dispondrá un HMI para el ingreso de datos y el monitoreo del sistema.

El control en lazo cerrado para la variable peso será implementado por medio de software en el PLC donde la variable de referencia será el peso de balanceado que se desee, y la variable de

realimentación será el peso medido por medio de la celda de carga, y esta será ingresada al PLC como una variable analógica que será comparada con la variable de referencia, donde nos dará un error que ingresará al controlador para minimizarlo en el menor tiempo posible hasta llegar a la referencia.

Para asegurarnos que el peso que nos envía la celda de carga es el correcto, previamente se realizará una comparación y calibración con un patrón de peso que debe corresponder al peso que se seleccione como valor de referencia, pudiendo ser de 30 kg, 40 kg y 50 kg.

El proceso iniciará cuando el operador ingrese el peso de balanceado que se desee en un panel de control que será la variable de referencia para el sistema de control y posteriormente se coloque el saco vacío en la máquina mezcladora y será detectado por medio de sensores y posteriormente un par de cilindros neumáticos sostendrán el saco para su posterior llenado, siempre cuidando la integridad física del operario. Las celdas de carga serán acondicionadas su señal para ingresar a una entrada analógica del PLC y esta medida será la variable medida y retroalimentada para el sistema de control en lazo cerrado. En la programación del PLC se implementará el control automático en lazo cerrado que activará otro cilindro que abrirá o cerrará la compuerta por donde salga el balanceado según se haya llegado a la consigna del proceso.

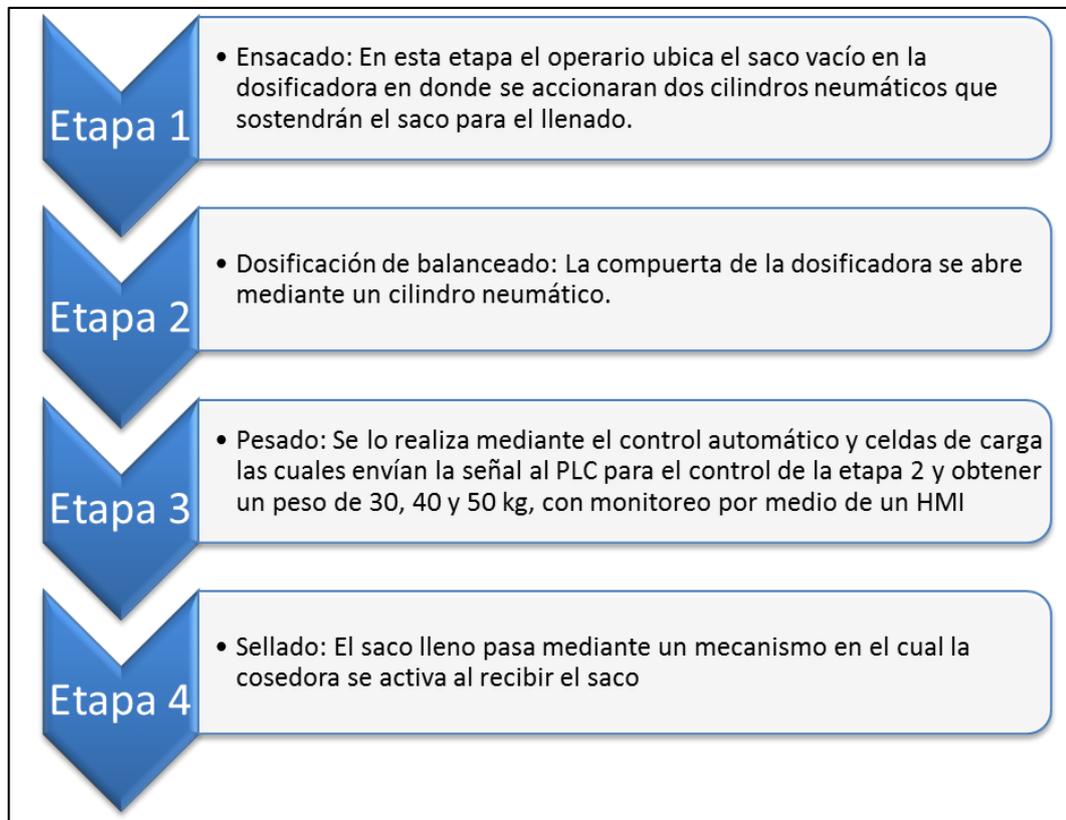
Todo este proceso ayudará a reducir considerablemente el tiempo de producción ya que se realizará de forma automática el pesaje sin intervención del factor humano que puede producir errores de medida y pérdida de tiempo por motivo de falta de precisión. Otra ventaja al implementar esta tecnología nos ayudará a optimizar los recursos en este caso los alimentos ya que no habrá desperdicios por exceso en cada porción que se ensaque ni tampoco falta de alimento para los animales ya que las mediciones gracias a las celdas de carga nos darán un error despreciable.

El otro problema crítico que solucionaremos con la implementación del sistema es el sellado de sacos que lo realizaremos por medio de una cosedora eléctrica que realizará el cierre de forma automática y con un índice alto de unidades procesados por unidad de tiempo que ayudará al operador a reducir tiempos y costos. Estos procesos serán monitoreados por medio de una interface hombre-máquina que se comunicará con el PLC que controlará el sistema y nos indicará las variables de todo el proceso.

Con los antecedentes anteriormente mencionados es clave tener una máquina automática que realice el proceso de dosificación, pesado, ensacado y sellado en sacos de balanceado, para la

obtención de un producto final que cumpla con los requerimientos técnicos y nutricionales de calidad, y esto también dará lugar a la reducción de costos de producción y operación.

A continuación, se detalla el diagrama del proceso automático para la planta.



**Figura 2-0 Procesos automatizados de la planta de balanceados ESPOCH**

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

### **Objetivo general:**

Automatizar el proceso de dosificación, ensacado y realizar un control de peso en lazo cerrado para la máquina mezcladora de balanceados de la Estación Experimental Tunshi “ESPOCH”.

### **Objetivos específicos:**

- Investigar sobre el funcionamiento y acondicionamiento de las celdas de carga en procesos de pesaje y medida.
- Diseñar un sistema de control en lazo cerrado para el proceso de pesaje de la máquina mezcladora de balanceados.
- Implementar un sistema de control automático para el proceso de pesado de balanceado en requerimientos de 30, 40 y 50 kg.

- Implementar un sistema de monitoreo y control mediante la comunicación Ethernet PLC/HMI.
- Desarrollar un mecanismo electromecánico para la costura y ensacado de los sacos de balanceado.
- Evaluar la eficiencia en función del tiempo y uso de materia prima frente al sistema actual.

# CAPÍTULO I

## 1 MARCO TEÓRICO

### 1.1 Introducción

En la actualidad investigadores de diferentes países trabajan también para conocer mejor el funcionamiento del aparato digestivo de los rumiantes y el aprovechamiento de los alimentos por los animales por lo cual es importante seguir avanzando rápidamente en este campo de la ciencia, porque la alimentación representa una parte significativa de la distribución de gastos en la producción animal de cada país y porque existen abundantes subproductos industriales que pueden ser utilizado como alimentos de diversas especies animales.

Los sistemas de producción animal en los países en desarrollo, no son lo suficientemente eficientes desde un punto de vista tecnológico-económico debido a la falta de alternativas de alimentación práctica industrializada. Las alternativas deben estar encaminadas a ver el papel del empleo del grano en los sistemas de producción intensiva. En zonas con sistemas altamente productivos y eficientes, la principal fuente de alimento es el concentrado, el forraje de alta calidad y los subproductos industriales o agrícolas.

Esto ha provocado que actualmente todo el proceso de producción este apoyado en los computadores, ya que desde el ingreso de la materia prima hasta el despacho del producto terminado se realiza un control total sistematizado. Dicha sistematización se encarga de regular la carga que manejan las tolvas como la cantidad de materia prima requerida para la elaboración y dosificación del producto. Por lo general cada tolva tiene un PLC, el cual se encarga de recibir una orden del computador, dichas órdenes están basadas en impulsos eléctricos que están en forma binaria.

La automatización de los diferentes procesos que intervienen en la elaboración de balanceado como el ensacado óptimo del producto, son de suma importancia en el campo de las aplicaciones computacionales a la tecnología de concentrados, esta industria está por explotar totalmente, y los profesionales en el área deberían enfocar sus esfuerzos en la obtención de soluciones locales en este campo ya que esto potenciara el sector.

Por lo tanto, se recopilará en este capítulo una serie de operaciones que se deben llevar a cabo, los conceptos principales, elementos y principios de la automatización del proceso de ensacado de balanceado, como también de los diferentes sistemas que lo componen para lograr un desempeño óptimo del proceso.

## **1.2 Sistematización del proceso**

Muchos de los productos hoy en día se encuentran en bolsas o sacos, lo cual hace al producto más manejable y con mayor eficiencia en el acomodo de anaqueles.

El proceso de ensacado se define como el llenado de sacos o bolsas, los cuales cuelgan manualmente por medio de un operador o maquinaria especializada que ordene el cierre de bolsas o sacos herméticamente para que el producto no sufra alguna anomalía o contaminación mientras es distribuido y comercializado.

Actualmente, existen empresas dedicadas al ensacado, las cuales ofrecen un producto de calidad, pero sobretodo un producto con alto índice de higiene debido a que este no fue tocado por las manos humanas durante el sistema de ensacado.

### **1.2.1 *Sistemas de ensacado***

Dentro de los principales sistemas de ensacado de llenado de gránulos secos se encuentran:

- **Sistemas de ensacado valvulado:** los sacos que incorporan válvulas son sacos cuyo fondo y boca se encuentran cerrados entrando a presión el producto por una válvula que se encuentra en uno de los laterales. Esta válvula es cerrada cuando la presión del contenido de la bolsa alcanza un valor suficiente.
- **Sistemas de ensacado por boca abierta:** son sacos que poseen una boca abierta y un fondo cerrado. El producto se llena a través de la boca del saco generalmente por gravedad de un conducto conectado previamente a una báscula o un elemento de medida volumétrico. Posteriormente una vez que el producto se encuentra contenido en él. Se cierra dicha boca mediante cosido, pegado o termo sellado.
- **Sistemas de paletizado:** es este sistema se colocan los sacos o cajas en orden dentro de un palet, este sistema depende de la producción en línea. Lo cual hace que sea un sistema seguro y estable.
- **Sistemas con supersacos:** en este sistema se logra una operación de llenado y pesado integrado a la línea de producción. Este sistema se estructura a altas velocidades y es totalmente automatizado lo cual ayuda a un proceso seguro y ergo económico.

- Llenado de cajas y cuñetes: El llenado en cajas o cuñetes hacen que sea un proceso mucho más higiénico, así como el fácil transporte. Las cajas o cuñetes tienen una mayor resistencia de peso a su vez resultan más prácticos y ayudan a que el llenado sea más rápido y fácil.
- Sistemas de pesaje: este sistema ayuda a que no haya necesidad de calibración y cuenta con inmunidad a la vibración.

### **1.2.2 Concentrados**

Son alimentos fabricados para ser suministrados por vía oral, como suplementos alimenticios, con el objetivo de suplir necesidades nutricionales que se caracterizan por su elevada riqueza en materia seca y unidades alimenticias. Son productos obtenidos mediante transformación industrial. Dependiendo de los elementos utilizados, los piensos se pueden clasificar en: simples y compuestos.

- Piensos simples: Se describen como el resultado de una ración en la que sus ingredientes no han sido sometidos a transformación industrial, puede ir acompañados o no por unos elementos llamados aditivos o pre mezclas.
- Piensos compuestos: son una de las materias primas de origen animal, vegetal y mineral, a las cuales se les adiciona unos elementos denominados aditivos y/o pre mezclas. Para ser suministrados por vía oral. Según su composición puede ser completos o suplementarios.

El maíz es uno de los cultivos más importantes del Ecuador por su aporte a la dieta y a la industria de alimentos balanceados, el cultivo de maíz duro es de primordial importancia por su aporte a la alimentación humana y animal.

En la mayoría de fábricas de alimentos, los granos brutos enteros u los demás ingredientes posibles se muelen con una trituradora de martillo o una laminadora, o son tratados de alguna u otra manera con medios adecuados para permitir la mezcla uniforme de los ingredientes según las especificaciones de la formula y la posterior transformación por la empastilladora o la extrusión hasta lograr el producto terminado. Concluido el proceso y una vez correctamente enfriado y seco, el alimento está listo para el ensacado o para ser entregado a granel al acuicultor.

### *1.2.2.1 Manejo de sólidos en la industria de concentrados*

Cuando las materias primas para la elaboración de un producto son sólidas, la industria debe apropiarse de cierta tecnología o medios tecnológicos que faciliten los procesos y se pueda obtener un producto final que reúna todas las características satisfactorias para el consumidor y lograr un posicionamiento de un mercado. Para la elección de cualquier equipo que tenga relación con el manejo de sólidos, se debe estudiar y conocer a fondo las propiedades de los sólidos que va a manejar, debido a que estas permiten deducir como fluyen los materiales dentro de los diversos equipos (tolvas, silos, mezcladoras, transportadoras, etc.)

En términos generales, los sólidos no fluyen fácilmente ni en forma continua como los líquidos. Tampoco, la presión ejercida sobre una masa de solido se distribuye uniformemente en todas las direcciones con si ocurre en ellos. Como el flujo es desordenado y discontinuo, se distingue dos tipos.

- Flujo libre: el flujo libre donde cada partícula tiende a comportarse individualmente y se caracteriza por ser un flujo continuo, uniforme y ordenado, como el que se ve en los granos o en la arena seca. Las propiedades que caracterizan a una masa de partículas como flujo libre son: Tamaño, alta densidad y baja actividad superficial.
- Flujo no libre: es un flujo de aglomerados de partículas dentro del cual se nota la cohesión entre ellas, especialmente cuando son muy pequeñas, formando aglomerados de consistencia frágil, lo que origina un flujo inestable, discontinuo y desordenado. Este flujo es común entre la mayoría de las harinas, polvos, pigmentos. Las propiedades que lo caracterizan son entre otras: tamaño muy pequeño de las partículas, cohesión, baja densidad y alta humedad.

## **1.2.3 Proceso**

### *1.2.3.1 Almacenamiento*

El almacenamiento tiene como fin conservar los productos a través de un tiempo, de acuerdo a la durabilidad del producto. El almacenamiento en sacos es el sistema tradicionalmente usado, para ello se utilizan bodegas en donde el material ensacado se coloca formando arrumes. El manejo interno y descarga se realiza manual o mecánicamente.

El almacenamiento también se realiza a granel para ello se requiere de silos o tolvas de gran tamaño, este proceso se realiza más rápido pero implica más tecnología y por tanto mayores inversiones.

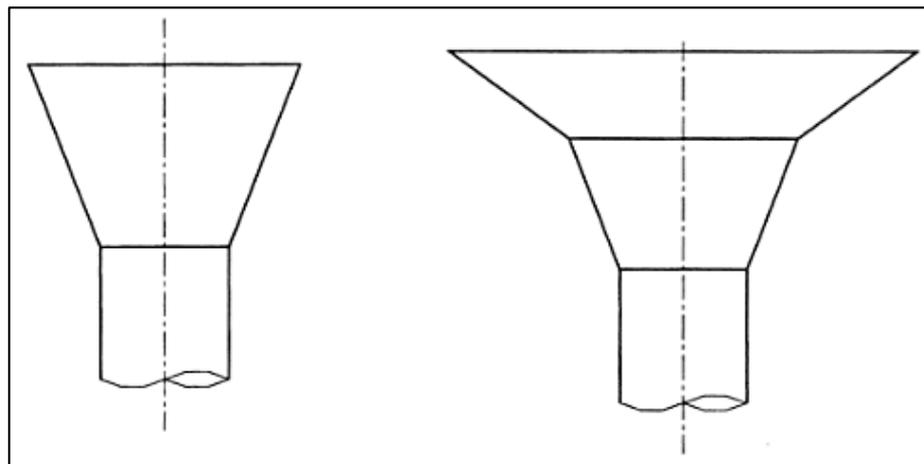


**Figura 1-1 Tolvas para almacenamiento y dosificación**  
 Fuente: [www.inagromecánica.com](http://www.inagromecánica.com)

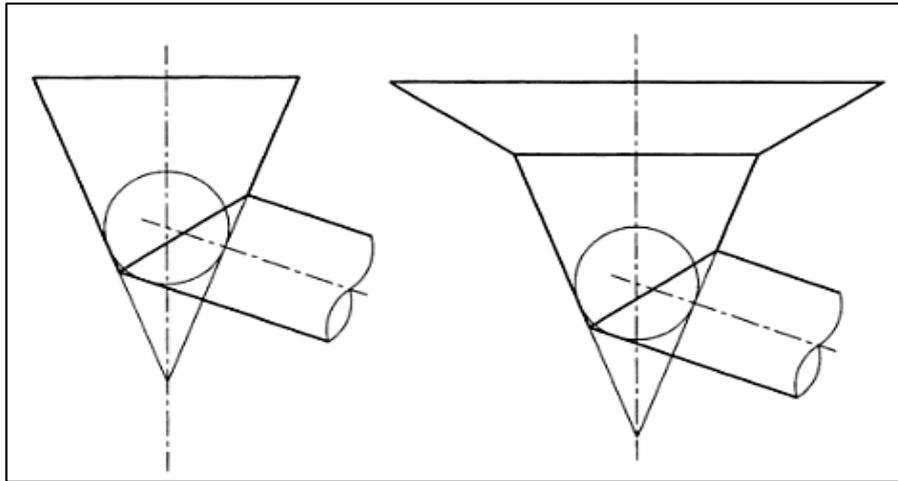
### 1.2.3.2 Tolvas

Son piezas que sirven para facilitar la carga y descarga de fluidos y áridos, simples embutidos; sus formas son variadas y los nombres que reciben están en función de:

- El número de piezas de que constan: simples si están formados por dos elementos y compuestas si el número de elementos es mayor
- La posición de sus ejes: rectas si sus ejes son coaxiales y acodada, si sus ejes son concurrentes.



**Figura 2-1 Tolva simple y compuesta recta**  
 Fuente: COBOS C., SALINAS J. M., ANTONIO R. D., p. 319



**Figura 3-1 Tolvas simple y compuesta acodada**

Fuente: COBOS C., SALINAS J. M., ANTONIO R. D., p. 320

Las tolvas de descarga según el tamaño y forma de silo y de su tolva se pueden tener tres clases de flujo durante la descarga del grano:

- Flujo en masa, en el cual todo el material dentro del silo se encuentra en movimiento, la tolva puede ser cónica, en forma de cuña o de cincel. Materiales de varios tipos, especialmente pulverulentos, requieren el uso de este tipo de tolvas para evitar obstrucciones del flujo. En las tolvas de cuña y cincel se requiere una relación de largo a ancho en la abertura de 6 a 1 y de 3 a 1 en las tolvas de transición.
- Flujo de tipo túnel, solamente la columna central de grano se encuentra en movimiento, alimentada continuamente por material de la superficie, el flujo se controla con la abertura efectiva. El producto sufre segregación durante su descarga según su densidad; el último grano en entrar al silo es el primero en salir. Si se realiza carga y descarga continuo, una zona del grano permanece inmovilizada, zona que corre mayor peligro de deterior.
- Flujo expandido, se presenta en un silo de flujo de tipo túnel que se descarga por medio de una o varias tolvas de flujo en masa. Su descarga es relativamente uniforme, la segregación y la cantidad de grano inmovilizada se reduce.

El diseño adecuado de las tolvas es de mucha importancia en aquellas plantas donde se realiza mezclas de granos para mejorar su calidad, una tolva inadecuada impide la mezcla homogénea.

### 1.2.3.3 Mezcladora

Las mezcladoras verticales tienen un tornillo vertical giratorio situado en recipiente cilíndrico cónico. El tornillo puede estar fijo en el centro del depósito o puede girar a las paredes de la

tanque. Esta mezcladora es relativamente económica y hace un buen mezclado de ingredientes, pero es más lenta que el mezclador horizontal y requiere una distancia vertical considerable.



**Figura 4-1 Tolvas simple y compuesta acodada**

Fuente: [www.ergomix.com](http://www.ergomix.com)

#### 1.2.3.4 Dosificación

Consiste en adicionar las materias primas necesarias según la formulación, este procedimiento se realiza por medio de unas tolvas dosificadoras las cuales cuentan con unos sensores encargados de realizar este proceso. Las tolvas tienen un tornillo sin fin de dos velocidades (alta y baja); además, se utilizan tolvas de alivio y basculas.

Todas las órdenes de dosificación son sistematizadas con programas lineales de controles los cuales funcionan con diferente software. En caso que el sistema falle se tiene sistemas mecánicos para realizar el mismo procedimiento.

Los dosificadores de sólidos pueden tener diferentes sistemas, por lo que se dividen en

- Dosificador por pistón: esta dosificación se realiza por medio del producto despachado de la tolva de almacenamiento llevándolo directamente hacia el pistón dosificador de carrera, el mismo que se activa abriendo espacio dentro de la boquilla de descarga para que el producto caiga en el empaque y cuando no se encuentra activado, el paso del producto permanecerá sellado.
- Dosificador por peso: en esta dosificación interviene el lazo de control para el sistema de pesaje mediante sensores de celdas de carga que permiten conocer el peso de la variable medida.
- Dosificador por tornillo sin fin: para esta dosificación se controla el transporte interno del producto logrando así tener una dosificación asemejada a la requerida por el usuario.

#### 1.2.3.5 Transporte interno

El transporte de materiales en general implica el movimiento de estos en cualquier dirección, es decir, incluye elevación o descenso, movimiento horizontal o inclinado, logrando transportar los productos embalados o en masa. Los transportes más utilizados en las plantas de concentrados para animales son de banda, de cangilones, sin fin, neumático y por gravedad.

- Transportador de tornillos sin fin: es uno de los tipos de transportadores más antiguos y versátiles. Operan con el principio de un tornillo helicoidal rotatorio en un canal estacionario. Es usado para manejar polvos, materiales húmedos, pegajosos y muy viscosos.
- Transportador neumático: se emplea en el transporte de pequeños trozos en grano y en polvos suspendidos en una corriente de aire a través de un ducto cerrado.
- Elevador de cangilones: es el transporte más eficiente de elevación granular donde una banda o cadena sin fin provista de cangilones y dentro de una caja, eleva el grano.
- Transporte por gravedad: conductos inclinados, abiertos o cerrados de superficie lisa, son utilizados para transporte desde niveles altos a bajos por medio de la fuerza de gravedad si ayuda de equipos neumáticos o mecánicos.

#### 1.2.3.6 Empaque

Inicialmente el producto terminado se hace pasar por tolvas que dirigen el producto hacia el empaque final, que generalmente son sacos de diferentes tamaños de acuerdo a la cantidad establecida de ventas, y posteriormente se cosen los bultos en una cosedora eléctrica.



**Figura 5-1 máquina ensacadora**

Fuente: [www.abc-pack.com](http://www.abc-pack.com)

Las ventajas del uso de sacos:

- Fácil identificación.
- Medición controlada
- Fácil control de inventarios
- Distribución uniforme del producto
- Economía a través de reciclaje.

La utilización de sacos de plástico se ha venido incrementando. Los sacos de fibra son más económicos, pero no pueden ser utilizados en el empaque de harinas por las altas pérdidas que se presentan, su uso es más generalizado para peletizado y crombelizado.

#### *1.2.3.7 Sellado*

El sistema sellador es un mecanismo que se utiliza para unir las partes abiertas de un empaque logrando que el producto dosificado quede protegido, el mismo que está compuesto por diferentes actuadores y el funcionamiento y control de cada actuador es diferente y depende del tipo de producto a sellar.

Entre los principales tipos de sellado tenemos:

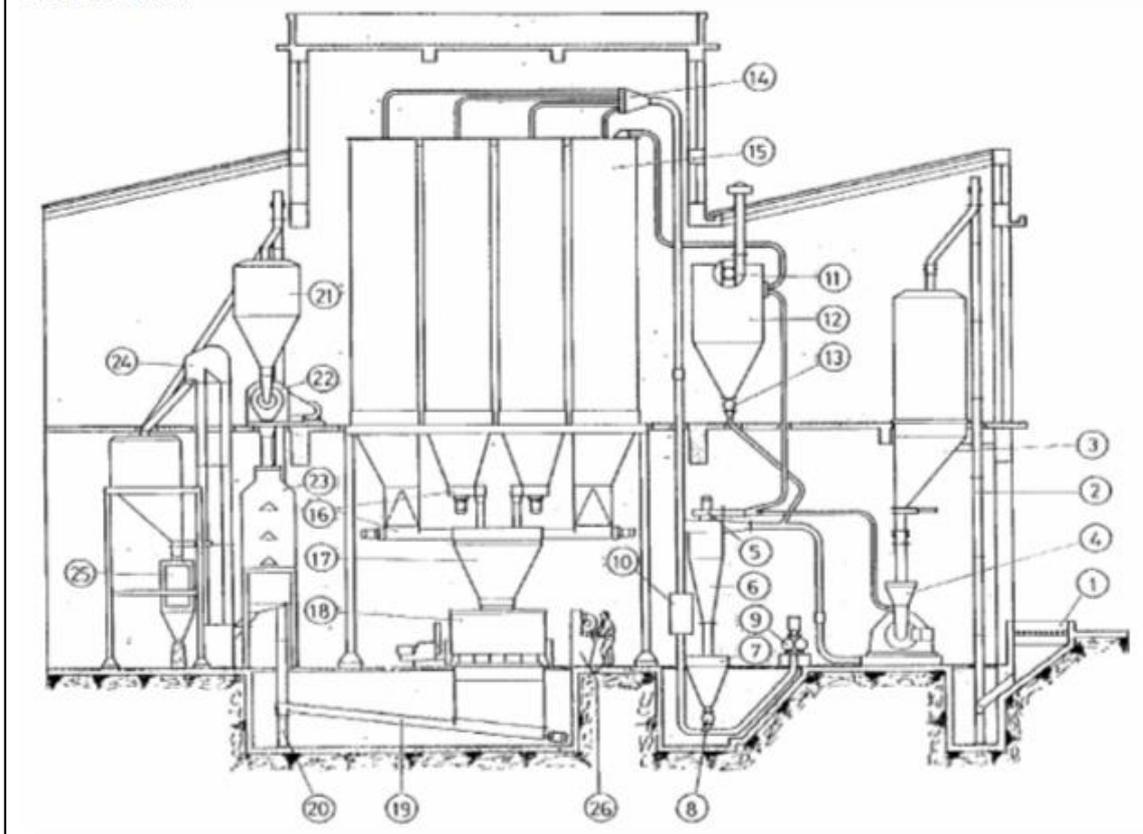
- Sellado por fusión
- Sellado por gas calentado
- Sellado por cosido

#### *1.2.3.8 Pasos a seguir en el ensacado de balanceados*

El proceso de ensacado en la fabricación de un concentrado consta de las siguientes operaciones:

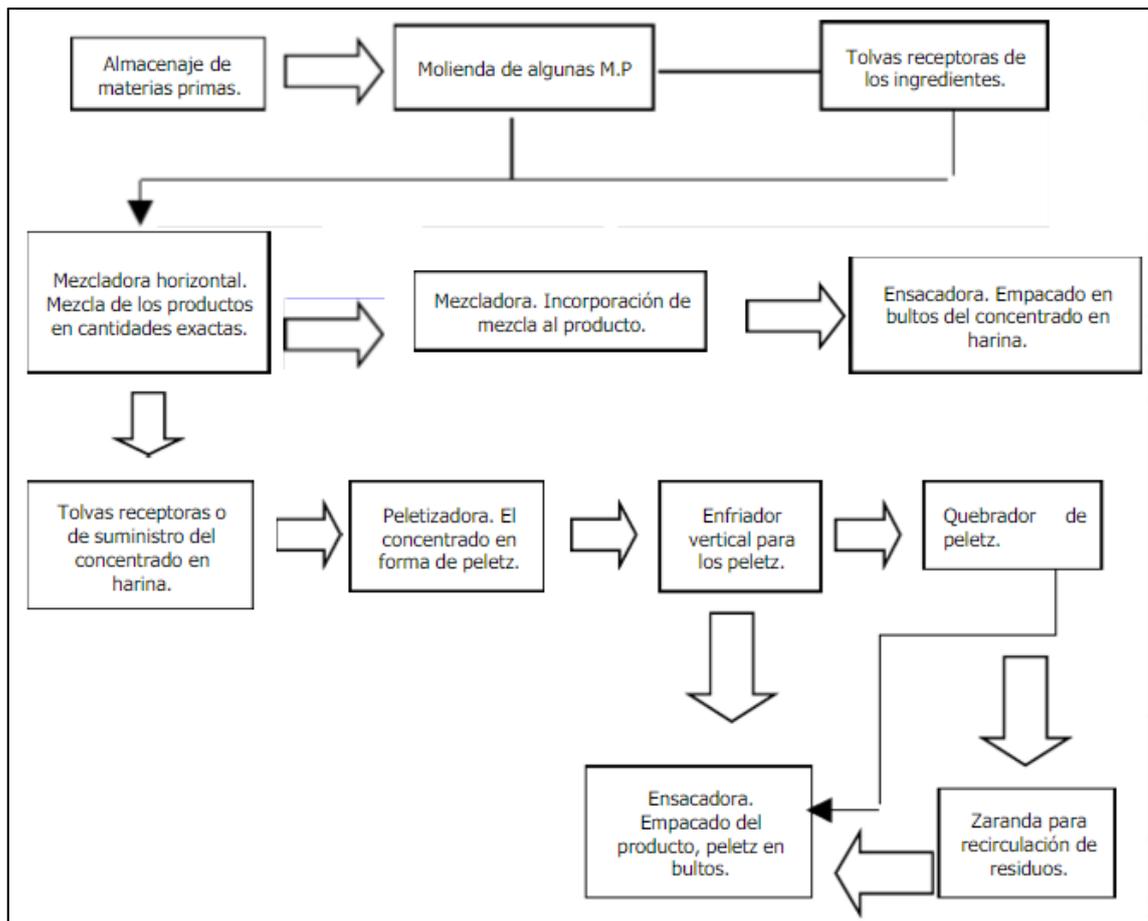
- Colocación del saco de boca abierta en la dosificadora
- Dosificación del producto de acuerdo al sistema
- Pesado del producto de acuerdo a las ventas
- Sellado de la boca del saco puede ser cosido, pegado o térmico.

- |                               |   |
|-------------------------------|---|
| 1. Fosos de recepción         | 14. Distribuidor de revólver                    |
| 2. Elevador de cangilones     | 15. Celdas de ingredientes                      |
| 3. Depósito de almacenamiento | 16. Descargadores de las celdas de ingredientes |
| 4. Molinos trituradores       | 17. Tolva                                       |
| 5. Ventilador                 | 18. Mezcladora                                  |
| 6. Ciclón                     | 19. Tornillo sin fin                            |
| 7. Tolva                      | 20. Elevador de cangilones                      |
| 8. Esclusa                    | 21. Depósito                                    |
| 9. La soplante                | 22. Granuladora                                 |
| 10. Válvula de cruce          | 23. Enfriador                                   |
| 11. Ventilador                | 24. Elevador de cangilones                      |
| 12. Filtro de aire            | 25. Empacadora                                  |
| 13. Esclusa                   | 26. Pupitre de mando                            |



**Figura 6-1 Esquema de una planta de concentrados**

Fuente: ZARTHA J., p. 98



**Figura 7-1 Flujo de una planta de concentrados típica**

Fuente: ZARTHA J., p. 99

### 1.3 Automatización de procesos.

#### 1.3.1 Introducción

La Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas define la automática como “el conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas”. Entonces partiendo de esta definición podemos definir a la automatización como la aplicación de la automática al control de procesos industriales. (Ponsa y Granollers 2009, p. 2).

Además, se puede definir a la automatización como un conjunto de sensores, actuadores y controladores conectados convenientemente por medio de circuitos y bases de comunicación en un determinado proceso para que funcionen con una mínima intervención humana. (González José María 2006, p. 41).

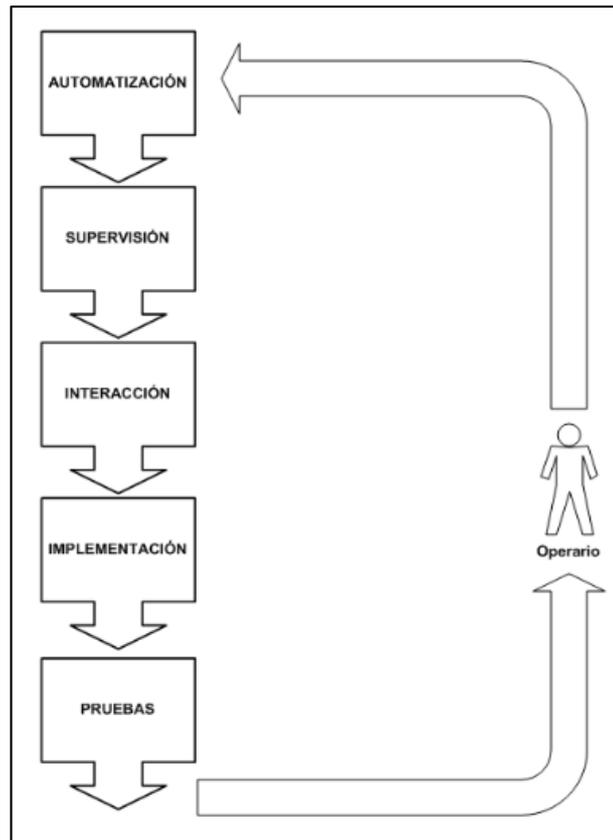
La automatización nos permite: reducir costos de mano de obra, tiempo de producción, un ahorro de materia prima, ahorro de energía eléctrica, mejora la calidad del producto, mejora la calidad y provee de una mayor seguridad para los operarios.

Existen varias técnicas de automatización como pueden ser mecánicas, neumáticas, eléctricas, electrónicas e inclusive una combinación de estas como por ejemplo automatismo electro neumáticos y cada una usa diferentes instrumentos y teorías como podemos observar: (González José María 2006, p. 38)

- Mecánica: herramientas, mecanismos, máquinas, elementos de transporte
- Eléctrica: automatismos eléctricos, motores eléctricos de c.c. y c.a., cableados, circuitos de fuerza y mando.
- Electrónica: controladores analógicos, sensores, pre accionadores, drivers, accionamientos, comunicaciones, telemando-telemetría, comunicación inalámbrica
- Neumática – electro-neumática: cilindros neumáticos, válvulas neumáticas y electro-neumáticas, automatismos neumáticos
- Hidráulica y electro-hidráulica: cilindros hidráulicos, válvulas hidráulicas y electro-hidráulicas, automatismos hidráulicos
- Control e Informática Industrial: controladores de procesos, control por computador, control embebido, autómatas programables, visión artificial, robótica, mecatrónica, control numérico, CAD-CAM, CIM, redes y buses de comunicaciones.

### ***1.3.2 Fases para poner en marcha un proyecto de automatización***

Para llevar a cabo un proceso de automatización es necesario llevar a cabo la siguiente metodología:



**Figura 8 -1 Fases para automatizar un proceso**

Fuente: (Ponsa y Granollers 2009, p. 6)

La figura muestra la secuencia de las fases. El operario o técnico lleva a cabo cada una de las fases, realiza la transición entre las fases.

### 1.3.2.1 Automatización

En esta fase se desarrolla la secuencia de programación o un grafo de estados y transiciones conocido como GRAFCET y la puesta en marcha de automatismos siguiendo los siguientes pasos:

- Observación del proceso a controlar.
- Generación de un GRAFCET de primer nivel en su descripción funcional.
- Selección del automatismo.
- Selección y cableado físico de sensores y actuadores, selección de entradas y salidas del automatismo.
- Generación GRAFCET de segundo nivel con la descripción tecnológica.

Una vez consolidada la fase de automatización se procede a realizar la supervisión (Ponsa y Granollers 2009, p. 7).

### 1.3.2.2 Supervisión

En esta fase se realiza los siguientes pasos:

- Reunir el máximo de especificaciones a priori sobre los estados posibles en las que se pueda encontrar un proceso.
- Definir los módulos o sub-funciones a utilizar y representar gráficamente mediante estados.
- Para cada módulo generar un GRAFCET parcial.
- Los GRAFCET parciales se integran de forma modular y estructurada en un solo GRAFCET general.
- El operario o técnico procede a la supervisión cuando está vigilando la evolución del proceso controlado automáticamente y atento a posible imprevisto.

### 1.3.2.3 Interacción

Se realiza la interacción entre la supervisión humana y el proceso controlado por parte del automatismo. Hay que concretar la intervención del operario mediante el diseño del panel de mando en función de las acciones físicas sobre dispositivos y la recepción de señales informativas visuales. (Ponsa y Granollers 2009, p. 8)

Existe una gran diversidad de dispositivos, que se engloban en lo que se conoce como interfaz persona-máquina (HMI).

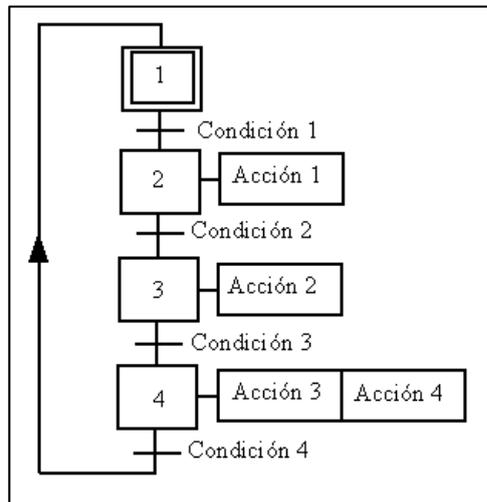


**Figura 9-1 Interacción Hombre-máquina.**

Fuente: (Robotic Integration, Robotics, <http://primeengineering.net/pictures/control-panel/7189192>)

### 1.3.2.4 Implementación

Lo que principalmente se realiza en esta etapa es la selección del lenguaje de programación del automatismo y la traducción del GRAFCET a lenguaje de programación. Es básicamente la programación del autómatas según el modelo y marca para la elección del correcto software de programación.



**Figura 10-1 Lenguaje GRAFCET**

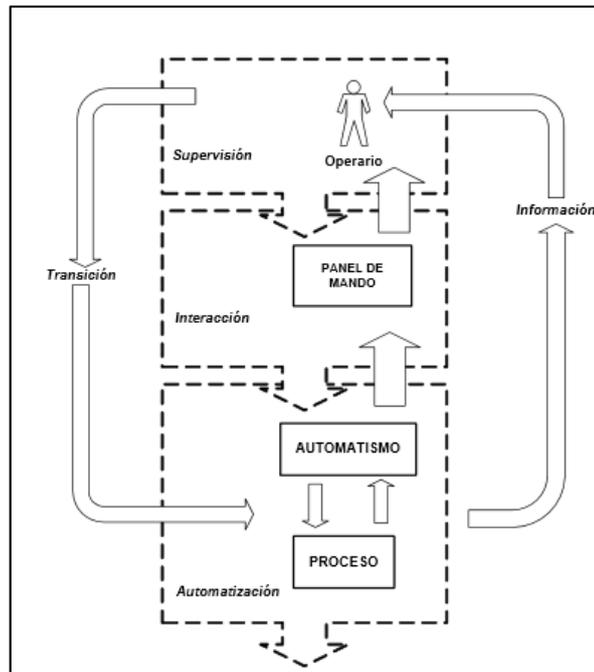
Fuente: (GRAFCET, <https://es.wikipedia.org/wiki/GRAFCET>)

La Figura 10-1 muestra la implementación de una secuencia en representación GRAFCET que posteriormente puede ser cambiando a lenguaje ladder o a lenguaje de instrucciones para la programación del autómeta.

#### 1.3.2.5 Pruebas

El operario procede a verificar el algoritmo, vigilar la evolución del proceso e interactuar con el proceso controlado mediante el panel de mando e incluso emular situaciones de emergencias para analizar cómo responde el sistema automatizado ante la implementación del algoritmo. (Ponsa y Granollers 2009, p. 11).

Después de acabar las fases para implementar un proceso automatizado se puede observar la función del operario dentro del nuevo sistema automatizado, como se puede observar en la siguiente figura:



**Figura 11-1 Función de un operario**  
Fuente: (Ponsa y Granollers 2009, p. 12)

En la figura 11-1 se puede observar que el operario es el encargado de la supervisión y de la interacción con el panel de control por medio de una interface que permita su comunicación con el proceso. La fase de automatización va a estar conformada tanto por el automatismo como del proceso en sí, y éste dará la información al automatismo y al operario para posibles mandos y manipulaciones para el correcto funcionamiento del proceso.

## 1.4 Sistemas eléctricos y electrónicos

### 1.4.1 Introducción

Los sistemas eléctricos y electrónicos son tan comunes hoy en día en la industria y en la implementación de un sin número de aplicaciones ya sea en la automatización de procesos y de maquinaria. Un sistema eléctrico y electrónico está formado por varios componentes en los que se pueden nombrar los sensores, actuadores, elementos de mando, elementos de control, elementos de seguridad y autómatas programables.

### 1.4.2 Transductores y sensores

Se denomina transductor a todo dispositivo que convierte una señal de una forma física en una señal correspondiente pero de otra forma física distinta. Dado que hay seis tipos de señales: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y químicas, cualquier dispositivo que

convierta una señal de un tipo en una señal de otro tipo debería ser considerado un transductor, y la señal de salida podría ser de cualquier forma física útil.

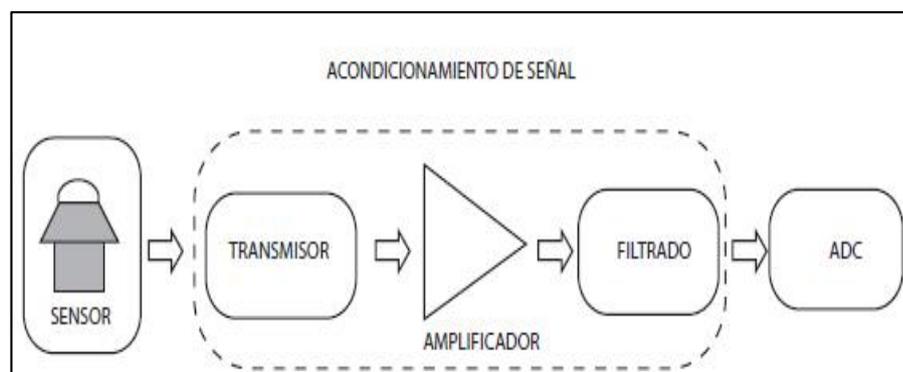
Un sensor es un dispositivo que a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida que es función de la variable medida. (Areny 2004, p. 3).

En la actualidad se emplea el procesamiento y acondicionamiento electrónico por lo que es casi necesario que las magnitudes de salida de los sensores sean de tipo eléctricas, ya sea que nos suministren una corriente o un diferencial de voltaje correspondiente a la variación del parámetro medido.

Actualmente se confunde el término transductor y sensor y se los toma como sinónimos siendo la correspondencia adecuada como: sensor actualmente se relaciona como un transductor de entrada y el término actuador es utilizado para designar a un transductor de salida.

#### 1.4.2.1 Acondicionamiento y presentación.

Los acondicionadores de señal, adaptadores o amplificadores, en sentido amplio son los elementos del sistema de medida que ofrecen, a partir de la señal de salida de un sensor electrónico, una señal apta para ser presentada o que permita un procesamiento posterior mediante un equipo o instrumento estándar. Consisten normalmente en circuitos electrónicos que ofrecen entre otras funciones las siguientes: amplificación, filtrado, adaptación de impedancia y modulación o demodulación. (Areny 2004, p. 5)



**Figura 12-1 Acondicionador de señal**

Fuente: (Herrera et al. 2006, <http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php>)

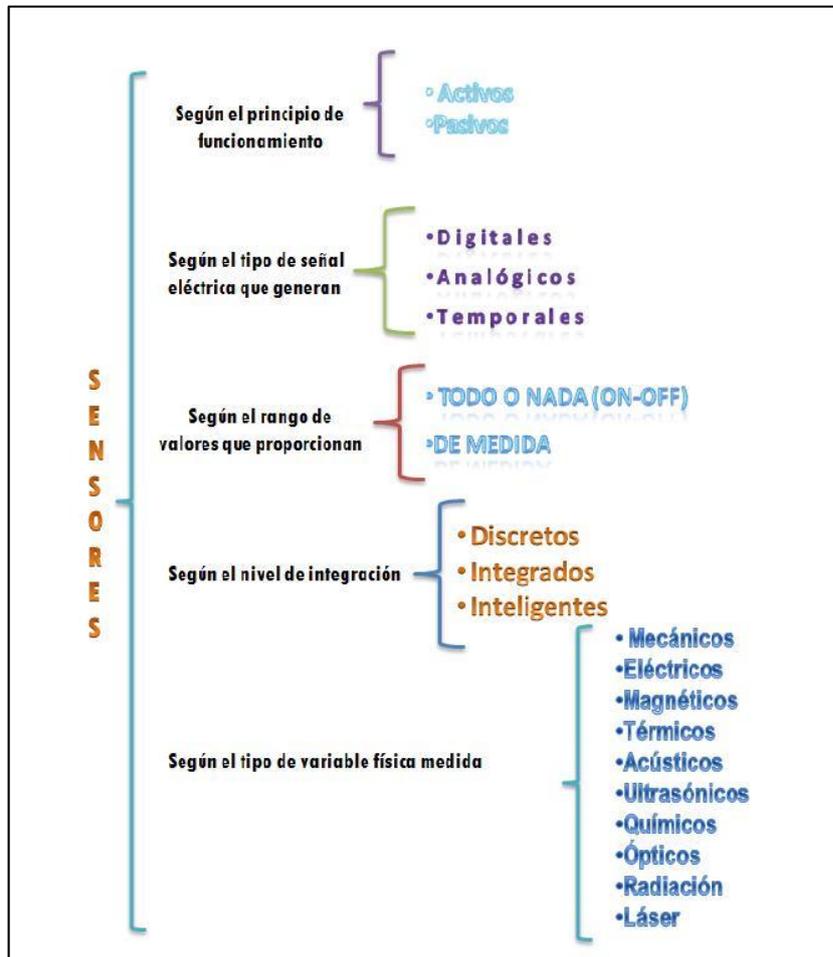
Según (Gonzales Avid Roman, p. 27), los acondicionadores se pueden clasificar en:

- Cambios en niveles de señal
  - Amplificación
  - Atenuación
  - Eliminación de offset

- Linealización
- Interface digital
  - Multiplexores
  - Muestreo y mantenimiento
  - Conversión A/D
  - Conversión D/A
- Filtrado y ajuste de impedancia.
- Conversiones de señales
  - Conversión corriente / presión
  - Puente de Wheanstone
- Transmisión de señal
  - Conversión tensión / corriente
  - Conversión corriente / tensión
  - Conversión tensión / frecuencia
  - Modulación

#### *1.4.2.2 Clasificación*

Es complicado poder tener una clasificación exacta y única para los sensores debido a la gran cantidad y características que poseen cada uno de ellos por lo que se les puede agrupar en ciertos grupos que se identifican de mejor manera como se observa en la figura 13-1.



**Figura 13-1 Clasificación de los sensores**

Fuente: (SENSORES, <http://thelastlabproject.blogspot.com/2010/12/clasificacion-de-los-sensores.html>)

Se puede realizar una clasificación sencilla de los sensores como **ACTIVOS** y **PASIVOS**; los sensores activos pueden generar la señal sin la necesidad de una fuente de alimentación, mientras que los pasivos necesitan de una fuente de alimentación para poder efectuar su función. (Jesús 2010)

Además, por su manufactura se pueden clasificar en:

- Sensores mecánicos
- Sensores eléctricos
- Sensores magnéticos
- Sensores térmicos
- Otros tipos.

#### 1.4.2.3 Sensores de Peso

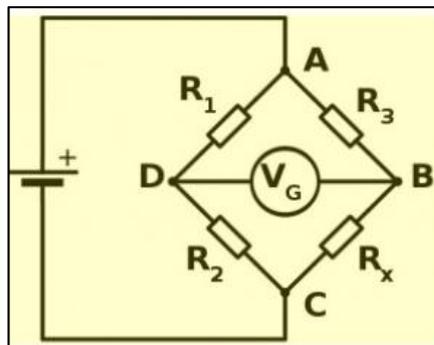
Es un transductor que convierte una fuerza en una señal eléctrica. Es un dispositivo mecánico compuesto por una distribución de galgas (medidores de deformación) que por medio de la

deformación que ocurren en estos se obtiene una señal eléctrica correspondientes a la fuerza ejercida.

a) Funcionamiento

Convierten la carga que actúa sobre ellos en señales eléctricas. La medición la realiza con pequeños patrones de resistencias que son usados como indicadores de tensión con eficiencia. Los medidores están unidos a una viga o elemento estructural de tensión. Cuando se deforma el medidor de deformación la resistencia cambia en proporción a la carga.

Esto se logra por medio de un puente de Wheatstone, el cual es una combinación de elementos formando un puente que sirve para medir resistencias desconocidas mediante el equilibrio del puente.



**Figura 14-1** Puente de Wheatstone

Fuente: <http://5hertz.com/tutoriales/wp-content/uploads/2014/04/1celda.jpg>

b) Clasificación

Dentro de las celdas de carga basadas en las galgas extensiométricas también existen distintos tipos, diferenciándose en forma, tamaño y la forma en la que realiza la medida. (Bellini 2009, p. 4).

- Celdas de carga de compresión: miden su compresión con una excelente estabilidad a largo plazo. Son construidas en acero inoxidable para asegurar la fiabilidad en entornos industriales.



**Figura 15-1** Celda de carga de compresión

Fuente: (Bellini 2009, p. 5)

- Celdas de carga de tensión y compresión: miden tanto la tensión como la compresión, de acero inoxidable, son pequeñas y de alta precisión.



**Figura 16-1 Celda de tensión y compresión**

Fuente: (Bellini 2009, p. 5)

- Celdas de carga con viga en forma de S: pueden proporcionar una salida de acuerdo con la tensión o la compresión aplicada y ofrecen rechazo de carga lateral superior.



**Figura 17-1 Celda en forma de S**

Fuente: (Bellini 2009, p. 5)

- Celdas de carga de flexión de viga.



**Figura 18-1 Celda de flexión de viga**

Fuente: (Bellini 2009, p. 5)

- Celdas de carga de un solo punto.



**Figura 19-1 Celda de un solo punto.**

Fuente: (Bellini 2009, p. 5)

### **1.4.3 Actuadores**

Exente una gran variedad de actuadores eléctricos que se pueden adaptar a las necesidades y requerimientos de cualquier proceso entre los cuales podemos nombrar: relés, solenoides, motores CC, motores AC, motores paso a paso, servomotor, etc.

#### *1.4.3.1 Motores de corriente continua.*

Los motores de corriente continua poseen las siguientes características:

- Alimentación con corriente continua
- Devanado inducido en el rotor
- Muy versátiles
- Fácil inversión del sentido de giro
- Amplio rango de velocidades
- Control preciso de velocidad y posición
- Posibilidad de frenado regenerativo
- Baja inercia/baja inductancia
- Necesidad de conmutación.

Los tipos de motores de corriente continua pueden ser:

- Según su conexión del devanado de excitación en serie, derivación, compuesto, independientes
- De imán permanente en el estator (tiene escobillas)
- Motores Brushless (conmutación electrónica, necesitan un sensor de posición angular, imán permanente en el rotor). (Gonzales Avid Roman, p. 28)

#### *1.4.3.2 Motores de corriente alterna.*

Los motores de corriente alterna poseen las siguientes características:

- Alimentación con corriente alterna (monofásica o trifásica)
- Sin escobillas
- Tradicionalmente para velocidad constante
- Variadores de velocidad variable
- El más común es el motor de inducción de jaula de ardilla
- Devanado inducido en el rotor y el inductor en el estator
- Campo magnético rotativo (velocidad de sincronismo depende del número de polos y de la frecuencia de la alimentación)
- Velocidad de giro menor a la velocidad de sincronismo (motor asíncrono)

- El monofásico necesita un devanado auxiliar para arranque. (Gonzales Avid Roman, p. 28)

#### 1.4.3.3 Motores paso a paso.

Son dispositivos ideales para implementar mecanismos que necesitan una gran precisión en los movimientos, se los pueden mover un paso a la vez por cada pulso que se aplique. Estos motores pueden quedar enclavados en una posición. Los pulsos se pueden determinar por un determinado ángulo que pueden variar desde 90° hasta tan sólo 1.8°.

#### 1.4.4 Elementos eléctricos.

Se definen los siguientes elementos que se pueden observar dentro de en un sistema de control eléctrico:

##### 1.4.4.1 Elementos de mando.

Para poder dar paso a la corriente eléctrica y alimentar a un circuito u otro, necesitamos de elementos que nos permitan dirigir estas maniobras. (Menéndez 2006, p. 108).



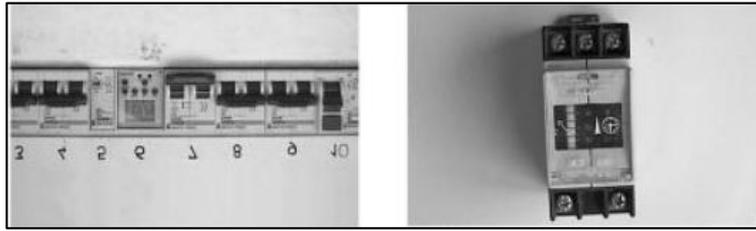
**Figura 20 -1 Elementos de mando.**

Fuente: (Menéndez 2006, p. 108)

- Interruptores: son dispositivos que abren o cierran un circuito de forma permanente. Al accionarlo hacemos que varíe su posición.
- Pulsadores: son dispositivos que cuando se oprimen permiten el paso de la corriente eléctrica y cuando se dejan de oprimir vuelve a su posición inicial e interrumpen el paso de la corriente.
- Conmutadores: es un interruptor doble que actúa sobre dos circuitos.

##### 1.4.4.2 Elementos de control.

Son llamados genéricamente interruptores de posición, funcionan como dispositivos de seguridad y se colocan en aquellos puntos críticos de la máquina donde, si son activados por algún mecanismo u operador móvil inician alguna función. Estos interruptores son sensores que se activan de muy diversas maneras. (Menéndez 2006, p. 109)



**Figura 21 -1 Elementos de mando.**

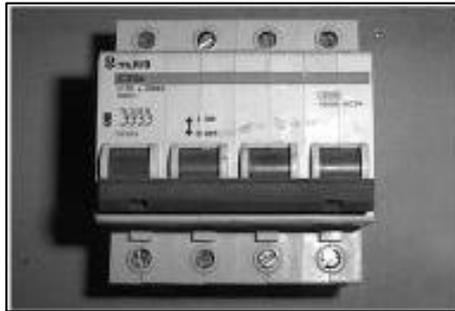
Fuente: (Menéndez 2006, p. 108)

- Interruptores de movimiento
- Interruptores de presión
- Interruptores magnéticos
- Interruptores ópticos

#### 1.4.4.3 Elementos de protección.

Los elementos de protección protegen a las personas y los que protegen a las máquinas.

- Protección de aparatos: fusible, relé magnético, relé térmico, relé magneto térmico.
- Protección de personas: diferencial.



**Figura 22-1 Elemento de protección.**

Fuente: (Menéndez 2006, p. 108)

- Fusible: es un dispositivo que tiene una resistencia casi despreciable y que se utiliza como protección a sobrecargas elevadas o durante un tiempo largo o cortocircuitos.
- Relé magnético: protege ante la posibilidad de que se presente un cortocircuito. La intensidad excesiva que circula debido al cortocircuito actúa por acción electromagnética sobre un núcleo de hierro, haciendo que este atraiga hacia él unos contactos cuya misión principal es la de abrir el circuito.
- Relé térmico: protege de sobrecargas. Produce un calentamiento del dispositivo, actuando sobre una placa bimetálica y haciéndole que esta se doble, accionando una serie de contactos.
- Relé magnetotérmico: engloba las propiedades del relé magnético y del relé térmico.

- Interruptor diferencial: es un dispositivo que protege ante la posibilidad de que se presente una intensidad de defecto. Los hilos conductores activos mantienen unas intensidades de corriente iguales, pero al existir una derivación en el circuito, la corriente de salida es menor que la de entrada y esa diferencia existente es la que activa al dispositivo. (Menéndez 2006, p. 112)

#### **1.4.5 Sistemas y tipos de control**

##### *1.4.5.1 Generalidades de un Sistema de Control*

Un sistema de control puede ser representado gráficamente por un diagrama de bloques, tales diagramas de bloques indican la interrelación existente entre los distintos componentes del sistema.

##### *1.4.5.2 Elementos de un sistema de control automático*

Este sistema de control va a actuar independiente del operario y va a determinar por sí mismo los mejores valores para las señales de control.

- **CONTROLADOR:** Es aquel instrumento que compara el valor medido con el valor deseado, en base a esta comparación calcula un error (diferencia entre valor medido y deseado), para luego actuar a fin de corregir este error. Tiene por objetivo elaborar la señal de control que permita que la variable controlada corresponda a la señal de referencia.
- **ACTUADOR:** Es aquel equipo que sirve para regular la variable de control y ejecutar la acción de control, es conocido como elemento final de control.
- **PROCESO:** Esta referido al equipo que va a ser automatizado, por ejemplo puede ser una bomba, tolva, tanque, compresor, molino, intercambiador de calor, horno, secador, chancadora, caldera, etc.
- **SENSOR:** Es un elemento de medición de parámetros o variables del proceso.

##### *1.4.5.3 Métodos de control clásico*

Los métodos de control clásico son aquellos que esperan a que se produzca un error para luego realizar una acción correctiva. El error se presenta a causa de la diferencia de lectura entre la variable de salida sensada y la señal de referencia, este error está presente en todo momento, y la finalidad es minimizarlo.

Los métodos de control clásico pueden ser:

- **CONTROL ON-OFF:** Este método solo acepta dos posiciones para el actuador: encendido (100%) y apagado (0%). La lógica de funcionamiento es tener un punto de referencia, si la variable es mayor el actuador asume una posición, y si la variable es menor el actuador asume la otra posición.
- **CONTROLADOR PROPORCIONAL (P):** Es un control que se basa en la ganancia aplicada al sistema, se basa en el principio de que la respuesta del controlador deber ser proporcional a la magnitud del error. No corrige ni elimina perturbaciones, puede atenuar o aumentar la señal de error. Se representa a través del parámetro  $K_p$  y define la fuerza o potencia con que el controlador reacciona frente a un error.
- **CONTROLADOR INTEGRAL (I):** Conocido como RESET. Este tipo de controlador anula errores y corrige perturbaciones, mediante la búsqueda de la señal de referencia, necesita de un tiempo  $T_i$  para localizar dicha señal. Se representa mediante el término  $K_i$  que es el coeficiente de acción integral y es igual a  $1/T_i$ .
- **CONTROLADOR DERIVATIVO (D):** Conocido como RATE. Este controlador por sí solo no es utilizado, necesita estar junto al proporcional y al integral. Sirve para darle rapidez o aceleración a la acción de control. Necesita de una diferencia de tiempo  $T_d$  para alcanzar la señal de referencia, se representa mediante el término  $K_d$  que es el coeficiente de acción derivativa y es igual a  $1/T_d$ .
- **CONTROLADOR PROPORCIONAL-INTEGRAL (PI):** Actúa en forma rápida, tiene una ganancia y corrige el error, no experimenta un offset en estado estacionario. La aplicación típica es en el control de temperatura.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_N \cdot s} \right)$$

- **CONTROLADOR PROPORCIONAL-DERIVATIVO (PD):** Es estable, y reduce los retardos, es decir es más rápido. Es usado típicamente para el control de flujo de minerales.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_V \cdot s)$$

El control derivativo mide la pendiente instantánea de  $e(t)$ , prediciendo que tan grande será el sobre impulso aplicando las correcciones apropiadas antes de que se presente ese sobre impulso. Donde  $T_V$  se denomina duración predicha.

- **CONTROLADOR PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO (PID):** Este controlador es el más completo y complejo, tiene una respuesta más rápida y estable siempre que esté bien sintonizado.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_N \cdot s} + T_V \cdot s \right)$$

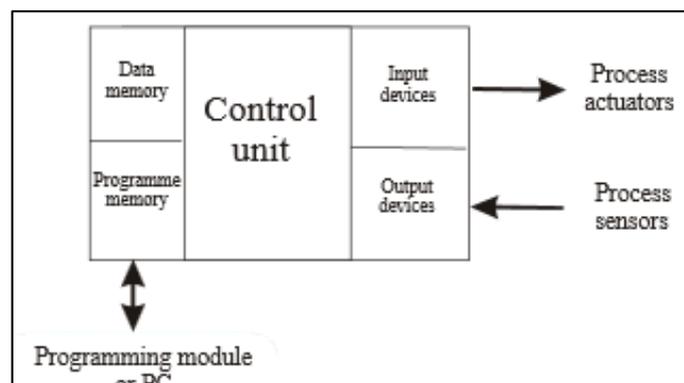
#### 1.4.6 Controlador lógico programable.

Un controlador lógico programable (según IEC 61131) es una máquina electrónica programable diseñada para ser utilizada en un entorno industrial (hostil), que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para implantar soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuenciales, temporizaciones, recuentos y funciones aritméticas, con el fin de controlar mediante entradas y salidas, digitales y analógicas diversos tipos de máquinas o procesos.

El Control Lógico Programable, o PLC como es llamado universalmente. Es usado para controlar tiempo y regular la secuencia. El control lógico ha sido usado para controlar secuencias de acciones en sistemas de manufactura automático por muchos años.

Los PLC's tienen cuatro unidades principales:

1. La Memoria Programable.
2. La Memoria de Datos.
3. Los dispositivos de salida.
4. Los dispositivos de entrada.



**Figura 23 -1 Unidades del PLC**

Fuente: (Cisneros y Vernon, p. 2)

##### 1.4.6.1 Funciones del PLC.

Procesa señales binarias de entrada y las convierte en señales de salida, en función de reglas programadas; con éstas se pueden controlar directamente secuencias mecánicas, procesos industriales totales o parciales. Los posibles campos de aplicación son casi innumerables, entre los cuales principalmente se encuentran:

- Control de procesos
- Visualización de instalaciones

- Control de puesta a punto para máquinas CNC

#### 1.4.6.2 Comparación entre control por PLC y por relevadores.

Como se puede observar en la siguiente tabla, existen grandes diferencias entre estas dos tecnologías de control.

**Tabla 1-1** Comparación entre control por PLC y por relevadores.

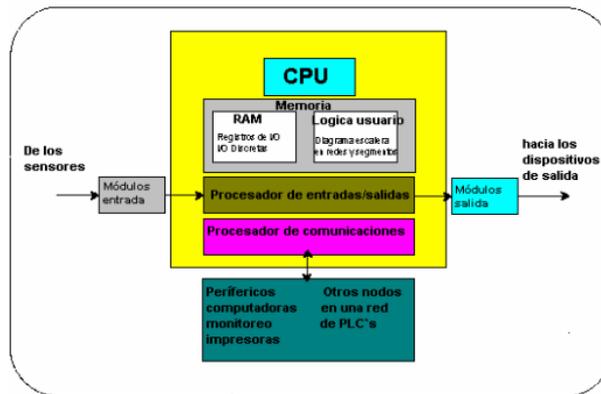
Características de los PLC	Características de los relevadores
Secuencia almacenada en memoria vía programa	Secuencia lógica vía alambrado de los relevadores
Menos puntos de conexión, únicamente se necesitan las señales de campo.	Muchos puntos de conexión para alambrear la lógica
Ingeniería eléctrica simplificada, no se necesita diagramas de control esquemático demasiado largos (reemplazados por el programa del PLC).	Mayor esfuerzo en la ingeniería eléctrica es necesario.
La conexión requerida está simplificada, menos cables y elementos para alambrear	El trabajo de conexión necesario entre los elementos es mayor.
El arranque del sistema es más rápido porque existen menos puntos de conexión y existe la posibilidad de checar por computadora las conexiones	Checar las conexiones consume demasiado tiempo en el arranque del sistema.
Los cambios en la secuencia son hechos por software, implementándolos más rápida y fácilmente.	Los cambios a la secuencia consumen tiempo debido a los cambios en el alambrado de los elementos.
Existen variedad de módulos de entrada y salida, en diferentes voltajes, discretos y analógicos, integrados en un solo sistema.	Diferentes voltajes de campo implican diferentes voltajes de relevadores y las señales analógicas son difíciles de integrar.
La opción de entradas y salidas remotas, permite al PLC controlar dispositivos en áreas remotas a través de únicamente un cable de comunicación disminuyendo los costos de alambrado.	Las señales de campo necesitan ser alambradas a un tablero de control principal
Integración total del control de funciones matemáticas, secuencia, temporizadores, contadores, posicionadores, señales de temperatura, presión, flujo, nivel, etc., todas en un solo sistema	Tal integración no es posible.
Debido a los completos diagnósticos y comunicación con sistemas de cómputo, los problemas son encontrados y solucionados más rápidamente para ayudar al sistema a seguir en operación.	La detección de fallas consume demasiado tiempo porque implica checar en el alambrado muchas conexiones.
Los indicadores visuales de los módulos del PLC, E permiten verificar las señales de campo muy rápidamente.	No hay indicación visual.
El sistema es más fácil de mantener, menos dispositivos eléctricos y puntos de conexión significan menos oportunidades de falla.	Más puntos potenciales de falla
El sistema con PLC es más confiable, porque sus Los contactos del relevador elementos prácticamente no tienen desgaste	Los contactos del relevador
Debido a que es un dispositivo electrónico, la Integración a sistemas de cómputo está garantizada.	No existe la integración a sistemas de cómputo

Fuente: (García González 2004, p. 22)

#### 1.4.6.3 Arquitectura del PLC.

El PLC se presenta como un conjunto de partes funcionales que se articulan alrededor de un canal de comunicación llamado bus interno. Generalmente cada bloque está físicamente constituido por un módulo específico. Esta organización modular permite una gran flexibilidad

de configuración para las necesidades del usuario, así como un diagnóstico y mantenimiento más fáciles. (García González 2004, p. 25).



**Figura 24-1 Arquitectura del PLC**

Fuente: (García González 2004, p. 27)

#### 1.4.6.4 Programación de autómatas.

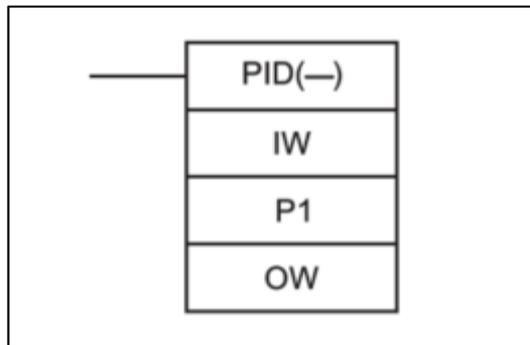
Un lenguaje de programación para un autómata programable es aquel conjunto de elementos perfectamente inteligibles para el equipo de programación del PLC, con el cual el programador codifica aquellas leyes de control que quiere implementar sobre un determinado PLC.

Los lenguajes de programación pueden ser de dos tipos, dependiendo de la forma que el programador genera el programa (Peña 2003, p. 74):

1. Lenguajes algebraicos
  - a. Lenguajes booleanos.
  - b. Lista de instrucciones.
  - c. Lenguajes de alto nivel.
2. Lenguajes gráficos.
  - a. Diagrama de contactos.
  - b. Diagrama de funciones.
  - c. Intérprete de GRAFCET.

#### 1.4.6.5 Control PID y su aplicación en la automatización

Existen otras posibilidades de realizar un control PID, como por ejemplo desde un PLC, utilizando módulos de entrada y salida analógicas se realiza el cálculo del PID digital a través de instrucciones de cálculo incorporadas en el PLC.



**Figura 25-1 Instrucción PID en un PLC**

Fuente: (Angulo y Raya 2004, p. 84)

En esta ilustración se aprecia la instrucción PID que utilizan la mayoría de PLC en donde:

- IW es el canal o registro donde se encuentra el dato de entrada del PID, es decir, la variable de proceso PV.
- OW es el canal o registro donde el PID devuelve el dato de control de salida es decir la señal de control CO.
- PI es el canal o registro inicial de un total de 33 canales contiguos con los que se configuran los parámetros del PID.

Los controladores PID se muestran robustos en muchas aplicaciones industriales ya que la estructura de un controlador PID es simple, pero su simpleza también es su debilidad, ya que se tratarán sistemas de una entrada y una salida (SISO), de un grado de libertad. Hoy en día, a pesar de la abundancia de sofisticadas herramientas y métodos avanzados de control, el controlador PID es aún el más ampliamente utilizado en la industria moderna, controlando más del 95% de los procesos industriales en lazo cerrado.

Debido a su difundido uso en la práctica, se puede utilizar varios métodos de ajuste empírico de controladores PID, basados en mediciones realizadas sobre la planta real. Estos métodos, referidos como clásicos, comenzaron a usarse alrededor de 1950. Hoy en día, es preferible para el diseñador de un PID usar técnicas basadas en modelo.

Los PLCs son una forma habitual de implementar controladores PID en la industria, un PID se implementa en un algoritmo parte del programa del PLC, y está generalmente disponible como parte de una librería de algoritmos. La forma del PID implementada depende de la marca y modelo de PLC. Algunas de marcas que implementan controladores PID:

- ABB
- Allen-Bradley
- Honeywell

- Rockwell
- Schneider
- Siemens
- Etc.

#### *1.4.6.6 PID Industriales*

Un controlador PID industrial es un módulo electrónico basado en la teoría para ejecutar este tipo de control, basados en un procesador, registros de valores internos y bornes de entrada y salida de señales, esto permite su utilización de manera directa, sólo bastando la configuración de los parámetros teóricos y referenciales. Su funcionamiento se da cuando la magnitud regulada es leída y cuantificada en intervalos de tiempo discretos, la operación PID es realizada por un algoritmo que está disponible en un procesador, y en cada punto de lectura se calcula una igualdad diferencial. Las partes P, I, D pueden ser ajustadas de forma independiente y por último el valor calculado es conectado al tramo de regulación después de pasar por un convertidor digital-analógico.

#### *1.4.6.7 HMI*

Una HMI (Human Machine Interface), es un dispositivo o sistema que permite la interfaz entre personas y máquinas. Tradicionalmente estos sistemas consisten en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la máquina o proceso, de manera virtual que están desarrollados sobre pantallas programadas; en general las HMI poseen puertos de comunicación, que permiten una conexión más sencilla y económica con los procesos o máquinas.

Las HMI son Terminal de Operador, generalmente construido para ser instalado en ambientes agresivos, con el fin de generar despliegues numéricos, o alfanuméricos o gráficos. Poseen además pantalla táctil (touch screen). Los HMI poseen softwares de modo de cumplir la función lógica de supervisión y control. Estos softwares permiten entre otras cosas las siguientes funciones: interfaces gráficas de modo de poder ver el proceso e interactuar con él, registro en tiempo real e histórico de datos, manejo de alarmas, también es normal que dispongan de otras herramientas. Al igual que en los terminales de operador, se requiere de una herramienta de diseño o desarrollo, la cual se usa para configurar la aplicación deseada, y luego debe quedar corriendo en el HMI un software de ejecución (Run Time). Por otro lado, este software puede comunicarse directamente con los dispositivos externos.



**Figura 261-1 HMI Siemens**

Fuente: (<https://www.industry.siemens.com>)

## 1.5 Sistemas neumáticos.

El aire comprimido presenta muchas aplicaciones, que van desde muy finas y precisas, tal como el aire a baja presión para comprobar la presión del fluido en el ojo humano, la multiplicidad de movimientos lineales y rotativos en máquinas con procesos robóticos, hasta ejercer enormes fuerzas necesarias en prensas neumáticas y martillos neumáticos. (Hernández, p. 4)

A continuación se muestra una breve lista de la versatilidad y variedad del control neumático en la industria.

- Accionamiento de válvulas para aire o agua
- Accionamiento de puertas pesadas o calientes
- Elevación y movimiento en máquinas de moldeo
- Sujeción para soldadura fuerte y normal
- Accionamiento de cuchillas de guillotina
- Transportadores de componentes y materiales
- Manipuladores neumáticos
- Tornos de dentista

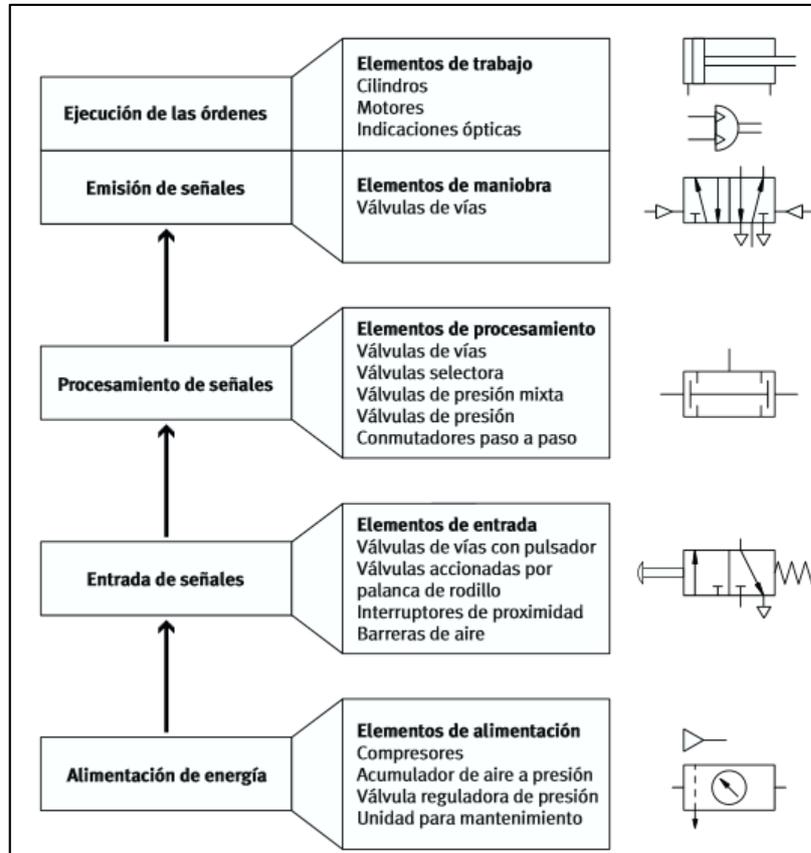
### 1.5.1.1 Aire comprimido.

El aire comprimido posee varias características que lo hacen tan utilizado en las industrias y en cualquier aplicación de automatización como lo son:

- Disponibilidad
- Almacenamiento
- Simplicidad de diseño y control
- Elección del movimiento

- Economía
- Confiabilidad
- Seguridad

### 1.5.1.2 Componentes de un circuito neumático.



**Figura 27 -1 Componentes de un sistema neumático.**

Fuente: (Bueno A, [http://portaleso.com/usuarios/Toni/web\\_neumatica/neumatica\\_indice.html#elementosbasicos](http://portaleso.com/usuarios/Toni/web_neumatica/neumatica_indice.html#elementosbasicos))

Todo circuito neumático está compuesto por una serie de elementos básicos:

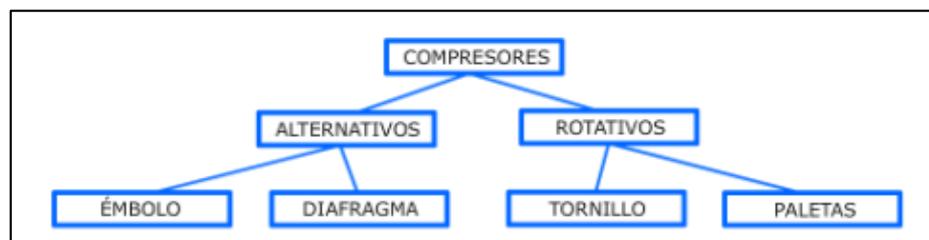
- El compresor, es el dispositivo que comprime el aire de la atmósfera hasta que alcanza la presión de funcionamiento de la instalación.
- El acumulador, es un tanque o depósito donde se almacena el aire para su posterior utilización.
- Dispositivos de mantenimiento que se encargan de acondicionar al aire comprimido, protegiendo el circuito para que la instalación neumática pueda funcionar sin averías durante mucho tiempo.
- Las tuberías y los conductos, a través de los que se canaliza el aire para que llegue a los distintos elementos del circuito.

- Los elementos de mando y control, son válvulas que se encargan de controlar el funcionamiento del circuito neumático, permitiendo, interrumpiendo o desviando el paso del aire comprimido según las condiciones de funcionamiento del circuito.
- Los actuadores, como cilindros y motores neumáticos, que son los encargados de utilizar el aire comprimido, transformando la presión del aire en trabajo útil. (Neumática Alumnos, p.4).

### 1.5.1.3 Producción y distribución del aire comprimido.

Intervienen varios componentes para la producción y distribución del aire comprimido.

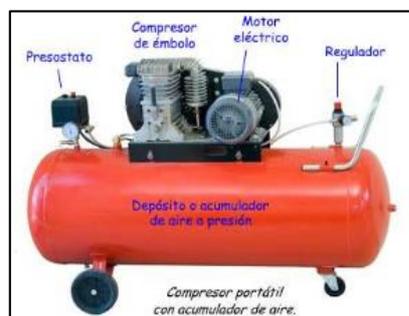
1. Compresor neumático: es el encargado de generar el aire comprimido. Son motores eléctricos o de combustión que aspiran el aire de la atmósfera y lo comprimen a presiones altas. Según el movimiento del motor éstos pueden ser:



**Figura 28 -1 Tipos de compresores.**

Fuente: Fuente: (Antonio Bueno, producción)

2. Depósito o acumulador: es el encargado de almacenar el aire comprimido que es generado por el compresor. El compresor sólo se acciona cuando la presión en el depósito sea baja. Están compuestos por accesorios como lo son el preóstato (sensor de presión), válvula de seguridad, regulador.



**Figura 29-1 Depósito de un compresor.**

Fuente: (Antonio Bueno, producción)

3. Unidad de mantenimiento: sirve para preparar al aire antes de ingresar al circuito, está compuesto por 3 elementos: filtro, regulador de presión con manómetro y lubricador.



**Figura 30-1 Unidad de mantenimiento.**

Fuente: (Antonio Bueno, producción)

4. Red de distribución: es el conjunto de conductos que distribuyen el aire comprimido a toda la instalación, pueden ser metálicas, tubos de polietileno o mangueras de gomas.

#### 1.5.1.4 Elementos de control

Las válvulas son las encargadas de controlar el paso y la distribución del aire comprimido hacia los actuadores.

- Válvulas distribuidoras.

Permiten activar o parar un circuito neumático. Su función es dirigir adecuadamente el aire comprimido para que tenga lugar el avance y retroceso de los actuadores neumáticos.



**Figura 31-1 Electroválvula**

Fuente: (Antonio Bueno, válvulas)

- Válvula reguladora de caudal.

Permiten inyectar mayor o menor cantidad de aire a algún componente neumático.



**Figura 32-1 Válvula reguladora de caudal.**

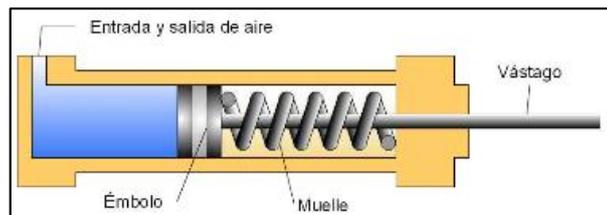
Fuente: (Antonio Bueno, válvulas)

#### 1.5.1.5 Actuadores neumáticos.

- Cilindros neumáticos.

El cilindro neumático puede definirse como el actuador principal del mecanismo. Este dispositivo en esencia representa el golpe que aplica el jugador al practicar la carambola. Existen una enorme cantidad de cilindros neumáticos (Hernández, p. 7).

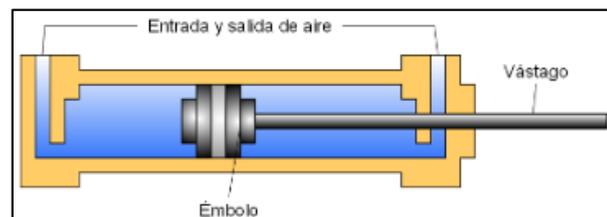
- Cilindro de simple efecto: Es aquel que realiza un trabajo en un solo sentido. La presión desplaza al émbolo o pistón que retrocede por una fuerza externa o un muelle.



**Figura 332-1 Cilindro de simple efecto**

Fuente: (Antonio Bueno, actuadores)

- Cilindro de doble efecto: Es aquel que puede realizar trabajo en ambos sentidos. En este caso, el émbolo o pistón delimita ambas cámaras independientes. El avance o retroceso del pistón, y por tanto del vástago, se produce por la presión que ejerce el aire en cualquiera de las dos caras del pistón. Para que el pistón se pueda mover, es necesario que entre aire a una de las cámaras y que, por la otra, salga a la atmósfera



**Figura 34-1 Cilindro de doble efecto**

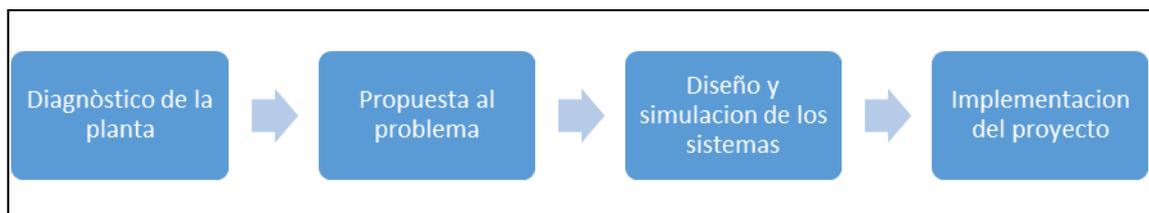
Fuente: (Antonio Bueno, actuadores)

## CAPITULO II

### 2 MARCO METODOLÓGICO

Previo a la implementación del sistema automático para el control en lazo cerrado de peso en la máquina mezcladora de balanceado se procedió a realizar un diagnóstico para evaluar el proceso como se lo lleva acabo de manera manual por parte de un operario, así como recabar datos acerca de la producción.

Fue necesario realizar las simulaciones y cálculos pertinentes para el desempeño óptimo del proceso, como parte fundamental se diseñó el diagrama de procesos con información aportada por el Ing. Carlos Santos y el operador encargado del ensacado del producto. Después se procedió a realizar la propuesta con el diagrama del proceso automatizado evaluado en tiempo de producción y optimización de recursos, con los respectivos diseños y simulaciones del sistema de control, mecánico, electrónico, neumático y sistemas afines para el correcto funcionamiento de las partes que conforman el proceso, procediendo a realizar el diagrama del proyecto a seguir, Figura 1-2. Los diseños y simulaciones han sido realizados en base al problema y sistema al que pertenecen, permitiendo así tener una mayor perspectiva de lo que será el proceso en la parte real.



**Figura 1-2 Diagrama del proyecto**

Realizado por: CALERO, Raúl; CARILO, Cristhyan, 2015

Se evaluó el estado y funcionamiento de la máquina mezcladora de balanceado como se la puede observar en la Figura 2-2, para evidenciar los requerimientos que conllevan cada uno de los subprocesos como los son la dosificación, pesado y ensacado para posteriormente la implementación del nuevo sistema. Y finalmente se determinó las condiciones eléctricas con que cuentan la planta de producción donde se encuentra ubicada la máquina mezcladora de balanceado.



**Figura 2-2 Máquina mezcladora de balanceado Tunshi-ESPOCH**  
Fuente: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

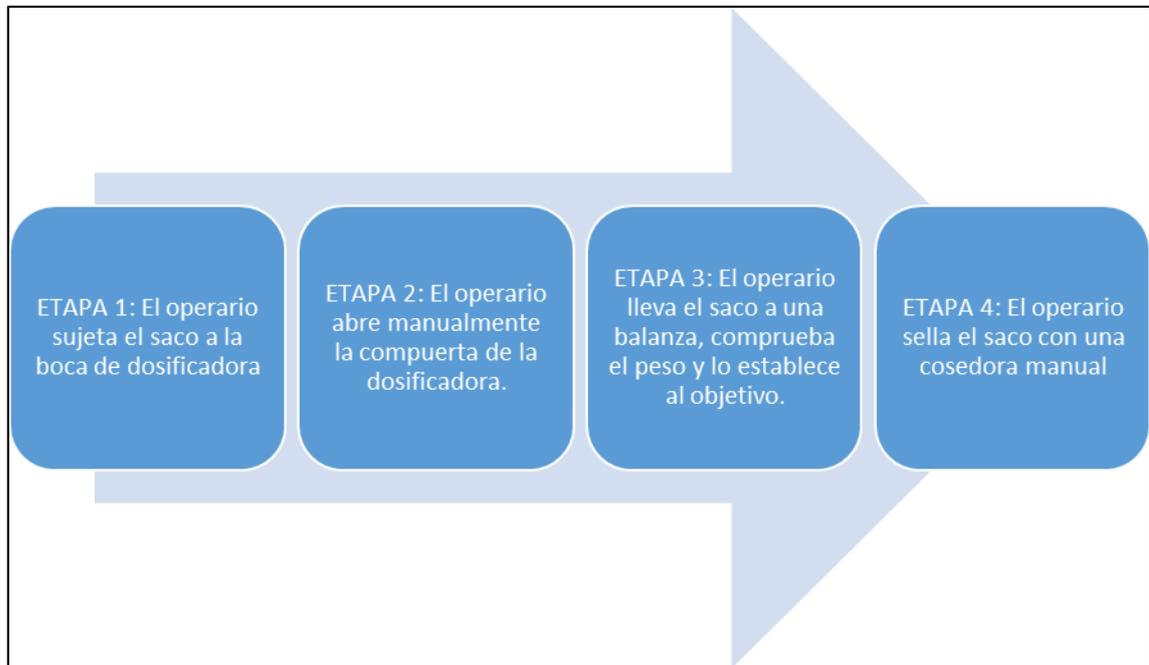
## 2.1 Diagnóstico de la planta

Antes de la implementación del proyecto realizamos un diagnóstico de la planta para identificar los problemas que esta presenta con el conocimiento que todo el proceso que se realiza es de forma manual, empezando por elaborar el diagrama del proceso actual que rige en la planta, Figura 3-2, detectando así que la planta tiene baja eficiencia en cuanto a tiempo de producción y optimización de recursos, debido a que en su proceso no interviene ninguna herramienta tecnológica que facilite y agilite el proceso. Los principales problemas detectados son el tiempo de producción extenso ya que las etapas se encuentran en diferentes ubicaciones de la planta y no en un proceso consecutivo y el desperdicio considerable del producto en el proceso cuando el operario lleva a cabo cada etapa, más aun en el pesado del saco ya que esto provoca que el producto se desperdicie en el desarrollo de la etapa, debido a que todas las operaciones del proceso son llevadas a cabo por el operario de forma manual además de existir un grado de error alto en cuanto a la cantidad exacta de peso de cada saco de balanceado. En base a esta información recolectada se ha determinado que los sistemas que el proceso necesita implementar para mejorar su desempeño en la planta son el sistema de control, electrónico,

neumático y mecánico, tomando en cuenta que son sistemas que están a la vanguardia tecnológica en el desarrollo de procesos industriales.

## 2.2 Etapas previas a la automatización de la planta de balanceado.

Después de un estudio y análisis al proceso que se venía llevando de manera manual se pudo desglosar en subprocesos para determinar cómo interactuaba el operario en cada una de las etapas como podemos observar en la Figura 3-2.



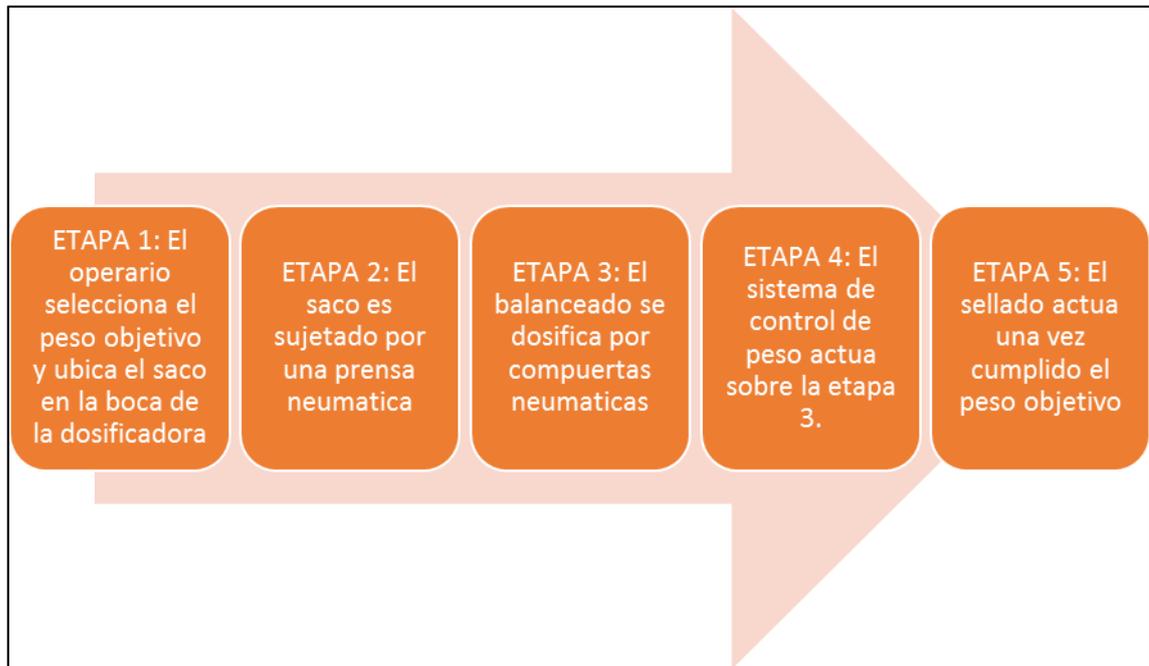
**Figura 3-2 Etapas en la planta mezcladora de balanceado Tunshi-ESPOCH**

Fuente: CALERO, Raúl; CARRILLO, Crishtyan, 2015

En la figura se puede diferenciar claramente que todo el proceso se lo realiza en cuatro etapas, todas ellas de manera manual con la intervención de un operario.

## 2.3 Etapas posteriores a la automatización de la planta de balanceado.

Con la automatización de la máquina mezcladora de balanceados se buscó mejorar cada una de las etapas anteriormente definidas, para lo cual se desarrollaron varios mecanismos, sistemas electro-neumáticos, sistemas electrónicos para el control de dichas etapas que posteriormente se irán explicando con mayor detalle.

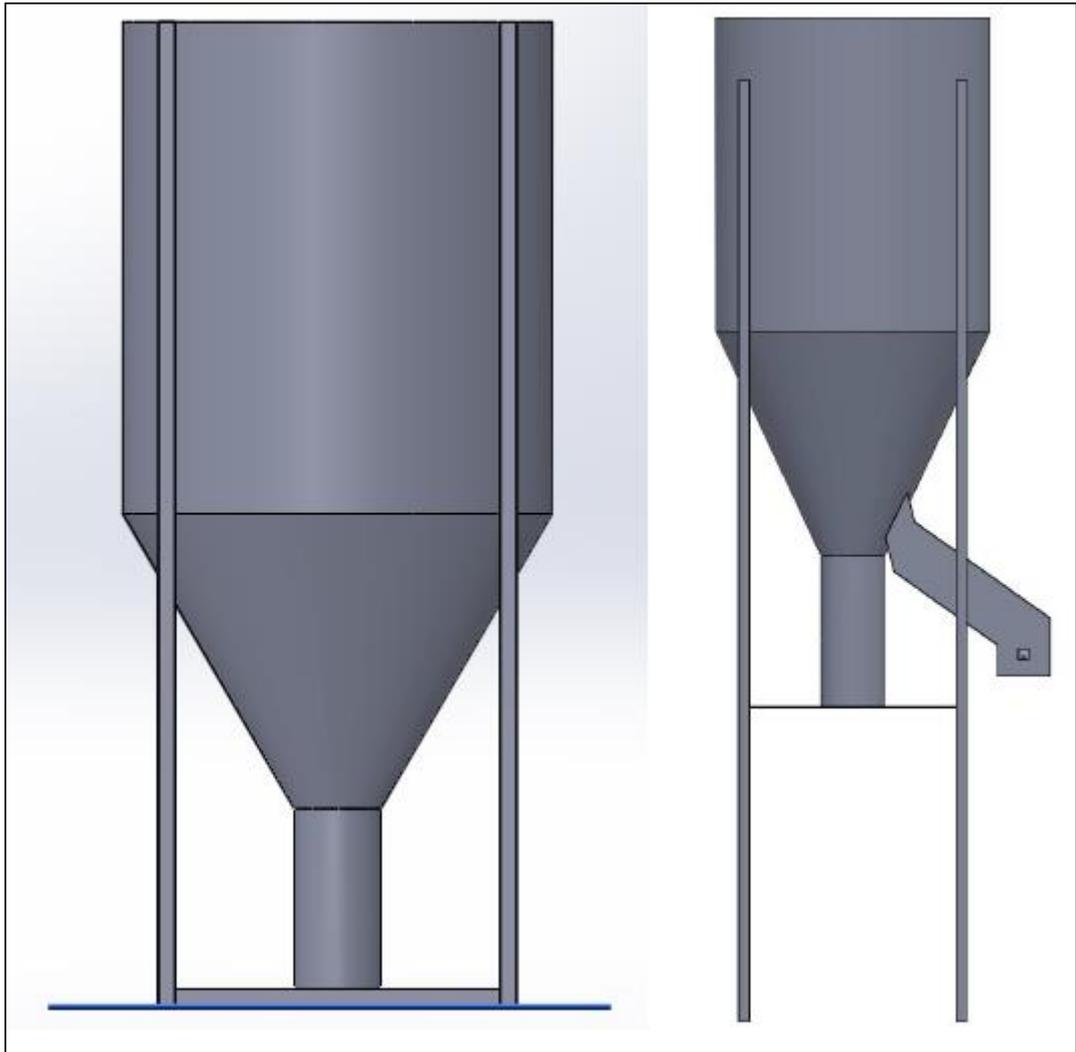


**Figura 4-2 Etapas automatizadas en la planta mezcladora de balanceado Tunshi-ESPOCH**  
Fuente: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2015

## 2.4 Diseño de la estructura mecánica

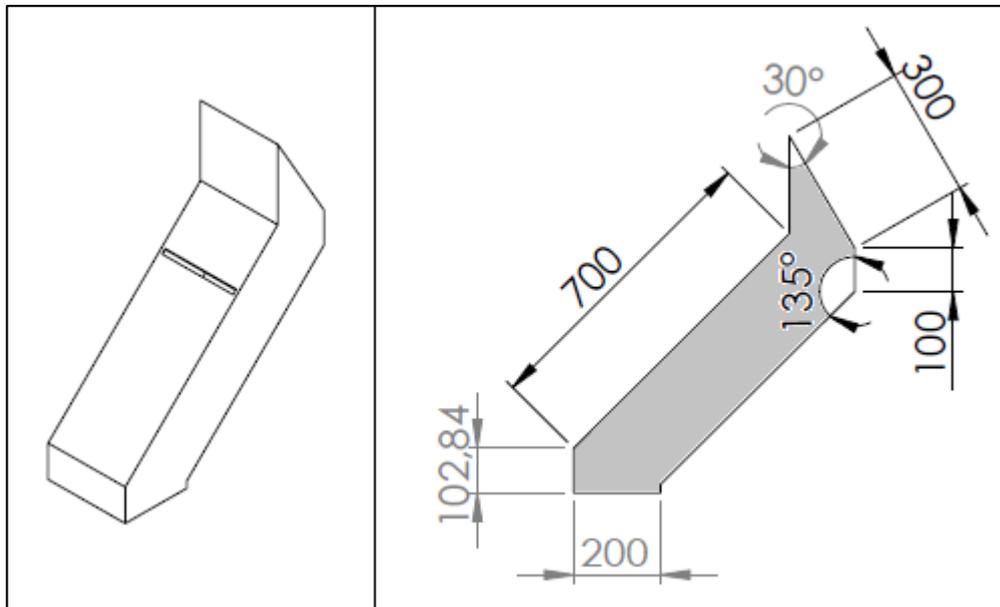
El diseño de la estructura mecánica es la base física del proyecto debido a que la estructura debe contener a los demás sistemas que componen el proceso. El software que se ha utilizado es específicamente de diseño mecánico para crear geometrías usando sólidos paramétricos. Está enfocado al diseño del producto debido a que este software es muy sencillo como potente y se centra en un entorno de diseño en 3D integrado e intuitivo que abarca todos los aspectos del desarrollo del producto, ayudando a maximizar la productividad del diseño y la producción, a más de esto posee un módulo inteligente de detección de errores de diseño y módulos para diseño sustentable acompañado de diferentes herramientas que nos permite simular las condiciones y análisis del diseño en situaciones reales para optimizar su desempeño.

Se ha tomado como base las dimensiones de la máquina mezcladora de la planta de balanceados de la ESPOCH debido a que se debe acoplar la estructura mecánica que se propone a la estructura mecánica existente, tomando en cuenta la teoría del diseño de tolvas se ha visto necesario acoplar un codo a la tolva de la máquina mezcladora de balanceado con el objetivo de utilizarlo como canal para la dosificación del producto y soporte para las compuertas neumáticas, para poder llevar a cabo esta modificación es necesario elevar la tolva de la máquina mezcladora 1.5 metros sobre el piso, debido a que su diseño es antiguo y enfocado a un proceso manual.



**Figura 5-2** Diseño de la modificación para la máquina mezcladora de balanceado  
Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

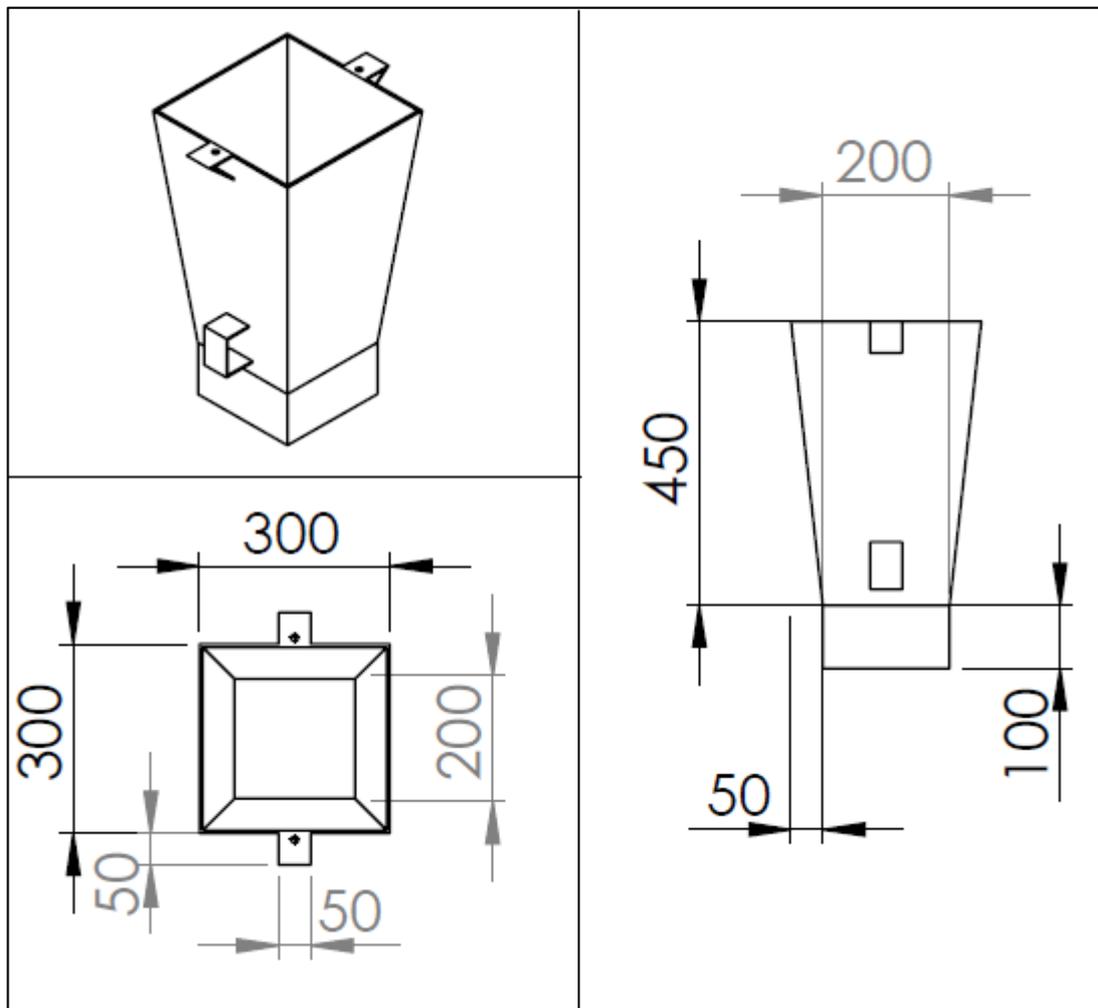
Tomando esta modificación como base se ha diseñado el codo de la tolva, el cual nos permite la dosificación del producto y ubicar la estructura de los actuadores del sistema de control mediante dos cilindros que operan dos compuertas de diferente tamaño, este diseño se ha basado en el tamaño de la dosificadora actual y el caudal de producto que circula por la misma, tomando en cuenta la teoría de tolvas, el tipo de material a utilizar y el espacio disponible de la planta se ha realizado el diseño óptimo para que el sistema responda de manera positiva.



**Figura 6-2 Diseño del codo para la máquina mezcladora de balanceado Tunshi-ESPOCH. Escala en mm.**

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

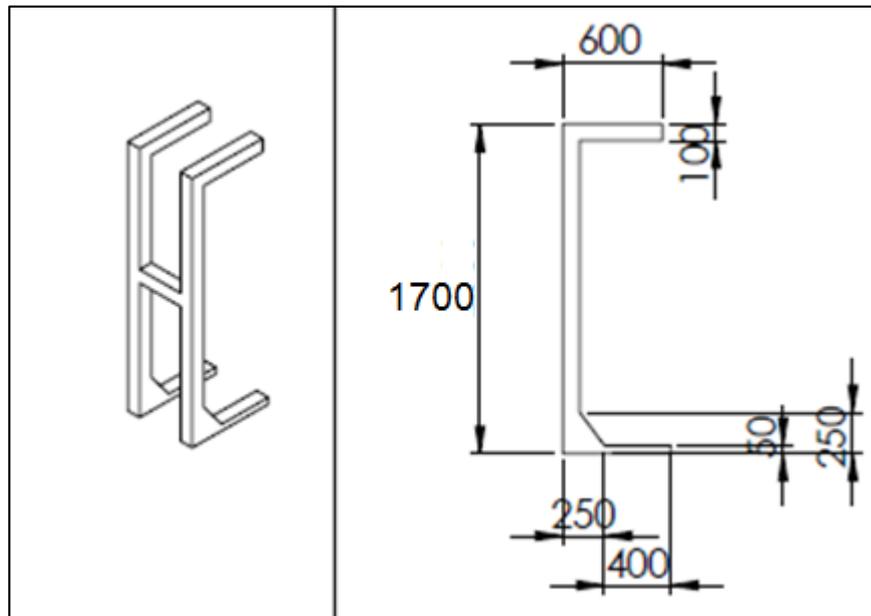
Siguiendo con el diseño secuencial de la estructura mecánica se procedió a diseñar el soporte estructural para el saco de balanceado que conecta la dosificación con los sensores de peso lo cual es fundamental para la aplicación del sistema de control, para este diseño se ha considerado muchos factores externos que influyen en el sistema como es la parte estructural para los actuadores neumáticos que operan la prensa de sujeción del saco, los acoples necesarios para las celdas de carga tipo S, la ubicación del sensor de mano que da inicio al proceso así como para precautelar la seguridad industrial del operario y el diseño adecuado para que el caudal del producto sea óptimo, por ello se ha utilizado la teoría de tolvas a una escala más pequeña para su diseño. En este diseño se toma en cuenta el tamaño del codo ya que este debe encajar en la parte superior de esta estructura, también se consideró la presión a la cual va a ser sometido el material por lo que se optó por utilizar un mayor espesor de material y refuerzos en la zonas de prensa para reducir de manera considerable la deformación del material.



**Figura 7-2 Diseño de la boca de dosificación. Escala en mm.**

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

En el diagnóstico de la planta en tiempo real de producción se detectó que la máquina mezcladora tiene un tiempo considerable de uso lo que ha producido un desgaste físico en la misma, por lo cual se vio la necesidad de implementar una estructura independiente para el soporte de la boca de dosificación evitando así perturbaciones ajenas al proceso en los sensores, para su diseño se ha realizado el análisis respectivo en cuanto a material, equilibrio y soporte de peso de la estructura tomando en consideración el espacio reducido que existe en la planta entre la máquina mezcladora y las modificaciones respectivas.

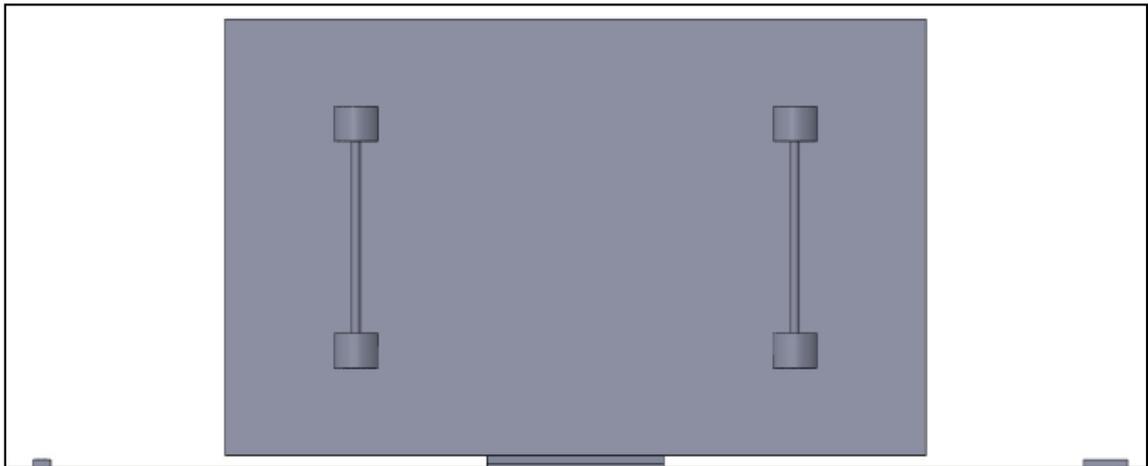


**Figura 8-2 Diseño del soporte de la boca de dosificación. Escala en mm.**  
 Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Las estructuras antes descritas forman parte principal del sistema mecánico del proceso y por consiguiente es la base para el sistema de control, una de las etapas que influyen de manera considerable en el tiempo de producción es la etapa de cosido del saco como se mencionó anteriormente las etapas del proceso actual de la planta tienen distintas ubicaciones, analizando esto se ha podido determinar que es necesario que esta etapa forme parte de la propuesta del proyecto.

Con la información recolectada se ha realizado el análisis y diseño de esta etapa que está compuesta por un sistema móvil sobre riel que soporta al saco lleno con su peso exacto, en este sistema se ha colocado sensores en el ingreso y salida del saco, estas señales son enviadas al controlador el cual envía la señal de control hacia el actuador que en este caso es una cosedora eléctrica de 110 VAC de una aguja, que está ubicada en uno de los soportes principales verticales con tres alturas regulables con una diferencia de 5 centímetros cada una para que sea adaptable a la medida de los sacos estándar, la base del transporte se ha realizado a la medida de

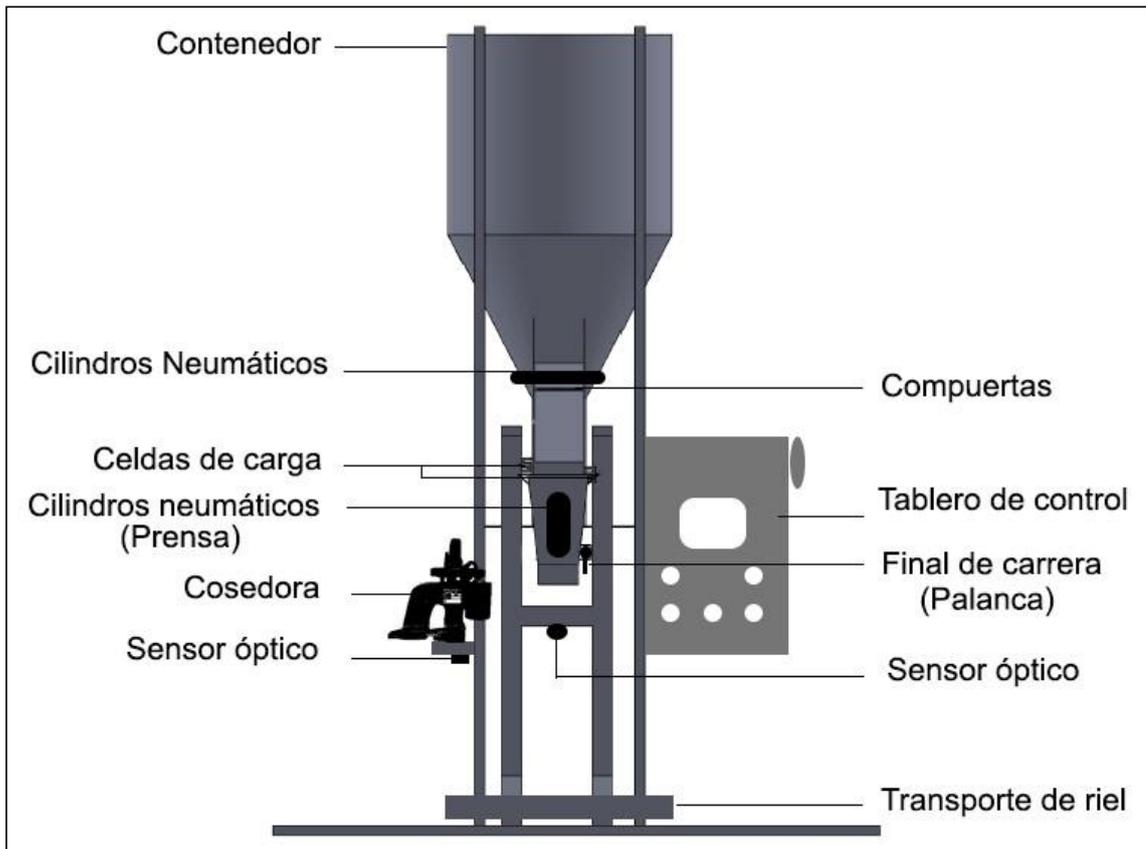
los sacos estándar dejando un margen extra de dimensiones a cada lado, este sistema mejorará la etapa de sellado para el tiempo de producción y la ergonomía del operario.



**Figura 9-2 Diseño del sistema móvil sobre riel para el cosido del saco**

**Realizado por:** CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Luego de haber analizado y diseñado cada parte del sistema mecánico se ha realizado el respectivo ensamblaje virtual y la simulación de todo el sistema para tener una perspectiva de su funcionamiento físico real, además se ha analizado y escogido los materiales disponibles en el mercado para su ensamblaje, basando en las normas de construcción se ha determinado un sobredimensionamiento de material del 25%. La estructura mecánica se encuentra dividida teóricamente en dos partes, el codo que va acoplado directamente a la máquina mezcladora y la boca de dosificación que tiene soporte independiente logrando así una máxima optimización del proceso y del espacio. Cabe recalcar que en el análisis del diseño mecánico se ha optimizado considerablemente el espacio y los recursos haciendo de esto una estructura multifuncional de diseño compacto adaptable y robusto.

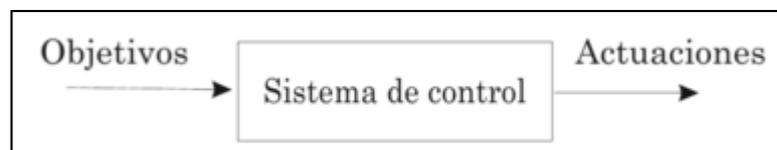


**Figura 10-2 Ensamblado virtual de la máquina**

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

## 2.5 Sistema de control en lazo cerrado

Para el diseño del sistema de control se ha tomado en cuenta todos los factores que actúan sobre la planta y de esta forma poder considerar en un sentido más amplio un sistema de control que ante los objetivos determinados responda con una serie de actuaciones. Las diferentes etapas que componen el proceso han sido analizadas para verificar la aplicabilidad óptima del sistema de control, tomando en cuenta las necesidades que cada una de ellas tiene respecto a todo el proceso, de acuerdo al diagnóstico previamente realizado y los problemas detectados se ha optado por implementar un sistema de control en lazo cerrado aplicado a la variable de peso del saco ya que en las diferentes etapas que esta variable interviene es en donde se ha detectado el mayor problema.

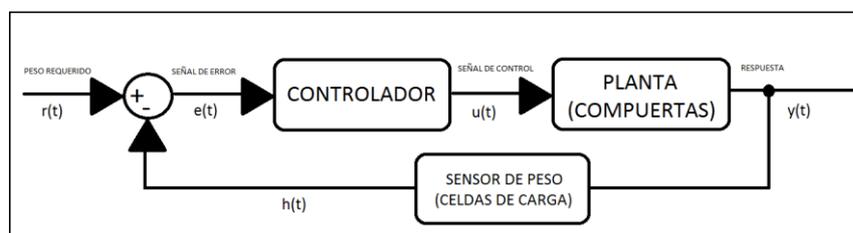


**Figura 11-2 Sistema de control**

Fuente: ÑECO, Ramón, 2003, p. 4

El control en lazo cerrado o retroalimentado es el mecanismo que se utiliza en los diferentes procesos para mantener su equilibrio, utilizando como base el uso de una diferencia de señales comparando el valor real de la variable del proceso y el valor deseado como medio para controlar el sistema. En la implementación física del proceso se ha determinado los actuadores que van a reaccionar con el sistema de control implementado en el controlador lógico programable así mismo como la entrada de retroalimentación o el sensor que va a regir en el sistema, considerando que la respuesta del sistema o variable controlada es idéntica a la variable medida tomando en cuenta un mínimo error permisible en la implementación física.

En la implementación del proyecto se ha optado por definir los diferentes componentes del sistema de control de acuerdo a las necesidades del sistema, la consigna de entrada o el “set point” es ingresado mediante un touch panel de marca DELTA en el cual se ha realizado su respectiva programación cumpliendo así el estándar de un entorno operador – máquina (HMI), el controlador que se ha elegido para este proyecto es un PLC de marca SIEMENS, modelo S7-1200 CPU 1214 DC/DC/DC ya que cumple con las necesidades del sistema en cuanto a entradas y salidas, a más de esto el entorno de programación que ofrece tiene las herramientas necesarias para la implementación del proyecto. La planta o los actuadores del sistema son cilindros neumáticos activados por electroválvulas de cinco vías y dos posiciones monoestables, se ha optado por aplicar una técnica con dos cilindros que operan dos compuertas de diferentes tamaños logrando así un mayor caudal del producto y un control más exacto del mismo. La señal de retroalimentación es enviada por dos celdas de carga tipo S de 200 kilogramos cada una las cuales cumplen la función del sensor de peso, que luego de pasar por su respectivo acondicionamiento envía una señal analógica al controlador.



**Figura 12-2 Sistema de control feedback propuesto para la planta**  
**Realizado por:** CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

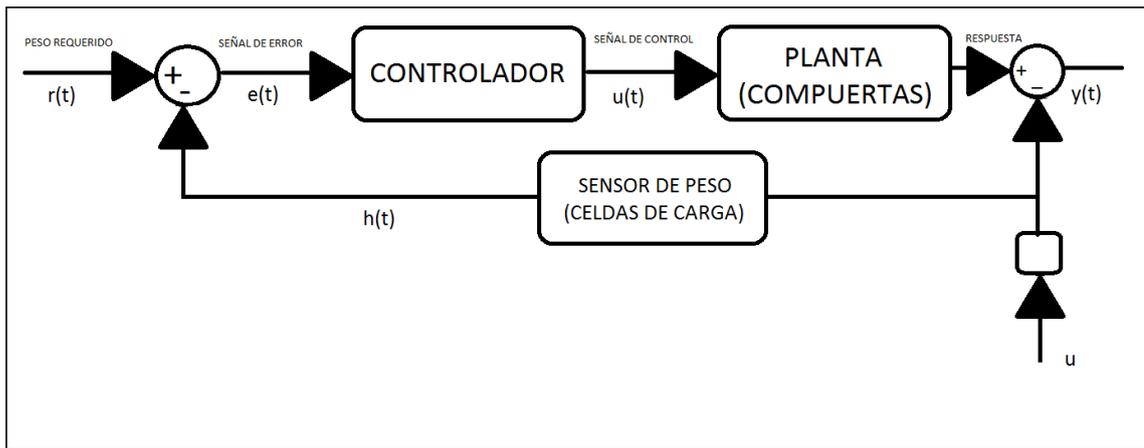
Una de las ventajas que nos ofrece este sistema de control es la acción correctiva tan pronto como las variables controladas se desvían del “set point”, independientemente de la fuente de perturbación ya que la realimentación vuelve la respuesta del sistema buscando así la estabilidad

del mismo. En todo sistema de control aparecen claramente diferenciados una serie de elementos característicos al mismo que es necesario clarificar.

- Variable a controlar, generalmente se la conoce como señal de salida a la cual deseamos que adquiera ciertos valores determinados. En este proyecto la señal de salida o variable a controlar es el peso del saco de balanceado.
- Planta o sistema, la planta o sistema constituye un conjunto de elementos que realizan una determinada función, en este proyecto la planta constituye todos los sistemas implementados en conjunto para el proceso de ensacado de balanceado.
- Sensor, el sensor es elemento que permite captar el valor de la variable a controlar en determinados instantes de tiempo, se ha utilizado dos celdas de carga las cuales envían la señal al controlador para determinar el peso mediante curvas de calibración.
- Señal de referencia o set point, es el valor que deseamos que adquiera la señal de salida, como lo antes mencionado se ha utilizado un touch panel que envía el valor del peso requerido.
- Actuador, es aquel que actúa sobre el sistema modificando de esta manera la señal de salida, para esto se ha considerado dos cilindros neumáticos de 2,5 centímetros de diámetro por 25 centímetros de carrera.
- Controlador, es el elemento que comanda al actuador en función de la señal de referencia siendo un controlador lógico programable.

Una vez analizado el sistema de control se determina que el sistema retroalimentado no es suficiente para el proceso por lo cual se opta añadir la técnica de control por prealimentación o control en adelante (feedforward), esto se debe a que influye de manera significativa el diseño de la máquina mezcladora existente en la planta, lo que ha provocado que el diseño de las modificaciones tengan que adaptarse dando como resultado una baja eficiencia del control retroalimentado, se decide optar por el control en adelante debido a que se necesita acoplar el codo a la tolva y por el reducido espacio no se puede ubicar las compuertas en la parte final del codo, sino al contrario en la parte inicial esto produce que exista un margen de error considerable en la respuesta del sistema respecto a la variable controlada con la de referencia, existiendo así una perturbación medible pero no controlable que afecta directamente al proceso es por eso que se compensa la perturbación antes de que esta llegue afectar a la variable controlada, para ello se ha determinado aplicar esta técnica de forma que cuando empiece la perturbación inmediatamente se actúa sobre la variable de modo que el efecto de esta actuación compense el efecto de la perturbación.

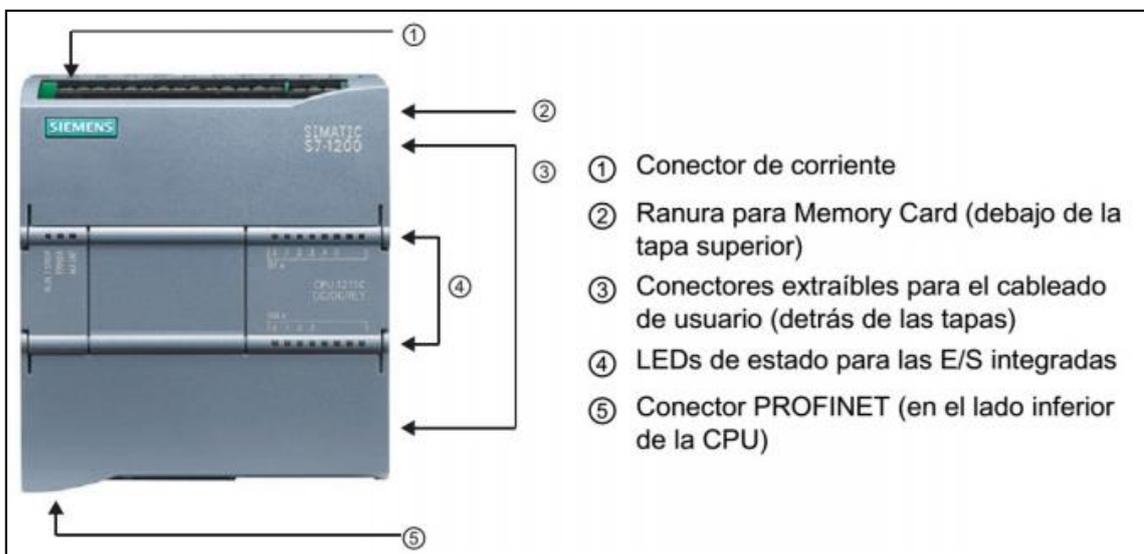
Con este fundamento se mide la perturbación existente producida por el codo de la tolva y por ende el caudal de balanceado que circula por el mismo, agregando así un retardo en el sistema.



**Figura 13-2 Sistema de control feedforward propuesto para la planta**  
 Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

## 2.6 Programación del controlador lógico programable

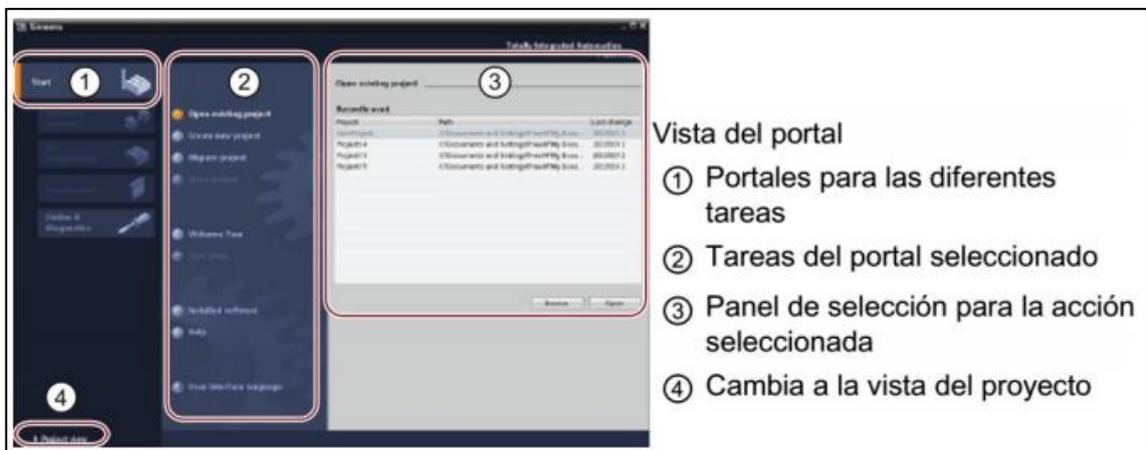
El controlador que se ha seleccionado es de marca SIEMENS, modelo S7-1200 CPU 1214, este dispositivo ofrece la flexibilidad y potencia necesarias para controlar el sistema del proceso de automatización, la CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, PROFINET integrado, E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas, todo ello en una carcasa compacta, una vez cargado el programa en la CPU, este contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los diferentes dispositivos del proceso, la CPU vigila las entradas y cambia de estado las salidas según la lógica del programa, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas así como comunicación con otros dispositivos inteligentes



**Figura 14-2 Controlador Lógico programable S7-1200**  
 Realizado por: [www.infoplc.net](http://www.infoplc.net)

### 2.6.1 Entorno de programación TIA portal

El entorno proporciona un fácil manejo para programar la lógica del controlador, configurar la comunicación con el HMI y por red, este software nos ofrece diferentes vistas del proyecto y distintos portales orientados a tareas y organizados según las funciones de las herramientas o una vista orientada a los elementos del proyecto, permitiendo así utilizar la vista que más se acople al usuario para su programación



**Figura 15-2 Vista del portal TIA Portal V12**

Realizado por: [www.infoplc.net](http://www.infoplc.net)

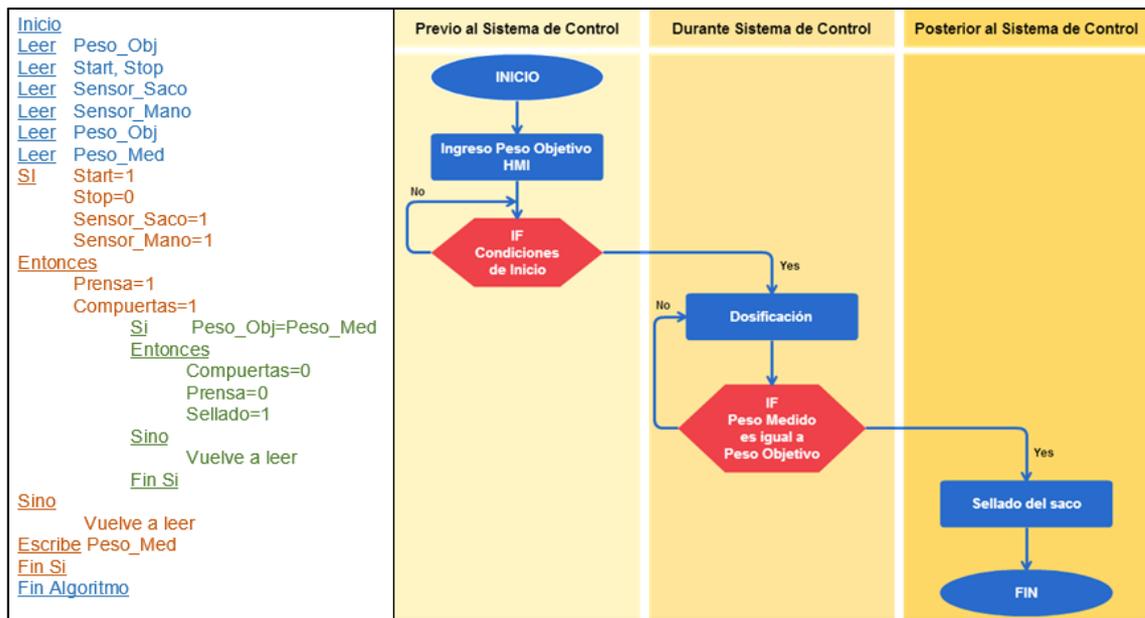


**Figura 16-2 Vista del proyecto TIA Portal V12**

Realizado por: [www.infoplc.net](http://www.infoplc.net)

#### 2.6.1.1 Configuración y programación del autómata

Antes de llevar a cabo la programación del autómata se realizó el respectivo diagrama de flujo, algoritmo y grafcet necesario para el proceso, poniendo a consideración cada una de las etapas que lo conforman ya que es de suma importancia cada detalle del proceso para que no interfiera en su correcto desempeño.

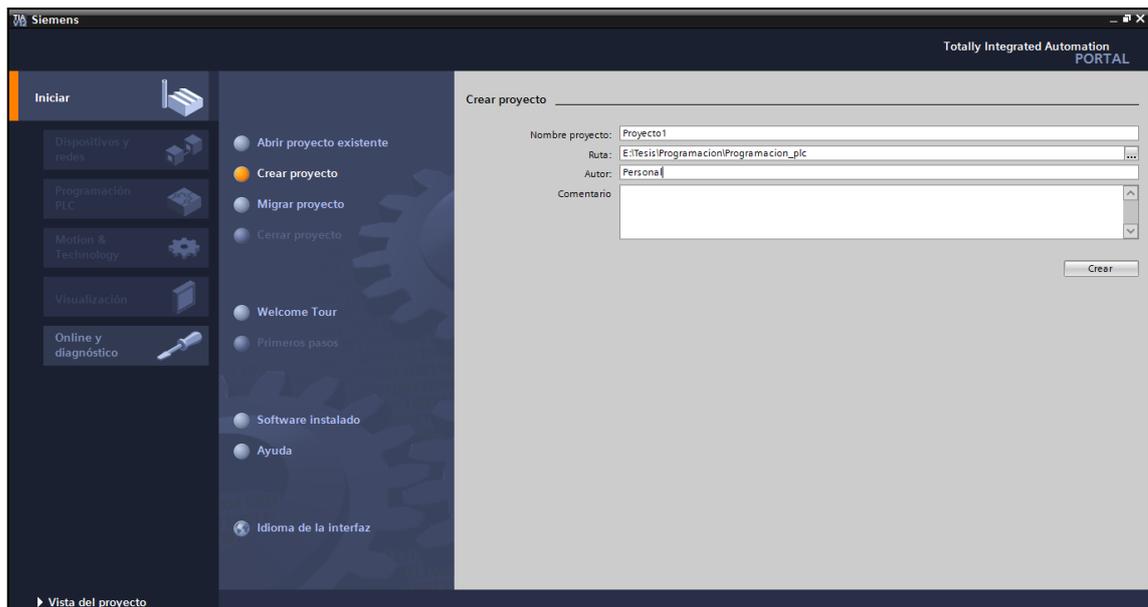


**Figura 17-2 Diagrama de flujo y algoritmo propuesto para la programación del autómeta.**  
 Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Luego de tener claro esto se lleva al entorno virtual para la programación, se puede utilizar el lenguaje de programación que el usuario prefiera, TIA PORTAL nos da las opciones de programación tanto en bloques (FUP), en texto (SCL) y en contactores (KOP).

Se ha optado por realizar la programación en contactores (KOP) debido a que resulta más familiar dicha programación.

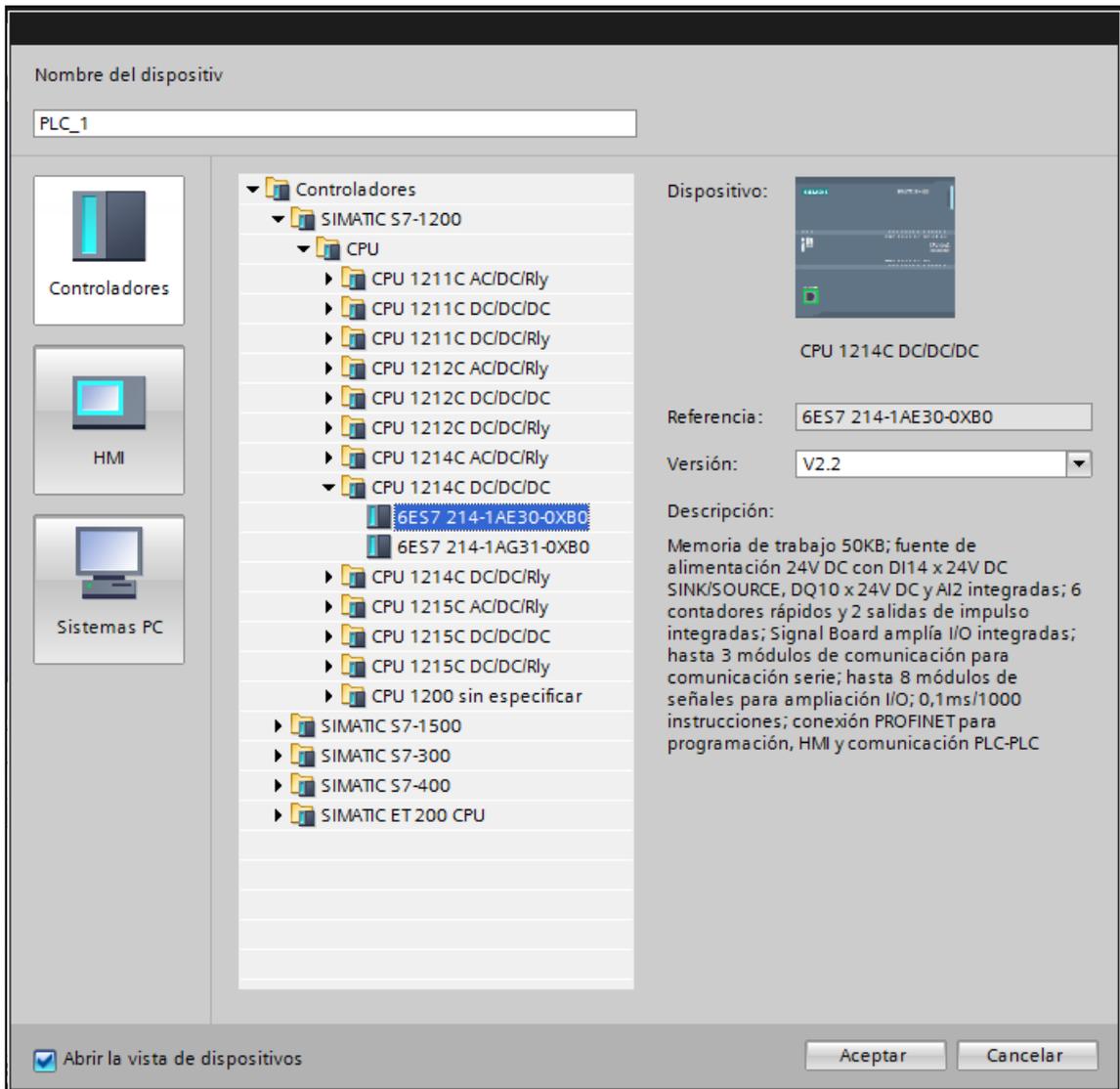
El proceso que se llevó a cabo para programar el autómeta empieza con la creación de un nuevo proyecto el cual genera distintos archivos de origen necesarios para la respectiva configuración y programación.



**Figura 18-2 Creación de un nuevo proyecto TIA PORTAL V12**

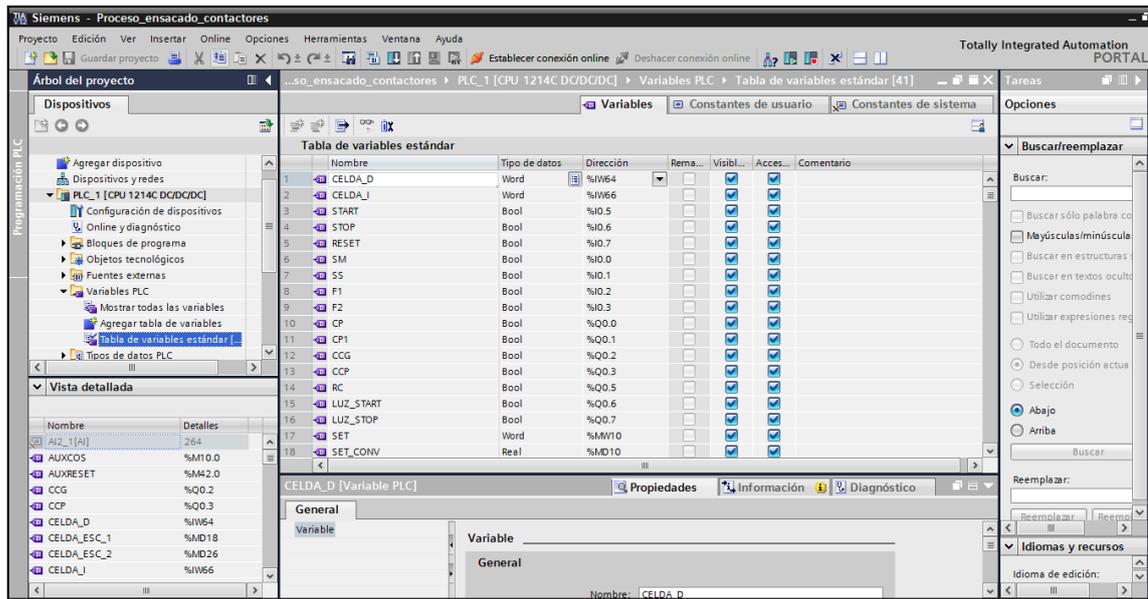
**Realizado por:** CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Una vez creado el proyecto el programa nos despliega un menú para las distintas herramientas que el usuario puede utilizar, empezamos por añadir y configurar del dispositivo. A más de esto también podemos añadir dispositivos HMI y sistemas PC.



**Figura 19-2 Agregar dispositivo TIA PORTAL V12**  
Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

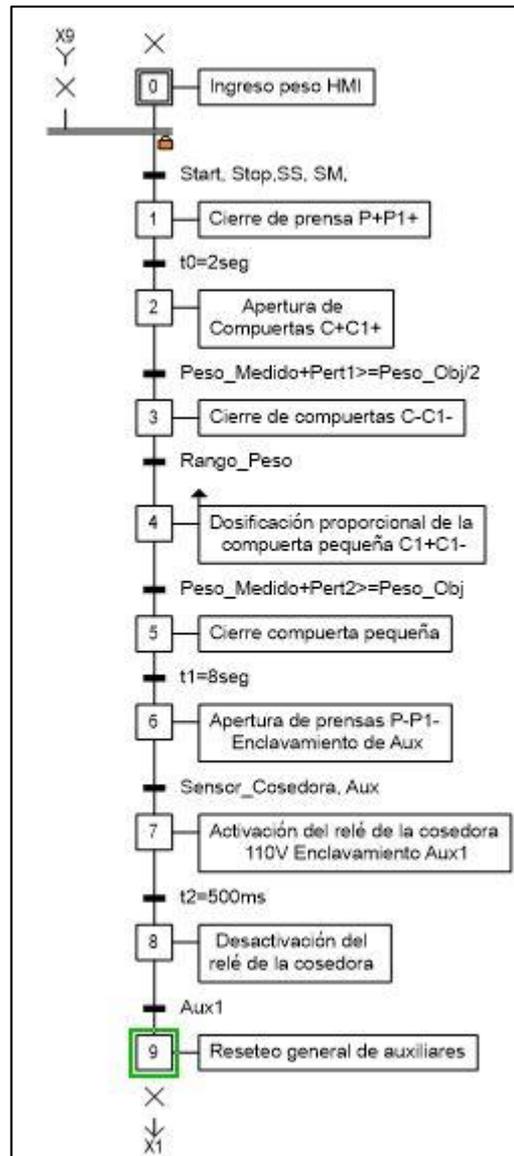
El siguiente paso luego de añadir el dispositivo es editar la tabla de variables en la cual se direcciona tanto las entradas, salidas y memorias de diferentes tipos de datos que serán utilizadas en el proceso de programación.



**Figura 20-2 Editar tabla de variables TIA PORTAL V12**  
**Realizado por:** CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Cuando se ha declarado las variables que se va a utilizar en el programa, se puede proceder a los bloques de programa en donde se realiza la programación del autómat, en los diferentes lenguajes que el software nos ofrece en este caso es KOP. Se lo realiza en el “Main [OB1]” o se puede agregar bloques de funciones. Para el diseño de la programación del autómat se debe traducir el grafcet realizado al lenguaje de programación escogido en la figura 21-2 se muestra el grafcet propuesto para el proyecto el cual detalla cada etapa que conforma el proceso incluyendo los temporizadores que se han introducido para la optimización del mismo.

En la implementación del grafcet se ha utilizado abreviaciones para las etapas y transiciones de las mismas, las cuales representan a los sensores, actuadores y temporizadores detallando así: sensor que detecta la presencia del saco como “SS”, el sensor de seguridad para el operario o sensor de mano “SM”, los actuadores P y P1 son los cilindros de la prensa, C y C1 son los cilindros de las compuertas y se ha utilizado el signo de suma “+” para representar la salida del vástago del cilindro y el signo de resta “-” para la entrada del mismo, para representar temporizadores “t0, t1, t2” y auxiliares “Aux” respectivamente.



**Figura 21-2 Grafcet del proceso**

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

El programa es llevado del algoritmo y del grafcet al lenguaje de programación KOP siguiendo cada etapa consecutivamente, es decir empieza con los botones del tablero de control, START, STOP Y RESET, que cada uno cumple su respectiva función, pulsando Start se da inicio al bucle del programa en donde realiza las condiciones respectivas para empezar es decir debe estar activado el Start, el sensor que detecta la presencia del saco, el sensor de mano y desactivado el Stop, con esta condición se da inicio al programa en donde primero se activa los actuadores de prensa para la sujeción del saco, luego de un tiempo se abren las compuertas dejando salir el producto, mientras va llenando el saco las celdas de carga van enviando la señal analógica la cual al pasar por el acondicionamiento de señal nos da en un rango de 0 a 10V, cuando esta señal entra es normalizada y escalada dentro del programa para obtener un valor en el formato deseado de kilogramos, el sistema de control es el encargado de manejar a los

actuadores de las compuertas para que las mismas dosifiquen la cantidad necesaria de balanceado acorde como se vaya incrementado el peso del saco, este valor es comparado constantemente con el set point ingresado, debido a que el sistema presenta perturbaciones medibles pero no controlables y el caudal que circula por el codo de la tolva es considerable, el sistema de control programado conoce dichas perturbaciones que ha sido medidas en dos momentos clave para el proceso el primero cuando se cierran las dos compuertas y el segundo cuando se cierra la compuerta pequeña de dosificación, esto para compensar el sistema, lo cual cuando la condición se ha cumplido se realiza un retardo de tiempo liberando al saco de la prensa con su peso exacto, este cae sobre el transporte de riel el cual ayuda al operario a movilizar al saco hacia la etapa de sellado en la cosedora que posee un sensor que detecta la entrada del saco activando la cosedora y cuando este sale desactivándola con un retardo de tiempo calculado para culminar el sellado, una vez cumplido el proceso el bucle empieza nuevamente.

## **2.7 Dimensionamiento y selección de elementos del sistema automático**

La automatización conlleva la integración e interacción de varios subsistemas como pueden ser sistemas neumáticos, electro-neumáticos, electrónicos, hidráulicos, etc., todo con el fin de facilitar la realización de operaciones y disminuir la intervención humana en dichas operaciones, y todo esto con el objetivo de reducir costos, mejorar la producción y optimizar recursos.

A continuación se detallará cada uno de los sistemas que conforman un todo para realizar el proceso de automatización del proceso de ensacado en la planta de balanceados de la ESPOCH, identificando cada uno de los elementos utilizados, mostrando sus características técnicas e identificando su selección para su implementación en el proceso automático.

## **2.8 Diseño del sistema neumático.**

En esta sección se describe el sistema neumático utilizado para la automatización del proceso de ensacado, se especifica los dispositivos empleados según los requerimientos de la planta de balanceados ESPOCH.

Previo a la selección y dimensionamiento de los dispositivos se especificó cuáles son todos los requerimientos de peso que se puede obtener al momento de la dosificación del balanceado

según el tipo de animal al cual se va a alimentar pudiendo ser ensacado desde los 20 kilogramos hasta los 50 kilogramos.

### **2.8.1 Dimensionamiento de cilindros neumáticos**

Los cilindros neumáticos son los elementos más comunes utilizados como actuadores neumáticos, produciendo un movimiento lineal. Los cilindros neumáticos pueden ser de simple efecto y de doble efecto diferenciándose por la cantidad de entradas de aire.

Para el dimensionamiento de los cilindros neumáticos es necesario realizar el cálculo de las siguientes características:

- Cálculo de la fuerza de avance
- Cálculo de la fuerza de retroceso
- Verificación del pandeo
- Consumo de aire comprimido
- Velocidad del pistón
- Potencia que desarrolla el cilindro

Para implementar el sistema se utilizaron cuatro cilindros neumáticos de doble efecto, de los cuales dos cilindros son utilizados para el mecanismo de compuerta para permitir el paso u obstrucción del balanceado hacia el saco, como se puede observar en el diseño mecánico anteriormente analizado; y otros dos cilindros son utilizados para sostener el saco colgado que permitirá sensar el peso en tiempo real por medio de dos celdas de carga.

Los cilindros que sostienen el saco deben poder soportar directamente el peso del saco, por lo que será necesario que posean una gran fuerza de empuje y una elevada fuerza de retroceso, para que el saco en ningún momento quede suelto.

#### **2.8.1.1 Cilindros para las compuertas.**

Los cilindros que permitan el cierre o apertura de dos compuertas para el paso del balanceado hacia el saco son dos, cada uno abrirá o cerrará una compuerta, una grande y una más pequeña que permita el paso de un mayor y menor volumen de balanceado. Los cilindros poseen las siguientes características:

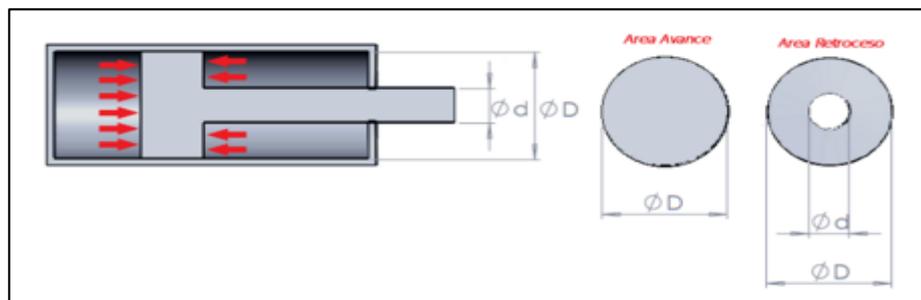
- Longitud de Carrera:  $l = 250$  mm.
- Diámetro del émbolo:  $\phi_{\text{embolo}} = 25$  mm.

- Diámetro del vástago:  $\phi_{\text{vástago}} = 10 \text{ mm}$ .
- Presión de trabajo:  $P = 5\text{-}8 \text{ bar}$ .

Con estos datos que disponemos del cilindro podremos calcular sus demás características.

a) Cálculo de la fuerza

El cálculo de la fuerza ejercida por los cilindros está en función del diámetro del émbolo, de la presión de alimentación y de la fuerza de rozamiento. En los cilindros de doble efecto se desarrolla un trabajo en la carrera de avance y otro diferente en la carrera de retroceso, porque el aire comprimido actúa sobre toda la superficie del émbolo al momento de avanzar, mientras que al retroceso el aire comprimido actúa sobre la superficie que resulta la resta de la superficie del émbolo con la superficie del vástago. En la figura se puede observar la diferencia entre cada una de las superficies de un cilindro de doble efecto.



**Figura 22-2 Área efectiva de un cilindro de doble efecto**  
Fuente: INTOR Manufacturing Solutions, 2015

El área efectiva en cada uno de los casos será:

$$S_{\text{avance}} = \frac{\pi \cdot \phi_e^2}{4}$$

*Ecuación 1*

$$S_{\text{retroceso}} = \frac{\pi \cdot \phi_e^2}{4} - \frac{\pi \cdot \phi_v^2}{4}$$

*Ecuación 2*

Donde:

$\phi_e = \text{Diámetro del émbolo}$ .

$\phi_v = \text{Diámetro del vástago}$

Teniendo en cuenta las conversiones entre unidades:

$$1 \text{ bar} = 0,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 100 \text{ kPa} = 0,99 \text{ atm}$$

$$1m = 10cm = 100mm$$

Entonces para los cilindros obtenemos:

$$S_{avance} = \frac{\pi \cdot (25mm)^2}{4} = 490,874 \text{ mm}^2$$

$$S_{retroceso} = \frac{\pi \cdot (25mm)^2}{4} - \frac{\pi \cdot (10mm)^2}{4} = 412,334 \text{ mm}^2$$

Además, sabemos que la fuerza teórica del émbolo es:

$$F = P \cdot S$$

*Ecuación 3*

Donde:

$P = \text{Presión del aire comprimido}$

$S = \text{Área efectiva}$

Por lo tanto, al tener dos áreas efectivas, una para el avance y otra para el retroceso obtendremos dos fuerzas que ejercen el cilindro, una en avance y otra en retroceso.

$$F_{avance} = P \cdot S_{avance} - F_{rozamiento}$$

*Ecuación 4*

$$F_{retroceso} = P \cdot S_{retroceso} - F_{rozamiento}$$

*Ecuación 5*

Las fuerzas para los cilindros trabajando a una presión promedio de 6 bar serán:

$$F_{avance} = 6 \text{ bar} \cdot (490,873 \text{ mm}^2) \frac{0,1 \frac{N}{\text{mm}^2}}{1 \text{ bar}} = 294,524 \text{ N}$$

$$F_{retroceso} = 6 \text{ bar} \cdot (412,334 \text{ mm}^2) \frac{0,1 \frac{N}{\text{mm}^2}}{1 \text{ bar}} = 247,401 \text{ N}$$

Se define que un cilindro trabaja en condiciones normales cuando la presión está entre los 4 a 8 bar, entonces se puede decir que la  $F_{rozamiento}$  es un 5% a 10% de la fuerza teórica calculada.

Ahora que tenemos la fuerza efectiva podemos suponer que la pérdida por rozamiento es de un 10%, lo que da como resultado:

$$F_{avance} = 294,524 \text{ N} - 29,452 \text{ N} = 265,072 \text{ N} \sim 27,029 \text{ kgf}$$

$$F_{\text{retroceso}} = 247,401 \text{ N} - 24,74 \text{ N} = 222,661 \text{ N} \sim 22,705 \text{ kgf}$$

Existen tablas que nos permiten ver las diferentes fuerzas de avance y retroceso para cilindros de doble efecto para diferentes diámetros de émbolos y trabajando a diferentes presiones como nos muestra la tabla a continuación.

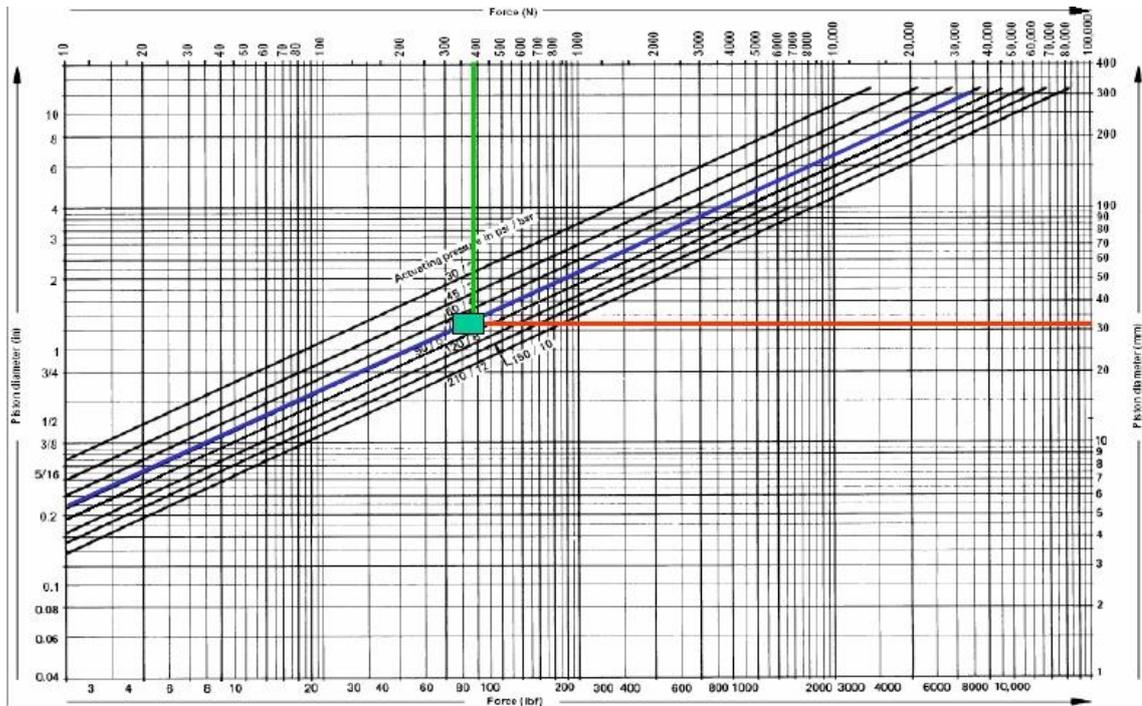
**Tabla 1-2** Fuerzas de cilindros neumáticos a varias presiones.

Fuerza de empuje actuando el aire en toda el área del pistón						Fuerza a restar por el área del vástago del pistón en el retroceso					
Diámetro del cilindro (mm)	Área del pistón (mm <sup>2</sup> )	Fuerza de empuje en newtons a varias presiones (bar)				Diámetro vástago del pistón (mm)	Área del vástago del pistón (mm <sup>2</sup> )	Fuerza de retroceso a varias presiones (newtons)			
		1,0	5,0	7,0	10,0			1,0	5,0	7,0	10,0
6	28	2,8	14,1	19,8	28,3	4	13	1,3	6,3	8,8	12,6
8	50	5,0	25,1	35,2	50,2	6	28	2,8	14,1	19,8	28,3
10	79	7,9	39,3	55,0	78,5	8	50	5,0	25,1	35,2	50,2
12	113	11,3	56,5	79,1	113,0	10	79	7,9	39,3	55,0	78,5
14	154	15,4	76,9	107,7	153,9	12	113	11,3	56,5	79,1	113,0
16	201	20,1	100,5	140,7	201,0	16	201	20,1	100,5	140,7	201,0
20	314	31,4	157,0	219,8	314,0	20	314	31,4	157,0	219,8	314,0
25	491	49,1	245,3	343,4	490,6	25	491	49,1	245,3	343,4	490,6
32	804	80,4	401,9	562,7	803,8	32	804	80,4	401,9	562,7	803,8
40	1.257	125,6	628,0	879,2	1.256,0	40	1.257	125,6	628,0	879,2	1.256,0
50	1.963	196,3	981,3	1.373,8	1.962,5						
63	3.117	311,6	1.557,8	2.181,0	3.115,7						
80	5.027	502,4	2.512,0	3.516,8	5.024,0						
100	7.854	785,0	3.925,0	5.495,0	7.850,0						
125	12.272	1.226,6	6.132,8	8.585,9	12.265,6						
160	20.106	2.009,6	10.048,0	14.067,2	20.096,0						
200	31.416	3.140,0	15.700,0	21.980,0	31.400,0						

Fuente: (Creus Antonio, p22)

La tabla muestra los resultados de los cilindros que poseen un diámetro de 25 mm, un área del pistón de 491 mm<sup>2</sup> y trabajando a una presión de 6 bar, que nos da como resultado una fuerza de empuje aproximada a 290 N una fuerza a restar de aproximadamente 45 N para el retroceso que concuerda con los datos obtenidos mediante la aplicación de las fórmulas.

El siguiente gráfico nos permite obtener la fuerza ejercida por un cilindro determinado que trabaja a cierta presión y con un diámetro de cilindro determinado o al contrario conocida la fuerza que debe ejercer y la presión a la que trabaja podemos seleccionar el diámetro del cilindro.



**Figura 23-2 Diagrama presión-fuerza para cilindros neumáticos.**

Fuente: (Creus Antonio, p23)

Para seleccionar el cilindro nos fijamos el diámetro del cilindro, continuando en línea recta hasta llegar a la presión de trabajo para finalmente trazar una vertical y llegar a la fuerza que ejerce el cilindro. En este caso el cilindro tiene un diámetro de 25mm, llegamos a una presión de 6 bar y trazamos una vertical, como resultado nos da aproximadamente una fuerza de 250 N, que es muy próximo al valor calculado de 265 N.

b) Cálculo de la fuerza de carga del cilindro.

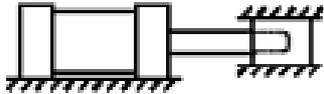
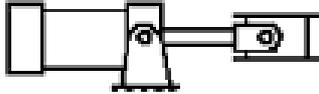
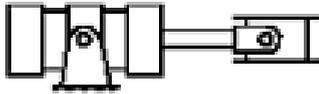
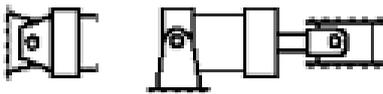
Esta medida va a depender completamente de la forma en que montamos al cilindro, y dependiendo del montaje podemos obtener el factor de pandeo. El pandeo es la deformación que puede presentar el vástago debido a las cargas que se le somete. Pero realmente lo que se busca es comprobar si el pandeo es admisible en las condiciones en las que va estar montado y las características de éste.

En la siguiente tabla se puede observar los diferentes tipos de montajes que se pueden realizar con los cilindros, y el factor de pandeo de cada uno. El factor de pandeo nos es útil para calcular la longitud básica del cilindro que viene dada por la siguiente expresión:

$$\text{Longitud básica} = \text{Carrera actual} \times \text{Factor de pandeo}$$

*Ecuación 6*

**Tabla 2-2** Montajes de cilindros y factor de pandeo

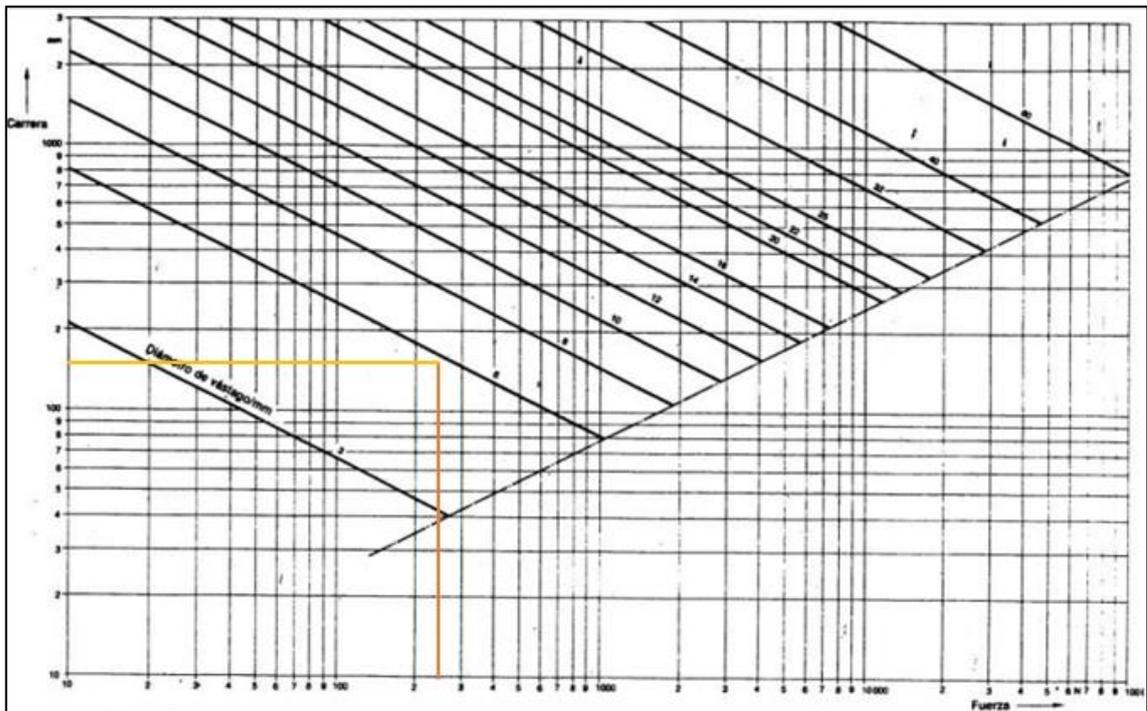
Tipos de montaje	Conexión del extremo del vástago	Tipo de conexión	Factor de pandeo
<b>Grupos 1 o 3</b> - Los cilindros de gran longitud de carrera deben montarse usando en un extremo una base rígida y alineada para soportar la fuerza principal y en el extremo opuesto un soporte parecido. Se aconseja un soporte intermedio para el caso de carreras muy largas	Fijo y guiado rígido	I 	0,5
	Pivote y guiado rígido	II 	0,7
	Soporte sin guiado rígido	III 	2
<b>Grupo 2</b>	Pivote y guiado rígido	IV 	1
	Pivote y guiado rígido	V 	1,5
	Pivote y guiado rígido	VI 	2

Fuente: (Creus Solé, 2007 p. 25)

Los cilindros de compuertas van montados verticalmente y pertenecen al grupo 1 al tipo de conexión I, que es fijo y guiado rígido. Entonces el factor de pandeo es de 0,5.

$$Longitud\ básica = 250mm \times 0,5 = 125\ mm$$

Ya conocida la fuerza de avance que es igual a 265,07 N y la longitud básica del cilindro igual a 125 mm, mediante el siguiente gráfico se determina el diámetro del vástago del pistón que es admisible.



**Figura 24-2** Diagrama de pandeo.

Fuente: (Creus Solé, 2007 p. 26)

Como resultado podemos observar del gráfico que para una fuerza de 265 N aproximadamente y una longitud de carrera básica de 125 mm, el diámetro de vástago mínimo admisible es de 6mm, por lo que el cilindro cumple los requerimientos necesarios para el tipo de montaje de la compuerta ya que el diámetro del vástago es de 10 mm.

c) Cálculo del consumo de aire

El consumo de aire de los cilindros neumáticos depende del diámetro del cilindro, diámetro del vástago, longitud de la carrera y la relación de compresión.

La relación de compresión viene dada por:

$$\text{Relación de compresión} = \frac{0,987 \times P_{\text{aire}} [\text{bar}]}{0,987}$$

Ecuación 7

Entonces el consumo de aire está expresado por:

$$\text{Consumo de aire} = \text{Relación de compresión} * \text{área pistón} * \text{carrera} * \frac{\text{ciclos}}{\text{min}}$$

Con los datos del cilindro además podemos calcular el volumen de aire que el cilindro requiere tanto para el avance como para el retroceso.

$$V [dm^3] = \frac{\pi}{4} * \frac{\phi^2 [mm^2]}{10\,000} * \frac{l [mm]}{100} = \frac{\pi * \phi^2 * l}{4\,000\,000}$$

Donde:

$\phi = \text{Diámetro del cilindro}$

$l = \text{Longitud de la carrera}$

Para los cilindros de doble efecto, se calcula el volumen requerido para el avance del cilindro y el volumen requerido al momento de retroceso, utilizando la correcta área efectiva en cada caso.

$$V_{\text{avance}} = \frac{\pi \cdot (25\text{mm})^2 \cdot (250\text{mm})}{4\,000\,000} = 0,123 \text{ dm}^3 = 0,123 \text{ l}$$

$$V_{\text{retroceso}} = \frac{\pi \cdot (25\text{mm}^2 - 10\text{mm}^2) \cdot (250\text{mm})}{4\,000\,000} = 0,103 \text{ dm}^3 = 0,103 \text{ l}$$

El consume de aire quedará expresado por:

$$Q[\text{dm}^3/\text{min}] = \frac{0,987 * P[\text{bar}]}{0,987} * \frac{\pi * \phi^2 * l}{4\,000\,000} * n$$

*Ecuación 8*

Donde:

$Q = \text{consumo de aire}$

$P = \text{Presión del aire}$

$\phi = \text{Diámetro del cilindro}$

$l = \text{Carrera del cilindro}$

$n = \text{Ciclos por minuto}$

Para los cilindros trabajando a una presión promedio de 6 bar y a un ciclo por minuto el consumo de aire es:

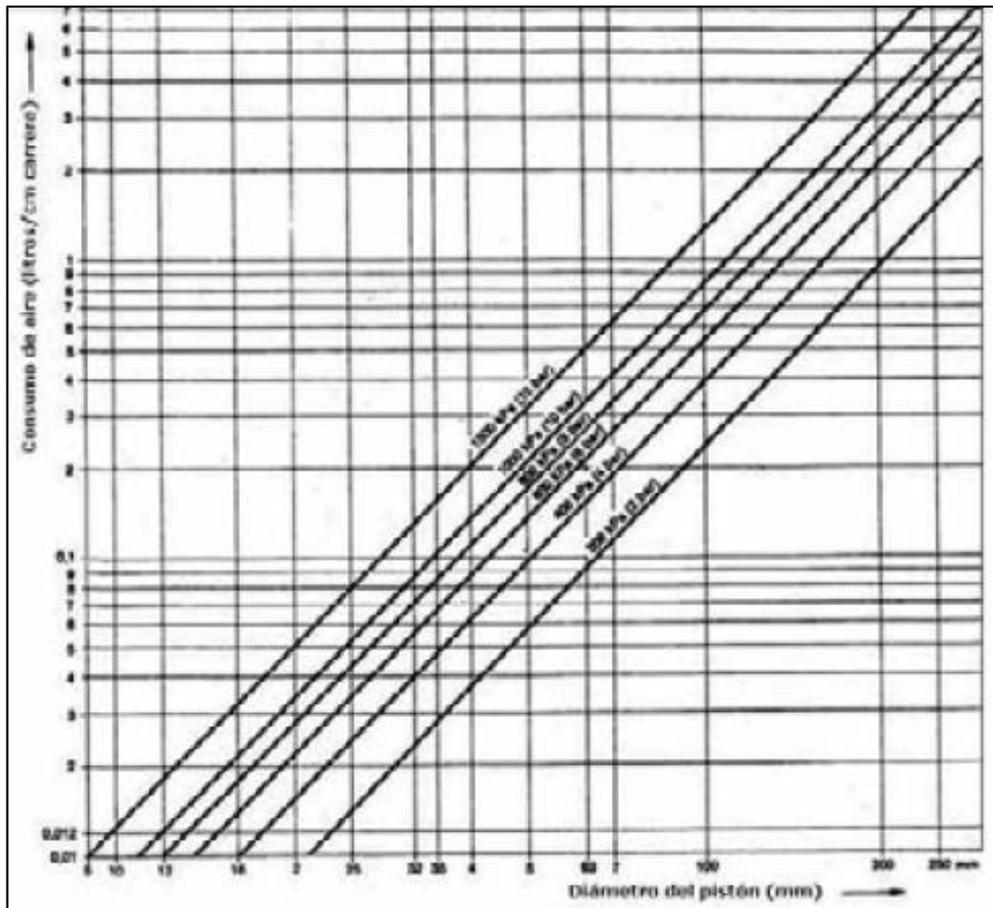
$$Q_{\text{avance}} = \frac{0,987 + 6 \text{ bar}}{0,987} * 0,123 \text{ dm}^3 * 1 = 0,871 \text{ dm}^3/\text{min}$$

$$Q_{\text{retroceso}} = \frac{0,987 + 6 \text{ bar}}{0,987} * 0,103 \text{ dm}^3 * 1 = 0,729 \text{ dm}^3/\text{min}$$

El consumo total de aire para el cilindro será la suma del consumo de aire en el avance como en el retroceso:

$$Q_{\text{combinado}} = \frac{0,871 \text{ dm}^3}{\text{min}} + \frac{0,729 \text{ dm}^3}{\text{min}} = \frac{1,6 \text{ dm}^3}{\text{min}} = 1,6 \text{ l/min}$$

La siguiente figura nos muestra el consumo de aire de un cilindro a diferentes presiones de aire, conociendo el diámetro del pistón.



**Figura 25-2** Diagrama de consumo de aire de un cilindro.

Fuente: (Creus Solé, 2007, p. 38)

d) Velocidad del pistón.

La velocidad del pistón se la obtiene dividiendo el caudal de aire para la sección del pistón, obteniendo la siguiente expresión:

$$v[dm/min] = \frac{0,987 * P[bar]}{0,987} * \frac{l * n}{100}$$

*Ecuación 9*

Donde:

$v$  = velocidad del pistón

$P$  = Presión del aire

$l$  = Carrera del cilindro

$n$  = Ciclos por minuto

Entonces la velocidad del pistón de los cilindros de compuertas son:

$$v = \frac{0,987 * 6[bar]}{0,987} * \frac{250mm * 1 \text{ ciclo/min}}{100} = 17,696 \text{ dm/min} = 1,77 \frac{m}{min} = 0,028 \frac{m}{seg}$$

e) Potencia desarrollada por el cilindro.

El cilindro al producir un desplazamiento realiza energía y en determinado tiempo ejercerá una potencia. La potencia puede ser puesta en función a la presión de trabajo y al consumo de aire.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F * d}{t} = \frac{(p * S)d}{t} = \frac{p * V}{t} = p * Q$$

Donde:

$W = \text{trabajo}$

$t = \text{tiempo}$

$F = \text{Fuerza}$

$d = \text{distancia}$

$p = \text{presión del aire}$

$V = \text{volumen}$

$Q = \text{Consumo de aire}$

$P = \text{Potencia desarrollada}$

Entonces el cilindro de la compuerta desarrolla una potencia de:

$$P = 6 \text{ bar} * 1,6 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}} * \frac{100\,000 \text{ Pa}}{1 \text{ bar}} * \frac{(1\text{m})^3}{(10 \text{ dm})^3} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 16 \text{ W}$$

### 2.8.1.2 Cilindros para la sujeción del saco.

Los cilindros encargados de la sujeción de los sacos a la estructura mecánica serán dos, que permitirán que los sacos queden suspendidos mientras son llenados con balanceado y así permitirán que los sensores de peso realicen la medida y la envíen al controlador para su procesamiento hasta que llegue al peso especificado, posteriormente estos cilindros se abren y permiten que el saco caiga. Para el dimensionamiento se ha tomado en cuenta el peso máximo que van a soportar, más un sobredimensionamiento del 25% que nos da como resultado 62,5 kgf o 612,915 N a una presión de trabajo de 6 bar.

a) Cálculo del diámetro del cilindro.

Al tener la fuerza necesaria para el avance podemos obtener el área efectiva de avance y la otra de retroceso, calculando así el diámetro del émbolo y vástago para el cilindro.

$$S_{\text{avance}} = \frac{F_{\text{avance}}}{P} = \frac{(612,915 \text{ N}) 1 \text{ bar}}{6 \text{ bar} \frac{0,1 \text{ N}}{\text{mm}^2}} = 1\,021,525 \text{ mm}^2$$

$$\phi_e = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{\text{avance}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (1021,525 \text{ mm}^2)}{\pi}} = 36,064 \text{ mm}$$

$$\phi_v = \sqrt{\frac{\left(\frac{\pi \cdot \phi_e^2}{4} - S_{retroceso}\right) \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{\pi \cdot (36,064mm)^2}{4} - 766,143\right) \cdot 4}{\pi}} = 18,031 \text{ mm}$$

Donde:

$\phi_e =$  Diámetro del émbolo.

$\phi_v =$  Diámetro del vástago

$S_{avance} =$  Area de avance

$F_{avance} =$  Fuerza de avance

$S_{retroceso} =$  Area de retroceso

Tomando en consideración esto, los cilindros poseen las siguientes características comerciales:

- Longitud de Carrera:  $l = 100 \text{ mm}$ .
- Diámetro del émbolo:  $\phi_{\text{embolo}} = 40 \text{ mm}$ .
- Diámetro del vástago:  $\phi_{\text{vástago}} = 20 \text{ mm}$ .
- Presión de trabajo:  $P = 5\text{-}8 \text{ bar}$ .

Hay que tomar en cuenta que en la vida real la fuerza que los cilindros ejercen tienen una pérdida por rozamiento del 10%, y con esto queda comprobado que el cilindro elegido es suficiente y necesario para la sujeción de sacos con un peso de 50 kgf.

Para obtener la fuerza ejercida por un cilindro determinado que trabaja a cierta presión y con un diámetro de cilindro determinado y comprobar los resultados obtenidos con las fórmulas nos referimos a la Tabla 1-2. El cilindro tiene un diámetro de 40 mm, con una presión de 5 bar, como resultado nos da aproximadamente una fuerza de 628 N, que es mayor al valor calculado debido a que el diámetro comercial es igualmente mayor al diámetro calculado aportando así positivamente al proyecto.

b) Cálculo de la fuerza de carga del cilindro.

En la tabla 2-2 observamos que los cilindros perteneces al grupo 2, donde el extremo del vástago tiene una conexión de pivote con guiado rígido, donde el factor de pandeo es de 2 con lo cual podemos calcular la longitud básica.

$$\text{Longitud básica} = \text{Carrera actual} \times \text{Factor de pandeo} = 100 \text{ mm} \times 2 = 200 \text{ mm}$$

Ya conocida la fuerza de avance que es igual a 612,015 N y la longitud básica del cilindro igual a 200 mm y mediante la figura 24-2, se determina que el diámetro del vástago del pistón mínimo admisible es de 10 mm, por lo que el cilindro implementado es suficiente para el tipo de montaje de la compuerta ya que el diámetro del vástago es de 20 mm.

c) Cálculo del consumo de aire

Con los datos del cilindro podemos calcular el volumen de aire que el cilindro requiere tanto para el avance como para el retroceso.

$$V_{avance} = \frac{\pi \cdot (40\text{mm})^2 \cdot (100\text{mm})}{4\ 000\ 000} = 0,125\ \text{dm}^3 = 0,125\ \text{l}$$

$$V_{retroceso} = \frac{\pi \cdot (40\text{mm}^2 - 20\text{mm}^2) \cdot (100\text{mm})}{4\ 000\ 000} = 0,094\ \text{dm}^3 = 0,094\ \text{l}$$

El consumo de aire a una presión promedio de 6 bar, y con una frecuencia de un ciclo por minuto es:

$$Q_{avance} = \frac{0,987 + 6\ \text{bar}}{0,987} * 0,125\ \text{dm}^3 * 1 = 0,884\ \text{dm}^3/\text{min}$$

$$Q_{retroceso} = \frac{0,987 + 6\ \text{bar}}{0,987} * 0,094\ \text{dm}^3 * 1 = 0,665\ \text{dm}^3/\text{min}$$

El consumo total de aire para el cilindro será la suma del consumo de aire en el avance como en el retroceso:

$$Q_{combinado} = \frac{0,884\ \text{dm}^3}{\text{min}} + \frac{0,665\ \text{dm}^3}{\text{min}} = \frac{1,54\ \text{dm}^3}{\text{min}} = 1,549\ \text{l}/\text{min}$$

d) Velocidad del pistón.

La velocidad del pistón se la obtiene dividiendo el caudal de aire para la sección del pistón, obteniendo:

$$v = \frac{0,987 * 6[\text{bar}]}{0,987} * \frac{100\text{mm} * 1\ \text{ciclo}/\text{min}}{100} = 7,129\ \text{dm}/\text{min} = 0,71\ \frac{\text{m}}{\text{min}} = 0,012\ \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

e) Potencia desarrollada por el cilindro.

El cilindro desarrolla una potencia de:

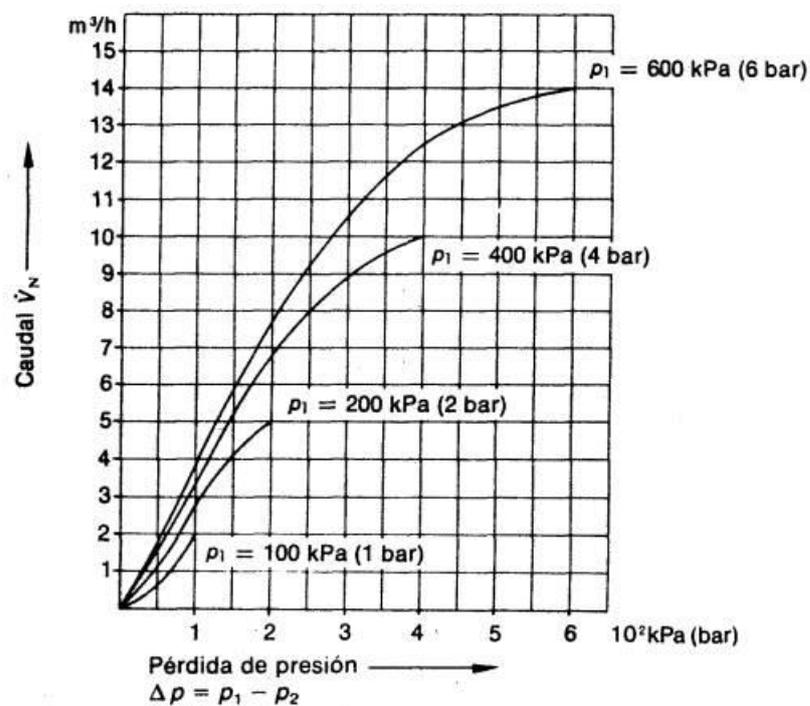
$$P = 6\ \text{bar} * 1,549\ \frac{\text{dm}^3}{\text{min}} * \frac{100\ 000\ \text{Pa}}{1\ \text{bar}} * \frac{(1\text{m})^3}{(10\ \text{dm})^3} * \frac{1\ \text{min}}{60\ \text{seg}} = 15,49\ \text{W}$$

### 2.8.2 Selección de una unidad de mantenimiento de aire.

Para la selección de una unidad de mantenimiento deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:

- El caudal total de aire en  $\text{m}^3/\text{h}$  es decisivo para la elección del tamaño de unidad. Si el caudal es demasiado grande, se produce en las unidades una caída de presión demasiado grande.
- La presión de trabajo no debe sobrepasar el valor estipulado en la unidad, y la temperatura no deberá ser tampoco superior a  $50^\circ\text{C}$ .

Todos los aparatos neumáticos poseen una resistencia interior, por lo que se produce una caída de presión entre la entrada y su salida. Esta caída de presión depende del caudal de paso y de la presión de alimentación correspondiente. Por lo tanto, debe tenerse en cuenta para el cálculo de la elección del tipo y modelo más adecuado a nuestra instalación, y el uso que le será dado.



**Figura 26-2 Dimensionamiento de la unidad de mantenimiento**

Fuente: (Antonio García López, p. 7)

En el diagrama están representadas varias curvas para presiones de entrada  $p_1$ . En la abscisa está indicada la pérdida de presión  $\Delta p$ . Esta es la diferencia entre la presión reinante en el regulador de presión ( $p_1$ ) y la presión a la salida de la unidad ( $p_2$ ).

Es recomendable sobredimensionar la canalización principal de la red en un 300% del flujo nominal, ya que el agravamiento económico originado por una posible ampliación posterior a la instalación inicial, es mucho más elevado que el coste adicional del sobredimensionamiento preventivo.

El flujo de aire tomado para el diseño de la red es:

$$F_N = 0.378 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (flujo nominal)}$$

$$F_{amp} = 3 * 0.378 \text{ m}^3/\text{h} = 1.134 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (flujo para ampliaciones)}$$

El flujo con una presión de entrada  $p_1 = 600 \text{ kPa}$  (6 bar) que es la presión promedio que nos entrega el compresor, y  $\Delta p = 50 \text{ kPa}$  (0.5 bar) [ $p_2 = 600 \text{ kPa}$  (6 bar)] que es la presión de salida de la unidad de mantenimiento para abastecer a los elementos neumáticos con una presión estable de 6 bar, el caudal resultante que abastece la unidad de mantenimiento es de  $1.8 \text{ m}^3/\text{h}$  aproximadamente.

Al ser nuestro consumo de  $1.134 \text{ m}^3/\text{h}$ , es suficiente adquirir una unidad de mantenimiento que nos ofrezca un caudal de  $1.8 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### 2.8.3 Dimensionamiento del generador de aire

Para seleccionar el compresor que se adapte al sistema implementado, es necesario conocer ciertos datos previamente ya calculados como lo son:

- Consumo de aire de todos los elementos del sistema.
- Presión máxima de trabajo.

- Consumo de aire de los elementos.

Previamente calculamos el consumo de aire de los dos cilindros que son usados como compuertas y de los dos cilindros que son usados para la sujeción del saco. Estos son los únicos elementos que intervienen en el sistema, entonces podemos calcular el consumo total de aire.

**Tabla 3-2** Consumo de aire total.

Cantidad	Descripción	Consumo [l/min]	Consumo [m <sup>3</sup> /min]	Consumo [m <sup>3</sup> /h]
2	Cilindro para compuertas	3,2	0,0032	0,192
2	Cilindro para sujeción del saco	3,098	0,00309	0,185

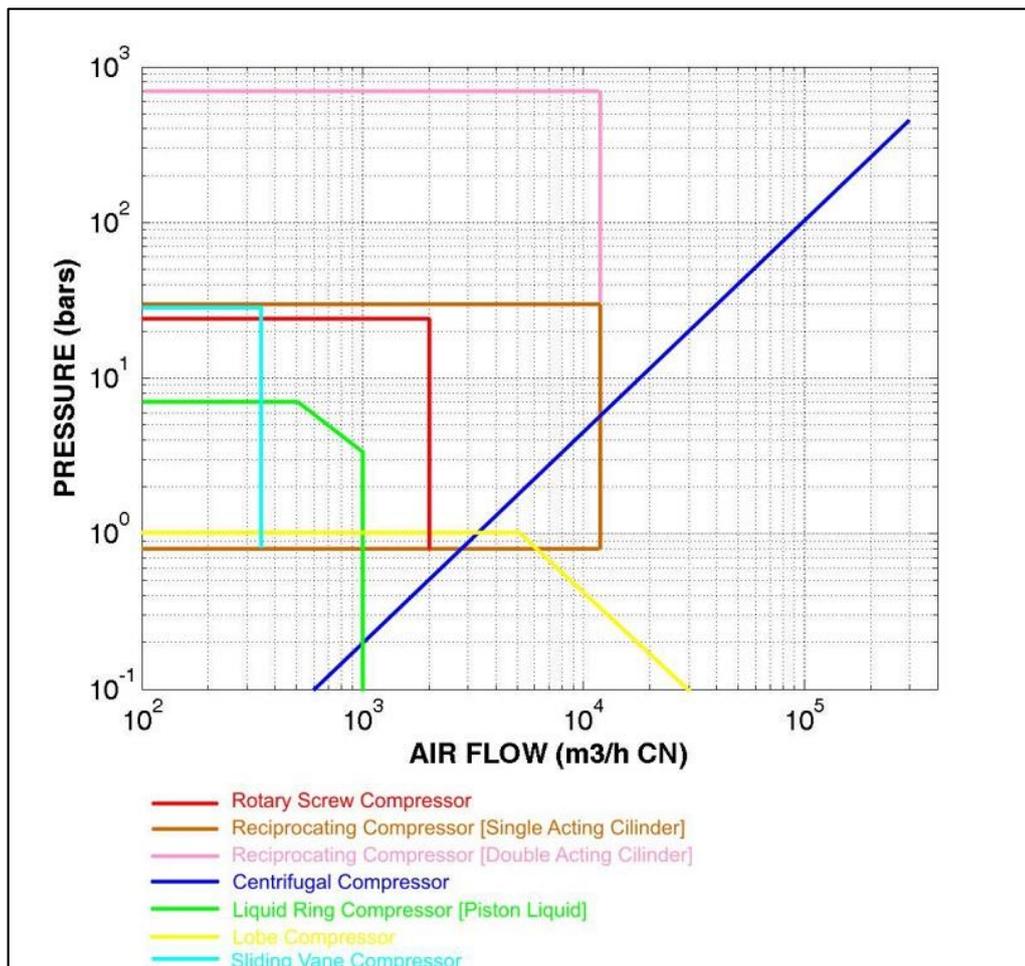
<b>CONSUMO TOTAL:</b>	<b>6,298</b>	<b>0,00629</b>	<b>0,377</b>
-----------------------	--------------	----------------	--------------

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

- Presión máxima de trabajo.

La presión máxima a la que van a trabajar las electroválvulas que actúan sobre los cilindros neumáticos es de 8 bar o sus equivalentes a 116 psi o 0,8 MPa.

Al determinar estos parámetros básicos, mediante tablas o gráficos podemos determinar el tipo de compresor que mejor se adapta al sistema. En este caso al tener un consumo relativamente bajo, tan solo de 0,249 m<sup>3</sup>/h y guiándonos en la figura podemos determinar que los compresores que no se adaptan a al sistema son: compresor centrífugo y compresor de lóbulos. Los compresores que mejor se adaptan son: compresor de paletas y compresor alternativo y un compresor de tornillo rotatorio.



**Figura 27-2 Guía de compresores.**

Fuente: (Ingemecánica Tutoriales)

Otro factor importante a tener en cuenta a la hora de seleccionar un compresor es determinar el volumen del tanque donde se almacena el aire, para lo cual lo realizamos mediante un software online de Kaeser Compresores. Los datos requeridos son el caudal requerido, el tiempo de

almacenamiento y las presiones, para lo cual asumimos una pérdida de presión de 0,1 bar obteniendo los siguientes resultados.

Flujo nominal requerido	V	0.00415	m <sup>3</sup> /min
Tiempo de almacenamiento	t	1	min
Presión inicial del tanque de almacenamiento	P <sub>I</sub>	8	bar
Presión final del tanque de almacenamiento	P <sub>F</sub>	7.9	bar
Sin contemplar el caudal adicional del compresor			
Volumen del tanque de almacenamiento	V <sub>R</sub>	0.04	m <sup>3</sup>

**Figura 28-2 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento de aire.**

Fuente: (Kaeser Compresores)

Se puede observar en la figura que se requiere de un tanque de 0,04 m<sup>3</sup> o su equivalente de 40 litros.

## 2.9 Diseño del sistema electrónico.

En esta sección se definen todos los aparatos electrónicos utilizados, desde los sensores, el controlador y la interfaz gráfica que permiten el automatismo del proceso de ensacado de la máquina mezcladora de balanceado y el control de peso del balanceado.

### 2.9.1 Sensores.

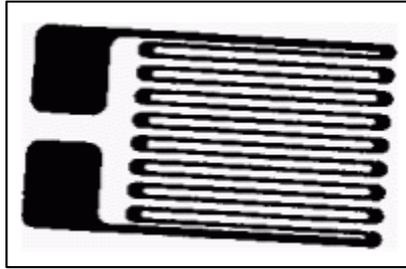
Los sensores son dispositivos que transforman magnitudes físicas, químicas, mecánicas en magnitudes eléctricas. Estas señales nos permitirán obtener señales y posteriormente serán tratadas por el controlador para un respectivo control, además proveerán señales de verificación que nos proveerá de seguridad tanto para la parte del proceso como para la parte humana previniendo posibles accidentes.

#### 2.9.1.1 Celdas de carga.

Las celdas de carga son dispositivos electrónicos que generan una señal de tipo eléctrica a partir de la variación de un peso, es decir son sensores que transforman la magnitud física peso a una magnitud eléctrica.

- Funcionamiento.

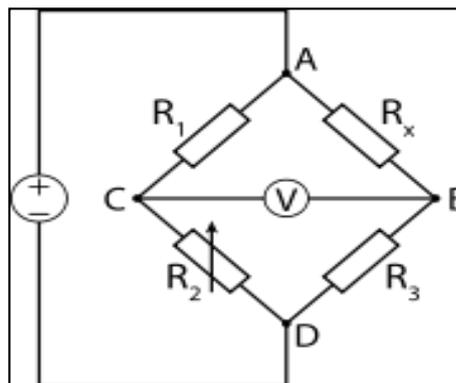
La gran parte de celdas de carga electrónicas están basadas en una configuración de varias galgas extensiométricas. Las galgas extensiométricas basan su funcionamiento en el efecto piezoeléctrico, en donde varían su resistencia eléctrica dependiendo de la deformación a la que la galga se encuentre expuesta.



**Figura 29-2 Galga extensiométrica**  
Fuente: (Bellini Bruno, 2009, p.2)

Las galgas están unidas a una viga o miembro estructural que se deforma cuando el peso se aplica. En la mayoría de los casos, cuatro galgas se utilizan para obtener la máxima sensibilidad y la compensación de temperatura. Dos de las galgas suelen estar en tensión, y dos en compresión, y están conectados (mediante cables) con los ajustes de compensación. Cuando se aplica el peso, la tensión cambia la resistencia eléctrica de las galgas en proporción a la carga. (Bellini Bruno, 2009, p.4).

El montaje de estas galgas extensiométricas por lo general se lo realiza mediante un puente de Wheatstone, que es una configuración de resistencias en forma de un puente que puede trabajar con corriente continua y corriente alterna y sirve para medir resistencias que se desconocen mediante el equilibrio del puente como se puede observar en la figura:



**Figura 30-2 Puente de Wheatstone**  
Fuente: (Bruno R, Suárez L, 2015, p.8)

Las celdas de carga pueden tener diferentes configuraciones del puente dependiendo si se lo realiza con una galga, con dos o con cuatro galgas. Si se lo realiza con dos o con cuatro galgas extensiométricas la celda poseerá una mayor sensibilidad y además permitirá compensar la medida por variaciones de temperatura. Todo esto se lo podrá ver en las características que da el fabricante de las celdas de carga.

- Selección de la celda de carga.

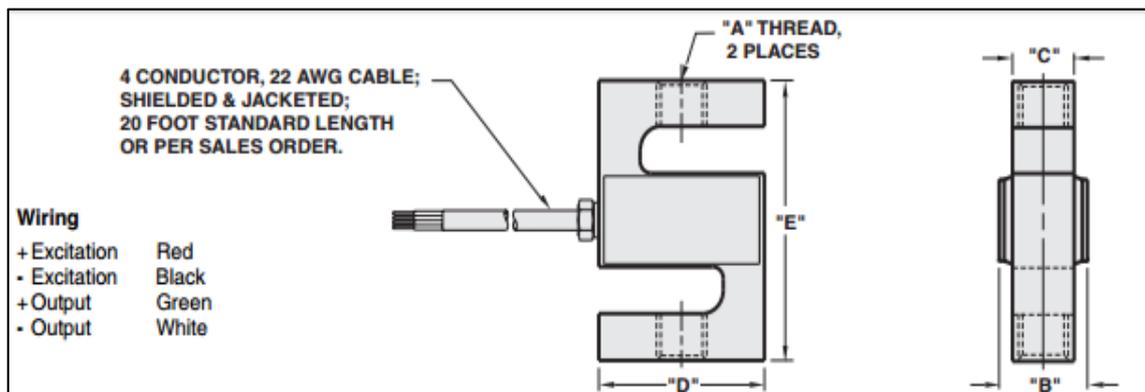
Para la configuración mecánica que permite que los sacos queden suspendidos para poder medir su peso, se utilizan dos celdas carga tipo S, que permite obtener la medida tanto en compresión como en tensión. En el sistema implementado las celdas de carga son utilizadas para tensionarlas, así mientras el peso vaya aumentando, las celdas de carga se irán tensionando verticalmente dándonos una señal eléctrica proporcional a el peso del balanceado en el saco.

Para ver la capacidad de peso de la celda tomamos en cuenta que los sacos a ser ensacados tendrán un peso máximo de 50 kg, más la estructura que va a estar suspendida en las celdas tendrá un peso de 22,5 kg dando como resultado 72,5 kg. Para celdas de carga lo recomendado es seleccionar una celda con el doble de capacidad por las deformaciones que sufre y con el tiempo se van deformando por lo que se obtiene 150 kg. El valor comercial de la celda de carga que se adapta a al sistema es de 200 kg por lo que se seleccionó la celda de carga de la figura.



**Figura 31-2 Celda de carga de 200 kg.**  
Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

- Dimensiones de la celda de carga tipo S.



**Figura 32-2 Dimensiones de la celda de carga tipo S**

Fuente: (Vishay, 2010, p.1)

De la figura se puede observar las principales longitudes que se toman de las celdas de carga, la medida de la rosca y además podemos ver el código de colores que poseen tanto para la alimentación como para las salidas de la señal y opcionalmente poseen un quinto cable para protección. En la tabla a continuación veremos específicamente las dimensiones de las celdas de carga dependiendo de las capacidades de cada una.

**Tabla 4-2** Dimensiones de las celdas de carga tipo S.

CAPACITY	A	B	C	D	E	DEFLECTION	WEIGHT
25 - 200	1/4-28 UNF-2B	0.65	0.50	2.00	2.50	0.015 - 0.010	4.0
250 - 300	3/8-24 UNF-2B	0.75	0.50	2.00	3.00	0.010	4.0
500 - 2K	1/2-20 UNF-2B	1.00	0.75	2.00	3.00	0.010 - 0.012	6.5
2.5K - 4K	1/2-20 UNF-2B	1.25	1.00	2.00	3.00	0.012	6.5
5K	3/4-16 UNF-2B	1.25	1.00	3.00	4.25	0.017	6.5
10K	3/4-16 UNF-2B	1.25	1.00	3.50	4.75	0.025	6.5
15K	1-14 UNF-2-B	1.50	1.25	4.00	5.50	0.025	9.0
20K	1-1/4-12 UNF-2-B	2.25	2.00	5.00	7.00	0.025	9.0
[50 - 100kg]	M8.0 x 1.25-6H	[16.5]	[12.7]	[50.8]	[63.5]	[0.03 - 0.004]	[0.8]
[250kg - 1t]	M12 x 1.75-6H	[25.4]	[19.1]	[50.8]	[76.0]	[0.004]	[1.8]
[2.5t]	M20 x 1.5-6H	[31.8]	[25.4]	[76.2]	[108.0]	[0.008]	[2.9]
[5t]	M20 x 1.5-6H	[31.8]	[25.4]	[88.9]	[120.7]	[0.011]	[2.9]
[10t]	M30 x 2.0-6H	[57.2]	[50.8]	[127.0]	[177.8]	[0.011]	[4.0]

Fuente: (Vishay, 2010, p.1)

Las dimensiones de las celdas de carga de 200 kg utilizadas para el sistema implementado son:

**Tabla 5-2** Dimensiones de la celda de carga tipo S de 200 kg.

Capacidad	A	B	C	D	E	DEFLECTION
200 kg	M12 x 1.75-6H	[25.4]	[19.1]	[50.8]	[76.0]	[0.004]

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

- Especificaciones técnicas de celda de carga tipo S de 200 kg.

Las principales especificaciones que nos indica el fabricante son las siguientes:

**Tabla 6-2** Especificaciones celda de carga XL8101-200 kg.

Celda de carga tipo S 200 kg		
<b>Modelo</b>	XL8101-200 kg	
<b>Fecha de fabricación</b>	2015-04-03	
<b>Precisión:</b>	0.05% F.S	
<b>Salida nominal</b>	2.00 ± 0.05	mV/V
<b>No lineal</b>	≤ 0.05	% F.S
<b>Histéresis</b>	≤ 0.05	% F.S
<b>Repetibilidad</b>	≤ 0.05	% F.S
<b>Fluencia</b>	≤ 0.05	% F.S/30 min
<b>Efecto de la temperatura sobre cero</b>	≤ 0.02	% F.S/10°C
<b>Efecto de la temperatura sobre la sensibilidad</b>	≤ 0.02	% F.S/10°C

<b>Impedancia de entrada</b>	380 ±10	Ω
<b>Impedancia de salida</b>	350 ± 3	Ω
<b>Resistencia de aislamiento</b>	>5000	MΩ
<b>Voltaje de excitación</b>	5 – 18	V/DC
<b>Rango de compensación de temperatura</b>	-10°C a +40°C	°C
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	-30°C a +70°C	°C
<b>Sobrecarga segura</b>	200	% F.S
<b>Sobrecarga máxima</b>	300	% F.S
<b>Cableado</b>	Excitación + = Rojo Excitación - = Negro Señal + = Verde Señal - = Blanco	

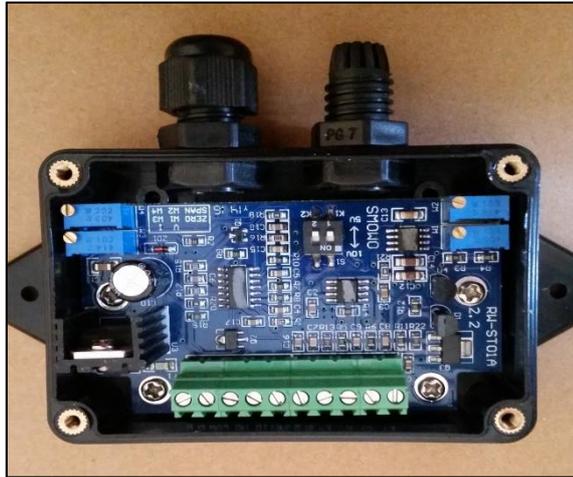
Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

De la tabla de especificaciones la expresión F.S hace referencia a fondo de escala (capacidad máxima de la celda de carga), es decir en las celdas de carga es de 200 kg. Además podemos darnos cuenta que la celda de carga tiene una compensación de temperatura dentro del rango de -10°C a 40°C; por lo que no es necesario realizar otra compensación ya que el rango de temperatura a la que va a trabajar es de 5°C a 30°C.

Otra característica importante es que la salida nominal va a ser de 2 mV/V esto quiere decir que a 0 kg nos dará una señal de 0mV y a la máxima capacidad de 200 kg nos dará un valor igual al producto 2mV\*Voltaje de alimentación de la celda.

#### 2.9.1.2 Acondicionamiento de la señal de las celdas de carga.

Las celdas de carga al darnos a su salida un voltaje en el rango de los milivoltios es necesario el acondicionamiento de esta señal para poder ingresar al controlador que admite un rango de 0 a 10 V y posteriormente poder realizar el control de peso. Para poder filtrar y amplificar la señal fue necesario la utilización de un circuito electrónico. En la figura se observa el circuito electrónico:



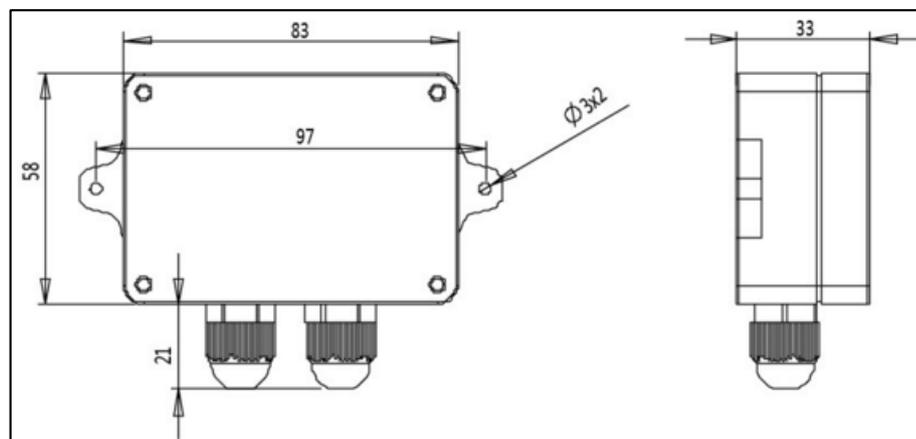
**Figura 33-2 Acondicionador de señal de celdas de carga.**  
Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Crishtyan, 2015

El circuito corresponde a la marca SMOWO y su modelo RW-ST01A permite la amplificación de la señal de una celda de carga dándonos a la salida un voltaje de 0 a 5 V o de 0 a 10 V, también una corriente de 4 a 20 mA, pero para el sistema de control utilizamos la salida de voltaje ya que las entradas analógicas del controlador solamente admiten un voltaje de entrada de 0 a 10 V.

El amplificador nos permite calibrar a cero las celdas de carga mediante un potenciómetro de precisión, tanto para la corriente como para el voltaje de salida.

- Dimensiones

Las dimensiones del circuito amplificador de señal encapsulado son:



**Figura 34-2 Dimensiones del amplificador de señal de celdas de carga.**  
Fuente: (SMOWO RW-ST01A datasheet, p.1)

- Especificaciones técnicas.

La especificación nos da SMOWO el fabricante de los amplificadores de señal para celdas de carga.

**Tabla 7-2** Especificaciones amplificador de señal SMOWO RW-ST01A.

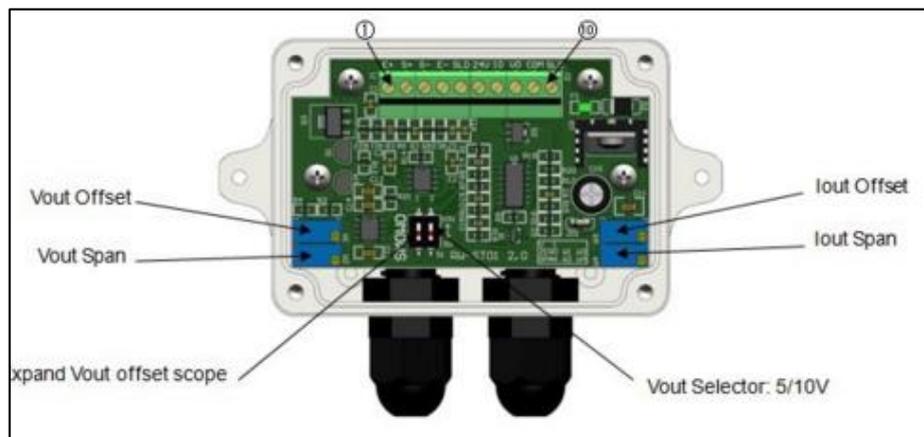
Input signal	Full bridge strain gauge/Load cell
Bridge resistor	<2K $\Omega$
Sensitivity	1.5~2.1mV/V
Excitation voltage	7.5V DC
Excitation current	<100mA@12V supply <50mA@24V supply
Power supply	12~26V DC vs. 0~5V output 18~26V DC vs. 0~10V & 4~20mA output
Linear	0.3%
Temperature coefficient	50ppm@10~30°C, 100ppm full work temperature range
Operating temperature	0~50°C
Weight	90g
Dimension	115mm×80mm×35mm (bolt center: 97mm)

Fuente: (SMOWO RW-ST01A datasheet, p.2)

Las principales características que nos presenta este amplificador es que se alimenta con 18 a 26 V DC para obtener una salida de 0 a 10 V, admite celdas de carga en configuración en puente de galgas extensiométricas y el rango de temperatura para una correcta operación es de 0 a 50°C.

Además, provee de una protección de entrada contra sobrecorrientes y sobrevoltajes y una protección de salida para cortocircuitos. Provee una encapsulado con protección contra agua y polvo con un índice IP65.

- Diagrama de conexión.



**Figura 35-2** Conexión del amplificador de señal de celdas de carga.

Fuente: (SMOWO RW-ST01A, datasheet)

El amplificador permite la conexión de una sola celda de carga y viene incorporado con borneras para su fácil conexión. Además mediante un interruptor podemos elegir si deseamos una salida de 0 a 5 V o si deseamos la salida de 0 a 10 V y al mismo tiempo tenemos la salida de corriente. En la siguiente tabla nos muestra la manera de conectar la celda de carga y los pines de salida del amplificador.

**Tabla 8-2** Diagrama de conexión del amplificador de señal SMOWO RW-ST01A.

Terminal No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	To Sensor					Power supply & Output				
Define	EXC+	SIG+	SIG-	EXC-	Shield	12~26V DC	Iout	Vout	Common.	Shield

Fuente: (SMOWO RW-ST01A, datasheet)

### 2.9.1.3 Final de carrera.

Los finales de carrera son sensores digitales dándonos como señal de salida un 0 lógico o un 1 lógico, es decir basan su funcionamiento en un interruptor, es decir en una posición permiten el paso de la corriente y en la otra posición no lo hace hasta que alguna interrupción lo active. Los finales de carrera pueden ser de dos tipos:

- Normalmente cerrados NC: normalmente permiten el paso de la corriente y al recibir la señal de activación cambian de posición no permitiendo el paso de la corriente.
- Normalmente abiertos NO: normalmente no permiten el paso de la corriente y al recibir la señal de activación cambian de posición permitiendo el paso de la corriente.

Existen diferentes tipos de finales de carrera dependiendo el modo en que se los accione pudiendo ser de bisagra, palanca, palanca con rodillo, pulsador, etc. En la implementación del sistema seleccionamos un final de carrera con accionamiento de palanca como se muestra en la figura, que permitirá que el operario envíe una señal de confirmación cuando el saco está ubicado y así prevenir cualquier posible incidente dentro del proceso.



**Figura 36-2 Final de carrera de palanca.**  
Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

#### 2.9.1.4 Sensores ópticos.

Los sensores ópticos funcionan como un interruptor, cuando detectan la presencia de algún objeto son activados y cambian de posición y nos dan una señal de salida. Existe una gran variedad de sensores ópticos que depende de la forma, de su tecnología, de su funcionamiento y de su tipo de salida.

Las características principales para la selección de un sensor óptico a considerar son el rango de operación, la precisión y la velocidad de respuesta.

Se utilizaron dos sensores ópticos, el primero tiene la funcionalidad de dar una señal de activación cuando el saco esta ya ubicado en la posición correcta para el cierre de la prensa y está listo para su llenado, el otro activa automáticamente la cosedora, una vez que se han cumplido las etapas anteriores con un retardo de tiempo para que el saco quede completamente sellado. Los sensores utilizados son los siguientes:



**Figura 37-2 Sensores ópticos.**  
Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

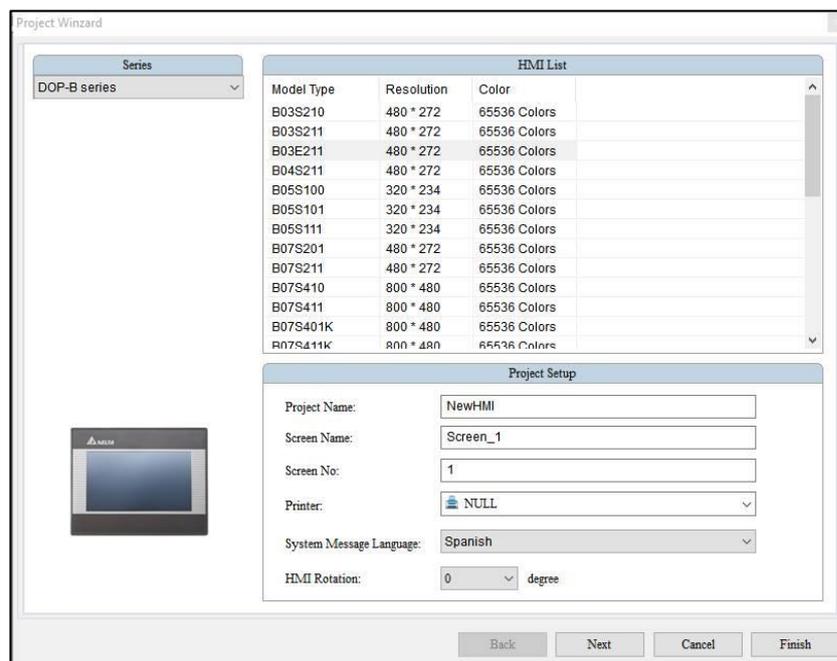
## 2.10 Comunicación Ethernet entre PLC y HMI.

### 2.10.1 Implementación de la comunicación PLC con el HMI.

Para poder realizar el envío y recepción de datos del PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C al HMI Delta DOP-BO3E211 y viceversa es necesario la implementación de un protocolo que permita la comunicación y la interpretación del flujo de datos entre estos dispositivos. El protocolo que permite la comunicación es el “ISO on TCP” que es el protocolo que recomienda Delta para la comunicación mediante puerto Ethernet.

### 2.10.2 Configuración del HMI Delta DOP-BO3E211

El software utilizado para la configuración y programación de la HMI Delta DOP-BO3E211 es DOPSoft v2.0, en el cual en primer punto se debe seleccionar el HMI a utilizar, posteriormente se define el nombre del proyecto, el ángulo de rotación de la pantalla y el lenguaje con el que se presenta la interfaz gráfica del programa, tal como se muestra en la figura:

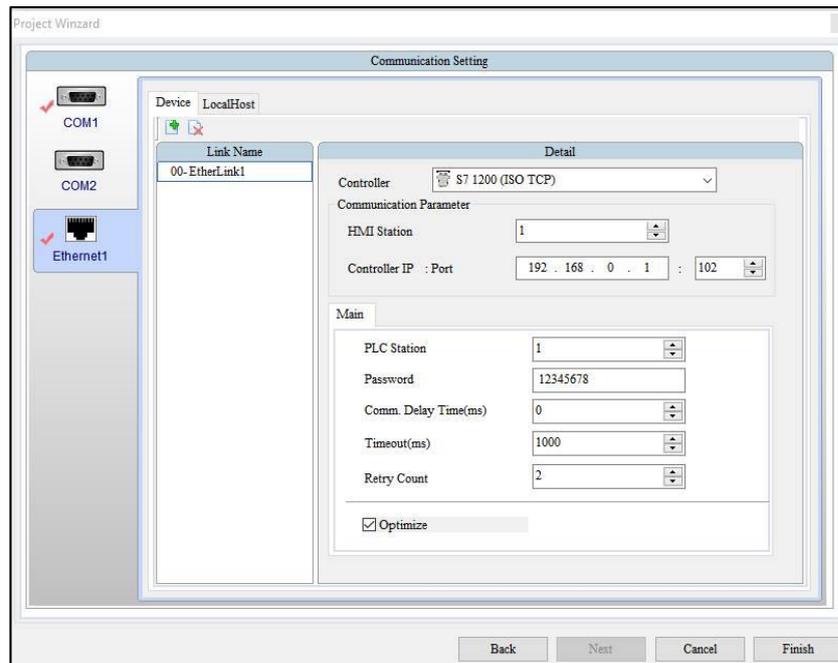


**Figura 38-2 Selección HMI en DOPSoft v2.0**

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

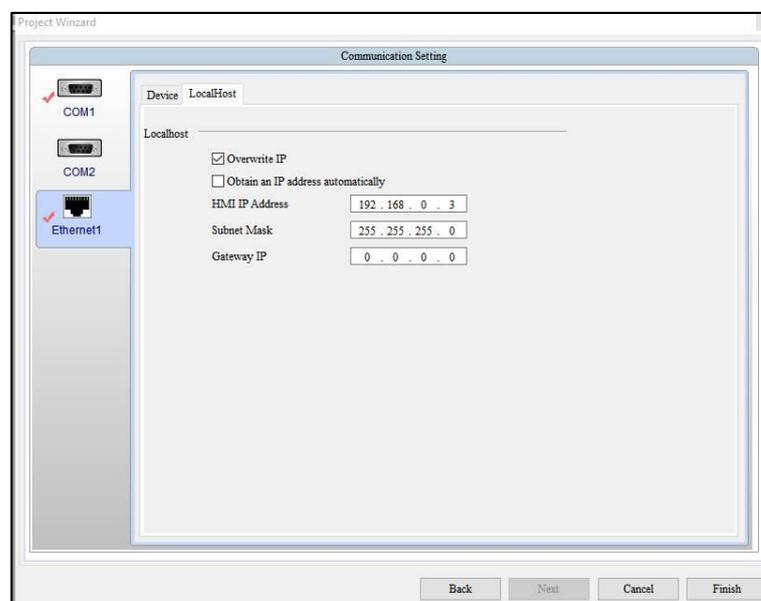
Subsiguientemente se selecciona el protocolo S7 1200 (ISO TCP) en la parte de “Controlador” y se direcciona al PLC S7 1200 con una dirección IPv4 en la sección “Parámetros de

comunicación” y opcionalmente podemos modificar los parámetros de comunicación en las opciones de “Main”.



**Figura 39-2 Direccionamiento del PLC en DOPSoft v2.0**  
Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

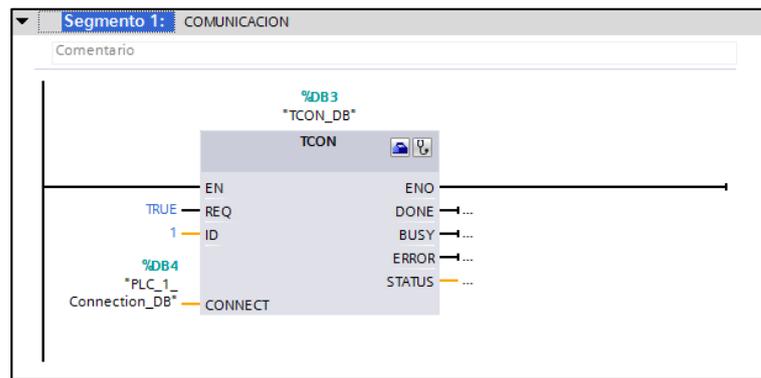
Finalmente, en la pestaña “LocalHost” se direcciona a la HMI con una dirección IPv4 y se coloca la máscara de subred o simplemente seleccionamos la pestaña para obtener una dirección IP automáticamente. Es necesario configurar tanto a la HMI como al PLC dentro de la misma red.



**Figura 40-2 Direccionamiento del HMI en DOPSoft v2.0**  
Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

### 2.10.3 Configuración del PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C

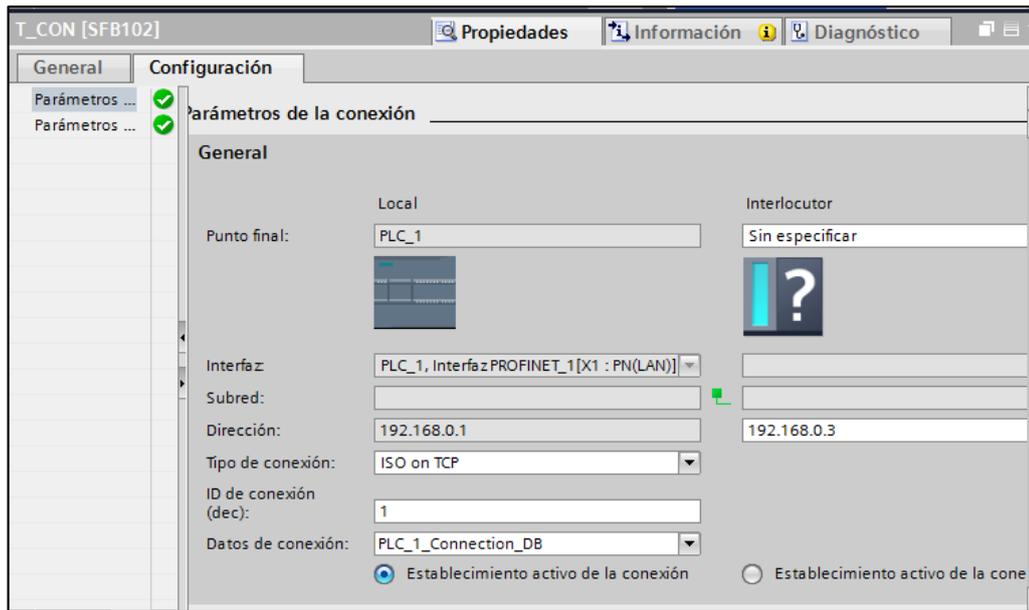
Para configurar y programar al controlador Siemens S7-1200 CPU 1214C se utiliza TIA PORTAL. En la sección de “Bloques del programa” existe la función principal “Main”, en ella se inserta un bloque de comunicación TCON que nos permite configurar el protocolo y el dispositivo con el que se comunicará. El bloque TCON lo encontramos en las instrucciones de comunicación, en la carpeta “Comunicación S7” y posteriormente en la subcarpeta “Open user communication”.



**Figura 41-2 Bloque TCON.**

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Se ingresa a la configuración del bloque TCON donde seleccionamos al dispositivo interlocutor que en este caso es la HMI Delta, seleccionamos la interfaz Ethernet del PLC, el tipo de conexión como ISO on TCP, el identificador de conexión y la dirección IPv4 del HMI como se observa en la figura:



**Figura 42-2 Configuración del bloque TCON.**  
Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

## CAPITULO III

### 3 MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN.

En el presente capítulo se detalla los mecanismos implementados, los sistemas eléctricos y neumáticos montados, la adquisición de datos de los sensores, así como su calibración y acondicionamiento, los resultados obtenidos y cómo interaccionan unos con otros para la correcta automatización del proceso de ensacado, dosificación, pesado y sellado de sacos de balanceados. Además, se describe el sistema de control en lazo cerrado para el proceso de pesado.

Una vez aprobada la propuesta del proyecto se procedió a recopilar información acerca del proceso que llevaba la planta, con el objetivo de fundamentar el diagnóstico que se realizó posteriormente, se notó que el historial de registros que poseía la planta no cumplía con las necesidades que el análisis de optimización del proceso requería por lo cual conjuntamente con el personal de la planta se planificó un proceso de diagnóstico y adquisición de información, empezando por la verificación del estado físico de la máquina mezcladora de balanceado y su capacidad de producción, luego, se empleó la observación como técnica de recolección de datos documentando los mismos en hojas de registro personalizadas acorde a las necesidades del proyecto con la aprobación del jefe de la planta durante 32 días, teniendo como objetivo principal extraer los datos de tiempos de producción y optimización de recursos en el pesaje de los sacos, en los meses posteriores se aplicó una técnica más de recolección de datos entrevistando al operario y al jefe de la planta sobre el proceso fundamentado en el historial del mismo, además se continuó observando el comportamiento del proceso.

Simultáneamente a esto se empezó a evaluar el sistema automático propuesto empezando con pruebas patrones con el objetivo de reducir el error mediante la correcta calibración de los sensores y para mejorar el tiempo de respuesta del sistema, utilizando la misma técnica de recolección de datos aplicada en la planta de balanceado se registró cada una de las pruebas que se realizaron, sumando la técnica de experimentación el proceso propuesto proyectó un resultado óptimo que supera notablemente al que actualmente rige en la planta de balanceado. Para el análisis se tomó una muestra de 30 tiempos y pesos en situaciones diferentes acordes a las necesidades del proyecto.

Finalmente se realiza un análisis cualitativo y cuantitativo del tiempo de producción y el uso de recursos de la máquina previa a la implementación del sistema automático y de la máquina con

el sistema automático implementado. Estos resultados se comparan unos con otros mediante un análisis estadístico para llegar a conclusiones acerca de la mejor tecnología implementada.

### 3.1 Implementación del control electro-neumático en el tablero de control.

En el gabinete de dimensiones 60cm x 40cm x 20cm se montó el sistema de control tanto la parte eléctrica como la parte neumática. En la siguiente figura podemos observar los elementos eléctricos, electrónicos y neumáticos que forman parte del sistema de control y se encuentran en la parte interna del gabinete.



**Figura 1-3 Gabinete de control parte interna.**  
Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

En la figura 6-3 se observa los siguientes elementos electrónicos:

- PLC Siemens 1200 CPU 1214c DC/DC/DC
- Fuente de poder Delta de 10 A
- HMI Delta DOP-BO3E211
- Acondicionadores de señal de las celdas de carga
- Luces piloto
- Pulsadores
- Borneras de conexión
- Cables para conexión

- Interruptor termo-magnético de 6 A

Además, se encuentran las electroválvulas neumáticas que permiten el control de los cilindros neumáticos utilizados en los mecanismos de compuertas y en el mecanismo de sujeción del saco.

El gabinete en la parte exterior se encuentra colocados con varias luces piloto y pulsadores que permiten el accionamiento del sistema automático, así como la HMI para que el operador ingrese los pesos objetivos y pueda observar el peso real. En la figura 7-3 podemos observar el gabinete desde el exterior.

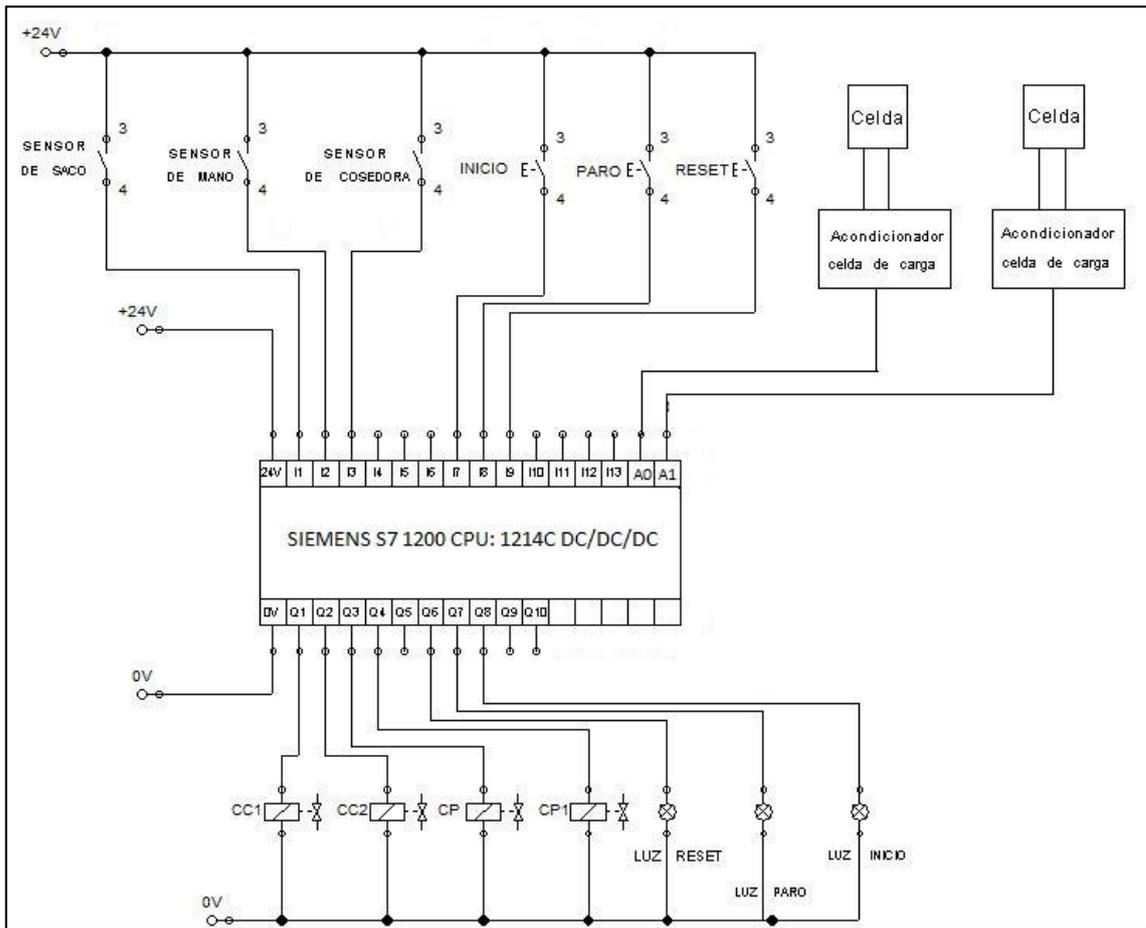


**Figura 2-3 Gabinete de control parte externa.**  
Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Dentro del gabinete de control se encuentran montados dos sistemas principales:

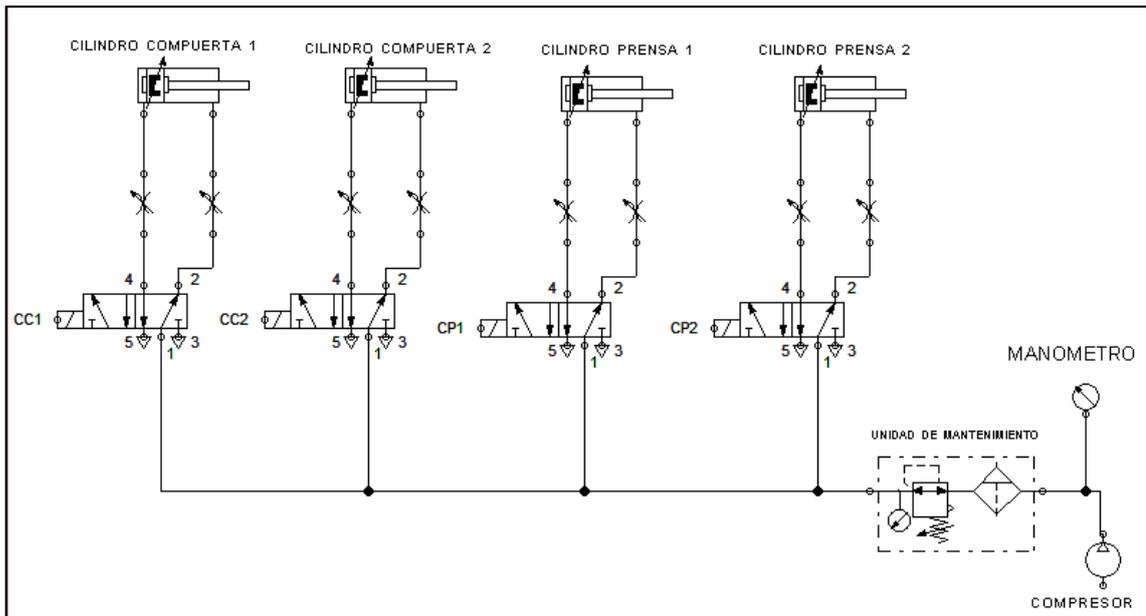
- Sistema electrónico y eléctrico
- Sistema neumático

El sistema electrónico lo conforman la fuente de poder, el PLC Siemens, los acondicionadores de señal de las celdas de carga, el relé, los pulsadores, las luces piloto, borneras de conexión y los solenoides de las electroválvulas y todos estos elementos se encuentran conectados como se muestra en el siguiente diagrama.



**Figura 3-3 Diagrama electrónico**  
 Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

El sistema neumático está conformado por las electroválvulas neumáticas, las válvulas reguladoras de presión y los cilindros neumáticos. Todos los cilindros son de doble efecto y son activados de la misma manera por una electroválvula 5/2, el diagrama neumático es el siguiente:



**Figura 4-3 Diagrama neumático de activación de los cilindros**

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

### 3.2 Implementación del mecanismo de compuertas.

El mecanismo de compuertas lo conforman los dos cilindros de doble efecto de 25 cm de carrera que realizan el cierre de dos compuertas de diferentes áreas, que permiten el paso del balanceado de la tolva hacia el saco dependiendo los requerimientos del peso. Este mecanismo fue montado en la parte lateral de la pieza que comunica la tolva hacia el mecanismo de sujeción del saco. En la figura 5-3 se puede apreciar su estructura:

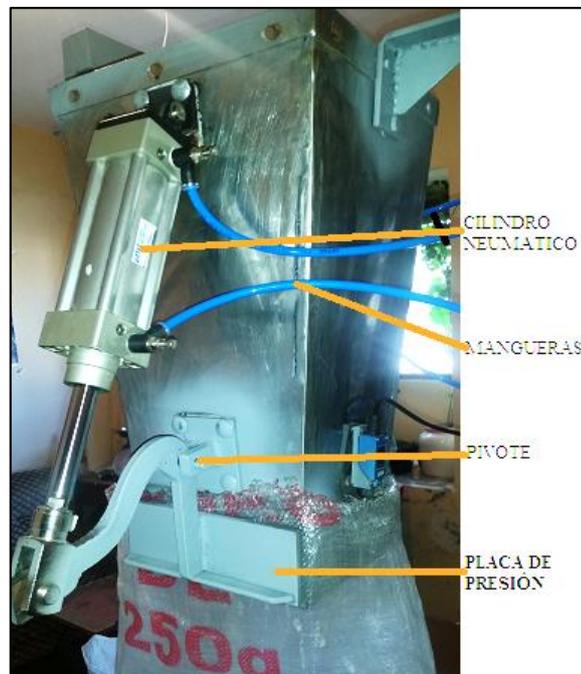


**Figura 5-3 Mecanismo de compuertas.**

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

### 3.3 Implementación del mecanismo de sujeción de sacos.

El mecanismo de sujeción de sacos está compuesto por dos cilindros neumáticos de doble efecto de 10 cm de carrera. Mediante un mecanismo de pivote permite que un brazo haga presión hacia la estructura ejerciendo una gran fuerza que permita sujetar los sacos de forma vertical, y suspendidos en el aire para poder realizar la medición del peso. En la figura 6-3 se observa como el mecanismo sujeta a los sacos.



**Figura 6-3 Cilindro neumático con pivote.**  
Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Este mecanismo fue montado de forma simétrica en los dos lados de la boca para permitir el agarre de la abertura del saco de forma completa. Además cada placa que realiza la presión está recubierta por un caucho especial que permite el mejor agarre y amortigua el golpe al momento de realizar presión contra la estructura.



**Figura 7-3 Mecanismo de sujeción de sacos.**  
Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

### **3.4 Calibración de las celdas de carga**

Para la calibración de las celdas de carga se procedió a tomar la medida de voltaje a la salida de cada una de las celdas correspondientes a varios pesos patrones. Los pesos patrones se lo realizó mediante varias pesas que van desde las 2,5 libras hasta las 100 libras, o un equivalente de 1,1 kg hasta los 45,5 kg.

#### **3.4.1 Calibración celda de carga derecha.**

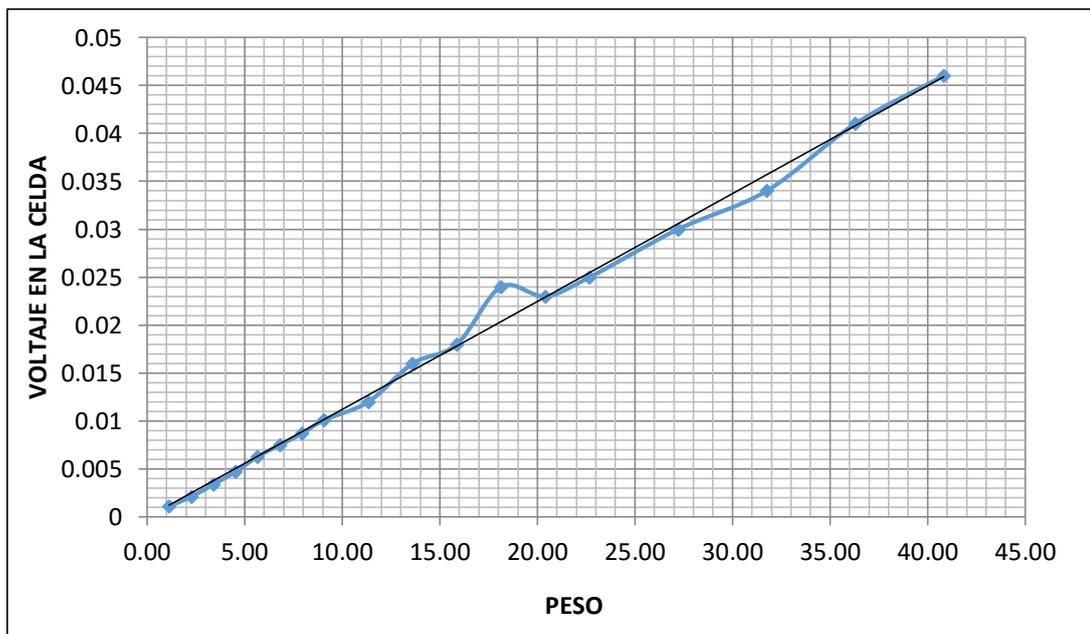
Mediante varias pruebas con diferentes pesos desde las 2,5 lb hasta las 90 lb en la celda de carga colocada a la izquierda de la estructura se obtuvieron los siguientes voltajes en sus terminales:

**Tabla 1-3** Calibración celda de carga derecha.

PESO [lb]	PESO [kg]	VOLTAJE DE SALIDA [V]
2,5	1,13	0,00113
5	2,27	0,0021
7,5	3,40	0,0034
10	4,54	0,0047
12,5	5,67	0,0063
15	6,80	0,0075
17,5	7,94	0,0087
20	9,07	0,0101
25	11,34	0,012
30	13,61	0,016
35	15,88	0,018
40	18,14	0,024
45	20,41	0,023
50	22,68	0,025
60	27,22	0,03
70	31,75	0,034
80	36,29	0,041
90	40,82	0,046

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

En la figura siguiente se puede observar que los datos siguen una distribución lineal con lo que corresponde a lo dicho por el fabricante.



**Figura 8-3** Curva característica de la celda de carga derecha.

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Estos datos mediante un algoritmo de interpolación se obtuvo una función que los representa de manera aproximada y permita tener un valor aproximado de la salida de las celdas de carga para cualquier peso dentro del rango de operación.

### 3.4.2 Calibración celda de carga izquierda.

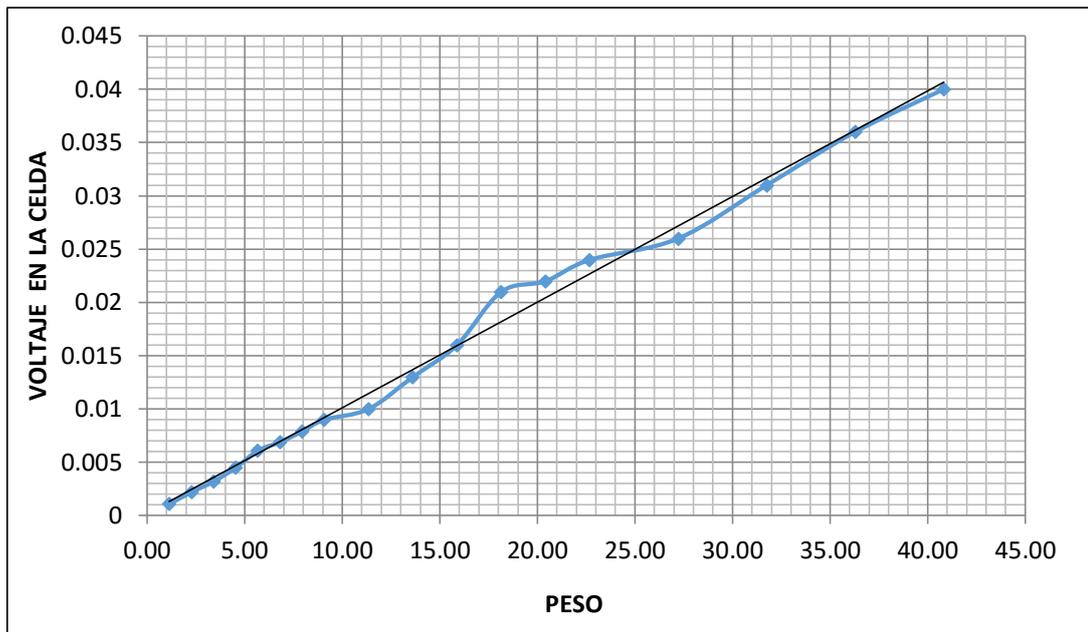
Igualmente se procedió a obtener datos en la celda de carga de la izquierda con pruebas con diferentes pesos donde se obtuvieron los siguientes voltajes en sus terminales:

**Tabla 2-3** Calibración celda de carga izquierda.

PESO [lb]	PESO [kg]	VOLTAJE DE SALIDA [V]
2,5	1,13	0,0011
5	2,27	0,0022
7,5	3,40	0,0032
10	4,54	0,0045
12,5	5,67	0,0061
15	6,80	0,0069
17,5	7,94	0,0079
20	9,07	0,009
25	11,34	0,01
30	13,61	0,013
35	15,88	0,016
40	18,14	0,021
45	20,41	0,022
50	22,68	0,024
60	27,22	0,026
70	31,75	0,031
80	36,29	0,036
90	40,82	0,04

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

En la figura siguiente se puede observar que los datos siguen una distribución lineal muy similar a la celda de carga de la derecha.



**Figura 9-3 Curva característica de la celda de carga izquierda.**

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

A estos datos mediante un algoritmo de interpolación se puede obtener una función que los representa de manera aproximada y así poder tener una función matemática que nos permita tener un valor aproximado de la salida de las celdas de carga para cualquier peso dentro del rango de operación.

### 3.5 Adquisición de datos analógicos en el PLC.

Los acondicionadores de señal tienen el objetivo de amplificar la señal de las celdas de carga y enviar una salida de 0 a 10 V hacia las entradas analógicas del PLC. Las entradas analógicas del PLC Siemens 1214c leen este valor en bits, pudiendo representarse en formato decimal.

Las pruebas se las realizaron con varios pesos suspendidos en el centro de la estructura, donde la celda de la izquierda como la celda de la derecha se encuentran obteniendo mediciones del peso. Además los acondicionadores nos permiten modificar el valor de compensación de “cero” que es la compensación del valor que los sensores nos envían cuando no están expuestos a ninguna carga. La siguiente tabla muestra la información recolectada en el PLC.

**Tabla 3-3** Datos de los acondicionadores de señal al PLC.

PESO [lb]	PESO [kg]	LECTURA ANALÓGICA DEL PLC (CELDA DERECHA)	LECTURA ANALÓGICA DEL PLC (CELDA IZQUIERDA)
0	0	0	0
2,5	1,13	73	65
5	2,27	102	96
7,5	3,40	137	112
10	4,54	160	135
12,5	5,67	230	203
15	6,80	290	245
17,5	7,94	355	302
20	9,07	420	390
25	11,34	530	465
30	13,61	660	602
35	15,88	810	767
40	18,14	1010	945
45	20,41	1120	1075
50	22,68	1300	1221
60	27,22	1890	1756
70	31,75	1940	1834
80	36,29	2150	1997
90	40,82	2520	2311

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

En la tabla 3-3 se aprecia que el valor analógico que ingresa al PLC es similar en las dos celdas, tanto la del lado derecho como la celda del lado izquierdo debido a la configuración simétrica de la estructura mecánica en donde el peso total suspendido es igual a la suma de los pesos que soportan cada una de las celdas de carga de manera independiente. Cabe mencionar que los valores entre las dos celdas de carga difieren mínimamente entre sí, esto sucede porque la estructura interna de la celda de carga es compuesta por galgas extensiométricas las cuales trabajan tanto a tensión como a compresión, esto al combinarse con el ensamblaje entre la estructura mecánica de soporte, la boca de dosificación y sujeción del saco provoca esta mínima diferencia entre los valores, debido a los accesorios de acople para las estructuras con las celdas de carga que se utilizan, como son dos pernos por cada una, los cuales al ajustarse actúan directamente sobre la celda de carga realizando un presión en la parte superior e inferior de la misma ya que se necesita que la estructura quede rígida.

Al valor que ingresa al PLC es necesario linealizarlo, para lo cual se utilizó dos instrucciones de programación. La primera es normalizar a la entrada analógica dependiendo de la resolución de

está y del máximo valor que se va a obtener y posteriormente a este valor se lo escala hasta 200 kg que es el peso máximo que pueden medir las celdas de carga.

### **3.6 Análisis del control en adelante y retroalimentado.**

El sistema implementado cuenta con perturbaciones que son posibles medir y la estrategia de control compensa el efecto de estas sobre la variable medida de peso. Además del control FeedForward se aplica un control por realimentación que nos permitirá tener una estrategia preventiva.

Para sintonizar el controlador FeedForward se utilizó el método estático donde solo consideramos las ganancias del modelo del sistema y del modelo de la perturbación que vienen relacionadas mediante la siguiente ecuación:

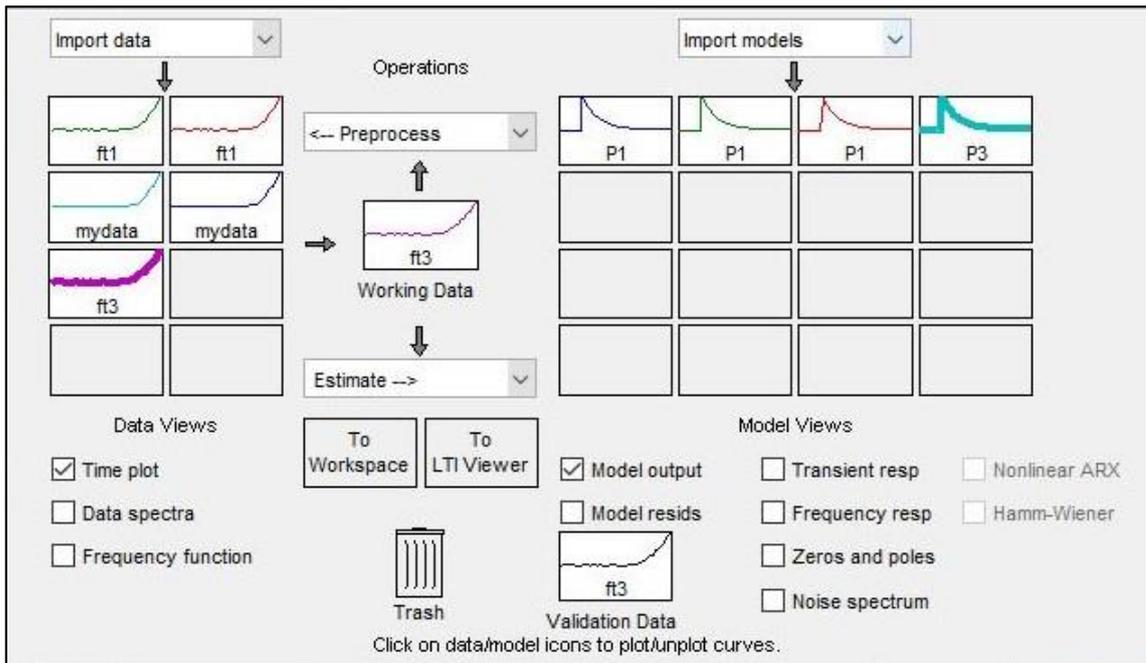
$$Ca(s) = -\frac{Kq}{Ku}$$

Donde:

- Ca     Constante proporcional del controlador en adelante.
- Kq     Constante del modelo de la perturbación
- Ku     Constante del modelo del sistema

#### **3.6.1 Modelo del sistema de pesaje**

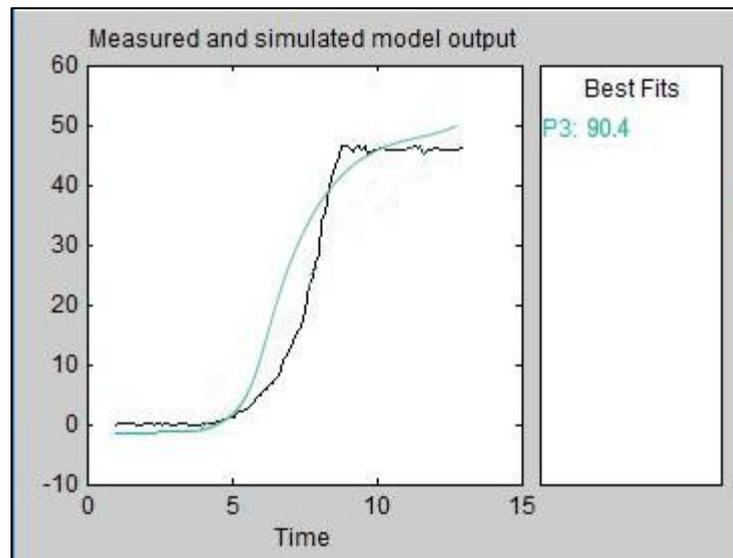
Según los datos obtenidos en el anexo mediante el software utilizado para simular la modelación de sistemas se procedió a obtener el modelo óptimo para el sistema que cumpla con los requerimientos del proceso como se observa en la Figura 10-3.



**Figura 10-3 Determinación de la función de transferencia**

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

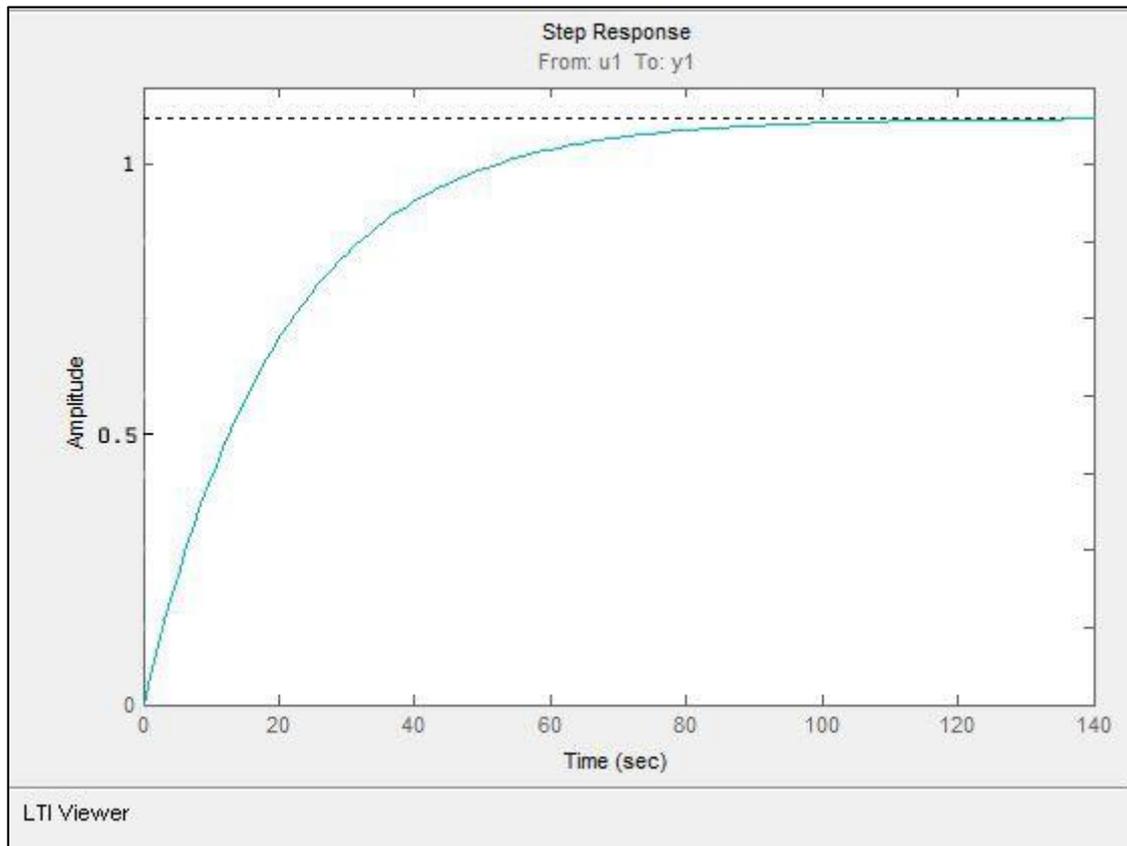
Mediante un análisis de todos los modelos adquiridos se obtuvo como la mejor aproximación el siguiente modelo con una coincidencia del 90,4%, demostrando ser el modelo que más se adapta a las necesidades del proceso.



**Figura 11-3 Aproximación de modelado del sistema**

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Este sistema representa una respuesta al escalón unitario como muestra la Figura 12-3



**Figura 12-3 Respuesta al escalón unitario**  
 Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Obteniendo como resultado la función de transferencia con el software de modelación de sistemas

```

Process model with transfer function
      Kp
G(s) = -----
      1+Tp1*s

with Kp = 0.2935
     Tp1 = 0.9504
    
```

**Figura 13-3 Función de transferencia obtenida**  
 Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

### Modelo de la perturbación de peso

La perturbación del sistema es una constante que se la obtuvo mediante varios ensayos en donde obtuvieron dos perturbaciones que las representamos de la siguiente manera:

$$P_T = P_1 + P_2$$

Donde:

P = Perturbaciones

$$P_T = 5,4 \text{ kg} + 0,09 \text{ kg} = 5,49 \text{ kg}$$

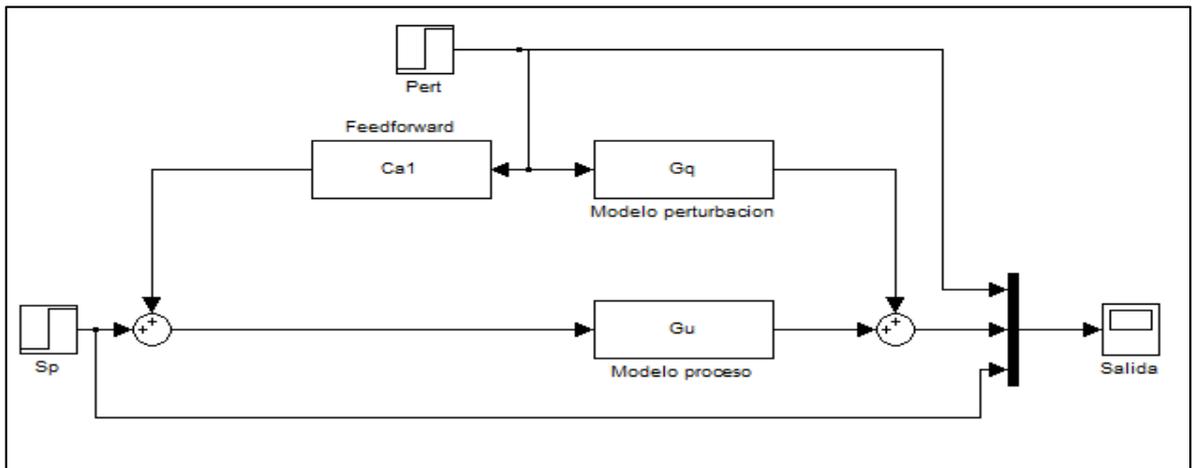
$$G_q(s) = \frac{5,49}{s}$$

Entonces obtenemos la constante del control anticipativo:

$$Ca(s) = -\frac{5,49}{0,29} = 18,9$$

### 3.6.2 Simulación del sistema en adelante

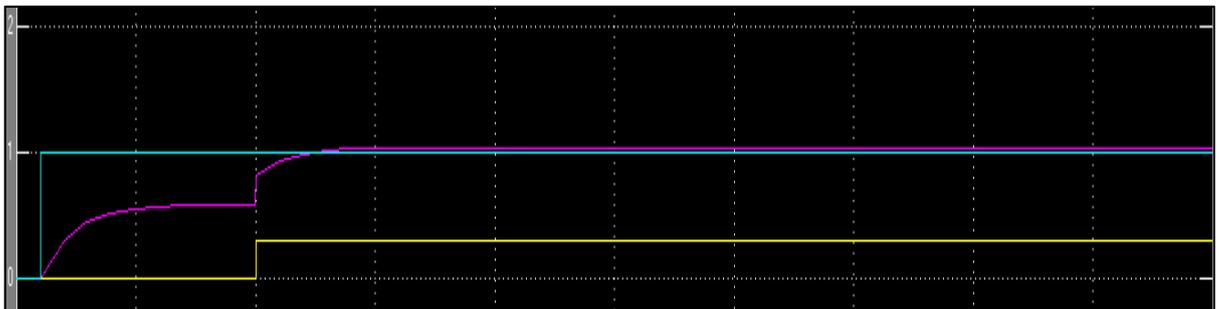
Se realizó la simulación de todo el sistema, la figura siguiente muestra el diagrama de bloques para el sistema implementado:



**Figura 14-3 Simulación en bloques control en adelante.**

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Con las funciones de transferencias calculadas e ingresadas en el software se obtuvo la siguiente grafica de salidas:



**Figura 15-3 Salida del sistema con control en adelante.**

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Se observa que la salida del sistema está representada mediante la línea morada, esta al momento de recibir una perturbación representada en forma de un escalón unitario de línea amarilla, inmediatamente compensará e intentará adelantarse a esta perturbación y así no

afectará a la salida de peso, siempre intentando llegar al SetPoint representado con un escalón unitario de línea verde.

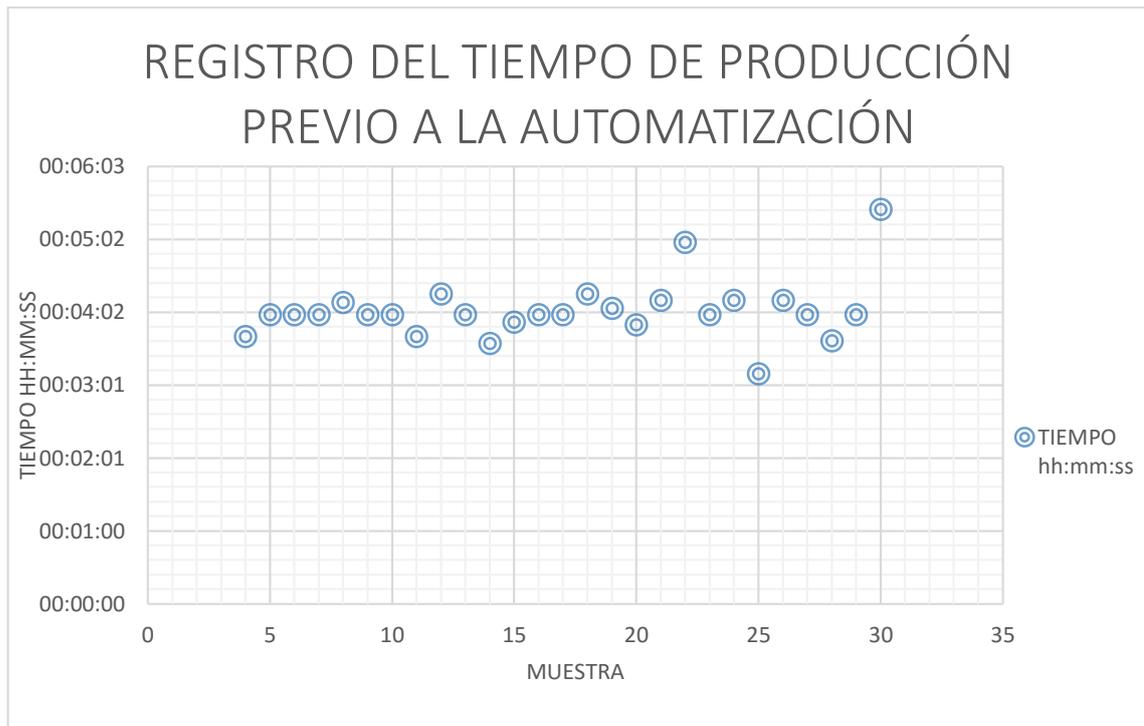
### **3.7 Resultados del proceso previo a la automatización**

Aplicando la técnica de recolección de datos antes mencionada, consiste en observar el entorno del proceso cuando está en funcionamiento con una percepción activa lo cual significa que se debe seleccionar, organizar, relacionar y documentar los datos referentes al problema, al analizar los datos en función del tiempo nos da como resultado un tiempo de producción extenso que disminuye notablemente la efectividad de la planta, seguidamente los datos en función del peso demuestra estabilidad en cuanto a la cantidad, un problema en este ámbito se suscita en el desperdicio de materia prima que se produce en la transición de cada etapa del proceso, dando un error considerable en el último saco del lote provocando pérdidas de recursos a la planta.

#### ***3.7.1 Tiempo de producción previo a la automatización***

Con los datos recolectados y su análisis respectivo se revisa los resultados para determinar los factores que afectan directa e indirectamente al proceso.

La figura 16-3 detalla el número de sacos producidos desde una hora de inicio hasta una hora de finalización, tomando esto como base se ha determinado el tiempo total que dura el proceso completo del lote y el tiempo promedio por saco.



**Figura 16-3 Registro del tiempo de producción previo a la automatización**

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

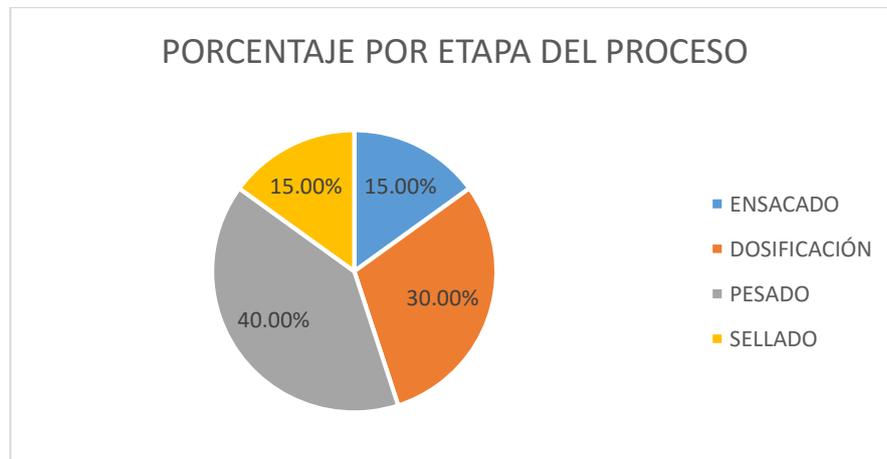
Para el análisis se ha optado por sacar un promedio diario de tiempo por saco, con estas muestras se procede a realizar el respectivo análisis estadístico solo de la muestra actual para determinar los factores que producen este tiempo, por lo cual se ha decidido tomar la media del tiempo promedio por saco.

**Tabla 4-3** Análisis estadístico del tiempo de producción del proceso manual

<b>PROCESO MANUAL</b>	
<b>Media</b>	0:04:02
<b>Error típico</b>	0:00:04
<b>Mediana</b>	0:04:00
<b>Moda</b>	0:04:00
<b>Desviación estándar</b>	0,000276948
<b>Varianza de la muestra</b>	7,66999E-08
<b>Curtosis</b>	5,914168081
<b>Coefficiente de asimetría</b>	1,683656135
<b>Rango</b>	0:02:16
<b>Mínimo</b>	0:03:11
<b>Máximo</b>	0:05:27
<b>Suma</b>	2:01:10
<b>Cuenta</b>	30

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Como se aprecia en la Tabla 4-3 la media para este proceso es de 4.03 minutos es decir 4 minutos con 2 segundos por saco dando un tiempo total promedio de 40 minutos con 20 segundos en un lote de 10 sacos, en la Figura 17-3 se desglosa el tiempo empleado en cada etapa del proceso para obtener dicha media.



**Figura 17-3** Distribución porcentual de las etapas del proceso  
**Realizado por:** CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Se observa que una de las causas para el tiempo de producción alto es que la distribución porcentual difiere significativamente entre etapas, lo que produce un desbalance en la optimización del tiempo de producción. Analizando estos resultados vemos que en las etapas más cortas que son el ensacado y sellado el tiempo es de 0.6 minutos en cada una, le sigue la etapa de dosificación con un tiempo de 1.21 minutos y finalmente la etapa con mayor consumo de tiempo es el pesado con 1.62 minutos de duración promedio, con esta fundamentación y el sustento de los datos recopilados en las observación y entrevista se definen las causas que provocan este tiempo medio de producción por saco.

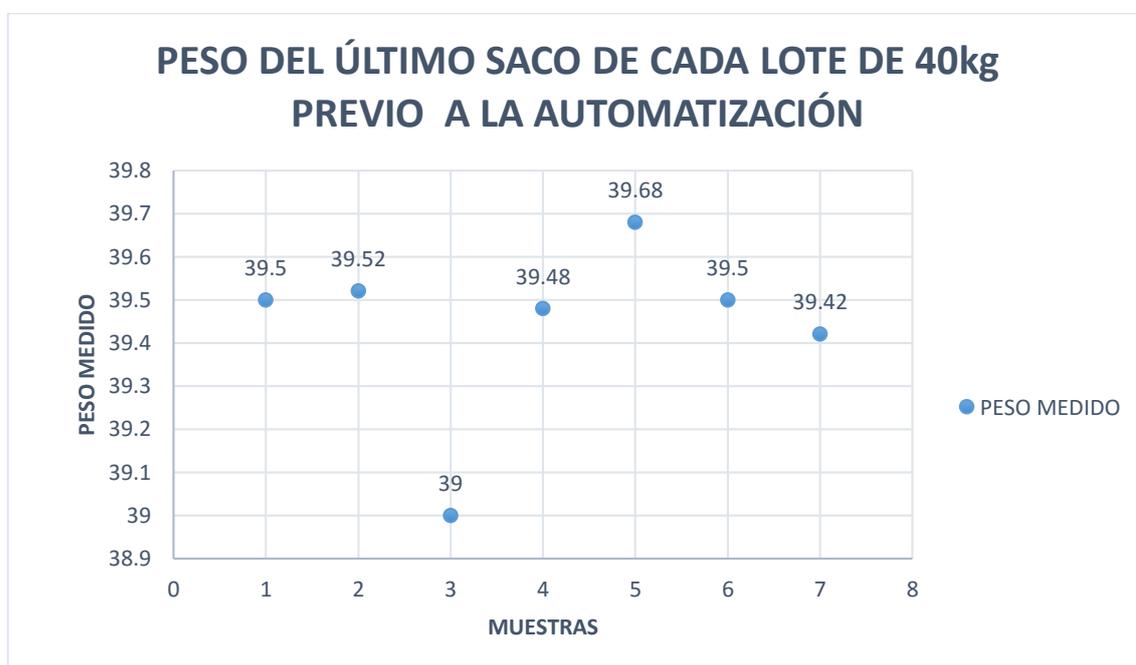
- Principalmente el proceso se lo lleva a cabo totalmente de forma manual y por un solo operario lo que causa la falta de ergonomía en la operación del proceso y por ende un bajo rendimiento del mismo.
- En la etapa de ensacado y dosificado existe conflictos ya que el operario debe sujetar la boca del saco con una sola mano en la dosificadora y a la vez controlar la compuerta con la otra mano, aumentando a esto la cantidad de caudal de balanceado e inestabilidad del mismo complica más el desarrollo de las etapas.
- La etapa de dosificación y pesado son independientes debido al diseño de la máquina mezcladora, teniendo el operario que llenar el saco empíricamente para luego verificar

su peso y eliminar el error esto hace que el tiempo se eleve a más del doble del asignado a una etapa.

- Las etapas se encuentran distantes entre sí, pareciéndose a una distribución por proceso, aumentando el tiempo en la transición de las mismas.

### 3.7.2 Optimización de recursos previo a la automatización

Para este parámetro se realizó un análisis por lote, debido a que no se lo puede realizar saco por saco, la muestra que se ha tomado ha sido basada en toda la carga de la máquina mezcladora para el lote, de ahí se ha tomado el último saco de cada lote para la muestra. El objetivo de esto es determinar el error de optimización de recursos en el último saco del lote, pues para los anteriores aún existe abastecimiento por parte de la mezcladora, y en el último es en donde se ve reflejado la materia prima faltante, es decir que, si el lote está hecho para 10 sacos de 40 kg, todos deberían tener la misma cantidad de producto con una tolerancia de error.



**Figura 18-3** Peso del último saco de cada lote de 40 kg previo a la automatización

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Esta tabla nos muestra el desperdicio producido al final de cada lote de producción que demuestra el hecho de que las etapas se encuentren distantes una de otra produciendo desperdicio de materia prima a más del propio producido por la generación de derivados del balanceado como son los polvos del mismo.

**Tabla 5-3** Análisis estadístico del peso en el proceso manual

<b>PROCESO MANUAL 40 Kg</b>	
<b>Media</b>	39,44285714
<b>Error típico</b>	0,07969329
<b>Mediana</b>	39,5
<b>Moda</b>	39,5
<b>Desviación estándar</b>	0,210848625
<b>Varianza de la muestra</b>	0,044457143
<b>Curtosis</b>	4,442574395
<b>Coefficiente de asimetría</b>	-1,808336887
<b>Rango</b>	0,68
<b>Mínimo</b>	39
<b>Máximo</b>	39,68
<b>Suma</b>	276,1
<b>Cuenta</b>	7

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Como observamos en el análisis estadístico la media es de 39,44 kg indicando que se ha desperdiciado 0.56 kg en este lote, producido en su mayor parte en dos etapas, en la dosificación y principalmente en el pesaje ya que el error es eliminado manualmente por el operario produciendo desperdicios en la transición de estas.

### **3.8 Resultados del proceso con la automatización**

#### **3.8.1 Pruebas de ensacado**

Las pruebas de ensacado se realizaron con balanceado en donde se procedió a tomar las medidas para diversos pesos objetivos. Los pesos seleccionados son de 30, 35 y 40 kg, ya que son los pesos más utilizados dentro de la planta de balanceados de la ESPOCH. Cada uno de estos pesos objetivos se probó durante varios días tomando varias muestras con lo que podemos deducir el error en cada medida.

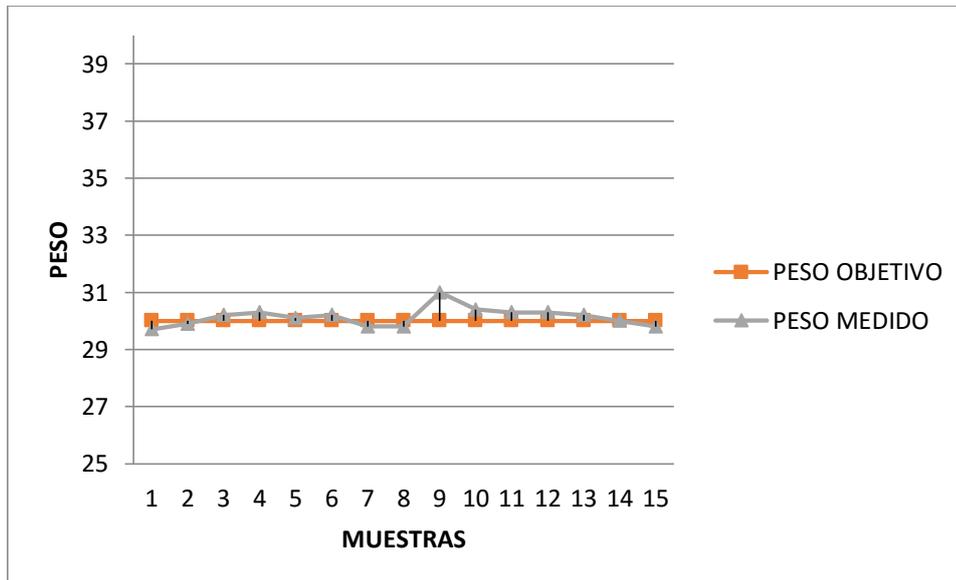
##### **3.8.1.1 Resultados obtenidos para peso requerido de 30 kg.**

**Tabla 6-3** Pruebas para peso requerido de 30 kg.

Nº	PESO REQUERIDO [kg]	PESO OBTENIDO [kg]	ERROR	%ERROR
1	30	29,70	0,30	1,00
2	30	29,90	0,10	0,33
3	30	30,20	0,20	0,67
4	30	30,30	0,30	1,00
5	30	30,10	0,10	0,33
6	30	30,20	0,20	0,67
7	30	29,80	0,20	0,67
8	30	29,80	0,20	0,67
9	30	31,00	1,00	3,33
10	30	30,40	0,40	1,33
11	30	30,30	0,30	1,00
12	30	30,30	0,30	1,00
13	30	30,20	0,20	0,67
14	30	30,00	0,00	0,00
15	30	29,80	0,20	0,67

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Con estos datos observamos en la gráfica como varía el error de peso con respecto al peso que deseamos.



**Figura 19-3** Curva de error peso de 30 kg

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Con el error que obtuvimos en cada una de las muestras se realizó un análisis estadístico descriptivo para poder identificar cuál es la media de error así como la desviación estándar del mismo.

**Tabla 7-3** Análisis estadístico para peso requerido de 30 kg.

<i>%ERROR</i>	
Media	0,89
Error típico	0,19
Mediana	0,67
Moda	0,67
Desviación estándar	0,75
Varianza de la muestra	0,56
Curtosis	8,76
Coficiente de asimetría	2,62
Rango	3,33
Mínimo	0,00
Máximo	3,33
Suma	13,34
Cuenta	15,00

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

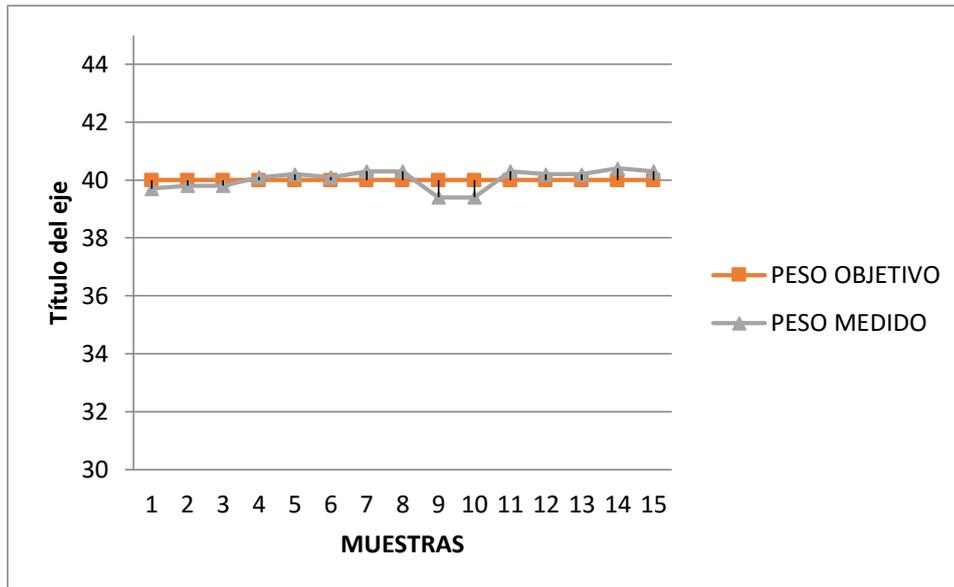
## 3.8.1.2 Resultados obtenidos para peso requerido de 40 kg.

**Tabla 8-3** Pruebas para peso requerido de 40 kg.

N°	PESO REQUERIDO [kg]	PESO OBTENIDO [kg]	ERROR	%ERROR
1	40	39,70	0,30	0,75
2	40	39,80	0,20	0,50
3	40	39,80	0,20	0,50
4	40	40,10	0,10	0,25
5	40	40,20	0,20	0,50
6	40	40,10	0,10	0,25
7	40	40,30	0,30	0,75
8	40	40,30	0,30	0,75
9	40	39,40	0,60	1,50
10	40	39,40	0,60	1,50
11	40	40,30	0,30	0,75
12	40	40,20	0,20	0,50
13	40	40,20	0,20	0,50
14	40	40,40	0,40	1,00
15	40	40,30	0,30	0,75

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Con estos datos observamos en la gráfica como varía el error de peso con respecto al peso que deseamos.



**Figura 20-3 Curva de error peso de 40 kg**  
 Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Con el error que obtuvimos en cada una de las muestras se realizó un análisis estadístico descriptivo para poder identificar cuál es la media de error así como la desviación estándar del mismo.

**Tabla 9-3** Análisis estadístico para peso requerido de 40 kg.

<i>%ERROR</i>	
Media	0,72
Error típico	0,10
Mediana	0,75
Moda	0,75
Desviación estándar	0,38
Varianza de la muestra	0,14
Curtosis	0,97
Coficiente de asimetría	1,13
Rango	1,25
Mínimo	0,25
Máximo	1,50
Suma	10,75
Cuenta	15,00

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

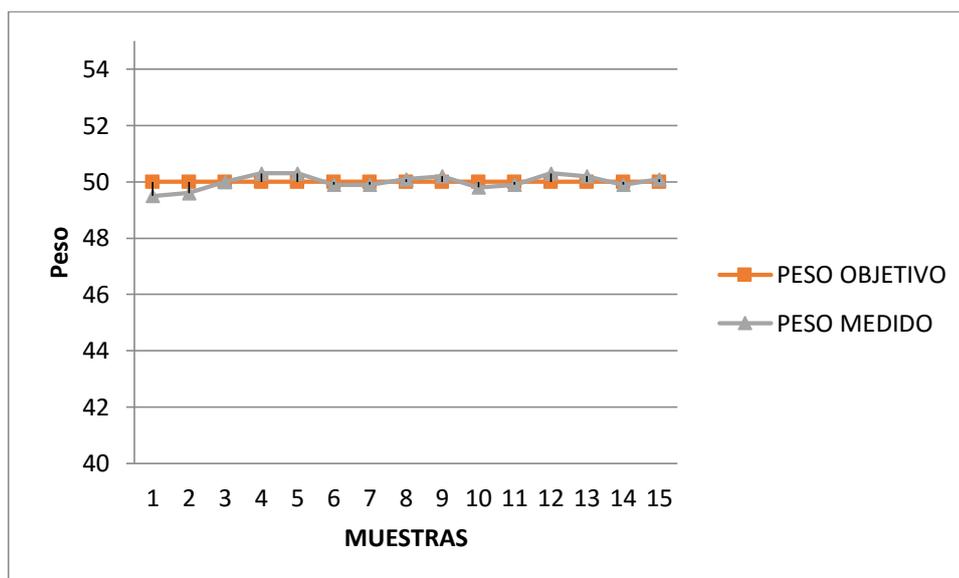
3.8.1.3 Resultados obtenidos para peso requerido de 50 kg.

**Tabla 10-3** Pruebas para peso requerido de 50 kg.

N°	PESO REQUERIDO [kg]	PESO OBTENIDO [kg]	ERROR	%ERROR
1	50	49,50	0,50	1,00
2	50	49,60	0,40	0,80
3	50	50,00	0,00	0,00
4	50	50,30	0,30	0,60
5	50	50,30	0,30	0,60
6	50	49,90	0,10	0,20
7	50	49,90	0,10	0,20
8	50	50,10	0,10	0,20
9	50	50,20	0,20	0,40
10	50	49,80	0,20	0,40
11	50	49,90	0,10	0,20
12	50	50,30	0,30	0,60
13	50	50,20	0,20	0,40
14	50	49,90	0,10	0,20
15	50	50,10	0,10	0,20

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Con estos datos observamos en la gráfica como varía el error de peso con respecto al peso que deseamos.



**Figura 21-3** Curva de error peso de 50 kg

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Con el error que obtuvimos en cada una de las muestras se realizó un análisis estadístico descriptivo como se muestra en la tabla 9-3.

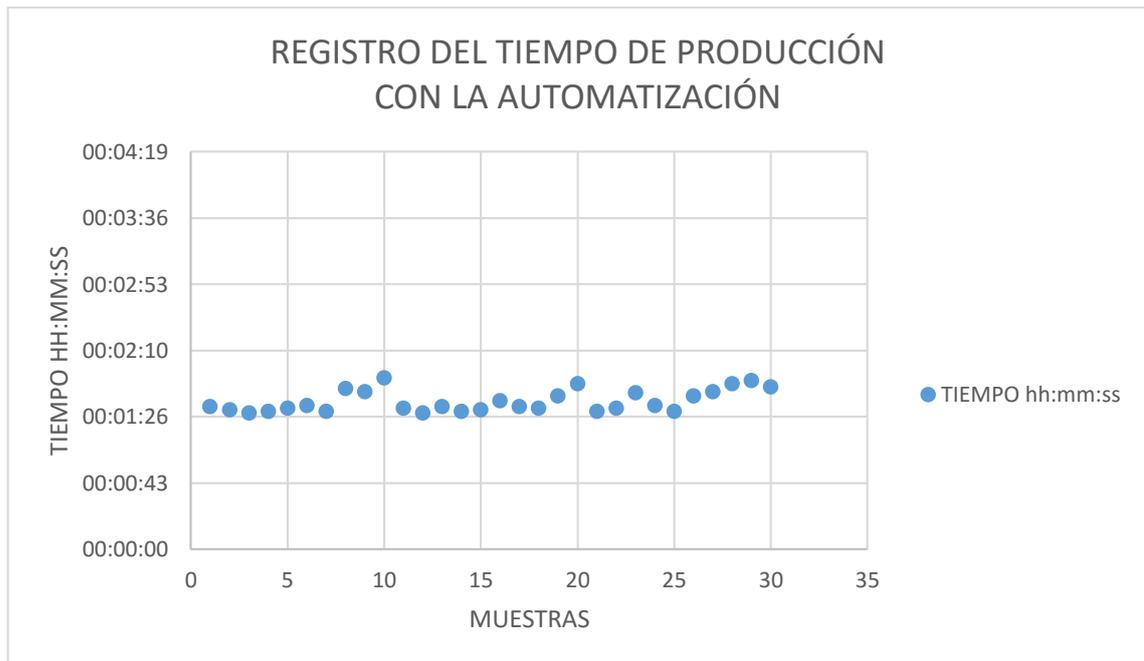
**Tabla 11-3** Análisis estadístico para peso requerido de 50 kg.

<b>%ERROR</b>	
Media	0,40
Error típico	0,07
Mediana	0,40
Moda	0,20
Desviación estándar	0,27
Varianza de la muestra	0,07
Curtosis	0,12
Coficiente de asimetría	0,78
Rango	1,00
Mínimo	0,00
Máximo	1,00
Suma	6,00
Cuenta	15,00

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

### **3.8.2** *Tiempo de producción con la automatización*

En esta parte del proyecto es de suma importancia aplicar la técnica de experimentación para la recolección de datos debido a que se debe optimizar al máximo el tiempo de producción siendo de suma importancia que exista una coordinación entre los temporizadores programados dentro del PLC con los tiempos de reacción de los sistemas y el tiempo que en si el proceso actúa directamente. Se ha tomado 30 muestras para el respectivo análisis estadístico, además como parte del diseño ha sido fundamental evitar las causas antes analizadas para que el tiempo de producción como el uso de la materia prima sea óptimo para el proceso, poniendo como eje fundamental la correcta distribución de las etapas, encapsulándolas en un entorno reducido para poder llevar un proceso en línea y de esta manera reducir el tiempo y desperdicio de producto.



**Figura 22-3 Registro del tiempo de producción con la automatización**  
 Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Para el análisis se ha optado por tomar 30 muestras acorde a las del proceso manual con el objetivo de realiza la respectiva comparación, el tiempo ha sido tomado desde que el operario ubica el saco en la boca de la dosificadora hasta culminar con el sellado del mismo, este tiempo corresponde a la suma de cada etapa que compone el proceso con los temporizadores incluidos dentro de la programación.

**Tabla 12-3** Análisis estadístico para el tiempo de producción del proceso automático

<b>PROCESO AUTOMÁTICO</b>	
<b>Media</b>	0:01:37
<b>Error típico</b>	0:00:01
<b>Mediana</b>	0:01:33
<b>Moda</b>	0:01:30
<b>Desviación estándar</b>	8,3322E-05
<b>Varianza de la muestra</b>	6,9426E-09
<b>Curtosis</b>	-0,82647745
<b>Coficiente de asimetría</b>	0,77473421
<b>Rango</b>	0:00:23
<b>Mínimo</b>	0:01:29
<b>Máximo</b>	0:01:52
<b>Suma</b>	0:48:19
<b>Cuenta</b>	30

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

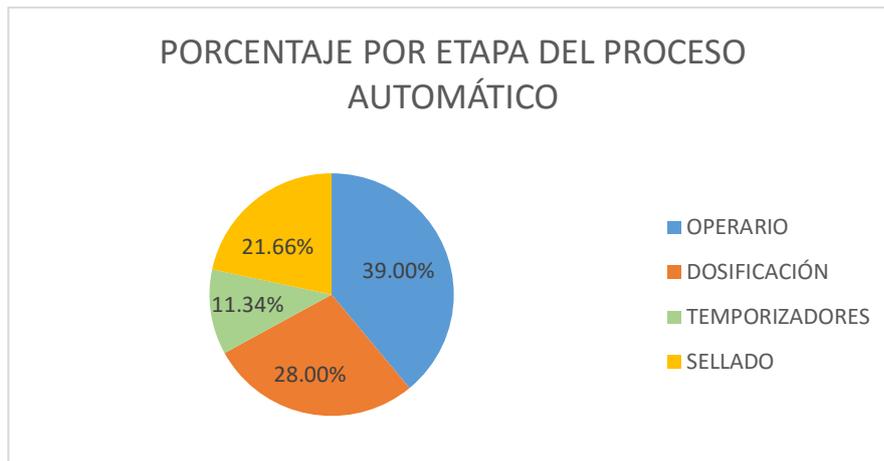
Como se aprecia en la Tabla 12-3 la media para este proceso es de 1.61 minutos es decir 1 minuto con 37 segundos por saco dando un tiempo total promedio de 16 minutos con 10 segundos en un lote de 10 sacos, a más de esto tenemos un rango de 23 segundos el cual demuestra la estabilidad del proceso ya que hay que considerar que mientras el contenedor se va vaciando el caudal de balanceado va disminuyendo y por consiguiente incrementando los tiempos de los diferentes sacos.

De esta media obtenida se desglosa en porcentajes los tiempos utilizados para cada etapa, se ha optado por las técnicas de recolección de datos de observación y experimentación para obtener los porcentajes tomando en cuenta que tenemos temporizadores dentro de la programación vamos a dividir en partes al proceso siendo así, la parte en la cual el operario interactúa directamente con la máquina cuando coloca o acomoda el saco en la boca de la dosificadora tomándole un tiempo promedio de 20 segundos y en la etapa previa al sellado un tiempo promedio de 15 segundos teniendo un total de 35 segundos, el sistema está compuesto por tres temporizadores el primero lleva un retardo de 2 segundos a la apertura de las compuertas luego de cerrar la prensa con el objetivo de seguridad a la etapa de sujeción del saco y por la salida lenta de los vástagos de los cilindros de prensa, el segundo lleva un retardo de 8 segundos a la apertura de la prensa para evitar la caída de derivados de balanceado como son los polvos del mismo que por su densidad tienen un descenso lento en el codo de la tolva, el último temporizador lleva un retardo de 500 milisegundos a la desconexión del sensor de la cosedora para asegurar el sellado y ya que debe quedar un residuo de hilo pequeño al final del cocido, tomando en consideración la suma de estos tiempos tenemos un total de 10.5 segundos constantes que están presentes en el proceso, para las etapas propias del proceso se ha tomado un promedio de las mismas es así que para dosificación del saco y sellado tiene un tiempo promedio de 25 y 20 segundos respectivamente.

**Tabla 13-3** Porcentajes promedio de distribución del proceso

ETAPA	TIEMPO PROMEDIO	%_MEDIA
Operario	0:00:37	39%
Llenado	0:00:28	28%
Sellado	0:00:21	21,66%
Temporizadores	0:00:11	11,34%
TOTAL_PROM	0:01:37	
MEDIA	0:01:37	100%

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

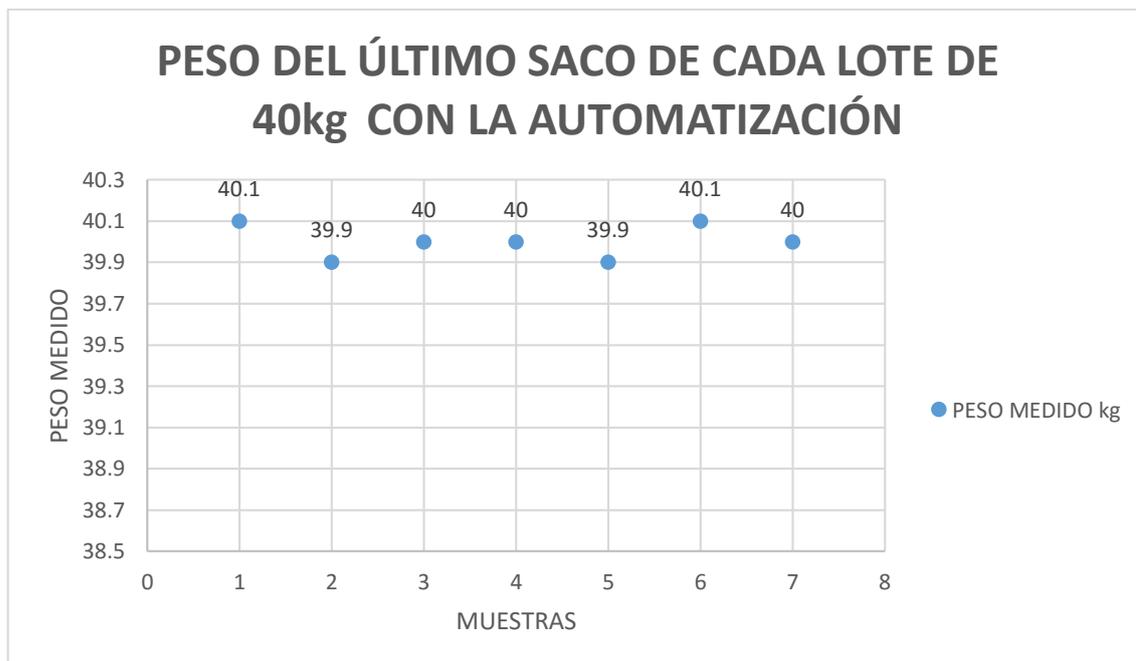


**Figura 23-3 Distribución porcentual del proceso automático**  
 Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Para el análisis de la Figura 23-3 tomamos en cuenta lo siguiente, las distribuciones porcentuales de las etapas propias del proceso son similares ya que los temporizadores influyen en todas ellas, la participación del operario se desprecia para el análisis de rendimiento ya que su participación es en las etapas previas al ensacado y sellado mas no directamente en las mismas, finalmente se ha combinado en una sola etapa la dosificación y el pesado del saco de balanceado que conjuntamente con la etapa de sellado automático se obtiene el máximo rendimiento de un proceso en línea.

### 3.8.3 Optimización de recursos con la automatización

Al igual que en el proceso previo a la automatización se realizó un análisis por lote, viendo reflejado en el último saco la materia prima faltante.



**Figura 24-3** Peso del ultimo saco de cada lote de 40 kg con la automatización  
 Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Se ha realizado el análisis de 7 lotes de 40 kilogramos obteniendo como resultado la cantidad de balanceado faltante en cada saco esto debido al desperdicio producido durante el proceso.

**Tabla 14-3** Análisis estadístico de peso automatizado para lotes de 40 Kg

<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO 40 Kg.</b>	
<b>Media</b>	40
<b>Error típico</b>	0,03086067
<b>Mediana</b>	40
<b>Moda</b>	40
<b>Desviación estándar</b>	0,081649658
<b>Varianza de la muestra</b>	0,006666667
<b>Curtois</b>	-1,2
<b>Coefficiente de asimetría</b>	0
<b>Rango</b>	0,2
<b>Mínimo</b>	39,9
<b>Máximo</b>	40,1
<b>Suma</b>	280
<b>Cuenta</b>	7

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Como observamos en el análisis estadístico tenemos la media de 40 kg lo que nos dice que no existe desperdicio considerable de balanceado en la mayor parte de lotes analizados, corroborando a esto podemos observar que tanto la moda como la mediana son iguales a la

media lo que nos dice que la mayor parte de muestras son iguales es decir que de los siete lotes analizados tres dieron el peso exacto, dos tiene un faltante de 0,1 kg y dos un sobrante de la misma cantidad, dándonos un error típico de 0,03. Podemos decir también que de una producción de siete lotes la cantidad de materia prima es igual a la cantidad de producto terminado, es decir que la mezcla se ha realizado para siete lotes de peso objetivo de 40 kg, esto nos demuestra la suma del análisis estadístico que nos da la misma cantidad requerida por la producción.

### **3.9 Comparación de resultados para los dos procesos.**

Luego de haber considerado los resultados obtenidos mediante el análisis correspondiente de los dos procesos se ha podido determinar que el proceso luego de la automatización demuestra una evidente mejora en todos los ámbitos, empezando a mencionar la implementación de una interfaz hombre maquina HMI la cual aporta de tal manera que el operario debe ingresar una sola vez el peso por cada lote a ensacar y a la vez brinda monitoreo del mismo lo cual optimiza la eficiencia del proceso en su desarrollo y en su post desarrollo ya que se ha implementado una función que genera reportes digitales permitiendo así suprimir el reporte manual que llevaba el operario.

Una de las partes fundamentales para que el proceso se lleve a cabo eficientemente son los sensores que ha utilizado ya que se ha optado por implementar celdas de carga verticales tipo S las cuales conjuntamente con el acondicionamiento aportan al sistema el envío de una señal robusta y exacta funcionando como base para el sistema de control en adelante implementado el cual ha sido modelado en base a las necesidades del proceso con sus respectivas perturbaciones medibles pero no controlables, se ha optado por tomar dos perturbaciones diferentes la primera ocurre en la etapa de cierre de las dos compuertas simultáneamente cuando el sistema detecta que el incremento de peso es demasiado rápido es decir que existe un mayor caudal a 2,8 kg / seg en el codo de la tolva dando así el valor de la primera perturbación que es de 5,8 kg, con este resultado empieza la dosificación proporcional de balanceado igualmente controlando el caudal pero en menor escala debido a que la compuerta es de menor tamaño dando esto como resultado una perturbación de 0.09 kg al sistema, por lo cual esta técnica de control es la que se adapta exactamente al proceso, a más de esto se ha implementado diferentes sensores tanto de seguridad como de control para las diferentes etapas.

La implementación de un sistema electromecánico para el sellado de los sacos aporta significativamente a la eficiencia del proceso ya que el sistema esta alerta cuando se cumplan

las respectivas condiciones de activación del relé que controla una línea de 110 Voltios de corriente alterna para la alimentación de la cosedora, este sistema se encuentra alineado y regulado a la altura de los sacos optimizando de esta manera el tiempo de producción.

**Tabla 15-3** Prueba t para tiempo de producción

<b>Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales</b>		
	<i>MANUAL</i>	<i>AUTOMÁTICO</i>
<b>Media</b>	0:04:02	0:01:37
<b>Varianza</b>	7,66999E-08	6,94263E-09
<b>Observaciones</b>	30	30
<b>Diferencia hipotética de las medias</b>	0	
<b>Grados de libertad</b>	34	
<b>Estadístico t</b>	31,93348438	
<b>P(T&lt;=t) una cola</b>	3,07128E-27	
<b>Valor crítico de t (una cola)</b>	1,690924255	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	6,14255E-27	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	2,032244509	

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

Con los resultados obtenidos en el análisis estadístico podemos determinar qué proceso es más eficiente tanto en tiempo de producción como en optimización de recursos, el proceso antes de la automatización demuestra una media de 4 minutos con 2 segundos por saco para el tiempo de producción llevado en ese momento, el proceso automatizado demuestra una media de 1 minuto con 37 segundos por saco representando con esto respecto al proceso llevado anteriormente una reducción en el tiempo de producción del 59.92% lo cual demuestra una efectividad del sistema automatizado del 149.48% con respecto al anterior, es decir que si al proceso automatizado le lleva ensacar 40 kilos de balanceado en el 100% de tiempo de producción al sistema anterior le llevara el 249.48% del tiempo de producción automatizado, demostrando que mientras el proceso anterior ensaca un saco de balanceado el proceso automatizado ensacaría dos sacos y medio aproximadamente en el mismo tiempo.

Planteamiento de la hipótesis de tiempo de producción

$H_0: \mu_{\text{auto}} = \mu_{\text{manual}}$

$H_a: \mu_{\text{auto}} < \mu_{\text{manual}}$

Se rechaza  $H_0$  con un nivel de confianza de 95% ya que  $t_{\text{cal}} < -t_{\text{cri}}$ , se concluye que la que la media de tiempo en el proceso automatizado es mucho menor a la media del proceso anterior que se lo realizaba manualmente.

**Tabla 16-3** Prueba t para optimización de recursos

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	MANUAL	AUTOMÁTICO
<b>Media</b>	39,4428571	40
<b>Varianza</b>	0,04445714	0,00666667
<b>Observaciones</b>	7	7
<b>Diferencia hipotética de las medias</b>	0	
<b>Grados de libertad</b>	8	
<b>Estadístico t</b>	- 6,51934528	
<b>P(T&lt;=t) una cola</b>	9,2156E-05	
<b>Valor crítico de t (una cola)</b>	1,85954804	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	0,00018431	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	2,30600414	

Realizado por: CALERO, Raúl; CARRILLO, Cristhyan, 2016

En el análisis estadístico demuestra la diferencia mínima que existe entre las medias de optimización de recurso, cabe recalcar que esta diferencia mínima es de suma importancia ya que esto provoca pérdidas económicas a la empresa diariamente y aún más mensualmente, por lo mismo la media del proceso antes de la automatización demuestra un desperdicio de 0.56 kg que representa el 1.4% del peso total del saco, mientras que el proceso automatizado representa una media de 40 kg con un desperdicio del 0% demostrando así que el diseño del proceso en línea propuesto con la automatización optimiza efectivamente el desperdicio de materia prima.

Planteamiento de la hipótesis de optimización de recursos

$H_0: \mu_{\text{desp\_auto}} = \mu_{\text{desp\_manual}}$

$H_a: \mu_{\text{desp\_auto}} < \mu_{\text{desp\_manual}}$

Se rechaza  $H_0$  con un nivel de confianza de 95% ya que  $t_{\text{cal}} < -t_{\text{cri}}$ , se concluye que la media de desperdicio del proceso realizado manualmente es mucho mayor a la media de desperdicio del proceso realizado automáticamente.

## CONCLUSIONES

- El proyecto propuesto se implementó exitosamente en la máquina mezcladora de balanceado de la Estación Experimental Tunshi ESPOCH, cumpliendo de manera satisfactoria con el objetivo general planteado en este trabajo de titulación
- La automatización implementada en la máquina mezcladora de balanceado demuestra notablemente la optimización del proceso en todas las etapas que lo componen, reduciendo el tiempo de producción en un 59,93% y el error producido en el peso en un 1,4%, más aún en el último saco del lote, debido al desperdicio de material producido entre las etapas
- Se aplicó la técnica del sistema de control en lazo cerrado (feedback), y con el análisis respectivo se determinó que no es suficiente para el proceso, añadiendo la técnica de control en adelante o predictivo (feedforward) ya que el proceso presenta una perturbación medible total de 5.49 kg y no controlable
- La tecnología aplicada fue la adecuada, convirtiendo de esta manera al obsoleto proceso que se llevaba a cabo en un proceso con tecnología de punta bajo los debidos estándares de producción, permitiendo que la producción diaria se incremente significativamente
- Se realizó algunos cambios estructurales para que el sistema se acoplara positivamente al modo habitual de funcionamiento de la máquina mezcladora, debido a que el diseño original de esta no es compatible con la tecnología implementada
- Con la automatización se mejoró el entorno de trabajo en el proceso, logrando una mayor ergonomía y cuidado en la salud ocupacional del operario, dejando que la máquina realice las operaciones físicas que este realizaba y ofreciendo un entorno de operación amigable

## RECOMENDACIONES

- Antes del uso por primera vez de la máquina se recomienda leer el manual entregado al personal encargado de la planta, para conocer teórica y físicamente el funcionamiento de la misma.
- Capacitar al personal de la planta acerca de los datos técnicos de cada elemento que compone la máquina, para que estos operen bajo los rangos establecidos por el fabricante y se evite algún daño por la incorrecta manipulación de los mismos, con esto ayudamos a la vida útil de cada elemento.
- Para el mantenimiento correspondiente o solución de averías de los sistemas que componen la máquina, se recomienda emplear la respectiva documentación entregada al encargado de la planta como planos, manuales y señalética ubicada dentro de la misma.
- El operario debe seguir las normas de seguridad industrial y cerciorarse que el sistema esté funcionando correctamente, antes de iniciar el proceso es necesario hacer un diagnóstico del funcionamiento de cada sistema.
- Se recomienda mejorar la tecnología implementada en la máquina mezcladora para optimizar el proceso de mezcla de la fórmula de balanceado y de esta manera complemente al presente proyecto implementado.

## BIBLIOGRAFÍA

**AVILÉS CONDE MARÍA JOSÉ, C.G.G.A.**, 2011. *Implementación del sistema de dosificación y control de pesaje dinámico para empaquetamiento de comestibles sólidos*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. pp. 5-25.

**BAHÓN, C.A. y GINER, C.R.**, 2004. *Tecnología de sistemas de control*. S.l.: Universidad Politécnica de Cataluña. ISBN 978-84-8301-778-4. pp. 34-45.

**BUENO ANTONIO**, *Unidad didáctica: "Neumática e hidráulica"* [en línea]. [Consulta: 15 enero 2016]. Disponible en: [http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web\\_neumatica/neumatica\\_indice.html#elementosbasicos](http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_neumatica/neumatica_indice.html#elementosbasicos)

**CREUS SOLÉ, A.**, 2007. *Neumática e hidráulica* [en línea]. [Barcelona]: Marcombo. [Consulta: 7 diciembre 2015]. Disponible en: <http://site.ebrary.com/id/10212428>.

**DELTA**, 2014. *Delta HMI Dop-b03s211-e211*. 2014. S.l.: s.n. pp. 1-2.

**DURAN RANDOLF**, [sin fecha]. *Lenguajes de programación de PLC'S 1. Programa y lenguaje de programación*. [en línea]. [Consulta: 10 diciembre 2015]. Disponible en: [http://www.academia.edu/11398442/LENGUAJES\\_DE\\_PROGRAMACION\\_DE\\_PLC\\_S\\_1\\_PROGRAMA\\_Y LENGUAJE\\_DE\\_PROGRAMACION](http://www.academia.edu/11398442/LENGUAJES_DE_PROGRAMACION_DE_PLC_S_1_PROGRAMA_Y LENGUAJE_DE_PROGRAMACION)

**ESPINOSA MOISES**, 1995. *Diseño y construcción de una celda de carga*. S.l.: Universidad Autónoma de Nuevo León. pp. 30-44.

**GALLEGOS LÓPEZ, C.F. y JARRÍN VIVAR, J.D.**, 2013. *Diseño e implementación de un módulo didáctico para clasificación, empaquetado e inspección de huevos aplicando PLC*. [en línea], [Consulta: 30 noviembre 2015]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2852>. pp. 22-32.

**GONZALEZ AVID ROMAN**, [sin fecha]. *Sensores\_y\_Actuadores*. [en línea], [Consulta: 10 diciembre 2015]. Disponible en: [http://www.avidromangonzalez.com/Sensores\\_y\\_Actuadores.pdf](http://www.avidromangonzalez.com/Sensores_y_Actuadores.pdf). pp. 1-15.

—, 2014. *Guía configuración y funcionamiento Tia portal v13*. [en línea], 17:01:32 UTC. S.l. [Consulta: 8 enero 2016]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/antoniohuescar18/guia-configuracion-y-funcionamiento-tia-portal-v20>. pp. 5-45.

**CREUS**, [sin fecha]. *Instrumentacion industrial*. [en línea]. [Consulta: 14 noviembre 2015]. Disponible en: [https://www.academia.edu/8286258/Instrumentacion\\_industrial\\_-\\_Creus\\_8th](https://www.academia.edu/8286258/Instrumentacion_industrial_-_Creus_8th).

**MANUEL, O.C. y JOSÉ, B.R.** (eds.), 2001. *Sistemas de interacción persona - computador* [en línea]. S.l.: Universidad de Castilla-La Mancha. [Consulta: 8 marzo 2016]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=5170>. pp. 1-5.

**MARKETIZER.COM.**, [sin fecha]. *Los diferentes tipos de sistemas de ensacado* | QuimiNet.com. [en línea]. [Consulta: 4 noviembre 2015]. Disponible en: <http://ind.lu/F2e9/11fi>. pp. 7-11.

**NATIONS, F. and A.O. of the U.**, 2003. *Desarrollo de la acuicultura, Procedimientos idóneos en la fabricación de alimentos para la acuicultura*. S.l.: Food & Agriculture Org. ISBN 978-92-5-304613-3. [Consulta: 1 noviembre 2015]. pp. 1-6.

**PONSA, P., VILANOVA, R. y DÍAZ, M.**, 2007. *Introducción del Operario Humano en el Ciclo de Automatización de Procesos Mediante la Guía GEMMA. Información tecnológica*, vol. 18, no. 5, [Consulta: 7 noviembre 2015]. pp. 21-30. ISSN 0718-0764. DOI 10.4067/S0718-07642007000500004.

**RAMÍREZ, L.G.C., JIMÉNEZ, G.S.A. y CARREÑO, J.M.**, [sin fecha]. *Sensores y Actuadores*. S.l.: Grupo Editorial Patria. ISBN 978-607-438-936-4. [Consulta: 14 noviembre 2015]. pp. 1-5.

**ROSERO, R. y GABRIEL, L.**, 2013. *Sistema de control de peso para llenado de sacos de harina de 50 kg*. [en línea], Ibarra: Universidad Técnica del Norte. [Consulta: 16 enero 2016]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1921>. pp. 45-65.

**SANTAMARÍA VILLACÍS, M.**, 2013. *Diseño e implementación de un sistema de pesaje mediante un panel SIMATIC HMI y un PLC S7-300, CPU 315-2 PN /DP para 3 silos de materia prima en la empresa Millpolímeros ubicada en el sector Samanga*. [en línea]. Thesis. S.l.: LATACUNGA / ESPE / 2013. [Consulta: 17 enero 2016]. Disponible en:

<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6900.sensordepeso.pdf>, [sin fecha]. S.l.: s.n. pp. 35-100.

—, *Sensores*. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 15 noviembre 2015]. Disponible en: <http://thelastlabproject.blogspot.com//2010/12/clasificacion-de-los-sensores.html>.

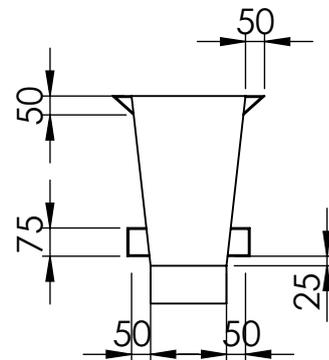
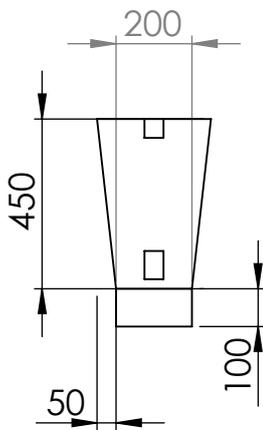
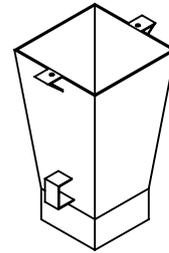
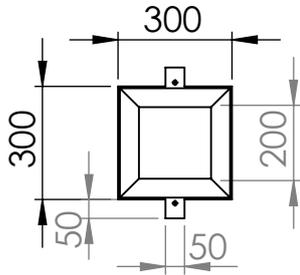
**SIEMENS**, 2009. *Guía rápida S71200*. S.l.: s.n. [Consulta: 15 noviembre 2015].

**VILORIA, J.R.**, 1991. *Neumática, hidráulica y electricidad aplicada: física aplicada. Otros fluidos*. S.l.: Paraninfo. ISBN 978-84-283-1648-4. [Consulta: 21 noviembre 2015]. pp. 65-90.

# ANEXOS

# ANEXO 1

## PLANOS MECÁNICOS



Escala en mm.

ACABADO:

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.				
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CAUID.				
				MATERIAL: ACERO INOXIDABLE
				PESO:

TÍTULO:

TOLVA PEQUEÑA

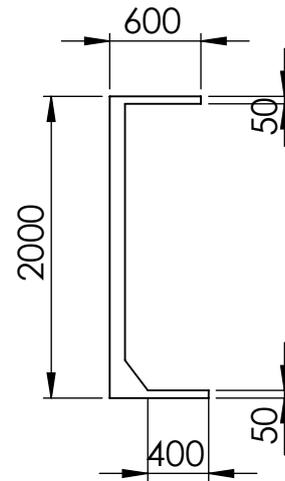
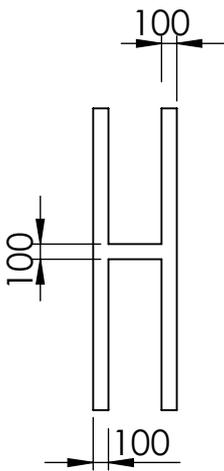
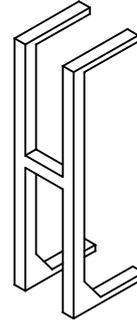
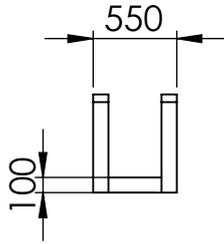
N.º DE DIBUJO

1

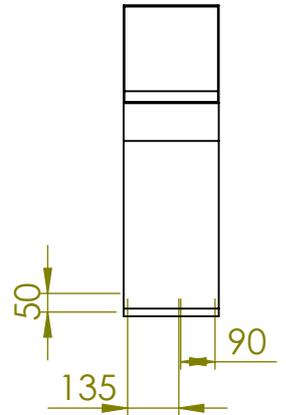
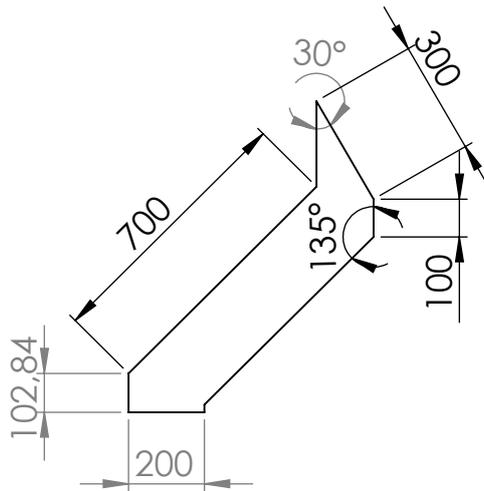
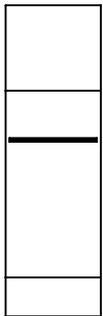
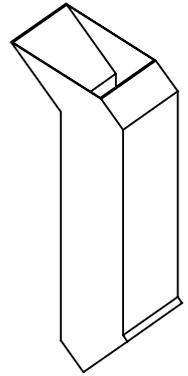
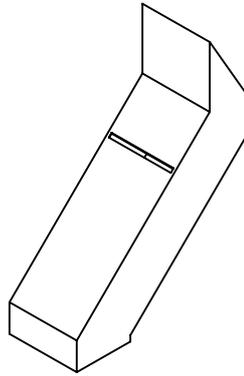
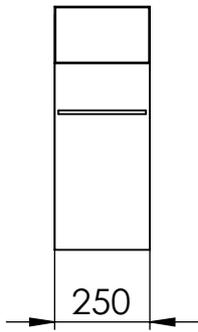
A4

ESCALA: 1:100

HOJA 1 DE 1



Escala en mm.		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.						SOPORTE DE LA ESTRUCTURA			
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CAUID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				ACERO NEGRO		2			
				PESO:		ESCALA: 1:100		HOJA 1 DE 1	

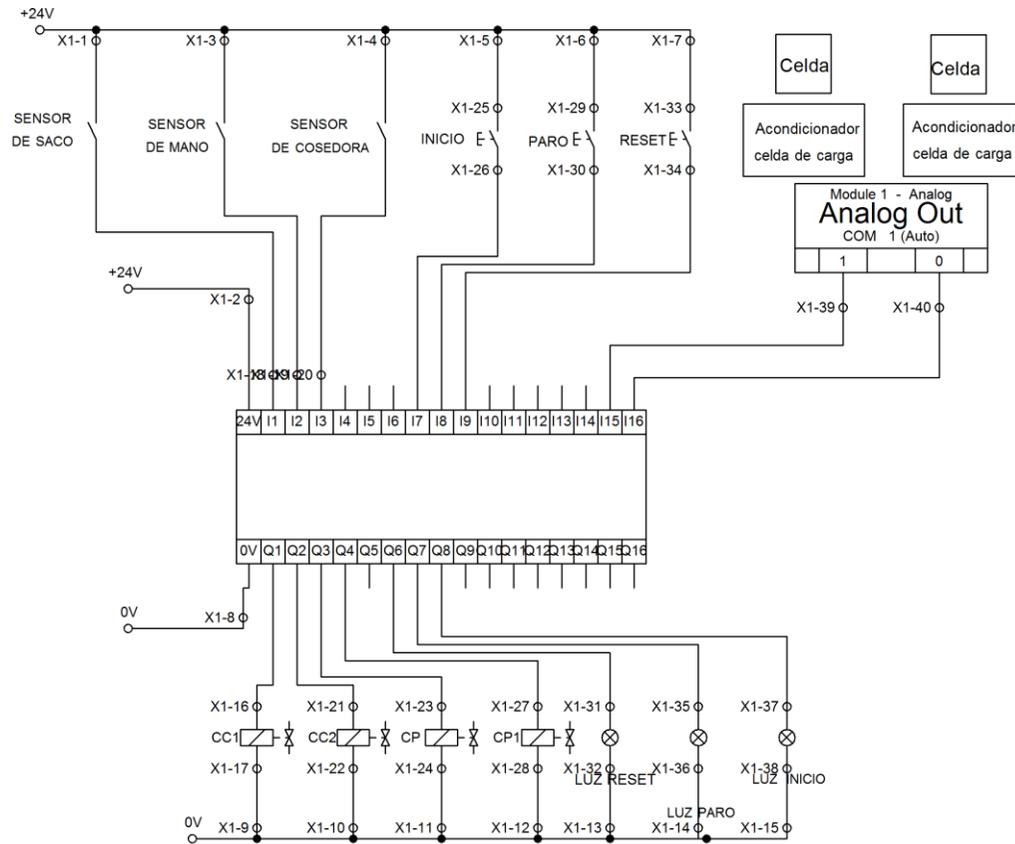


Escala en mm.		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.		VERIF.		APROB.		<h1>BOCA</h1>			
FABR.		CAUID.							
				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				ACERO INOXIDABLE		3			
				PESO:		ESCALA: 1:10		HOJA 1 DE 1	

**ANEXO 2**

**PLANO ELÉCTRICO Y**

**ELECTRÓNICO**



Marca	Denominación de componentes
	Módulo digital
	Fuente de tensión (24V)
	Fuente de tensión (0V)
LUZ RESETEO	Indicador luminoso
	Indicador luminoso
LUZ INICIO	Indicador luminoso
CC1	Solenoido de válvula
CC2	Solenoido de válvula
CP	Solenoido de válvula
CP1	Solenoido de válvula
INICIO	Pulsador (Obturador)
	Fuente de tensión (24V)
	Fuente de tensión (0V)
PARO	Pulsador (Obturador)
RESETEO	Pulsador (Obturador)
DE SACO	Obturador
DE MANO	Obturador
DE COSEDORA	Obturador
	Puerto de salida FluidSIM

X1			
	+24V	0V	
	1		DE SACO 3
	2		
	3		DE MANO 3
	4		DE COSEDORA 3
	5		X1 25
	6		X1 29
	7		X1 33
	8		
	9		X1 17
	10		X1 22
	11		X1 24
	12		X1 28
	13		X1 32
LUZ PARO	14		X1 36
LUZ PARO	15		X1 38
CC1	16		
	17		X1 9
RESETEO	18		DE SACO 4
	19		DE MANO 4
	20		DE COSEDORA 4
CC2	21		
CC2	22		X1 10
CP	23		
CP	24		X1 11
INICIO	3		X1 5
INICIO	4		
CP1	27		
CP1	28		X1 12
PARO	3		X1 6
PARO	4		
LUZ RESETEO	31		
LUZ RESETEO	32		X1 13
RESETEO	3		X1 7
RESETEO	4		
	35		
	36		X1 14
LUZ INICIO	37		
LUZ INICIO	38		X1 15
	39		
	40		

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
 FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES  
 TÍTULO: Diagrama eléctrico máquina ensacadora de balanceado  
 AUTORES: Cristhyan Carrillo - Raúl Calero

# ANEXO 3

## PLANO NEUMÁTICO



# ANEXO 4

## DOCUMENTACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DEL AUTOMATA

# Proceso\_ensacado\_contactores\_PRUEBAS\_04MAR / PLC\_1 [CPU 1214C DC/DC/DC] / Bloques de programa

## Main [OB1]

### Main Propiedades

#### General

Nombre	Main	Número	1	Tipo	OB.ProgramCycle
--------	------	--------	---	------	-----------------

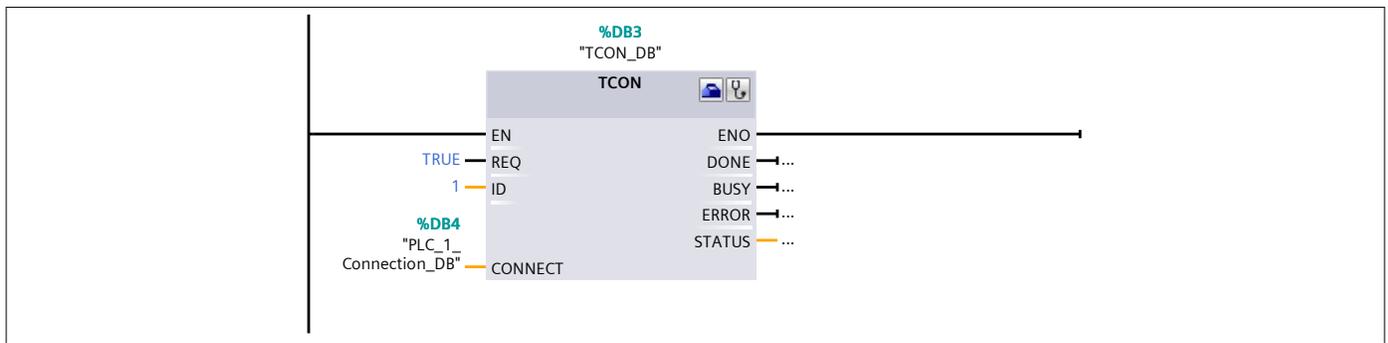
Idioma	KOP
--------	-----

#### Información

Título	"Main Program Sweep (Cycle)"	Autor		Comentario	
Familia		Versión	0.1	ID personalizada	

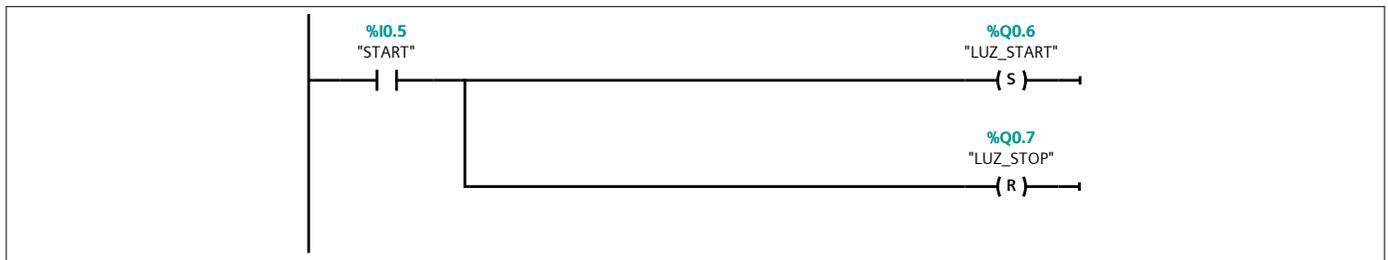
Nombre	Tipo de datos	Offset	Comentario
Temp			

### Segmento 1: COMUNICACION



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"TCON_DB"	%DB3	Block_SFB	
TRUE	TRUE	Bool	
1	1	Word	
"PLC_1_Connection_DB"	%DB4	Block_SDT	

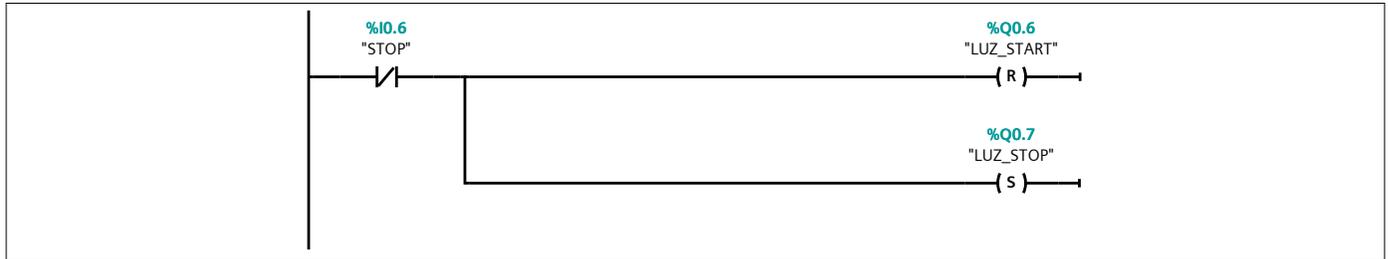
### Segmento 2: START



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"LUZ_START"	%Q0.6	Bool	
"START"	%I0.5	Bool	

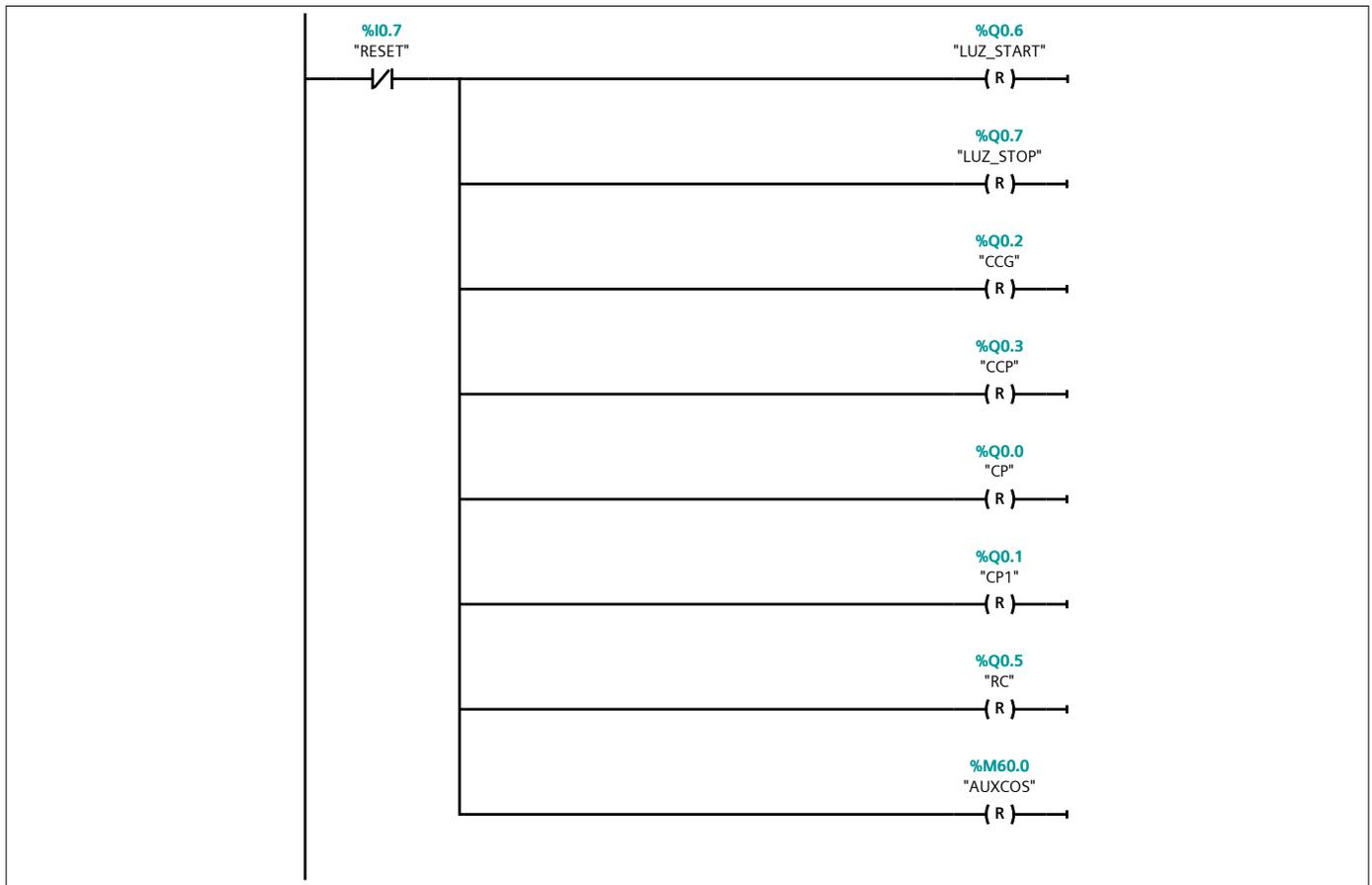
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"LUZ_STOP"	%Q0.7	Bool	

### Segmento 3: STOP



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"LUZ_START"	%Q0.6	Bool	
"LUZ_STOP"	%Q0.7	Bool	
"STOP"	%I0.6	Bool	

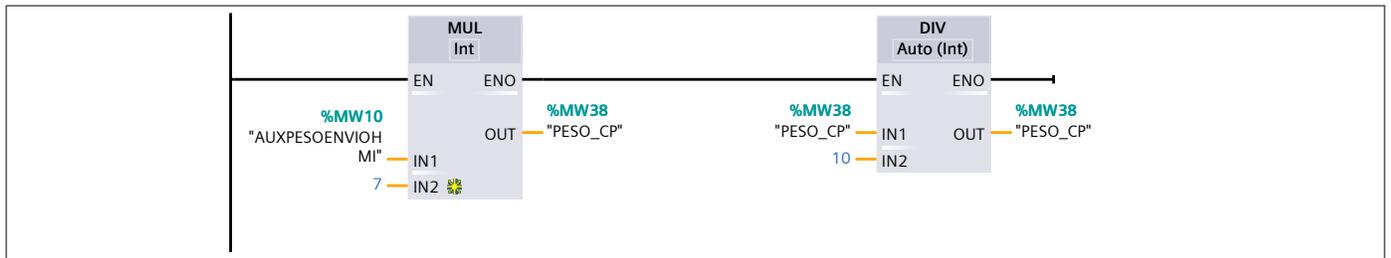
### Segmento 4: RESET



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"LUZ_START"	%Q0.6	Bool	
"LUZ_STOP"	%Q0.7	Bool	

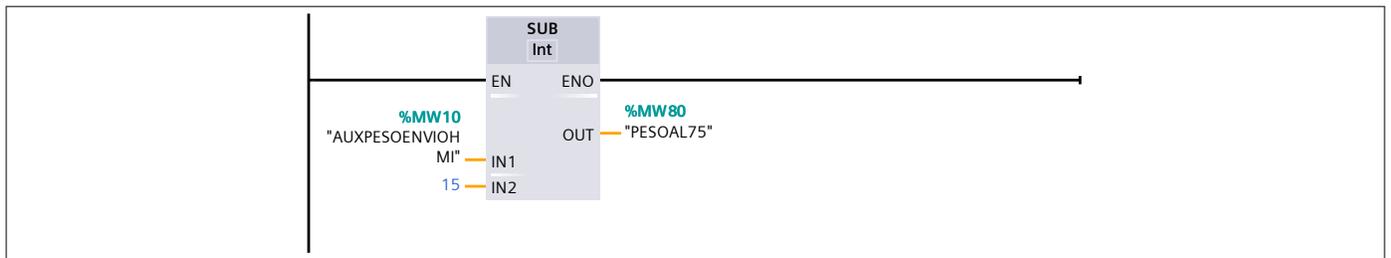
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"RESET"	%I0.7	Bool	
"CCG"	%Q0.2	Bool	
"CCP"	%Q0.3	Bool	
"CP"	%Q0.0	Bool	
"CP1"	%Q0.1	Bool	
"RC"	%Q0.5	Bool	
"AUXCOS"	%M60.0	Bool	

### Segmento 5: SET



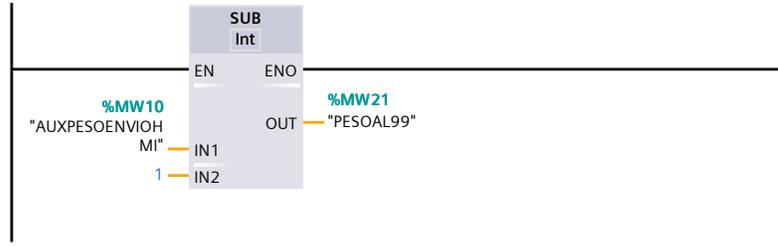
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"PESO_CP"	%MW38	Int	
"AUXPEOENVIOHMI"	%MW10	Word	
10	10	Int	
7	7	Int	

### Segmento 6: ADEL\_SET



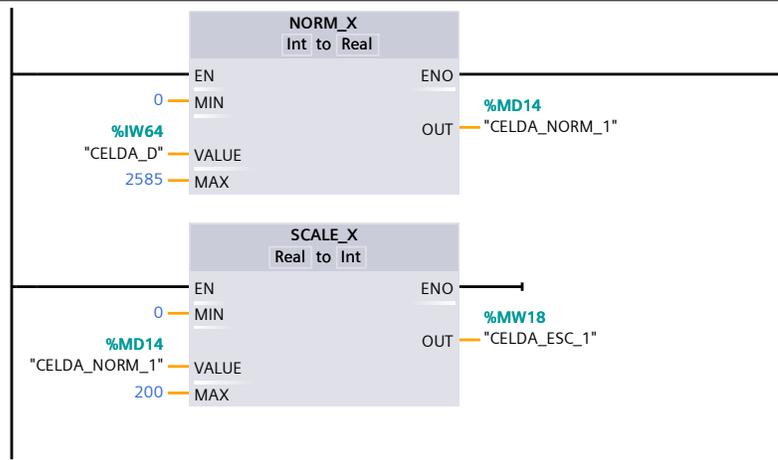
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"PESOAL75"	%MW80	Int	
"AUXPEOENVIOHMI"	%MW10	Word	
15	15	Int	

### Segmento 7: PESO\_CTRL



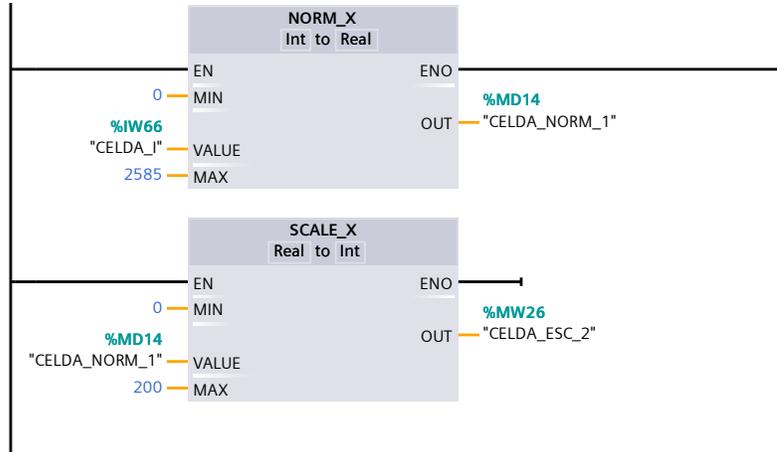
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"AUXPEOENVIOHMI"	%MW10	Word	
1	1	Int	
"PESOAL99"	%MW21	Int	

**Segmento 8: LECTURA CELDA 2 DER**



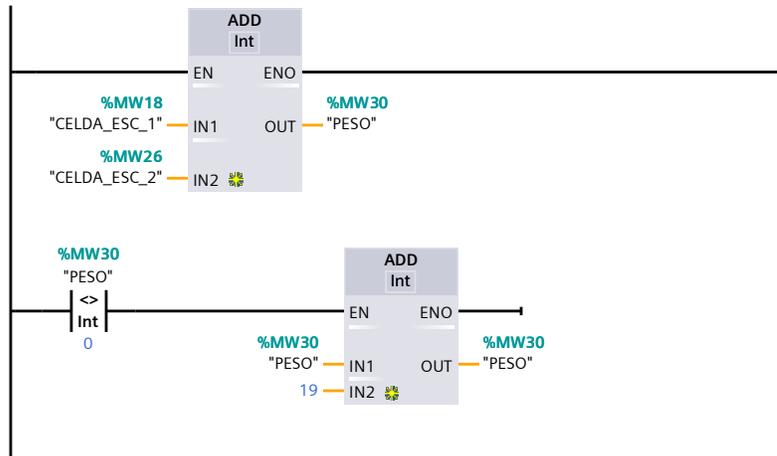
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
0	0	Int	
"CELDA_ESC_1"	%MW18	Int	
200	200	Int	
"CELDA_NORM_1"	%MD14	Real	
"CELDA_D"	%IW64	Word	
2585	2585	Int	

**Segmento 9: LECTURA CELDA 1 IZQ**



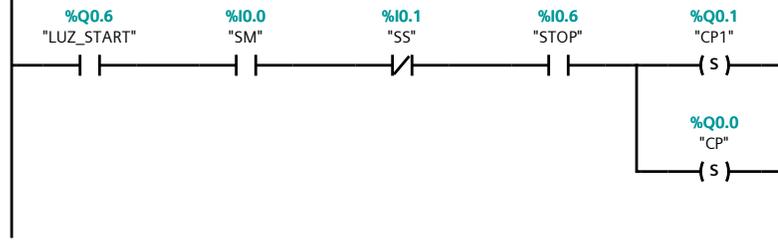
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
0	0	Int	
"CELDA_ESC_2"	%MW26	Int	
200	200	Int	
"CELDA_NORM_1"	%MD14	Real	
"CELDA_I"	%IW66	Word	
2585	2585	Int	

### Segmento 10: PESO TOTAL Y ENVIO



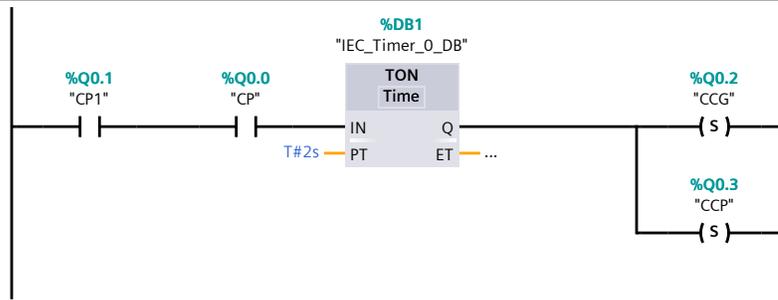
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"PESO"	%MW30	Int	
0	0	Int	
"CELDA_ESC_1"	%MW18	Int	
"CELDA_ESC_2"	%MW26	Int	
19	19	Int	

### Segmento 11: CONDICION DE INICIO



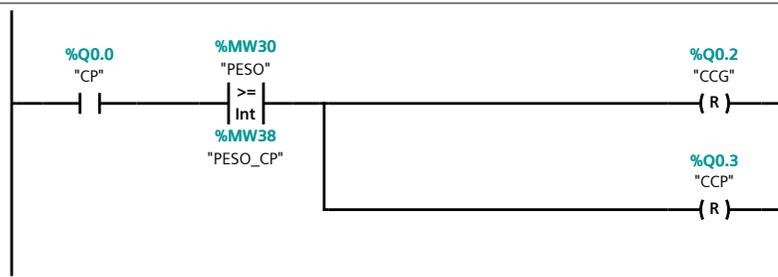
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"LUZ_START"	%Q0.6	Bool	
"STOP"	%I0.6	Bool	
"CP"	%Q0.0	Bool	
"CP1"	%Q0.1	Bool	
"SM"	%I0.0	Bool	
"SS"	%I0.1	Bool	

### Segmento 12: APERTURA COMPUERTAS



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"CCG"	%Q0.2	Bool	
"CCP"	%Q0.3	Bool	
"CP"	%Q0.0	Bool	
"CP1"	%Q0.1	Bool	
"IEC_Timer_0_DB"	%DB1	IEC_Timer	
T#2s	T#2s	Time	

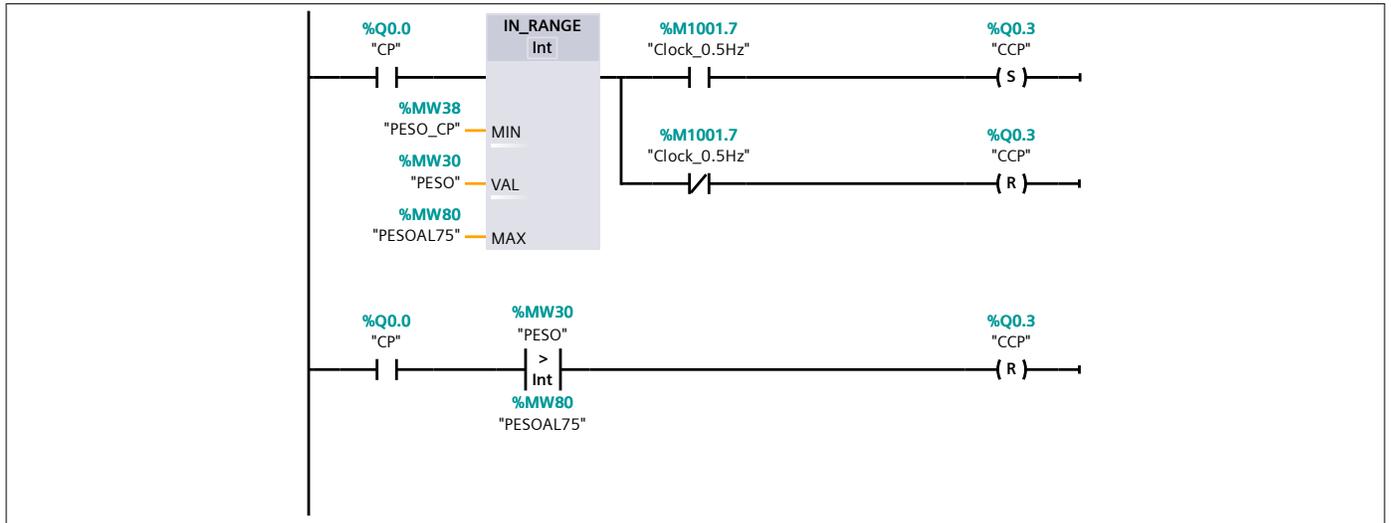
### Segmento 13: CIERRE COMPUERTAS



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"CCG"	%Q0.2	Bool	
"CCP"	%Q0.3	Bool	

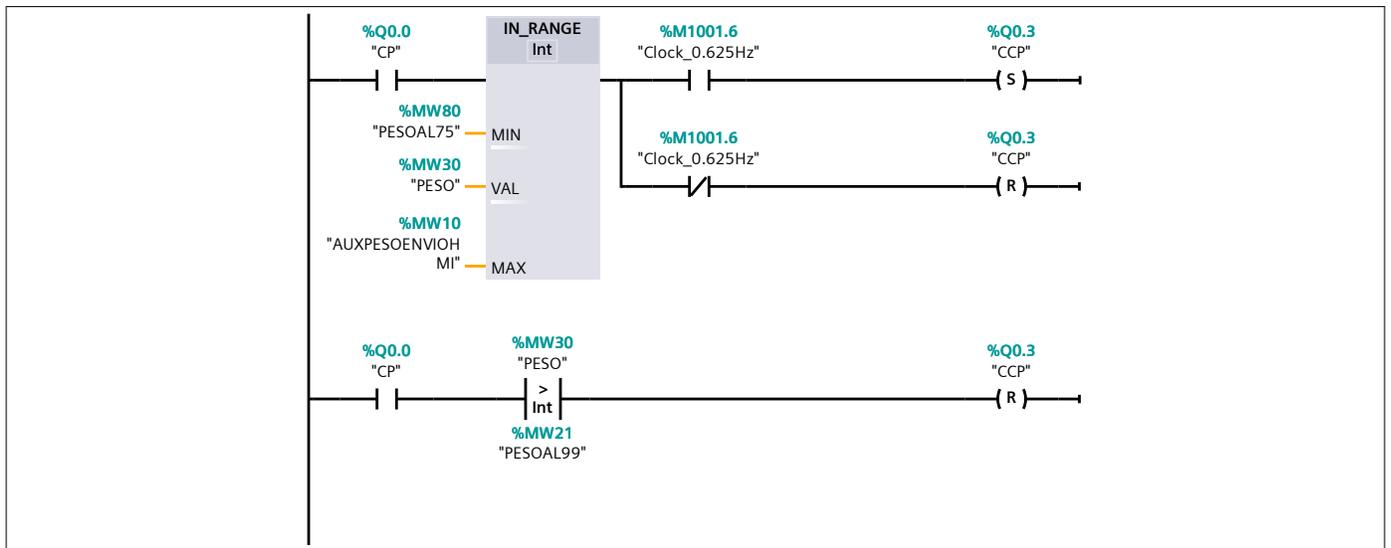
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"CP"	%Q0.0	Bool	
"PESO_CP"	%MW38	Int	
"PESO"	%MW30	Int	

### Segmento 14: CTRL



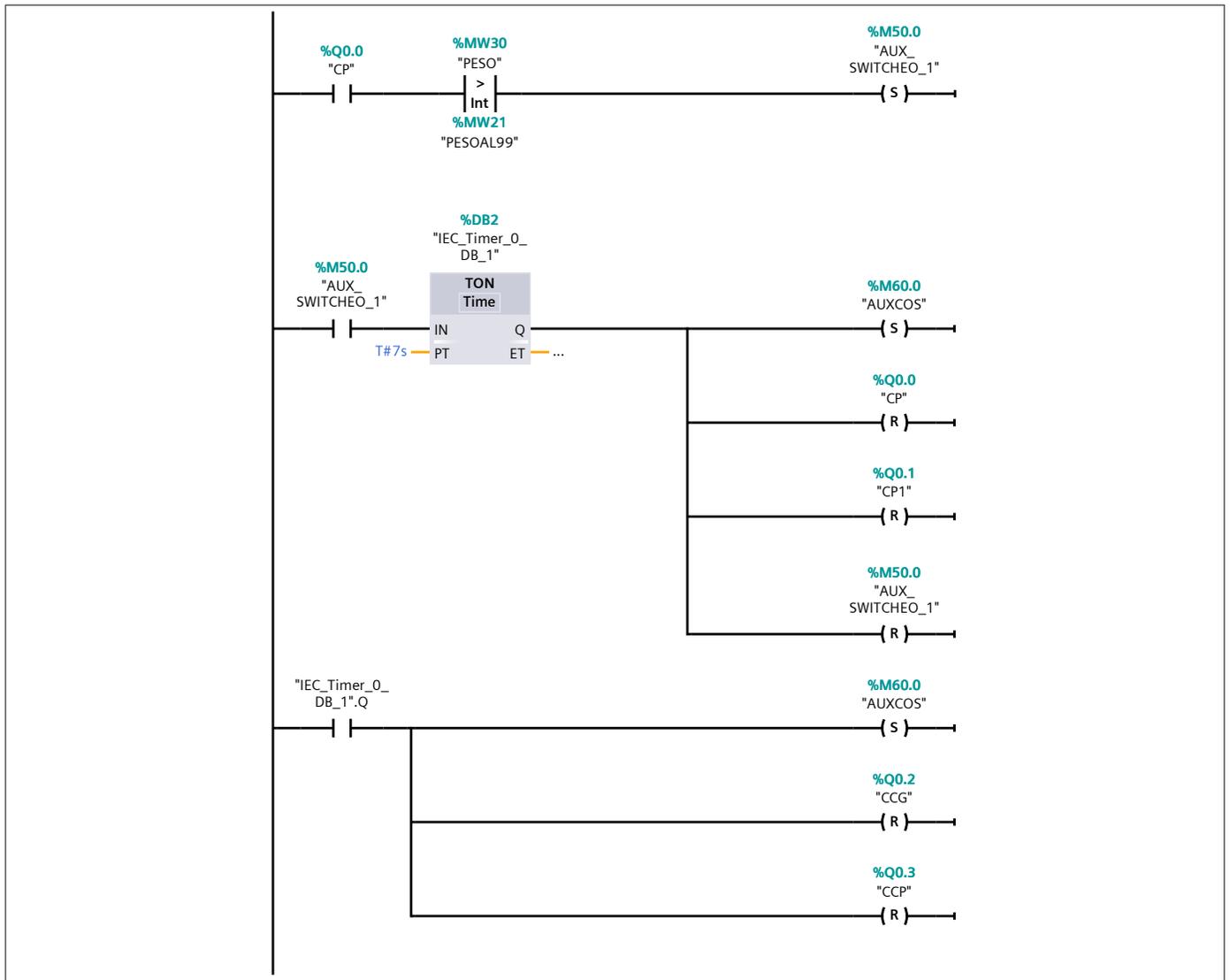
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"CCP"	%Q0.3	Bool	
"CP"	%Q0.0	Bool	
"PESO_CP"	%MW38	Int	
"PESO"	%MW30	Int	
"PESOAL75"	%MW80	Int	
"Clock_0.5Hz"	%M1001.7	Bool	

### Segmento 15: CTRL\_1



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"CCP"	%Q0.3	Bool	
"CP"	%Q0.0	Bool	
"PESO"	%MW30	Int	
"PESOAL75"	%MW80	Int	
"AUXPEOENVIOHMI"	%MW10	Word	
"PESOAL99"	%MW21	Int	
"Clock_0.625Hz"	%M1001.6	Bool	

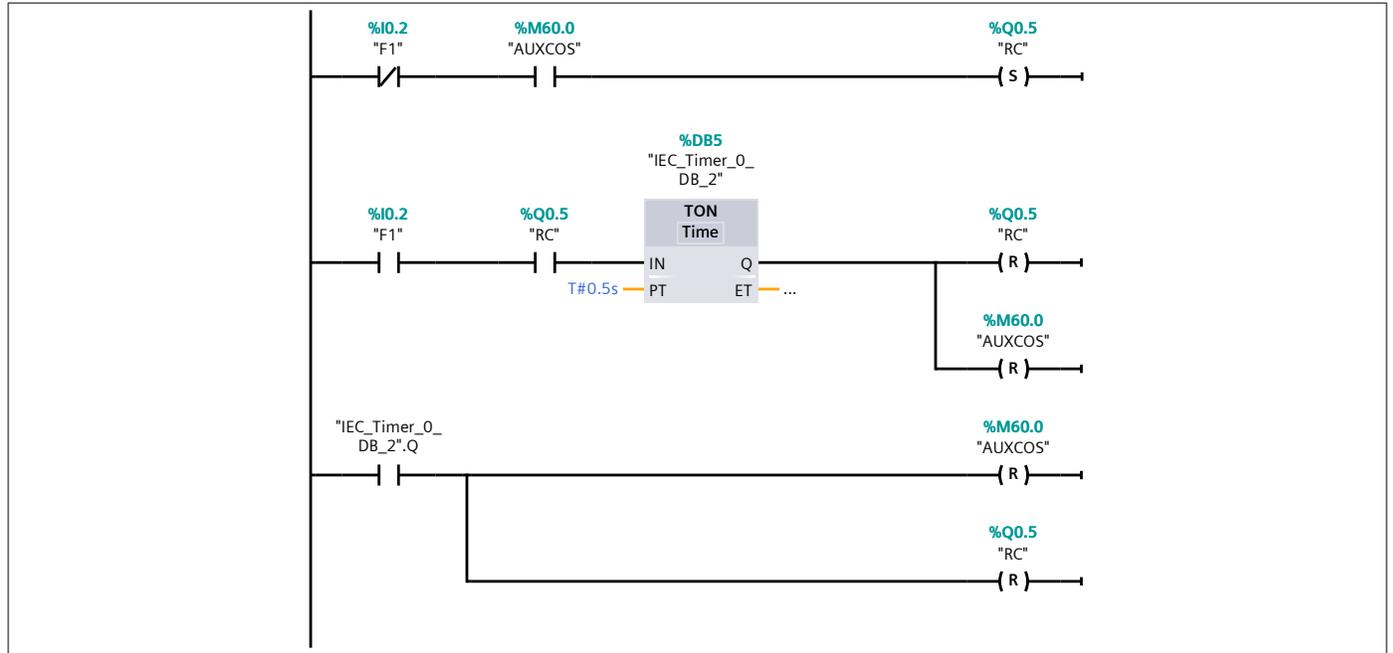
### Segmento 16: APERTURA PRENSAS LUEGO DE LLENADO



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"CCG"	%Q0.2	Bool	
"CCP"	%Q0.3	Bool	
"CP"	%Q0.0	Bool	
"CP1"	%Q0.1	Bool	
"AUXCOS"	%M60.0	Bool	
"PESO"	%MW30	Int	

Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"PESOAL99"	%MW21	Int	
"IEC_Timer_0_DB_1"	%DB2	IEC_Timer	
"IEC_Timer_0_DB_1".Q		Bool	
"IEC_Timer_0_DB_1"	%DB2	IEC_Timer	
"AUX_SWITCHEO_1"	%M50.0	Bool	
T#7s	T#7s	Time	

### Segmento 17: PROCESO COSEDORA

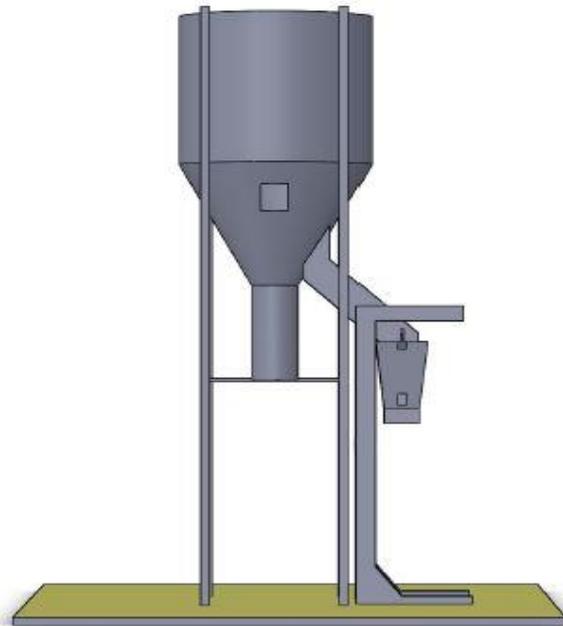


Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"RC"	%Q0.5	Bool	
"AUXCOS"	%M60.0	Bool	
"F1"	%I0.2	Bool	
"IEC_Timer_0_DB_2"	%DB5	IEC_Timer	
"IEC_Timer_0_DB_2"	%DB5	IEC_Timer	
"IEC_Timer_0_DB_2".Q		Bool	
T#0.5s	T#0.5s	Time	

# ANEXO 5

MANUAL DE USUARIO

# MAQUINARIA PARA ENSACADO



# MANUAL DE USUARIO



# **INDICE**

## **Capítulo 1**

### **PARTES**

GENERAL

TABLERO DE CONTROL

CONTENIDO INTERNO DEL TABLERO DE CONTROL

PANTALLAS DEL HMI

## **Capítulo 2**

### **FUNCIONAMIENTO**

INGRESAR PESO

INICIO DEL PROCESO

PARO Y RESET

## **Capítulo 3**

### **DATOS TÉCNICOS**

SISTEMA NEUMÁTICO

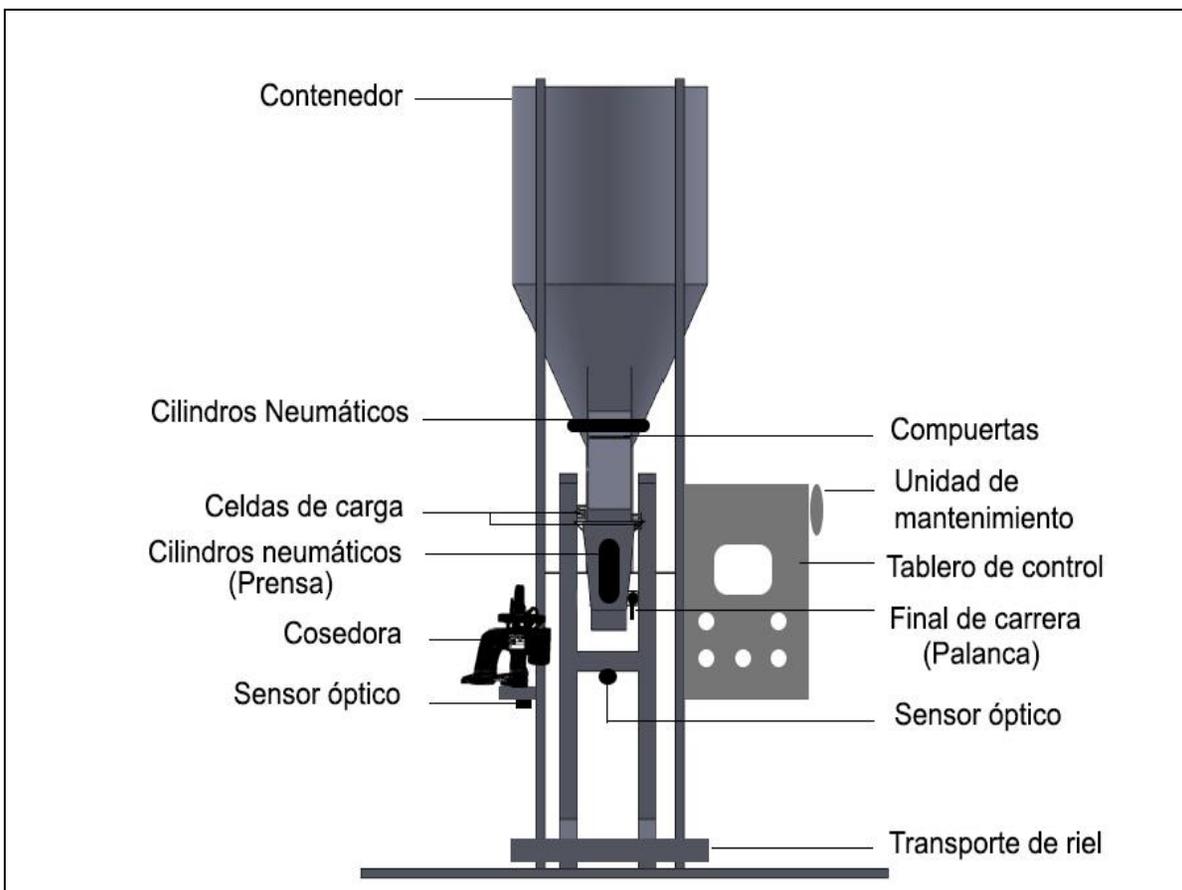
SISTEMA ELECTRÓNICO

DATASHEET DE LOS DISPOSITIVOS

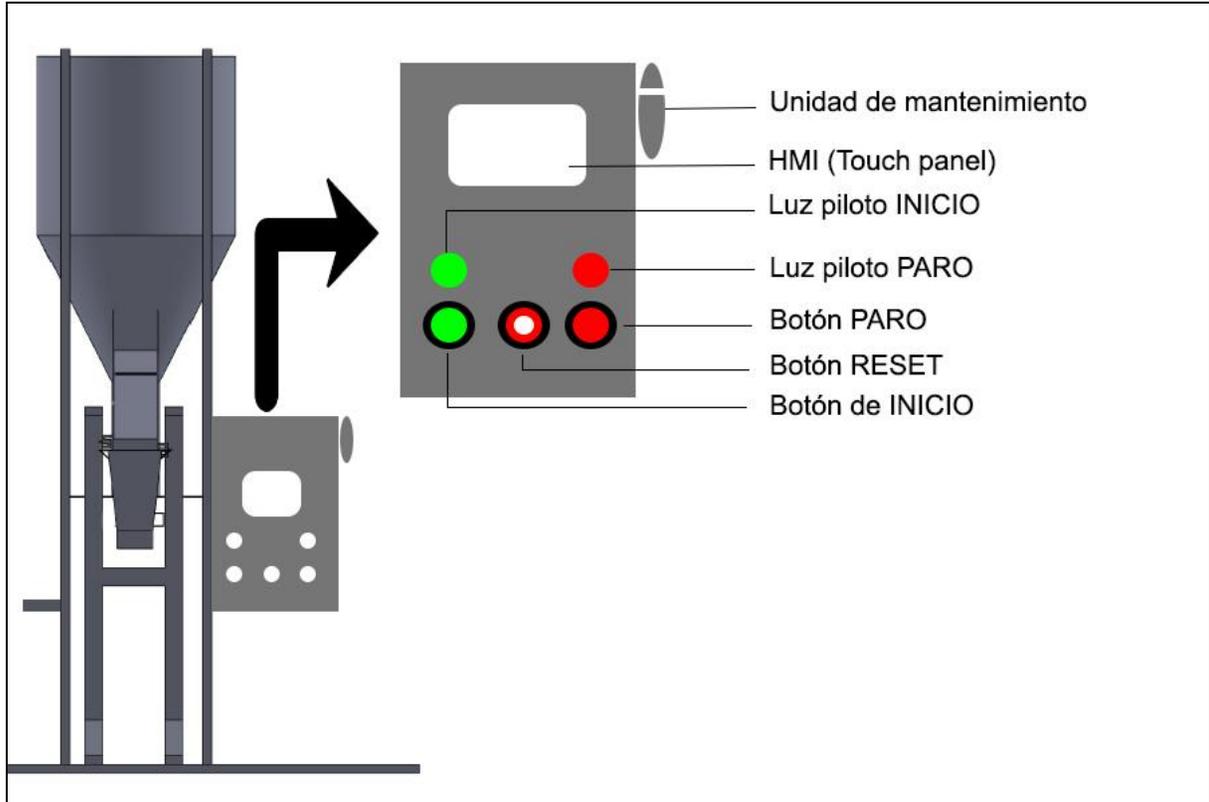
# PARTES

# 1

## GENERAL



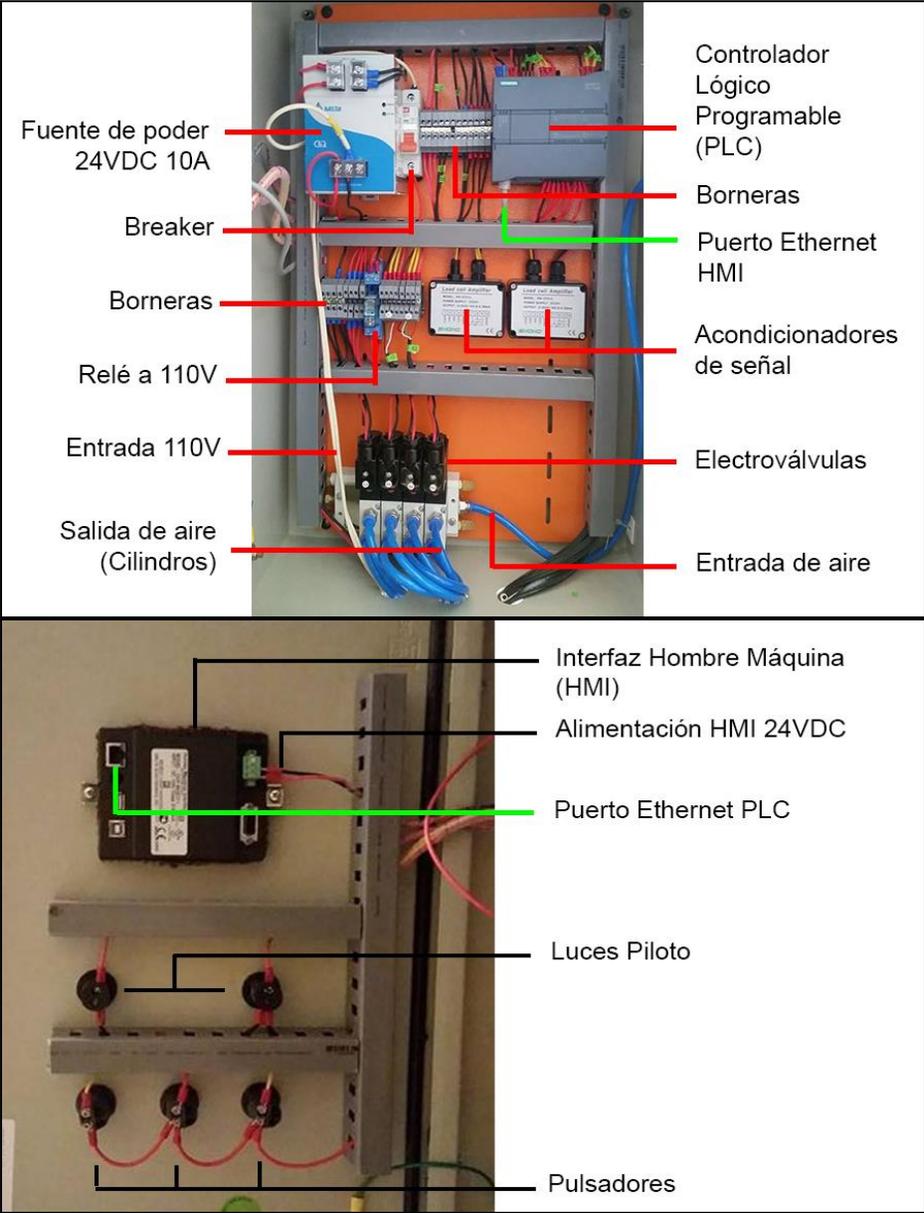
## TABLERO DE CONTROL



El tablero de control posee un HMI (touch panel) en donde el usuario elije el peso deseado a ensacar.

La estructura interna está constituida por un autómata, sistema electrónico, eléctrico y neumático.

# CONTENIDO INTERNO DEL TABLERO DE CONTROL



## PANTALLAS DEL HMI (TOUCH PANEL)



La pantalla HMI está formada por cuatro pantallas una de portada dos paneles de control y un historial de registros. Las pantallas que se detallan son los dos paneles principales que el operario maneja.



**En la pantalla de portada al encender  
PULSE EN CUALQUIER LUGAR PARA CONTINUAR**

## 1. INGRESAR PESO



### PANEL PRINCIPAL

- Botón PANEL DE PESO
- Visualizador peso medido
- Visualizador peso objetivo



### PANEL DE PESO

- Lista pesos estandar
- Ingreso de peso
- Regresar PANEL PRINCIPAL
- Aceptar Peso

1. Pulse en el botón INGRESAR PESO (Color NARANJA).  
**Identificación gráfico** “Botón PANEL DE PESO”
2. Pulse si desea LISTA DE PESOS ESTANDAR (Primer Recuadro) para pesos de 30kg, 40kg y 50kg o INGRESE PESO (Segundo recuadro) para cualquier peso de 20kg hasta 50kg como máximo en el teclado que aparecerá en la pantalla y pulse ENTER.  
Nota: para ingresar cualquier peso la “lista de pesos estándar” debe estar NINGUNO
3. Pulse el botón ACEPTAR (Color azul con un visto blanco)  
**Identificación gráfico:** “Aceptar Peso”
4. Pulse el botón REGRESAR (Color verde con una casa blanca)  
**Identificación gráfico:** “Regresar PANEL PRINCIPAL”

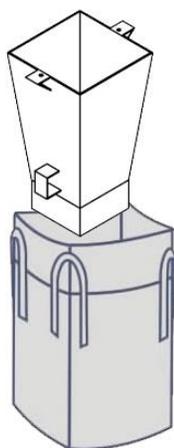
## 2. INICIO DEL PROCESO

1. Pulse el botón INICIO (Color verde) del tablero de control

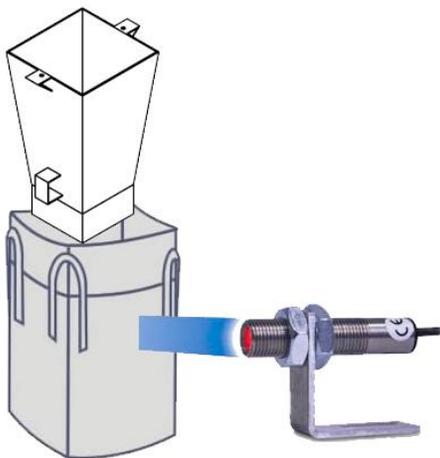


2. Coloque el saco alrededor de la dosificadora entre la boca de dosificación y la prensa de sujeción.

**NO INTRODUZCA SUS MANOS DENTRO DE LA PRENSA POR NINGUN MOTIVO**



3. Mantenga SUS MANOS y el SACO en la posición correcta para que el SENSOR LO DETECTE



---

**FUNCIONAMIENTO**

- Mueva el sensor de PALANCA con su mano derecha para ACTIVAR LAS PRENSAS



- El proceso empieza con el cierre de la prensa y apertura de compuertas, mientras el saco se va llenando su peso se monitorea en el PANEL PRINCIPAL de la pantalla.



## PANEL PRINCIPAL

Visualizador peso medido

Visualizador peso objetivo

- Quando el peso llega al objetivo las compuertas se cierran y la prensa se abre automáticamente
- Deslizar el saco en el transporte de riel hacia la cosedora. esta se encenderá automáticamente. **(FINAL DEL PROCESO)**
- Para ensacar OTRO SACO repita desde **PASO 2**
- Para CAMBIAR DE PESO vuelva al apartado **INGRESO DE PESO**



---

## FUNCIONAMIENTO

## 3. PARO Y RESET

### 3.1. PARO

- Pulse el botón PARO (Color rojo) del tablero de control  
**FUNCION:** El botón PARO detiene el sistema en un instante determinado del proceso **ADEVRTENCIA! DEJA ACTIVAS LAS FUNCIONES QUE EN ESE MOMENTO SE ESTABAN REALIZANDO.**
- Cuando el botón PARO está activado se debe presionar nuevamente el botón INICIO para que el proceso continúe normalmente.



### 3.2. RESET

- Pulse el botón RESET (Color rojo con blanco) del tablero de control  
**FUNCION:** El botón RESET resetea el sistema en cualquier instante del proceso **ADEVRTENCIA! COLOCA EN ESTADO NATURAL A TODOS LOS COMPONENTES DEL SISTEMA.**
- Se utiliza en CASO DE EMERGENCIA



## DATOS TÉCNICOS

# 3

<b>Peso Máximo:</b>	50 kg
<b>Presión de trabajo:</b>	6 bar.
<b>Presión máxima:</b>	8 bar.
<b>Voltaje:</b>	120 VAC

### ¡ADVERTENCIA!

NO ajustar los pernos de las CELDAS DE CARGA una vez calibradas

## SISTEMA NEUMÁTICO

### Mantenimiento.

#### Tratamiento del aire

Se recomienda utilizar aire comprimido preparado (filtrado) para prevenir que las partículas de polvo, aceite y agua dañen las piezas internas de las bridas. El aire preparado está pre filtrado tras la compresión, y luego limpiado en filtros muy finos y de aceite. Las partículas mayores de 40 µm tendrían que retirarse mediante los filtros apropiados.

#### Lubricación del equipo de aire

El aire comprimido preparado podrá ser lubricado o sin lubricar. En caso de optarse por aire lubricado, el aceite utilizado deberá ser de naturaleza mineral o sintética para prevenir problemas de incompatibilidades con las grasas usadas en las juntas.

Si tras utilizar aire lubricado durante un cierto tiempo se comienza a utilizar aire sin lubricar, las juntas pueden researse y cuartearse, perdiendo estanqueidad la brida.

## Recomendaciones para el montaje de cilindros

1. Los cilindros neumáticos están diseñados para transmitir esfuerzos axiales. La presencia de esfuerzos radiales o laterales sobre los vástagos conducirá a un desgaste prematuro de las guarniciones y de sus guías, materializado en la ovalización del buje guía del vástago y del propio tubo del cilindro. Por lo tanto, deberán analizarse detenidamente los tipos de montaje más adecuados para cada aplicación a efectos de anular dichos esfuerzos.
2. Toda vez que se utilice un montaje basculante para el cilindro (en cualquiera de sus formas), deberá preverse un equivalente en el extremo del vástago. La combinación de montajes rígidos con basculantes resulta un contrasentido técnico que origina esfuerzos radiales sobre el vástago.
3. Cuando las oscilaciones puedan ser en más de un eje, son recomendables los montajes con rótula tanto para el cilindro como para su vástago. La combinación de montajes con rótula (universal) con montajes basculantes en un plano es también un contrasentido técnico que origina esfuerzos radiales.
4. Debe evitarse el montaje rígido del cilindro con el elemento a mover. En caso que sea inevitable, fijar suavemente el actuador y operarlo a baja presión de modo que entre y salga libremente y pueda autoalinearse. Suplementar si fuera necesario y luego ajustar firmemente los tornillos de sujeción.
5. Cuando el cilindro sea de gran carrera y supere los valores máximos admisibles por pandeo, es recomendable guiar el vástago y preferentemente «tirar» de la carga en lugar de empujarla. El pandeo también origina esfuerzos radiales sobre el vástago.
6. Cuando se desplacen masas o el movimiento se realice a elevada velocidad, es recomendable el uso de cilindros con amortiguación. Si éstas fueran importantes, prever además amortiguadores hidráulicos de choque y topes positivos en la máquina.
7. Durante la puesta en marcha, debe asegurarse que los tornillos de regulación de las amortiguaciones no sean abiertos más de 1/2 vuelta, de modo de tener un exceso y no una falta de amortiguación. La calibración final se hará con la máquina en operación con la carga y velocidad definitivas.
8. Al montar un cilindro amortiguado, tener la precaución que los tornillos de registro de amortiguación queden en posición accesible.
9. Cuando se monten cilindros neumáticos en proximidades de grandes campos magnéticos, por ejemplo en máquinas donde se realicen tareas de soldadura, se deberá aislar al cilindro convenientemente para evitar tanto como sea posible la circulación de corrientes inducidas por el mismo. Consultar por mayores datos.

10. Suministrar aire con la calidad adecuada. El aire con impurezas y la deficiente lubricación acortan la vida útil de los cilindros neumáticos.

11. Las roscas de conexionado son Gas cilíndricas. Tener especial cuidado al utilizar cañerías o accesorios con rosca cónica, pues pueden producir la rotura del elemento. Es recomendable utilizar conexiones con rosca cilíndrica de asiento frontal.

12. Las cañerías deberán estar limpias en su interior, evitando que restos de cinta o pasta de sellado puedan ser arrastrados al interior del cilindro. Es recomendable «soplar» las cañerías antes de conectar.

13. Al seleccionar un cilindro, considerar en cada caso las carreras definidas como standard como selección de preferencia. Este hecho influirá en el plazo de entrega y facilitará futuras reposiciones.

### **Plan de mantenimiento preventivo de cilindros**

La vida de los cilindros neumáticos queda determinada por los kilómetros recorridos por el conjunto vástago y pistón. Por lo tanto en función de este parámetro se define un programa de mantenimiento preventivo. Los períodos de mantenimiento y la vida de los cilindros son afectados también por la calidad del montaje (alineación y esfuerzos) y la calidad del aire (humedad y lubricación).

Pueden considerarse intervenciones por períodos semanales, cada 500 y cada 3000 km recorridos. Estipular por ejemplo controles visuales de fugas y alineamiento, regulación de amortiguaciones, desarmes parciales, limpieza de elementos y recambios preventivos de partes deterioradas. Utilice siempre Kits de Reparación originales. Para mayor información contactar a IMATIC.

Capacitación. La conversión del período indicado en km a horas de funcionamiento de máquina puede establecerse para cada actuador en particular mediante la siguiente fórmula:

$$H=8.33 \times km / C \times N$$

Dónde:

H = Período de mantenimiento en horas

km = Período de mantenimiento en kilómetros

C = Carrera del cilindro expresada en metros

N = Frecuencia de operación del actuador (ciclos/minuto)

Los periodos indicados en el siguiente programa son aplicables a cilindros neumáticos correctamente montados y con suministro de aire limpio, seco y lubricado. El montaje

inadecuado o la mala calidad del aire pueden reducir notablemente la vida útil de los cilindros, en consecuencia, reducir los periodos de mantenimiento requeridos.

### **Desarme de unidades**

La tarea de desarme debe encararse «en banco», por lo que la unidad debe ser retirada de la máquina. Antes de iniciar su desconexión, se debe interrumpir el suministro de aire a fin de evitar accidentes o rotura. Todas las partes son removibles con herramientas comunes de taller. Utilizar en cada caso la más adecuada.

Cuando se utilice morsa de sujeción, ésta debe ser provista de cubremordazas de material blando a efectos de no dañar las partes del cilindro. Esta precaución debe acentuarse particularmente en el caso de sujeción de vástagos. Bajo ningún concepto debe sujetarse al cilindro por el tubo, ya que una pequeña deformación radial del mismo lo inutilizaría o alteraría luego el normal funcionamiento. Es recomendable aflojar las tapas en forma cruzada. Cuando el desarme de partes ofrezca una excesiva resistencia, sugerimos recurrir al servicio técnico IMATIC

### **Limpieza de partes**

El lavado de partes puede realizarse por inmersión en nafta, complementando con pincel o cepillo de limpieza y sopleteado con aire limpio y seco. Es conveniente repetir la operación varias veces hasta obtener una limpieza a fondo de las partes.

El uso de solventes o desengrasantes industriales queda limitado a aquellos que no contengan productos clorados (tricloroetileno o tetracloruro de carbono) o solventes aromáticos (thinner, acetona, tolueno, etc.). Estos compuestos son incompatibles con los materiales de bujes de amortiguado, anillo de fricción y guarniciones, produciendo el rápido deterioro de los mismos.

### **Pruebas**

Antes de reinstalar el cilindro en la máquina, realizar las siguientes pruebas:

- Estanqueidad: presurizar a 6 bar alternativamente ambas cámaras verificando estanqueidad de la cámara presurizada y ausencia de fugas por la boca de la cámara opuesta. Cuando se presurice la cámara delantera verificar además el sellado de la guarnición de vástago.

- Funcionamiento: con aire a baja presión (1 bar) verifique el suave desplazamiento en ambos sentidos del vástago, girando el mismo entre operaciones 90° manualmente.
- Amortiguaciones: cerrando totalmente los registros de amortiguación y presurizando las cámaras alternativamente a 6 bar, el vástago debe prácticamente detenerse y completar la parte final de su recorrido lentamente.

Verificar estanqueidad por los tornillos de registro.

## **PRESIÓN DE TRABAJO MÁXIMA 6 BAR.**

## **SISTEMA ELECTRÓNICO**

### **Mantenimiento del tablero de control**

Para la revisión y mantenimiento de los equipos se debe regir en las hojas de datos de los fabricantes, a continuación se hace referente los dispositivos instalados en el tablero de control

- PLC Siemens 1200 CPU 1214c DC/DC/DC,
- Fuente de poder Delta de 10 A,
- HMI Delta DOP-BO3E211,
- Acondicionadores de señal de las celdas de carga,
- Luces piloto,
- Pulsadores,
- Borneras de conexión,
- Cables para conexión
- Interruptor termo-magnético de 6 A.