



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

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN  
DE LA EMPRESA IMPTEK - CHOVA DEL ECUADOR  
PLANTA EL INGA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE  
UN SISTEMA DE CALIBRACIÓN DE ESPESORES Y  
CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS (SPC)**

**AUTOR: JARAMILLO VIÑÁN, CARLOS ANDRÉS**

**DIRECTOR: (*Ingeniero*): CABRERA MERA, ABSALÓN  
GUILLERMO**

**SANGOLQUÍ**

**2018**



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "*OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA IMPTEK - CHOVA DEL ECUADOR PLANTA EL INGA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CALIBRACIÓN DE ESPESORES Y CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS (SPC)*" realizado por el señor *Jaramillo Viñán, Carlos Andrés* ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido y/o plagio requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo a autorizar al señor *Carlos Andrés Jaramillo Viñan* para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 05 de marzo del 2018



Ing. Absalon Guillermo Cabrera Mera

Director

C. I. 180109959-7



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Jaramillo Viñán, Carlos Andrés**, con cédula de identidad N° 1720579059, declaro que este trabajo de titulación, **Optimización del proceso de producción de la empresa Imptek - Chova del Ecuador planta el Inga mediante la implementación de un sistema de calibración de espesores y control estadístico de procesos (SPC)** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se han respetado los derechos intelectuales de terceros citados en las referencias bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mí autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 05 de marzo del 2018

Carlos Andrés Jaramillo Viñán

C.C.: 1720579059



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

iv

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Jaramillo Viñán, Carlos Andrés**, con C.I N° 1720579059 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en su totalidad en el repositorio Institucional el trabajo de titulación ***Optimización del proceso de producción de la empresa Imptek - Chova del Ecuador planta el Inga mediante la implementación de un sistema de calibración de espesores y control estadístico de procesos (SPC)*** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Sangolquí, 05 de marzo del 2018**

CARLOS ANDRÉS JARAMILLO VIÑÁN

C.C. 1720579059

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto está dedicado en especial a mi padre Carlos, que con su ejemplo me encaminó a conseguir este logro y con seguridad me seguirá ayudando desde arriba, a mi madre Mélida que desde el primer día estuvo compartiendo conmigo todas las alegrías y tristezas que representa el estudio, a mi hermano José que siempre estuvo a mi lado como un excelente colaborador y amigo alentándome siempre a vencer.

**CARLOS ANDRES JARAMILLO VIÑÁN**

## **AGRADECIMIENTO**

Principalmente agradezco a Dios por brindarme salud e inteligencia a lo largo de este camino ya que sin él nada es posible en la vida, a mi madre Mérida por estar siempre conmigo, a mi padre Carlos por darme el ejemplo de cómo vencer los problemas, por enseñarme que solo con esfuerzo se alcanza el éxito y que de seguro sigue caminando a mi lado.

**CARLOS ANDRÉS JARAMILLO VIÑÁN**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CARÁTULA</b> .....	<b>i</b>
<b>CERTIFICADO DEL DIRECTOR</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xviii</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1. GENERALIDADES</b> .....	<b>1</b>
1.1. Antecedentes del proyecto.....	1
1.2. Justificación e importancia.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. <i>Objetivo general</i> .....	3
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.4. Alcance.....	3
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>4</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
2.1. Control de calidad, métodos y herramientas.....	4
2.2. Control estadístico de procesos.....	9
2.2.1. <i>Causas comunes y especiales de variación</i> .....	9

2.2.2.	<i>Gráficas de control</i> .....	11
2.2.3.	<i>Reglas para el análisis de las gráficas de control</i> .....	18
2.3.	Metodología seis sigma.....	19
2.4.	Redes de comunicación industriales.....	21
2.4.1.	<i>Redes y topología</i> .....	21
2.4.2.	<i>Protocolos de comunicación</i> .....	24
2.4.3.	<i>Medios de comunicación industrial por cable</i> .....	29
2.4.4.	<i>Sistemas SCADA, HMI y guía de diseño GEDIS</i> .....	33
2.4.5.	<i>Dispositivos de control industrial (PLCs) y sensores de instrumentación</i> .....	36
<b>CAPÍTULO III</b> .....		<b>43</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN DE IMPTEK – CHOVA DEL ECUADOR S.A, LÍNEAS Y PRODUCTOS</b> .....		<b>43</b>
3.1.	Antecedentes y sector industrial de la empresa.....	43
3.2.	Ubicación geográfica.....	43
3.3.	Misión, visión, objetivos y organigrama estructural.....	44
3.4.	Líneas de producción y productos.....	45
3.5.	Caracterización de la línea de impermeabilización.....	52
<b>CAPÍTULO IV</b> .....		<b>55</b>
<b>4. DISEÑO</b> .....		<b>55</b>
4.1.	Diseño del mecanismo de calibración de espesores.....	55
4.1.1.	<i>Esquema general del mecanismo de calibración de espesores</i> .....	55
4.1.2.	<i>Diseño de detalle</i> .....	57
4.1.2.1.	<i>Ejes deslizantes de soporte lateral</i> .....	57
4.1.2.2.	<i>Bocín cuadrangular</i> .....	64
4.1.2.3.	<i>Tornillo sinfín de avance</i> .....	66
4.1.2.4.	<i>Mecanismo sinfín corona</i> .....	70
4.1.2.5.	<i>Eje de transmisión sinfín corona</i> .....	73
4.1.2.6.	<i>Volante</i> .....	76



4.1.2.7. Parantes de soporte para el tornillo sinfín de avance.....	77
4.1.2.8. Parantes para los ejes deslizantes.....	78
4.1.2.9. Dimensionamiento de la plancha superior para las chumaceras.....	79
4.1.2.10. Dimensionamiento de la plancha base de los soportes.....	82
4.1.2.11. Dimensionamiento de la plancha base de la estructura.....	83
4.1.3. Simulación operativa del sistema.....	85
4.2. Diseño del sistema de adquisición de datos.....	86
4.2.1. Selección y distribución de dispositivos de comunicación industrial en la planta.....	88
4.2.2. Selección de software para diseño HMI.....	95
4.2.3. Diseño y programación del HMI.....	96
4.2.4. Diseño de las gráficas de control en el software IGNITON.....	98
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>105</b>
<b>5. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN.....</b>	<b>105</b>
5.1. Construcción del sistema mecánico de calibración de espesores..	105
5.1.1. Plancha base de la estructura.....	105
5.1.2. Plancha base de soporte.....	106
5.1.3. Parantes de soporte para los ejes deslizantes.....	106
5.1.4. Parantes de soporte para el tornillo sinfín de avance.....	107
5.1.5. Ejes deslizantes.....	107
5.1.6. Bocín cuadrangular doble.....	108
5.1.7. Tornillo sinfín de avance.....	108
5.1.8. Mecanismo sinfín corona.....	109
5.1.9. Eje de transmisión del sinfín corona.....	111
5.2. Implementación del sistema mecánico de calibración de espesores.....	111
5.3. Implementación del sistema de adquisición de datos.....	113
5.3.1. Montaje y conexión de los elementos de comunicación industrial...	113
5.3.2. Canalización de la fibra óptica.....	113
5.3.3. Puesta en red de los dispositivos de control en la planta industrial..	114
5.3.4. Comunicación del sistema de adquisición de datos con el software IGNITION.....	115

5.3.5.	<i>Conexión con la base de datos SQL server.....</i>	116
5.3.6.	<i>Instalación de los sensores para medición del espesor.....</i>	117
<b>CAPÍTULO VI.....</b>		<b>118</b>
<b>6. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>		<b>118</b>
6.1.	Pruebas a realizarse.....	118
6.1.1.	<i>Mecanismo de calibración de espesores.....</i>	118
6.1.2.	<i>Sistema de control estadístico de la producción de lámina impermeabilizante.....</i>	127
6.2.	Análisis de resultados.....	139
<b>CAPÍTULO VII.....</b>		<b>146</b>
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>146</b>
7.1.	Conclusiones.....	146
7.2.	Recomendaciones.....	148
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>149</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>151</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Reglas de proceso fuera de control</i> .....	18
<b>Tabla 2</b> <i>Características para cableado MICE</i> .....	26
<b>Tabla 3</b> <i>Resistencia Mecánica</i> .....	27
<b>Tabla 4</b> <i>Lista de indicadores de la guía GEDIS</i> .....	36
<b>Tabla 5</b> <i>Tipo de sensores</i> .....	39
<b>Tabla 6</b> <i>Volumen de producción y ventas, línea de impermeabilización (láminas asfálticas)</i> .....	47
<b>Tabla 7</b> <i>Volumen de producción y ventas, línea de asfaltos y viales</i> .....	47
<b>Tabla 8</b> <i>Volumen de producción y ventas, línea de pisos y rocas</i> .....	48
<b>Tabla 9</b> <i>Productos fabricados en las líneas de impermeabilización</i> .....	50
<b>Tabla 10</b> <i>Tabla de especificaciones para laminas asfálticas</i> .....	52
<b>Tabla 11</b> <i>Tabla de especificaciones para el eje deslizante</i> .....	64
<b>Tabla 12</b> <i>Tabla de especificaciones para tornillo sinfín de avance</i> .....	67
<b>Tabla 13</b> <i>Tabla de especificaciones para el conjunto sinfín corona</i> .....	72
<b>Tabla 14</b> <i>Tabla de especificaciones para el volante</i> .....	77
<b>Tabla 15</b> <i>Tabla comparativa para elección del software</i> .....	95
<b>Tabla 16</b> <i>Módulos del software IGNITION</i> .....	96
<b>Tabla 17</b> <i>Descripción de las funcionalidades de las ventanas</i> .....	98
<b>Tabla 18</b> <i>Características del proceso de fabricación de lámina asfáltica</i> .....	99
<b>Tabla 19</b> <i>Componentes de la ventana SPC y gráfica de promedios</i> .....	103
<b>Tabla 20</b> <i>Direcciones IP de los equipos de la planta industrial</i> .....	114
<b>Tabla 21</b> <i>Tabla de regulación del espesor</i> .....	120
<b>Tabla 22</b> <i>Tabla de registro, Techofielt</i> .....	122
<b>Tabla 23</b> <i>Tabla de registro, Alumband</i> .....	123
<b>Tabla 24</b> <i>Tabla de registro, Imperglass</i> .....	123
<b>Tabla 25</b> <i>Tabla de registro, Super K</i> .....	124
<b>Tabla 26</b> <i>Tabla de registro, Imperpol</i> .....	124
<b>Tabla 27</b> <i>Tabla de registro, 5k</i> .....	125
<b>Tabla 28</b> <i>Tabla de registro, Techofielt (Lado izquierdo)</i> .....	129
<b>Tabla 29</b> <i>Tabla de registro, Techofielt (Lado derecho)</i> .....	129

<b>Tabla 30</b> <i>Tabla de registro, Alumband (Lado izquierdo)</i> .....	130
<b>Tabla 31</b> <i>Tabla de registro, Alumband (Lado derecho)</i> .....	130
<b>Tabla 32</b> <i>Tabla de registro, Imperglass (Lado izquierdo)</i> .....	131
<b>Tabla 33</b> <i>Tabla de registro, Imperglass (Lado derecho)</i> .....	131
<b>Tabla 34</b> <i>Tabla de registro, super K (Lado izquierdo)</i> .....	132
<b>Tabla 35</b> <i>Tabla de registro, super K (Lado derecho)</i> .....	132
<b>Tabla 36</b> <i>Tabla de registro, Imperpol (Lado izquierdo)</i> .....	133
<b>Tabla 37</b> <i>Tabla de registro, Imperpol (lado derecho)</i> .....	133
<b>Tabla 38</b> <i>Tabla de registro, 5k (Lado izquierdo)</i> .....	134
<b>Tabla 39</b> <i>Tabla de registro, 5k (Lado derecho)</i> .....	134
<b>Tabla 40</b> <i>Datos de espesor reportado por el sistema “SCE”</i> .....	135
<b>Tabla 41</b> <i>Comparación entre espesor medido y reportado por el sistema de control estadístico “SCE”</i> .....	136
<b>Tabla 42</b> <i>Registro de Cp y Cpk reportados</i> .....	139
<b>Tabla 43</b> <i>Comparación entre la especificación nominal y espesor registrado</i> .....	140
<b>Tabla 44</b> <i>Tabla de resumen</i> .....	142
<b>Tabla 45</b> <i>Tabla resumen de resultados</i> .....	145

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Diagrama de Causa - Efecto .....	7
<b>Figura 2</b> Diagrama de Pareto .....	8
<b>Figura 3</b> Proceso bajo control y predecible en el tiempo .....	10
<b>Figura 4</b> Proceso fuera de control e impredecible en el tiempo .....	10
<b>Figura 5</b> Gráfica de control por variables .....	12
<b>Figura 6</b> Gráfica X, para un ejemplo de variable de resistencia( $\Omega$ ) .....	13
<b>Figura 7</b> Gráfica R, para un ejemplo de variable de resistencia( $\Omega$ ) .....	13
<b>Figura 8</b> Gráfica I, de observaciones individuales en el tiempo .....	14
<b>Figura 9</b> Gráfica RM, de rangos móviles .....	15
<b>Figura 10</b> Patrones aleatorios identificables en las cartas de control .....	19
<b>Figura 11</b> Metodología “DMAIC” .....	20
<b>Figura 12</b> Ethernet industrial, esquema general .....	25
<b>Figura 13</b> Distribución de pines, RJ-45-norma T568A/B .....	30
<b>Figura 14</b> Tipos de fibra óptica y perfiles de índice .....	33
<b>Figura 15</b> Software SCADA Ignition .....	34
<b>Figura 16</b> Interfaz HMI industrial .....	35
<b>Figura 17</b> Partes de un PLC.....	37
<b>Figura 18</b> Sensor laser para medición de distancia.....	40
<b>Figura 19</b> Sensor laser para medición de espesor .....	41
<b>Figura 20</b> Celda de carga doble apoyo, aplicaciones industriales .....	42
<b>Figura 21</b> Organigrama de la empresa.....	45
<b>Figura 22</b> Productos realizados en la empresa IMPTEK.....	46
<b>Figura 23</b> Matriz de selección de líneas de producción .....	49
<b>Figura 24</b> Proceso de fabricación, línea de impermeabilización .....	53
<b>Figura 25</b> Lámina enfriada mediante un soplador .....	54
<b>Figura 26</b> Lámina enfriada a través de la piscina .....	54
<b>Figura 27</b> Rodillos de calibración en la línea de impermeabilización .....	56
<b>Figura 28</b> Esquema general del mecanismo de calibración de espesores acoplado .....	56

<b>Figura 29</b>	Mecanismo de calibración de espesores.....	57
<b>Figura 30</b>	Distribución de carga para cada sistema.....	58
<b>Figura 31</b>	Redistribución de la carga en los ejes.....	59
<b>Figura 32</b>	Análisis de esfuerzos en SKYCIV.....	60
<b>Figura 33</b>	Distribución de carga en el rodillo laminador.....	61
<b>Figura 34</b>	Momento y cortante máximo en el rodillo laminador.....	61
<b>Figura 35</b>	Eje deslizante.....	64
<b>Figura 36</b>	Esquema general bocín cuadrangular doble.....	65
<b>Figura 37</b>	Bocín cuadrangular de bronce silicio.....	65
<b>Figura 38</b>	Tornillo sinfín de avance.....	67
<b>Figura 39</b>	Rodamiento SKF 6003.....	68
<b>Figura 40</b>	Anillo de retención MSH.....	69
<b>Figura 41</b>	Características del anillo de retención MSH-17.....	70
<b>Figura 42</b>	Mecanismo de calibración.....	71
<b>Figura 43</b>	Conjunto sinfín corona acoplado.....	72
<b>Figura 44</b>	Sinfín de acero inoxidable.....	73
<b>Figura 45</b>	Corona de bronce silicio.....	73
<b>Figura 46</b>	Especificaciones chumacera de pared UCF - 204.....	75
<b>Figura 47</b>	Eje de transmisión sinfín corona.....	76
<b>Figura 48</b>	Volante de aluminio.....	77
<b>Figura 49</b>	Parante de soporte tornillo sinfín de avance.....	78
<b>Figura 50</b>	Parante de soporte para ejes deslizantes.....	79
<b>Figura 51</b>	Plancha superior de soporte de chumacera.....	79
<b>Figura 52</b>	Chumacera SKF SY509M, especificaciones.....	80
<b>Figura 53</b>	Plancha superior de soporte de chumacera.....	81
<b>Figura 54</b>	Dimensionamiento de la plancha base de soportes.....	82
<b>Figura 55</b>	Plancha base de soportes.....	83
<b>Figura 56</b>	Plancha base de la estructura.....	84
<b>Figura 57</b>	Dimensiones plancha base de estructura.....	84
<b>Figura 58</b>	Diseño final del sistema de calibración.....	85
<b>Figura 59</b>	Mecanismo de calibración de espesores.....	86
<b>Figura 60</b>	Esquema de distribución de dispositivos.....	87

<b>Figura 61</b> Esquema de conexión de la base de datos SQL server .....	88
<b>Figura 62</b> Servidor industrial Dell .....	89
<b>Figura 63</b> Switch industrial de 8 puertos .....	90
<b>Figura 64</b> Caja central de distribución .....	91
<b>Figura 65</b> Caja de fibra para tipo monomodo y multimodo .....	91
<b>Figura 66</b> Convertidor fibra/RJ45 .....	92
<b>Figura 67</b> Sensor laser Panasonic .....	94
<b>Figura 68</b> Tarjeta de entradas analógicas WAGO 750-466 .....	95
<b>Figura 69</b> Navegación HMI .....	97
<b>Figura 70</b> Gráfica de promedios .....	102
<b>Figura 71</b> Gráfica de rangos R .....	104
<b>Figura 72</b> Planchas base de estructura construidas .....	105
<b>Figura 73</b> Plancha base de soporte construida .....	106
<b>Figura 74</b> Parante de soporte para ejes deslizantes construido .....	106
<b>Figura 75</b> Parante de soporte para tornillo sinfín de avance .....	107
<b>Figura 76</b> Ejes deslizantes construidos .....	107
<b>Figura 77</b> Bocín cuadrangular doble .....	108
<b>Figura 78</b> Tornillo sinfín de avance .....	108
<b>Figura 79</b> Corona de bronce silicio terminada .....	109
<b>Figura 80</b> Sinfín de acero inoxidable construido .....	110
<b>Figura 81</b> Sinfín corona terminado .....	110
<b>Figura 82</b> Eje de transmisión acoplado a las chumaceras y sinfín .....	111
<b>Figura 83</b> Ensamble total de las partes .....	112
<b>Figura 84</b> Montaje del mecanismo de calibración de espesores al laminador .....	112
<b>Figura 85</b> Canalización de fibra óptica hasta la caja central .....	113
<b>Figura 86</b> Comunicación entre la línea de impermeabilización y el servidor DELL. ....	115
<b>Figura 87</b> Comunicación de la línea de impermeabilización y el Software IGNITION SCADA .....	116
<b>Figura 88</b> Comunicación entre la base de datos SQL server y IGNITION SCADA .....	116

<b>Figura 89</b> Ubicación de los sensores de medición de espesor .....	117
<b>Figura 90</b> Mecanismo de regulación de la distancia entre rodillos.....	118
<b>Figura 91</b> Esquema de entradas y salidas del mecanismo de calibración de espesores .....	119
<b>Figura 92</b> Curva ideal de calibración .....	121
<b>Figura 93</b> Posiciones de medición entre rodillos .....	121
<b>Figura 94</b> Gráficas de calibración real e ideal (lado izquierdo o posición “a”) .....	125
<b>Figura 95</b> Gráficas de calibración real e ideal (lado derecho o posición “b”).....	126
<b>Figura 96</b> Medición de espesor del producto final .....	128
<b>Figura 97</b> Espesor reportado por el sistema “SCE” (Izquierdo) .....	137
<b>Figura 98</b> Gráfico de control de promedios, lado izquierdo .....	138
<b>Figura 99</b> Espesor reportado por el sistema “SCE” (Lado derecho) .....	138
<b>Figura 100</b> Gráfica de control de promedios, lado derecho .....	139



## RESUMEN

Este proyecto tuvo como objetivo implementar un mecanismo de calibración de espesores y un sistema de control estadístico de calidad en la línea de producción de lámina impermeabilizante en la empresa IMPTEK "CHOVA DEL ECUADOR, PLANTA EL INGA", con la finalidad de reducir la cantidad de lámina asfáltica desperdiciada durante la regulación del espesor y mantener el espesor de la misma dentro de los límites naturales de control y de especificación. El sistema de control estadístico permite monitorear en tiempo real y de forma remota la variación del espesor de la lámina que es la característica de calidad más importante y que determina la aceptación o no del producto final, este procedimiento es realizado a través de un software SCADA y de un sistema de adquisición de datos compuesto por sensores de alta precisión. Por otra parte, el mecanismo de calibración de espesores permite regular la separación de los rodillos que dan lugar al espesor de la lámina con precisión milimétrica, sin necesidad de parar la producción y brindando mayor seguridad a los operadores. De acuerdo con los resultados obtenidos con la implementación del presente proyecto se concluye que el proceso de producción de lámina impermeabilizante es estadísticamente estable y capaz.

### **Palabras clave:**

- **MONITOREAR**
- **REMOTA**
- **ESPESOR**
- **CONTROL**
- **LÁMINA**

## **ABSTRACT**

The objective of this project was to implement a thickness calibration mechanism and a statistical quality control system in the waterproofing sheet production line at the IMPTEK company "CHOVA DEL ECUADOR, PLANT EL INGA", with the aim of reducing the amount of Asphaltic sheet wasted during the regulation of the thickness and to maintain the thickness of it within the natural limits of control and specification. The statistical control system allows monitoring in real time and remotely the variation of the thickness of the sheet which is the most important quality characteristic, and which determines the acceptance or not of the final product, this procedure is carried out through a SCADA software and a data acquisition system composed of high precision sensors. On the other hand, the thickness calibration mechanism allows to regulate the separation of the rollers that give rise to the thickness of the sheet with millimeter precision, without the need to stop the production and providing greater security to the operators. According to the results obtained with the implementation of this project, it is concluded that the production process of waterproofing sheet is statistically stable and capable.

### **Key words:**

- **MONITOR**
- **REMOTE**
- **THICKNESS**
- **CONTROL**
- **SHEET**

## CAPÍTULO I

### 1. GENERALIDADES

#### 1.1. Antecedentes del proyecto

En el año 1982 la empresa, Chova del Ecuador, ubicada en el sector de Cashapamba, “iniciaba la producción de láminas asfálticas impervynlon, imperglass, teja shingle, asfalum, pegamentos e imprimantes asfálticos con solventes en la planta” (Imptek, 2015). Posterior en el año 2002 “se ampliaron las instalaciones repotenciando la línea de impermeabilización y desarrollando un nuevo producto “Alumband” que sería el de mayor comercialización” (Imptek, 2015).

En el año 2012 la empresa empezó la construcción de la nueva planta ubicada en el sector del Inga, posterior en el año 2015 se arrancó la línea de impermeabilización, “en este año se inició el desarrollo de nuevos productos tales como el imperpol y el techofielt, los cuales presentaban un recubrimiento de granulo mineral que servía de protección contra los rayos UV” (Imptek, 2015).

Desde el año de 1982 hasta la actualidad, el control de calidad consistía en tomar varias muestras de aproximadamente  $1\text{m}^2$  de lámina antes de que estas pasen a la etapa de enrollado y posterior paletizado para verificar su espesor y analizar los datos e información obtenida, procedimiento que interrumpía el ritmo normal de la producción; el principal inconveniente era la cantidad de lámina que se desperdiciaba hasta poder verificar el espesor de la misma que eran aproximadamente 120 [m], esto debido a la distancia existente desde la estación de calibración hasta el punto de toma de muestra, como consecuencia de esta acción el tiempo de respuesta era elevado y representaba 12 rollos fabricados fuera de especificaciones, además se carecía de información acerca de la variabilidad y capacidad del proceso.

Por otra parte, el sistema mecánico de calibración de espesores permitía la regulación del espesor durante la producción de una manera muy imprecisa, pues se regulaba un tornillo mediante una llave inglesa dependiendo de la información que se proporcione por parte de los operadores que tomaron las muestras y realizaron las mediciones, además el procedimiento presentaba riesgos de atrapamiento debido a los rodillos en movimiento.

## **1.2. Justificación e importancia**

Con base a los antecedentes descritos y a fin de mejorar los procedimientos de control de calidad aplicados a la línea de producción de láminas impermeabilizantes, se formuló el presente proyecto, el que implica la implementación de un mecanismo de control de espesores, así como también de un sistema de control estadístico de la calidad en el proceso o línea antes señalada, sistema que permite la adquisición y procesamiento automático de datos, habilitando el monitoreo del proceso productivo en tiempo real.

Este proyecto contribuye al cumplimiento de los objetivos de calidad establecidos por la empresa entre los que están “mejorar la productividad, eliminar desperdicios y reprocesos y cumplir con las especificaciones técnicas de los productos” (Imptek, 2017). Además, desde el enfoque tecnológico, abrirá nuevos caminos para el desarrollo del control de calidad en la empresa al contar con un sistema de control estadístico de procesos (CEP), que adquiere información del proceso de forma automática.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Optimizar el proceso de producción de la empresa IMPTEK-CHOVA DEL ECUADOR Planta el Inga, mediante la implementación de un mecanismo de calibración de espesores y un sistema de control estadístico de procesos.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Diseñar y construir el sistema mecánico de calibración de espesores para la línea de impermeabilizantes sin armadura
- Diseñar la Interfaz HMI, en base a la metodología GEDIS y las gráficas de control.
- Implementar el sistema de adquisición de datos para la variable espesor en la línea de impermeabilización y adicionalmente para la variable peso con fines de estudio económico.
- Implementar control estadístico en el proceso de fabricación de lámina asfáltica.

### **1.4. Alcance**

Este proyecto contempla la implementación de un mecanismo de calibración de espesores por medio del cual se podrá regular la separación entre los rodillos y de un sistema de control estadístico de calidad en la línea de producción de láminas impermeabilizantes, mediante el uso del software IGNITION SCADA y sensores de medición de espesor, permitiendo así capturar y graficar los datos en tiempo real.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Control de calidad, métodos y herramientas

El control de la calidad es un proceso inmerso en la conocida “Trilogía de Juran”, que contempla la planificación, el control y la mejora de la calidad. El Dr. Juran en su manual *Quality Control Handbook* define a la calidad como “la adecuación al uso, la cual se alcanza en primer lugar por una adecuación del diseño y en segundo lugar por el grado de conformidad del producto final” (Juran, *Quality Control Handbook*, 2010).

El control de calidad tiene por objetivo “vigilar que el proceso opere con efectividad (eficiencia + eficacia) óptima, debido a que las deficiencias se originan en la operación inicial, los procesos pueden operar con un alto nivel de gasto de desperdicio” (Wikispaces, 2017)

#### **Métodos**

Existen diversos métodos o técnicas aplicables en el control de la calidad, las cuales han ido evolucionando a lo largo de la historia y el desarrollo industrial. Las técnicas más sencillas y aplicadas desde la época medieval son la observación o selección, seguida de la inspección, luego en el año de 1920, “Walter Shewhart junto con un equipo de investigadores propusieron la aplicación de técnicas estadísticas al control de calidad, dando origen a lo que hoy se conoce como el control estadístico de la calidad”, (Ospino, Barraza, Ruiz, & Torres, 2012, pág. 103). Durante la época de la postguerra en Japón empezaron a desarrollarse las técnicas de fiabilidad, “los productos no solo necesitaban ser buenos inicialmente si no que debía preverse su vida útil, para esto la estadística se convirtió en la herramienta indispensable para poder predecir y después comprobar cuál era la fiabilidad de los productos” (Ospino,

Barraza, Ruiz, & Torres, 2012, pág. 103). A continuación, se describen algunos de los métodos antes mencionados.

### **Observación y selección**

Este método consiste en observar las no conformidades en el producto cuando ya está fabricado y separarlo de los productos sin fallas visibles. Lo que se consigue es evitar la salida a la venta de un producto que no cumple con las especificaciones.

### **Inspección**

La inspección consiste básicamente en el mismo procedimiento descrito anteriormente, pero con mayor nivel de exigencia, a continuación, se describen algunos casos de inspección.

#### Inspección normal, rigurosa y reducida

La inspección normal acepta todos los lotes cuya calidad se igual al nivel de calidad aceptable (AQL), la inspección reducida se utiliza cuando el historial de la calidad de un producto es bastante bueno permitiendo concentrar la inspección en aquellos que requieren mayor atención y por último la inspección rigurosa se utiliza cuando se desea tener un nivel de aceptación de calidad más estricto, reduciendo el riesgo de que el cliente reciba un lote en mal estado. (Díaz, 1990, pág. 258)

### **Control estadístico de la calidad**

#### Muestreo por aceptación

El muestreo por aceptación es el procedimiento más utilizado en el control estadístico de la calidad, se usa para determinar si se acepta o se rechaza un lote de producción y se realiza de la siguiente manera.

Se toma una muestra aleatoria del lote de producción, se le somete a pruebas o mediciones pertinentes según la característica de calidad que

interese y si la muestra pasa satisfactoriamente el lote es aceptado. Por otro lado, si la muestra no pasa la prueba entonces se somete a una inspección del 100% a todo el lote y se separan todos los productos defectuosos.

Una de las herramientas utilizadas en el muestreo por aceptación son los gráficos de control que permiten observar de forma gráfica una característica de calidad de una sola variable. “Su función es la de obtener una estimación del parámetro principal que describe la variabilidad de dicha característica a fin de establecer si el proceso está bajo control” (Díaz, 1990, pág. 102).

## **Herramientas de la calidad**

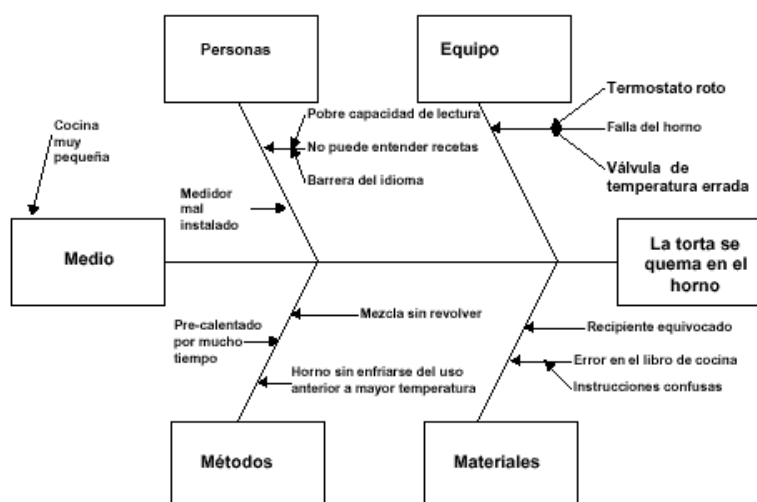
Existen múltiples herramientas de la calidad enfocadas en la mejora continua y solución de problemas. Dentro de este conjunto de herramientas se mencionan las más sencillas y elementales denominadas “las siete herramientas básicas de la calidad, las cuales surgieron en los tiempos de la posguerra en Japón y fueron una inspiración de las siete famosas armas del monje guerrero Saitō Musashibō Benkei, también conocido como Benkei” (Ishikawa, 1990, p. 98). Las siete herramientas básicas de la calidad son:

### Diagrama Causa – Efecto

Este diagrama también es conocido como diagrama de pescado, “sirve para ordenar las causas que afectan en la calidad de un proceso, producto o servicio” (Guajardo, 1996, pág. 149).

“De acuerdo con la lógica todo efecto (evento, problema, desviación, etc.) tiene cuando menos una causa, y el uso de este diagrama facilitará el entendimiento y comprensión de un proceso, aun en situación complicadas” (Guajardo, 1996, pág. 150)





**Figura 1:** Diagrama de Causa - Efecto

Fuente: (Guajardo, 1996)

### Hoja de comprobación

Esta herramienta es “un formato impreso diseñado para recopilar de forma sencilla datos de factores y/o características previamente establecidas, acerca de los cuales se describen los resultados de inspecciones, revisiones, opiniones, etc.” (Guajardo, 1996, pág. 152).

Las hojas de verificación se utilizan para “observar la frecuencia de las características analizadas y construir graficas o diagramas a partir de ellas, informar del estado de las operaciones, evaluar la tendencia y comprobar características de calidad (durante el proceso o producto terminado)” (Guajardo, 1996, pág. 153).

### Gráficos de control

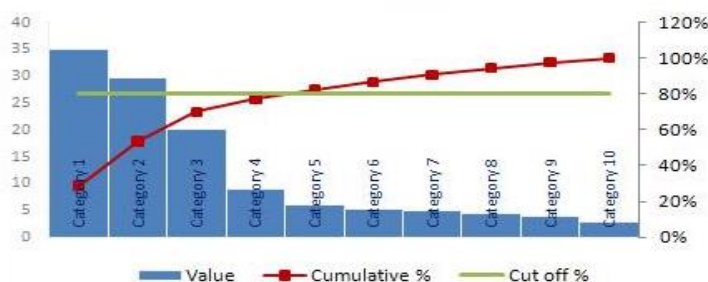
“La calidad de un producto inevitablemente sufre variaciones. Las causas de estas variaciones se pueden clasificar en: causas comunes y causas asignables” (Nava, 2016).

## Histograma

Este tipo de diagrama sirve para ilustrar la “variabilidad asociada con los datos” (Guajardo, 1996, pág. 155), “... en esta herramienta se toman los diferentes datos de mediciones, como por ejemplos temperaturas, presiones, espesores, etc., y se grafican en rangos mostrando su distribución” (Guajardo, 1996, pág. 155).

## Diagrama de Pareto

Es conocido como el principio del 80/20. “En él se establece que, en todos los problemas que hay por resolver, las soluciones de unas cuantas causas llamadas vitales, (aproximadamente el 20%), nos dará la mayoría de los beneficios potenciales (aproximadamente el 80%)” (Guajardo, 1996, pág. 160)



**Figura 2:** Diagrama de Pareto

Fuente: (Guajardo, 1996)

## Diagrama de dispersión

Este diagrama es conocido también como

Correlación y es una representación gráfica que nos permite estudiar si existe una relación entre dos variables. Este diagrama puede resultar de gran utilidad para la solución de problemas en un proceso, ya que nos permite comprobar que causas (factores) están influyendo o perturbando la dispersión de una característica de calidad o variable del proceso a controlar. (Alcalde, 2009, pág. 148)

## Estratificación

“La estratificación es la clasificación de un grupo de datos en series de causas con características similares. Su propósito es comprender mejor que está sucediendo en un proceso y así encontrar más fácilmente la causa de mayor impacto en el mismo” (Guajardo, 1996, pág. 168)

### **2.2. Control estadístico de procesos**

El control estadístico de procesos (CEP) es una técnica fundamental en la mejora del control de calidad en la industria.

El término en inglés, Statistical Process Control SPC (Control Estadístico de Procesos), agrupa una serie de herramientas y técnicas cuyo objetivo es establecer un sistema de observación permanente, que detecte precozmente la aparición de causas especiales de variabilidad ayudando a identificar su origen, con el fin último de eliminarlas del proceso y de tomar medidas que eviten su reaparición en el futuro. (Ford Motor Company, 1995)

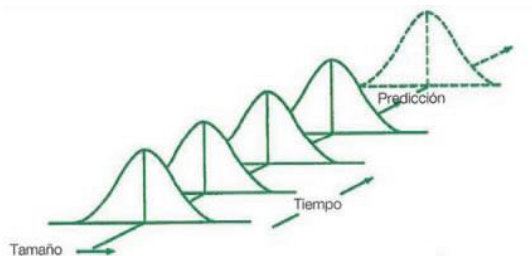
El control estadístico de procesos al ser un estudio estadístico que analiza la información proveniente de las variables que intervienen en el proceso industrial, “utiliza como herramientas de análisis las gráficas de control (promedios, rangos, c, p, u, etc.), y así permite predecir el intervalo en el que se encontrarán las características del producto fabricado” (Ford Motor Company, 1995).

#### **2.2.1. Causas comunes y especiales de variación**

##### **Causas comunes de variación**

Son también llamadas causas no asignables y se refieren a las fuentes de variación presentes en el ambiente de trabajo y que están actuando consistentemente en el proceso, como por ejemplo el ruido, la temperatura ambiente, vibraciones de los equipos, ligeras variaciones de fuentes de energía, etc.

“Las causas comunes generan una distribución estable y predecible en el tiempo, y cuando su presencia es única, el proceso se encuentra en estado de control estadístico, o en control” (Ford Motor Company, 1995). A continuación. En la figura 3 se observa la distribución normal de un proceso afectado solo por causas comunes de variación.



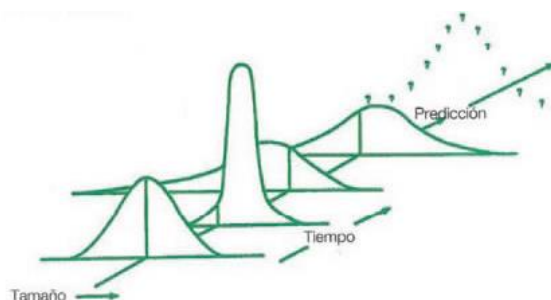
**Figura 3:** Proceso bajo control y predecible en el tiempo

Fuente: (Ford Motor Company, 1995)

### Causas especiales de variación

“Se las conoce como causas asignables y son producidas por un fenómeno emergente, sin anticipar o previamente ignorado dentro del sistema, estas causas son a menudo intermitentes e impredecibles, y afectan los resultados del proceso obteniendo una inestabilidad a través del tiempo” (Ford Motor Company, 1995). Por tanto, consiguiendo un estado fuera de control estadístico.

Cuando hay presencia de causas especiales de variación el resultado no será estable ni predecible a través del tiempo. En la figura 4 se observa la distribución normal de una de las variables afectada por causas especiales.



**Figura 4:** Proceso fuera de control e impredecible en el tiempo

Fuente: (Ford Motor Company, 1995)

### 2.2.2. Gráficas de control

Las gráficas de control son parte fundamental del control estadístico, se las utiliza para monitorear o evaluar un proceso. Una gráfica de control puede explicar datos del proceso en términos de la variación del mismo. Existen básicamente dos tipos de gráficas de control, aquellas para datos de variables y para datos de atributos, el proceso mismo dicta que tipo de gráfica usar.

“Si los datos derivados del proceso son de naturaleza discreta (pasa/no pasa, aceptable/no aceptable) entonces una gráfica de atributos sería necesaria” (Ford Motor Company, 1995). “Ahora si los datos derivados del proceso son de naturaleza continua, por ejemplo, para el diámetro, longitud, la gráfica apropiada es una de tipo variable” (Ford Motor Company, 1995).

Dentro de cada tipo de gráfica, existen varias combinaciones de gráficas que pueden ser usadas para evaluar los procesos. Algunos de los tipos de gráficas variables más comunes que se utilizan son:

- Gráfica de Promedios ( $\bar{X}$ )
- Rangos (R)
- Lecturas individuales (I)
- Rangos móviles (RM)

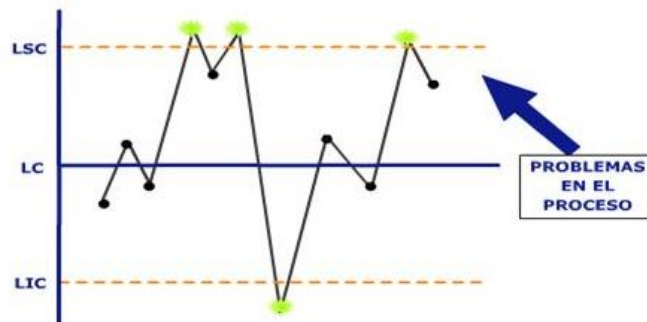
Entre los tipos de gráficas más comunes utilizadas para la familia de tipo atributo se tiene:

- Gráfica tipo P
- Tipo NP
- Tipo C
- Tipo U

A continuación, se describe la utilidad de las gráficas de tipo “variable”, que son de interés en el presente proyecto.

## Gráfica de control por variables

“Las gráficas de control por variables se utilizan para aquellas características de calidad que permiten ser medidas y, por lo tanto, son cuantificables” (Ford Motor Company, 1995).



**Figura 5:** Gráfica de control por variables

Fuente: (Gutiérrez, 2008)

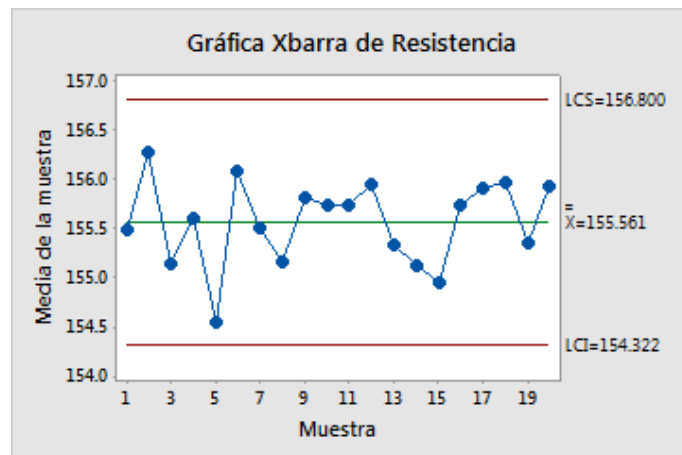
## Utilidad de las gráficas de tipo variables

- Permiten decidir más rápidamente, con un tamaño de muestra más pequeño, lo que conduce a costos más bajos de medición.

Las gráficas de control por variables usualmente se preparan y analizan en pares. El par más común que se usa son las gráficas de promedios y rangos ( $\bar{X}$  y R).

## Gráfica $\bar{X}$ o promedios

“Se la conoce también como gráfica de promedios e indica la variación en las medias muestrales. La gráfica de promedios se utiliza para detectar la presencia de causas especiales que afecten la media” (Ford Motor Company, 1995). En la figura 6, se observa un ejemplo de esta gráfica.

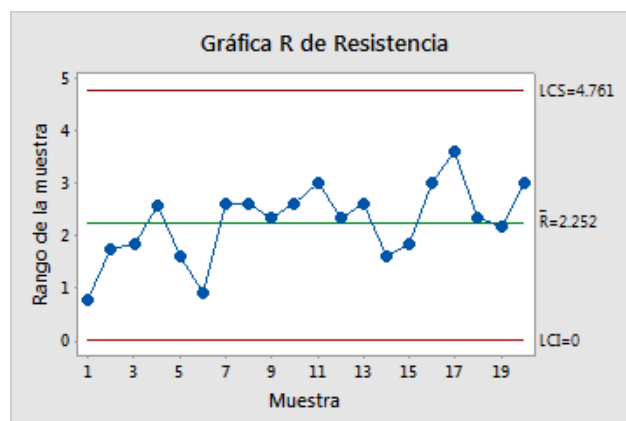


**Figura 6:** Gráfica X, para un ejemplo de variable de resistencia( $\Omega$ )

Fuente: (Vilar & Delgado, 2010)

### Gráfica R de rangos

“Gráfica el rango del proceso en el tiempo, ésta gráfica representa el rango de los valores dentro de cada subgrupo y se utiliza para rastrear la variación o desviación de las muestras y así poder detectar una variación inesperada” (Ford Motor Company, 1995). En la figura 7 se observa un ejemplo de aplicación.

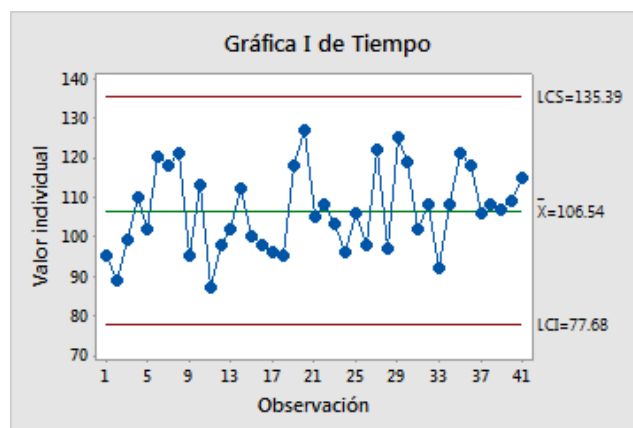


**Figura 7:** Gráfica R, para un ejemplo de variable de resistencia( $\Omega$ )

Fuente: (Vilar & Delgado, 2010)

### Gráfica de lecturas individuales (I)

En la gráfica de lecturas individuales cada punto de la gráfica representa una medición individual, de esta manera el tamaño del subgrupo es 1. “Las gráficas de observaciones individuales se utilizan cuando las mediciones son costosas y el volumen de producción es bajo o los productos tienen un tiempo largo entre ciclos, por ejemplo, para probar la resistencia al impacto de las piezas” (Ford Motor Company, 1995). Ver figura 8.



**Figura 8:** Gráfica I, de observaciones individuales en el tiempo

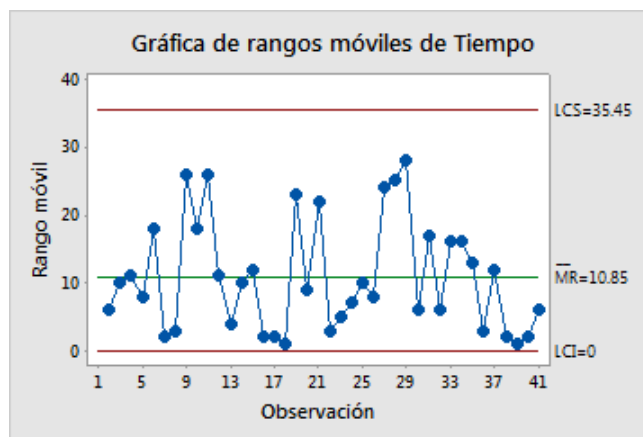
Fuente: (Vilar & Delgado, 2010)

### Gráfica de rangos móviles (RM)

La gráfica “RM” grafica el rango móvil en el tiempo con el objetivo de monitorear la variación del proceso a fin de determinar las observaciones individuales. La gráfica “RM” se usa para monitorear la variación del proceso cuando es difícil o imposible agrupar las mediciones en subgrupos. (Ford Motor Company, 1995)

“Esto ocurre cuando las mediciones son costosas, el volumen de producción es bajo, o los tiempos de ciclos de producción del producto son largos” (Ford Motor Company, 1995). Las gráficas de lecturas individuales y rangos móviles suelen trabajar en conjunto. Ver figura 9.





**Figura 9:** Gráfica RM, de rangos móviles

Fuente: (Vilar & Delgado, 2010)

## Gráficas de control por atributos

Las gráficas de control por atributos grafican no conformidades (defectos) o unidades no conformes (defectuosas). Una no conformidad se refiere a una característica de calidad y las unidades no conformes al producto general defectuoso. Una unidad puede tener muchas no conformidades, pero la unidad misma puede ser conforme o no conforme. Por ejemplo, un rasguño sobre un panel de metal es una no conformidad, pero si existen varios rasguños, se puede considerar que todo el panel es no conforme. Se elige la gráfica de control de atributos basándose en si los datos siguen una distribución binomial o de Poisson. (Ford Motor Company, 1995)

## Elementos de las gráficas de control

No existe una manera única “aprobada” de realizar gráficas de control. Sin embargo, las razones para el uso de gráficas de control deben mantenerse en mente, cualquier formato es aceptable siempre y cuando contenga lo siguiente.

### - Escala

“La escala debe ser apropiada tal que la variación natural del proceso pueda ser fácilmente vista. Una escala que produzca una gráfica de control

“estrecha” no permitiría análisis ni control del proceso mismo” (Ford Motor Company, 1995).

- **Límites de control UCL, LCL**

“Los límites de control superior e inferior son indicadores que dan señales de la presencia de causas especiales en el proceso, por tanto, se requiere que los límites de control se basen en una distribución generada por el muestreo” (Ford Motor Company, 1995). Los límites de control se establecen mediante las ecuaciones [1] y [2]:

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{R} \quad \text{ó} \quad UCL = \bar{\bar{X}} + 3 * \sigma \quad [1]$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{R} \quad \text{ó} \quad LCL = \bar{\bar{X}} - 3 * \sigma \quad [2]$$

Dónde:

UCL= Límite de control superior

LCL= Límite de control inferior

$\bar{\bar{X}}$ = Promedio de las medias muestrales

$\bar{R}$ = Promedio de los rangos muestrales

$A_2$ =Constante en función del tamaño de la muestra

Las empresas han aceptado como norma niveles sigma 3 que es el estándar actual y significa:

- 99,73% de probabilidad de éxito (Datos dentro de los límites de control).
- 0,27% de probabilidad de sufrir un defecto, dicho en otras palabras, ppm= 2700 defectos por millón. (Ford Motor Company, 1995)

- **Línea central**

“La gráfica de control requiere de una línea central que se base en la distribución de muestreo, a fin de permitir la determinación de patrones no aleatorios que den señales de causas especiales” (Ford Motor Company, 1995).

- **Secuencia de tiempo de los subgrupos**

“Manteniendo la secuencia en la cual los datos son recolectados ofrece indicaciones de cuando ocurre una causa especial y si dicha causa está orientada en el tiempo” (Ford Motor Company, 1995).

## **Procedimiento para utilizar las gráficas de control**

### **Pasos preparatorios**

- Definir el proceso
- Determinar las propiedades o características a ser graficadas.
- Definir el sistema de medición
- Minimizar variaciones innecesarias

Ahora se detalla los pasos para usar las gráficas de control luego de haber cumplido los pasos preparatorios.

### **Recolección de datos**

“Los datos de mediciones son recolectados de muestras individuales de un flujo de un proceso, las muestras son recolectadas en subgrupos, en general mientras más grande es el tamaño del subgrupo más fácil es detectar los pequeños cambios en el proceso” (Ford Motor Company, 1995).

## Creación de un plan de muestreo

Para que las gráficas de control sean efectivas, el plan de muestreo debe definir subgrupos racionales, un subgrupo racional es aquel en el cual las muestras son seleccionadas de forma que la probabilidad de variación dentro de cada subgrupo debida a causas especiales sea mínima y máxima entre subgrupos. En resumen, se debe definir el tamaño del subgrupo, en general se establece un tamaño de 5, y el número de subgrupos en general es 25, teniendo un total de 125 observaciones distribuidas en 5 subgrupos. (Ford Motor Company, 1995)

### Frecuencia de muestreo:

“El objetivo es detectar los cambios en el proceso durante el tiempo, por tanto, la frecuencia se selecciona dependiendo del comportamiento del proceso y del sistema de medición escogido, por ejemplo, podría establecerse una frecuencia de 15 minutos, etc.” (Ford Motor Company, 1995).

### 2.2.3. Reglas para el análisis de las gráficas de control

Existen reglas que permiten analizar la variabilidad del proceso, la aplicación de las mismas depende claramente del proceso a controlar, debe tenerse cuidado de no aplicar criterios múltiples, pues la adición de un criterio más incrementa la sensibilidad de encontrar una causa especial, aunque también incrementa la probabilidad de caer en un error TIPO I (confundir causas comunes como especiales). En la siguiente tabla 1, se mencionan las 8 reglas para determinar si un proceso está o no bajo control. (Ford Motor Company, 1995)

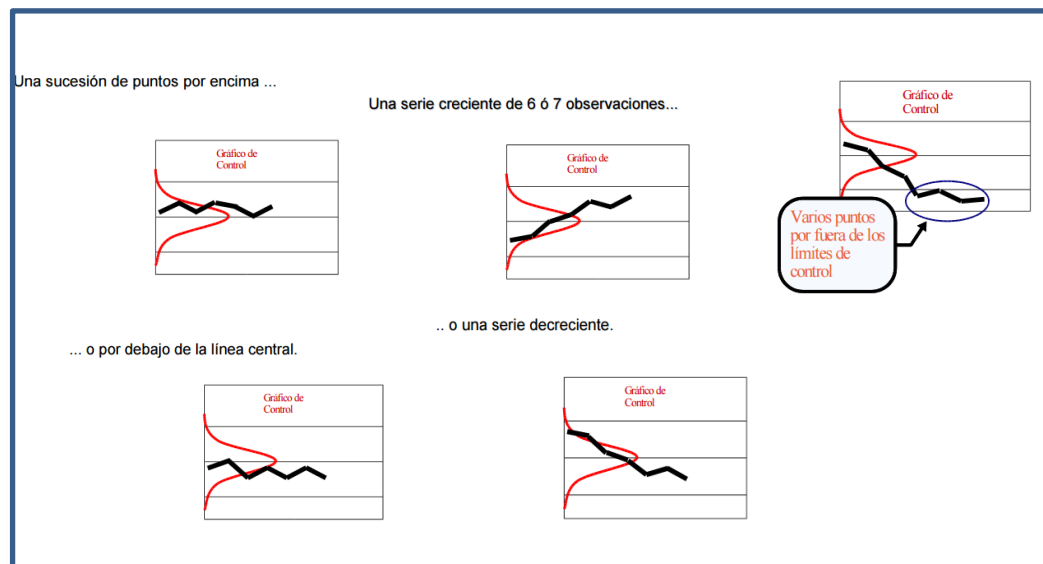
**Tabla 1**

*Reglas de proceso fuera de control*

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Regla 1:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Un solo valor cae fuera de los límites de control.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Regla 5:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 puntos consecutivos en la misma zona "A".</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Regla 2:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 8 puntos consecutivos caen por encima o por debajo de la media.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Regla 6:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 puntos de un grupo de 5 consecutivos en la zona "A" o "B".</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Regla 3:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 5 puntos consecutivos son ascendentes o descendentes.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Regla 7:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 15 puntos consecutivos en la zona "C".</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Regla 4:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 14 puntos consecutivos se alternan "arriba / abajo" (sierra).</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Regla 8:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 8 puntos consecutivos ninguno en la zona "C".</li> </ul> </li> </ul>

Fuente: (Cabanés, 2013)

La identificación de las reglas antes mencionadas permite visualizar patrones no aleatorios en las gráficas de control, en la figura 10 se pueden observar los patrones más conocidos que se pueden identificar en función de las reglas descritas anteriormente.



**Figura 10:** Patrones aleatorios identificables en las cartas de control

Fuente: (Vilar & Delgado, 2010)

### 2.3. Metodología seis sigma

Seis sigma es una nueva herramienta o metodología como la definen muchos autores que contribuye sustancialmente a la mejora de la calidad y productividad, “fue implantada por Motorola en la década de los 80, es aplicada para ofrecer un mejor servicio, más rápido y al costo más bajo, centrandose su foco en la eliminación de defectos y satisfacción de clientes”. (Alderete, Colombo, Stefano, & Wade, 2015). Sigma es una letra del alfabeto griego que representa a la S, utilizada por los estadísticos para medir una variación.

“La metodología sigma se basa en la curva de distribución normal para conocer el nivel de variación de cualquier actividad o proceso” (Alderete, Colombo, Stefano, & Wade, 2015). “Six sigma es una medida específica de

calidad 3.4 defectos por millón de oportunidades”. (Alderete, Colombo, Stefano, & Wade, 2015). “Las empresas han aceptado como norma sigma 3 (que equivale a 67.000 defectos por millón) o sigma 4 (equivalente a 6250 defectos por millón) que es el estándar actual, ahora adoptar seis sigma, significa tener 4 defectos por cada millón, que es poner la vara a un nivel más alto”. (Alderete, Colombo, Stefano, & Wade, 2015)

### **Aplicación de la metodología seis sigma**

Seis sigma sirve para reducir costos, erradicar los desperdicios y errores habituales en las operaciones técnicas como no técnicas.

“Ataca las causas de los problemas, mide y analiza detenidamente las operaciones a fin de determinar con exactitud cómo y porque se producen los defectos, y luego toma medidas para abordar esas causas” (Alderete, Colombo, Stefano, & Wade, 2015).

“Seis sigma se desarrolla en el marco conocido como “DMAIC” (Definir, medir, analizar, mejorar y controlar)” (Alderete, Colombo, Stefano, & Wade, 2015), este modelo se resume en 5 fases, como se aprecia en la figura 11.



**Figura 11:** Metodología “DMAIC”

**Fuente:** (González, 2003)

## 2.4. Redes de comunicación industriales

Las redes de comunicación industriales son parte fundamental de la pirámide de automatización, su impacto directo es en el nivel de campo donde se encuentran los dispositivos de control que actúan directamente sobre el proceso productivo.

El artículo de la (Universidad de Valencia, 2015, pág. 1), menciona que “las comunicaciones a este nivel deben poseer características particulares para responder a las necesidades de comunicación en tiempo real ya que deben ser capaces de resistir un ambiente hostil donde existe gran cantidad de ruido electromagnético y condiciones ambientales duras” (Universidad de Valencia, 2015, pág. 1).

En el uso de comunicaciones industriales se pueden identificar dos áreas principales:

Una comunicación a nivel de campo, y una comunicación hacia el SCADA, en ambos casos la transmisión de datos se realiza en tiempo real, o por lo menos con una demora que no es significativa respecto de los tiempos del proceso. (Universidad de Valencia, 2015, pág. 1)

### 2.4.1. Redes y topología

En este apartado se desarrolla el modelo OSI, el cual es una normativa estandarizada para la implementación de redes de comunicación industrial.

#### Modelo OSI

El modelo de interconexión de sistemas abiertos (ISO/IEC 7498-1), más conocido como “modelo OSI”, (en inglés, Open System Interconnection) es un modelo de referencia para los protocolos de la red de arquitectura en capas, creado en el año 1980 por la Organización Internacional de Normalización (ISO, International Organization for Standardization). (Jordi, 2008)

Este conjunto de normativas formada por siete capas define las diferentes fases por las que deben pasar los datos para viajar de un dispositivo a otro sobre una red de comunicaciones. El modelo especifica el protocolo que debe usarse en cada capa, y suele hablarse de modelo de referencia ya que se usa como una gran herramienta para la enseñanza de comunicación de redes.

Esta normativa estandarizada es útil debido a la existencia de muchas tecnologías, fabricantes y compañías dentro del mundo de las comunicaciones, y al estar en continua expansión, se tuvo que crear un método para que todos pudieran entenderse de algún modo, incluso cuando las tecnologías no coincidieran. De este modo, no importa la localización geográfica o el lenguaje utilizado. Todo el mundo debe atenerse a unas normas mínimas para poder comunicarse entre sí. Esto es sobre importante cuando hablamos de la red de redes, es decir, Internet. (Jordi, 2008)

Este modelo está dividido en siete capas o niveles:

### Nivel Físico

“El nivel físico se encarga de las tareas de transmisión física de las señales eléctricas (o electromagnéticas) entre los diferentes sistemas. Las limitaciones del nivel físico (equipos de transmisión y recepción, medios de transmisión amplificadores, etc.)” (Jordi, 2008)

### Nivel de enlace de datos

“El nivel de enlace proporciona un servicio similar al nivel físico, mejorando las características de fiabilidad de la transmisión. Añade bits adicionales a los que forman el mensaje para poder detectar errores de transmisión en el mismo y poder pedir su retransmisión” (Jordi, 2008).

El nivel de enlace no solo sirve para controlar líneas punto a punto, sino también para controlar líneas compartidas por diferentes terminales (redes de área local) (Jordi, 2008, pág. 54).



### Nivel de red

“En el nivel de red se distingue entre estaciones terminales y nodos de conmutación” (Jordi, 2008, pág. 55).

“La asignación de direcciones (addressing) es uno de los conceptos básicos del nivel de red. Permite a la red, como sistema distribuido pero único, decidir cuál de los múltiples terminales es el destinatario final” (Jordi, 2008, pág. 56).

### Nivel de transporte

El nivel de transporte permite una conexión fiable sobre cualquier tipo de red (fiable o no). En las redes de comunicación de paquetes es modo datagrama es donde este nivel se muestra más importante, puesto que es el responsable de controlar las posibles deficiencias de las transmisiones. (Jordi, 2008)

### Nivel de sesión, presentación y aplicación

“Estos tres niveles se suelen explicar de manera conjunta, puesto que existen pocos ejemplos prácticos de protocolos de sesión y de presentación y, así mismo la arquitectura Internet delega todos los trabajos por encima de transporte a la aplicación” (Jordi, 2008, pág. 57).

“El nivel de sesión es, en teoría, el encargado de gestionar las conexiones de larga duración, la recuperación de caídas de red de manera transparente y los protocolos de sincronía entre aplicaciones” (Jordi, 2008, pág. 57).

“El nivel de presentación se encarga de conseguir que las diferentes plataformas (sistemas operativos, procesadores, etc.) se puedan entender al conectarse por medio de una misma red” (Jordi, 2008, pág. 57).

“En el nivel de aplicación residen los programas. En este nivel podemos encontrar servidores, clientes que acceden a estos últimos, aplicaciones que trabajan según un modelo simétrico (peer to peer), etc.” (Jordi, 2008, pág. 57).

## 2.4.2. Protocolos de comunicación

### Ethernet industrial

Hace algunos años atrás, “comenzó a popularizarse el concepto de Ethernet Industrial, que engloba el uso de tecnología ethernet para aplicaciones de control y automatización en ambientes industriales” (Electro Industria, 2008). Pero “el usuario debe preocuparse por algunas prestaciones de este protocolo para su uso exitoso en la planta” (Electro Industria, 2008).

A continuación, se presentan una serie de características importantes que debe tener una red ethernet industrial.

#### Redundancia

“Las redes Ethernet Industrial deben ser altamente confiables y seguir en funcionamiento durante duras condiciones ambientales, interrupciones accidentales de red y fallas en los equipos. La caída de una red puede ser peligrosa y cara” (Electro Industria, 2008).

#### Multicasting

Muchas aplicaciones de Ethernet Industrial dependen de la tecnología IP multicast. IP multicast permite a un host o fuente enviar paquetes a otro grupo de hosts (llamados "receptores") en cualquier lugar dentro de la red IP utilizando una forma especial de dirección IP llamada "dirección IP multicast grupal". Mientras los servicios de multicast tradicionales, como el vídeo o multimedia, tienden a reducir la escala con el número de streams (canales - Flujo), las aplicaciones de Ethernet Industrial multicast no lo hacen. (Electro Industria, 2008)

#### Seguridad

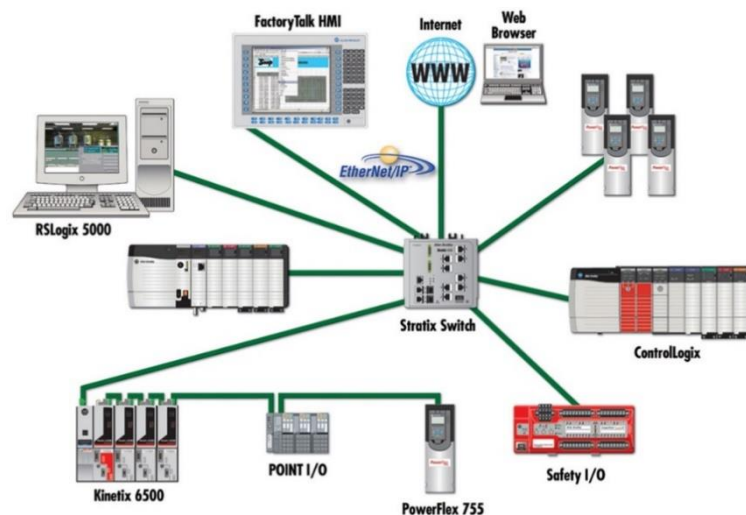
Si bien la integración creciente de tecnologías de la información como Ethernet Industrial presenta el potencial para ofrecer nuevos niveles de beneficio en las operaciones industriales, también plantea posibles vulnerabilidades. El acto de monitoreo y el análisis de datos procedentes de sistemas de control en niveles de planta, significa que el equipo también se extiende en la otra dirección. (Electro Industria, 2008)

“Esto aumenta enormemente la exposición de la ampliación de la red de intrusiones y amenazas. Factores internos ofrecen diferentes riesgos” (Electro Industria, 2008).

Por ejemplo, “cuando la red está sobrecargada debido a los dispositivos defectuosos o errores de funcionamiento, los switches y routers pueden ofrecer un pequeño alivio” (Electro Industria, 2008).

“Ethernet Industrial puede usar muchos métodos para garantizar la confidencialidad e integridad de la red. Estas medidas de seguridad de red se pueden agrupar en varias categorías, incluidas las de control de acceso y autenticación, seguridad en la conectividad y administración” (Electro Industria, 2008).

En la figura 12, se observa el esquema de conexión de una red con protocolo ethernet industrial.



**Figura 12:** Ethernet industrial, esquema general

**Fuente: (AUTOMATIZAR, 2010)**

### Normas para la implementación física de una red Ethernet Industrial

Una red Ethernet para uso industrial está básicamente compuesta por “cableado estructurado que puede utilizarse en cualquier tipo de ambiente con niveles críticos de polvo y humedad” (Electro Industria, 2007), su diseño es

para “aplicaciones industriales y para ambientes más hostiles que un edificio comercial, donde el cableado queda expuesto a ataques severos de sustancias corrosivas y abrasivas” (Electro Industria, 2007)

Este tipo de redes está formado básicamente por:

Cables UTP (Unshielded twisted pair), rosetas, patch cords y conectores hembra, todos ellos con un grado de protección adecuado a ambientes agresivos donde se expone el cableado a residuos sólidos, existe constante presencia de humedad, hay variaciones de temperatura significativas, una gran concentración de equipos y el cableado está expuesto a algún tipo de abrasión. (Electro Industria, 2007)

“Cada uno de estos componentes está vinculado directamente a la norma IEC 60529 y draft de la norma ANSI/EIA/TIA 1005, las que definen los grados de protección aceptables para distintos tipos de ambientes” (Electro Industria, 2007).

De un modo general, el cableado para una red de tipo industrial debe cumplir con los 4 ítems descritos en la tabla MICE mostrada en la tabla 2, que servirá como guía y que debe atender un determinado tipo de ambiente. Esta tabla de clasificación se denomina MICE, donde cada letra representa una característica.

**Tabla 2**  
*Características para cableado MICE*

M	Mechanical	Resistencia mecánica
I	Ingress	Protección contra ingreso de sólidos Protección contra ingreso de líquidos (agua)
C	Chemical/ Climatic	Resistencias a las variaciones de temperatura Protección contra ataques de efectos químicos
E	Electromagnetic	Protección contra interferencias electromagnéticas

Fuente: (Electro Industria, 2007)

La descripción detallada de cada una de esas características se presenta a continuación:

### Ingress

Es la principal característica que debe poseer una buena solución industrial y especialmente los accesorios que la componen., es la protección IP, según el código IP (Índice de Protección), que es un sistema de codificación para indicar los grados de protección proporcionados al objeto contra el acceso a partes peligrosas, la entrada de cuerpos extraños (residuos sólidos) y la penetración de agua. Este código está formado por dos números, ubicados inmediatamente después de las letras IP. Ejemplo: IP55/IP67. (Electro Industria, 2007)

### Mechanical

Es la protección contra la abrasión y una de las prioridades de resistencia mecánica que debe poseer el cable UTP

Sabemos que en algunos ambientes es imposible que la instalación del cableado se realice totalmente en ductos o canaletas, permitiendo que el cable quede expuesto, sin protección. Cuando el material usado no es apropiado para este tipo de instalación, ocurren hendiduras, aunque sean pequeñas, en el revestimiento del cable, causando daños en su desempeño eléctrico, aumentando los costos de mantenimiento y las pérdidas causadas por una parada no programada en un proceso. (Electro Industria, 2007)

“De esta forma, el cable UTP debe ofrecer una resistencia mecánica superior y tener doble revestimiento, existe dos opciones de materiales donde cada uno presenta características adecuadas al tipo de ambiente en el cual se instalarán” (Electro Industria, 2007).

“Puede ser en TPU (poliuretano) o en PVC 105° (PVC con propiedades especiales, diferente del PVC utilizado en cables comunes)” (Electro Industria, 2007)

**Tabla 3**  
*Resistencia Mecánica*

<b>Tabla Comparativa - Resistencia Mecánica</b>			
<b>Cable LAN</b>	<b>TPU</b>	<b>PVC 105°</b>	<b>PVC Convencional</b>
<b>Abrasividad</b>	□	X	X

Fuente: (Electro Industria, 2007)

### Chemical/Climatic

Es importante que los cables metálicos que componen la solución industrial seleccionada “deben ofrecer protección adicional contra el ataque de algunos elementos químicos. Siguiendo la misma lógica respecto de la protección mecánica de los componentes” (Electro Industria, 2007).

Los cables deben atender a dos consideraciones importantes:

- Climáticas de operación y almacenamiento: Los cables metálicos deben atender las recomendaciones de la norma EIA/TIA 568-B.2.
- Químicas: Los accesorios deben ser de material termoplástico especial, tales como el PBT (Polybutylene Terephthalate), usado comúnmente en aisladores en industrias electro-electrónicas, con alta resistencia mecánica (poca deformación, soportan temperaturas hasta 150°C) y química (solventes orgánicos y aceites), permitiendo utilizarse también en ambientes externos. (Electro Industria, 2007)

### Electromagnetic

“En ambientes con gran concentración de equipos es inevitable el efecto causado por la interferencia electromagnética en los cables UTP instalados. Se consideran fuentes de ruidos los transformadores eléctricos, generadores, motores, equipos de Rayos X y transmisores de radio o radar” (Electro Industria, 2007).

Para este tipo de ambientes que exige robustez, confiabilidad y protección mayor contra EMI (Inducción Electromagnética) y RFI (Interferencia por Radio Frecuencia), la solución industrial que se escoja debe poseer cables UTP y accesorios con blindaje, que cumplen la norma EIA/TIA 568-B.2. (Electro Industria, 2007)

Es importante mencionar que estas características “pueden ser garantizadas mediante la utilización simultánea de accesorios para uso industrial” (Electro Industria, 2007).

De esa forma, el conector hembra sólo garantiza protección IP67 si se utiliza en conjunto con placas industriales que deben presentar una solución para el encaje y estanqueidad de los conectores y con las cajas sobrepuestas industriales. (Electro Industria, 2007)

## Modbus

“Modbus es un protocolo de comunicaciones situado en el nivel siete del Modelo OSI, se basa en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor, fue diseñado en 1979 por Modicon para su gama de controladores lógicos programables” (Safe Line, 2015).

Es importante su mención debido a que los PLCs que controlan la planta industrial IMPTEK, trabajan bajo este protocolo de comunicación.

Modbus es un protocolo de comunicaciones estándar y libre en la industria, el cual permite mayor apertura para la conexión de dispositivos. Las razones por las cuales el uso del protocolo Modbus es superior a otros son:

- Es público
- Su implementación es fácil y requiere poco desarrollo
- Maneja bloques de datos sin suponer restricciones

### 2.4.3. Medios de comunicación industrial por cable

En el apartado anterior se estudió el modelo OSI que es el conjunto de normativas para una instalación industrial, la cual en su capa uno (nivel físico), trata acerca del medio por dónde viaja la comunicación, para el efecto ahora trataremos la norma **EIA/TIA 568-B**, ya que la norma anterior **EIA/TIA 568-A**, ha quedado obsoleta.

La norma EIA/TIA 568-B, abarca tres estándares que “tratan el cableado comercial para productos y servicios de telecomunicaciones” (FANDOM, 2016). Los tres estándares oficiales ANSI/TIA/EIA-568 son:

- B.1-2001
- B.2-2001
- B.3-2001.

La intención de estos estándares es proporcionar una serie de prácticas recomendadas para el diseño e instalación de sistemas de cableado que soporten una amplia variedad de los servicios existentes, y la posibilidad

de soportar servicios futuros que sean diseñados considerando los estándares de cableado. El estándar pretende cubrir un rango de vida de más de diez años para los sistemas de cableado comercial. (FANDOM, 2016)

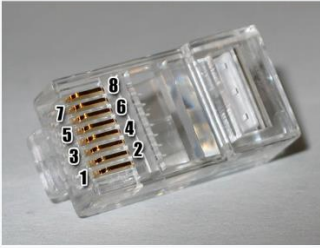
A continuación, se desarrolla el estudio de la norma EIA/TIA 568-B.1 y 568-B.2 las cuales abarcan los requisitos generales y los componentes del sistema de cableado respectivamente. “El TIA/EIA-568-B define una arquitectura jerárquica de sistemas de cable” (FANDOM, 2016), dónde las distancias máximas del eje del cableado “varían entre 300 m y 3000 m, dependiendo del tipo de cable y del uso” (FANDOM, 2016).

### Par Trenzado

El par trenzado se utiliza bajo la aplicación de la norma EIA/TIA 568-B, básicamente se trata del cable de red UTP. Hasta el momento se han desarrollado muchos avances en cuanto a la calidad del cable, existe cable desde categoría cinco, hasta categoría siete.

Respecto al estándar de conexión, los pines en un conector RJ-45 modular están numerados del 1 al 8, siendo el pin 1 el del extremo izquierdo del conector, y el pin 8 el del extremo derecho. Los pines del conector hembra (jack) se numeran de la misma manera para que coincidan con esta numeración, siendo el pin 1 el del extremo derecho y el pin 8 el del extremo izquierdo. (SENATI, 2016)

Las asignaciones de pares de cables son como se muestra en la figura 13.

Cableado RJ-45 (T568A/B)			
Pin	Color T568A	Color T568B	Pines en conector macho (en conector hembra se invierten)
1	Blanco/Verde (W-G)	Blanco/Naranja (W-O)	
2	Verde (G)	Naranja (O)	
3	Blanco/Naranja (W-O)	Blanco/Verde (W-G)	
4	Azul (BL)	Azul (BL)	
5	Blanco/Azul (W-BL)	Blanco/Azul (W-BL)	
6	Naranja (O)	Verde (G)	
7	Blanco/Marrón (W-BR)	Blanco/Marrón (W-BR)	
8	Marrón (BR)	Marrón (BR)	

**Figura 13:** Distribución de pines, RJ-45-norma T568A/B

Fuente: (SENATI, 2016)



Entre T568A y T568B existe apenas una diferencia que es que "...los pares 1, 2, 3 y 6 (Naranja y Verde) están alternados" (Romero, y otros, 2014, pág. 93), pues "ambos estándares conectan los cables "directamente", es decir, los pines 1 a 8 de cada extremo se conectan con los pines 1 a 8, respectivamente, en el otro" (Romero, y otros, 2014, pág. 93).

A pesar de que "muchos cables implementan pequeñas diferencias eléctricas entre cables, estos efectos son inapreciables, de manera que los cables que utilicen cualquier estándar son intercambiables" (Romero, y otros, 2014, pág. 93).

Asimismo, "esta norma debe ser utilizada para impedir la interferencia por señales electromagnéticas generadas por cada hilo, de manera que pueda aprovechar el cable a una mayor longitud sin afectar su rendimiento" (Romero, y otros, 2014, pág. 93), es decir a mayor velocidad.

Es por eso que los cables de red deben ser muy resistentes a la interferencia externa, como a las ondas electromagnéticas, pantallas, celulares, unidades de aire acondicionado u otros equipos eléctricos. Las conexiones se clasifican bajo las categorías:

Cat 5, (abajo de 100Mbps) y Cat 6 (arriba de 100Mbps) aunque ambos estándares de conexión de los pines, T568A y T568B, se utilizan para Cat 5 y para Cat 6, en ambos se utilizan los pares trenzados del cable para reducir las interferencias, pero el T568A tiene una mayor inmunidad; sin olvidar que el cable Cat 6 utiliza un mejor aislamiento y más vueltas del aislante. (FANDOM, 2016)

## **Fibra óptica**

"Las fibras se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de la radio y superiores a las de un cable convencional" (Digamel, 2013)

Esta fibra es un medio de transmisión por un cable más, "...al ser inmune a las interferencias electromagnéticas. La fibra óptica es un filamento, capaz de conducir y transmitir impulsos luminosos de uno a otro de sus extremos" (Digamel, 2013).

## Funcionamiento

“Los principios básicos de su funcionamiento se justifican aplicando las leyes de la óptica geométrica, principalmente, la ley de la refracción (principio de reflexión interna total) y la ley de Snell” (Gutierrez, 2016, pág. 191).

El funcionamiento consiste en “transmitir por el núcleo de la fibra un haz de luz, tal que este no atraviese el revestimiento, sino que se refleje y se siga propagando” (Gutierrez, 2016), esto se puede dar “si el índice de refracción del núcleo es mayor al índice de refracción del revestimiento. (Gutierrez, 2016)

## Tipos

En el Libro Instalaciones de telefonía y comunicación interior de (Campanario, 2014) “Las diferentes trayectorias que puede seguir un haz de luz en el interior de una fibra se denominan modos de propagación, y según el modo de propagación tendremos dos tipos de fibra óptica: multimodo y monomodo” (Campanario, 2014).

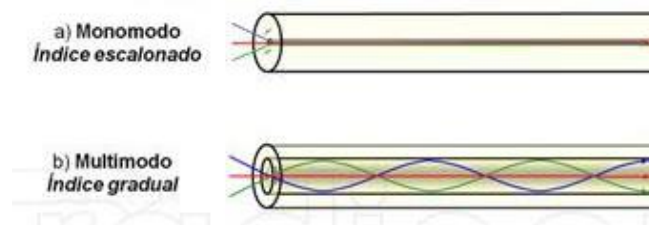
### Multimodo

La fibra multimodo “es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino, esto supone que no llegan todos a la vez” (Campanario, 2014). Esta fibra “puede tener más de mil modos de propagación de luz” (Campanario, 2014), además se usan frecuentemente en “...aplicaciones de corta distancia, menores a 2 km, es simple de diseñar y económico” (Campanario, 2014).

### Monomodo

Es una “fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8,3 a 10 micrones) que sólo permite un modo de propagación” (Campanario, 2014). “Su transmisión es paralela al eje de la fibra” (Campanario, 2014).

A diferencia de las fibras multimodo, estas fibras “permiten alcanzar grandes distancias (hasta 100 km máximo, mediante un láser de alta intensidad) y transmitir elevadas tasas de información (10 Gbit/s), en la figura 14, se aprécios los dos tipos de fibra óptica” (Campanario, 2014).



**Figura 14:** Tipos de fibra óptica y perfiles de índice

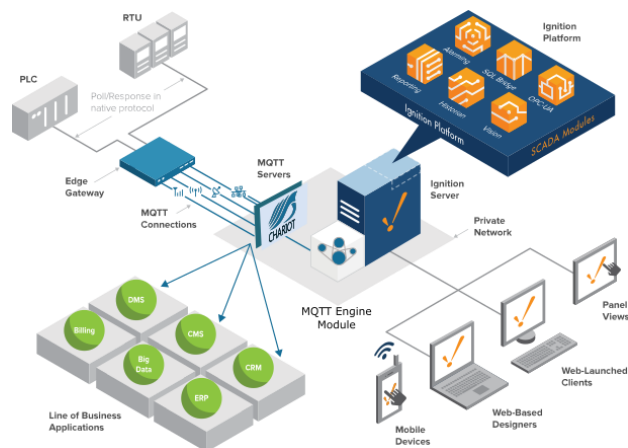
Fuente: (Campanario, 2014)

#### 2.4.4. Sistemas SCADA, HMI y guía de diseño GEDIS

Por sus siglas SCADA, Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un tipo de aplicación desarrollada en los diferentes softwares existentes en el mercado que “permiten la gestión y control de cualquier sistema local o remoto gracias a una interface gráfica que comunica al usuario con el sistema” (Antonio, 2007). Además, permite controlar y supervisar procesos industriales con retroalimentación en tiempo real.

Dentro de los programas más utilizados para diseñar interfaces de comunicación están, LabView (National Instruments), Intouch (Wonderware) e IGNITION SCADA (Inductive Automation).

IGNITION SCADA es un software de la compañía americana Inductive Automation, el cual presenta una estructura modular, que ofrece múltiples ventajas sobre el resto de softwares antes mencionados entre ellas permitir una rápida y fácil comunicación entre la planta y el servidor. En la figura 15, se muestra un esquema explicativo de la estructura que maneja IGNITION.



**Figura 15:** Software SCADA Ignition

Fuente: (Automation, 2017)

## HMI

La Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es la interfaz entre el proceso y los operarios, se trata básicamente de un panel de instrumentos del operario. Es la principal herramienta utilizada por operarios y supervisores de línea para coordinar y controlar procesos industriales y de fabricación. El HMI traduce variables de procesos complejos en información útil y procesable (Wonderware, 2017).

La función de los HMI consiste en mostrar información operativa en tiempo real y casi en tiempo real. Proporcionan gráficos de procesos visuales que aportan significado y contexto al estado del motor y de la válvula, niveles de depósitos y otros parámetros del proceso. Suministran información operativa al proceso, y permiten el controlar y la optimización al regular los objetivos de producción y de proceso. (Wonderware, 2017).

Un ejemplo práctico dónde se puede encontrar interfaces HMI es en la cabina del conductor de un vehículo, desde los controles (pedales, volante, etc.) En la figura 16, tenemos un ejemplo de HMI en aplicación industrial.



**Figura 16:** Interfaz HMI industrial

Fuente: (Wonderware, 2017)

## **Guía GEDIS para el diseño de interfaces industriales**

La Guía GEDIS es un conjunto de lineamientos que sirven para diseñar un interfaz industrial. “La guía ergonómica de diseño de interfaz de supervisión GEDIS ofrece un método de diseño especializado en sistemas de control supervisor industrial basado en niveles donde se van concretando los diseños de los distintos tipos de pantalla y contenidos” (Pere Ponsa, Díaz Martha, & Catalá Andreu, 2015).

La guía GEDIS consta de 10 indicadores que pretenden cubrir todos los aspectos del diseño de la interfaz. La Tabla 4 muestra la definición de cada indicador junto a qué aspectos previos (entradas) son necesarios para la obtención del indicador y qué se espera obtener (salidas) del indicador. En la tabla se mezclan aspectos de ergonomía con aspectos de control de procesos industriales. (Pere Ponsa, Díaz Martha, & Catalá Andreu, 2015)

**Tabla 4**  
*Lista de indicadores de la guía GEDIS*

Indicador	Definición	Entradas	Salidas
Arquitectura	Organización jerárquica de las pantallas	De la planta física a la monitorización gráfica	Mapa de relaciones entre pantallas y sus funciones
Distribución de pantallas	Plantillas de los diferentes tipos de pantalla	Diseño de los procesos físicos y subprocesos	Clasificación de tipos de pantallas y tipos de plantillas
Navegación	Modos de navegación entre pantallas	Controles de navegación entre subprocesos	Navegación equilibrada en anchura y profundidad
Uso del color	Asociación de funcionalidades en el ámbito del control de procesos	Requisitos sobre dispositivos de información visual	Uso del color adecuado en el contexto
Uso de fuentes e información textual	Abanico de fuentes y asociación de funcionalidades	Fuentes y tamaños legibles por el operario	Estándares de fuentes, acrónimos y abreviaturas
Estatus de los equipos y eventos de proceso	Símbolos e iconos gráficos para representar el estado de la planta y los cambios de estado	Estándares nacionales y/o internacionales en control supervisor	Uso de símbolos e iconos reconocibles por el operario experto
Información y valores de proceso	Presentación de los datos analógicos/digitales en los gráficos	Procesamiento de la información	Lista clasificada de las variables del proceso
Gráficos de tendencias y tablas	Presentación y agrupación de valores en gráficos de tendencias (históricos) y tablas	Procesamiento de la información	Lista de agrupaciones de datos en gráficos y tablas en los sinópticos de proceso
Comandos y entradas de datos	Modo de entrada de datos a la interfaz	Estándares de diseño de comandos y entrada de datos	Accesibilidad a la manipulación de parámetros y consignas
Alarmas	Características principales del subsistema de alarmas	Estimación del riesgo	Listado de alarmas, clasificación por prioridades

Fuente: (Pere Ponsa, Díaz Martha, & Catalá Andreu, 2015)

#### **2.4.5. Dispositivos de control industrial (PLCs) y sensores de instrumentación**

Dentro de los dispositivos de control industrial se hará referencia principalmente a los PLCs, switch industrial y sensores de instrumentación.

#### **Autómatas programables PLCs**

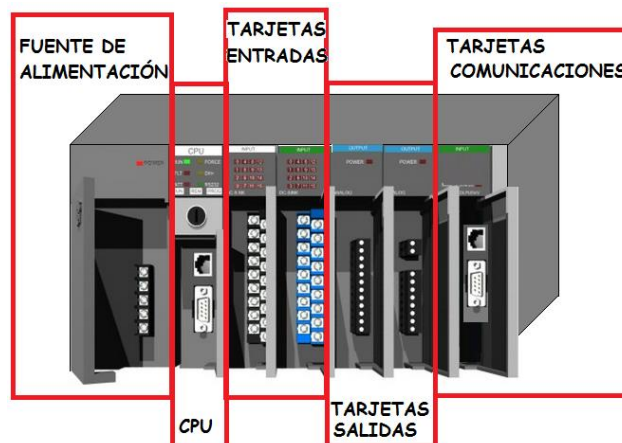
“Un controlador lógico programable PLC, más conocido por sus siglas en inglés (Programmable Logic Controller), “es un sistema basado en microprocesador orientado al control industrial” (Jose, 2009).

Los PLC son utilizados en muchas aplicaciones industriales. A diferencia de las computadoras de uso general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, condiciones de temperatura extremas, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Los programas se almacenan generalmente en memorias extraíbles.

### Lenguajes de programación.

Dentro de los lenguajes más conocidos están el Ladder o escalera, AWL o texto estructurado, diagrama de bloques y lista de instrucciones.

En la figura 17, se observa las partes que componen un PLC.



**Figura 17:** Partes de un PLC

Fuente: (MODICOM, 2000)

### Ventajas

Dentro de las ventajas que estos equipos poseen se encuentra que, gracias a ellos, es posible ahorrar tiempo en la elaboración de proyectos, pudiendo realizar modificaciones sin costos adicionales. Por otra parte, son de tamaño reducido y mantenimiento de bajo costo, además permiten ahorrar dinero en mano de obra y la posibilidad de controlar más de una máquina con el mismo equipo.

Sin embargo, y como sucede en todos los casos, los controladores lógicos programables, o PLCs, presentan ciertas desventajas como es la necesidad de contar con técnicos capacitados.

### **Sensores de instrumentación**

Un sensor es un transductor capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser, por ejemplo: intensidad lumínica, temperatura, distancia, aceleración, inclinación, presión, desplazamiento, fuerza, torsión, humedad, movimiento, etc. (Pallas, 2000). En la tabla 5 se muestran los diferentes tipos de sensores existentes.

#### Características de un sensor:

- Rango de medida: Es el dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.
- Precisión: Es el error de medida máximo esperado.
- Exactitud: Es la medida de la aproximación al valor nominal.
- Resolución: Es la mínima variación en la entrada que produce una salida.
- Repetitividad: Es el error esperado al repetir varias veces la misma medida.



**Tabla 5**  
*Tipo de sensores*

<b>Magnitud</b>	<b>Transductor</b>	<b>Característica</b>
<b>Posición lineal y angular</b>	Potenciómetro	Analógica
	Sensor Hall	Digital
<b>Desplazamiento y deformación</b>	Galga extensiométrica	Analógica
	LVDT	Analógica
	Encoder	Digital
	RVDT	Analógica
<b>Fuerza y par (deformación)</b>	Galga extensiométrica	Analógico
<b>Presión</b>	Membranas	Analógica
	Piezoeléctricos	Analógica
	Manómetros Digitales	Digital
<b>Caudal</b>	Turbina	Analógica
	Magnético	Analógica
<b>Temperatura</b>	Termopar	Analógica
	RTD	Analógica
	Termistor NTC	Analógica
	Termistor PTC	Analógica
	Bimetal - Termostato	I/O
<b>Sensores de presencia</b>	Inductivos	I/O
	Capacitivos	I/O
	Ópticos	I/O y Analógica
<b>Sensores táctiles</b>	Matriz de contactos	I/O
	Piel artificial	Analógica
<b>Visión Artificial</b>	Cámaras de video	Procesamiento digital
	Cámaras CCD o CMOS	Procesamiento digital
<b>Sensor de proximidad</b>	Sensor final de carrera	
	Sensor capacitivo	Analógica
	Sensor inductivo	Analógica
	Sensor fotoeléctrico	Analógica
<b>Sensor acústico (presión sonora)</b>	micrófono	Analógica

Fuente: (siscode, 2015)

A continuación, vamos a tratar los sensores laser y de peso, que son de importancia en este proyecto.

### Sensores laser

Los sensores de distancia láser o sensores de triangulación son una excelente opción para la medida de distancia o desplazamiento sin contacto ni rozamiento. Los rangos disponibles pueden medir desde pocas micras hasta decenas de metros, por lo que son apropiados para casi cualquier aplicación, siempre y cuando el ambiente sea limpio y lo permita. Las salidas disponibles son diversas, desde las analógicas estándar en corriente y voltaje, 4-20mA y 0-10V hasta interfaces digitales más avanzadas como ETHERCAT, ETHERNET o PROFIBUS. (Panasonic, 2016)

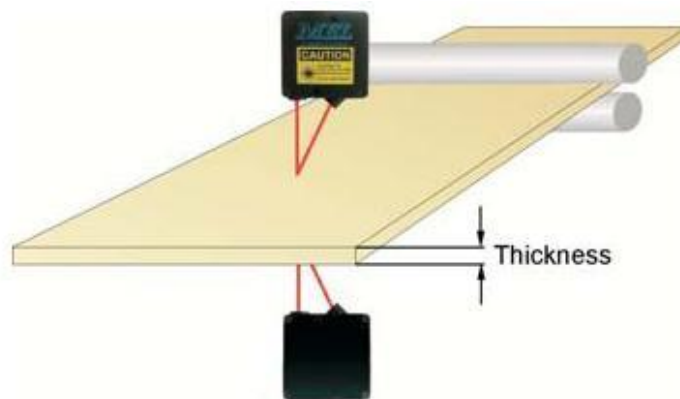
“Las aplicaciones de los sensores de distancia láser son diversas siempre y cuando se desee medir distancia sin contacto, aunque otro uso muy extendido es emplearlo como elemento de medida de vibraciones sin contacto. En la figura 18 se muestra un sensor laser de triangulación.



**Figura 18:** Sensor laser para medición de distancia

Fuente: (Panasonic, 2016)

Una de las aplicaciones de estos sensores por su excelente precisión, es la medición de espesor de una amplia gama de materiales. En la figura 19, se muestra la aplicación del sensor laser en medición de espesor.



**Figura 19:** Sensor láser para medición de espesor

Fuente: (Panasonic, 2016)

### Sensores de peso (Celdas de carga)

“La celda de carga es una estructura diseñada para soportar cargas de compresión, tensión y flexión, en cuyo interior se encuentra uno o varios sensores de deformación llamados *Strain Gages* que detectan los valores de deformación” (Moises, 1995).

### Celda de carga doble apoyo:

El diseño de este tipo de celda de carga tiene propósitos en aplicaciones relacionadas con el sector económico industrial o comercial, en especial son ideales para su implementación en entornos corrosivos.

Este tipo de celda de carga doble apoyo, se caracterizan por ser piezas sólidas constituidas por metales como aluminio, acero, aleación de acero o acero inoxidable, su estructura física tiende a construirse de forma cilíndrica-rectangular, además, son herramientas diseñadas para permisibilidad de las cargas dinámicas, lo cual consiste en suprimir la rigidez de todos los elementos que la componen cuando está ejecutando funciones de pesaje de cargas que se encuentren en movimiento, como en el caso de: cintas transportadoras. (Moises, 1995) Ver figura 20.



**Figura 20:** Celda de carga doble apoyo, aplicaciones industriales

Fuente: (Futek, 2017)

## CAPÍTULO III

### 3. DESCRIPCIÓN DE IMPTEK – CHOVA DEL ECUADOR S.A, LÍNEAS Y PRODUCTOS

Este capítulo muestra, una introducción a la empresa IMPTEK – Chova del Ecuador, así como sus productos y líneas de producción, identificando el área de aplicación específica del Control Estadístico de Procesos.

#### 3.1. Antecedentes y sector industrial de la empresa

IMPTEK – Chova del Ecuador, es una empresa privada que se dedica a la producción y comercialización de productos impermeabilizantes y arquitectónicos destinados al mercado de la construcción y de redes viales. IMPTEK - CHOVA del ECUADOR S.A se funda en 1979, desde entonces se ha ido posicionado en un lugar importante dentro de la construcción ecuatoriana, convirtiendo hoy en día la marca IMPTEK en sinónimo de impermeabilización en Ecuador. (Imptek, 2015)

IMPTEK es una empresa que opera en el sector de la construcción, y se encuentra ubicada en el mismo según el último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) en agosto del 2012, además cuenta con 90 empleados dato que la ubica como mediana empresa y según el ranking 1000 publicado por la revista EKOS en el 2016, IMPTEK se encuentra dentro de las empresas con mayor dinamismo económico en el país. (Imptek, 2015)

#### 3.2. Ubicación geográfica

La planta industrial IMPTEK se encuentra ubicada en:

- País: Ecuador
- Región: Sierra
- Provincia: Pichincha
- Cantón: Rumiñahui
- Dirección: Km 13 vía a Pifo – Ecuador, sector el INGA

### 3.3. Misión, visión, objetivos y organigrama estructural

#### **Misión**

“Ser los mejores”. (Imptek, 2015)

En base a la revisión del concepto de misión, “Razón de ser de la empresa u organización” (Kathy, 2009), se sugiere la siguiente definición:

Fabricar y comercializar productos impermeabilizantes innovadores con calidad y eficiencia para satisfacer la demanda en el mercado de la construcción.

#### **Visión**

“Ser una empresa líder en la región de la costa del pacifico sur, en el desarrollo, la fabricación y comercialización de productos y sistemas innovadores para la construcción”. (Imptek, 2015)

En base a la revisión del concepto de visión, “Una imagen de lo que los miembros de la empresa quieren que ésta sea o llegue a ser” (Kathy, 2009), se sugiere el siguiente texto:

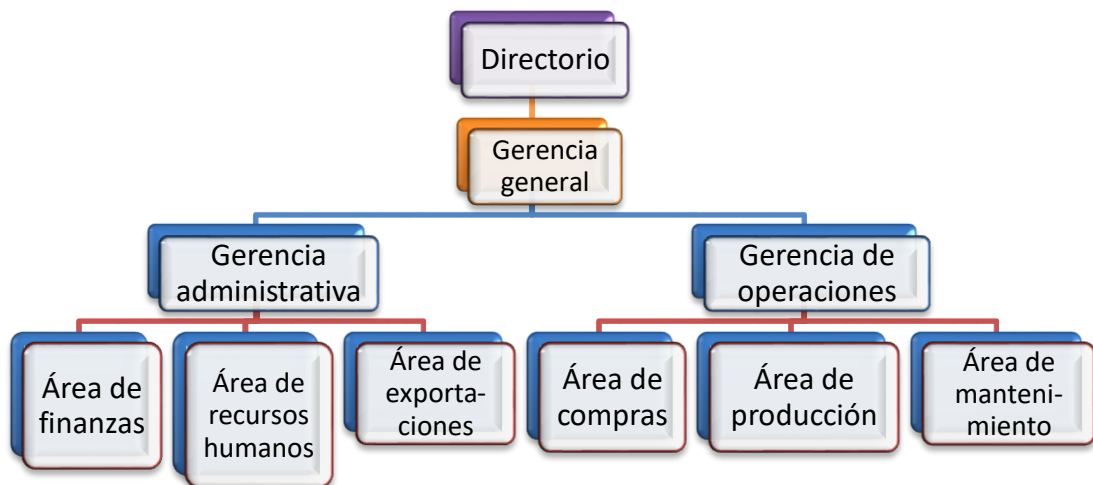
Ser una empresa líder en la región de la costa del pacifico sur, ofreciendo una amplia gama de productos impermeabilizantes e innovadores para la construcción.

#### **Objetivos**

- “Ser identificados como una empresa que continuamente mejora e innova sus procesos y productos”.
- Mantener vigente un Sistema de Calidad acorde con las normativas internacionales
- Lograr un crecimiento sostenido en ventas con una rentabilidad que satisfaga las expectativas de los accionistas.
- Incrementar las ventas de exportación.
- Mantener el liderazgo en el mercado de impermeabilización en Ecuador.

## Organigrama

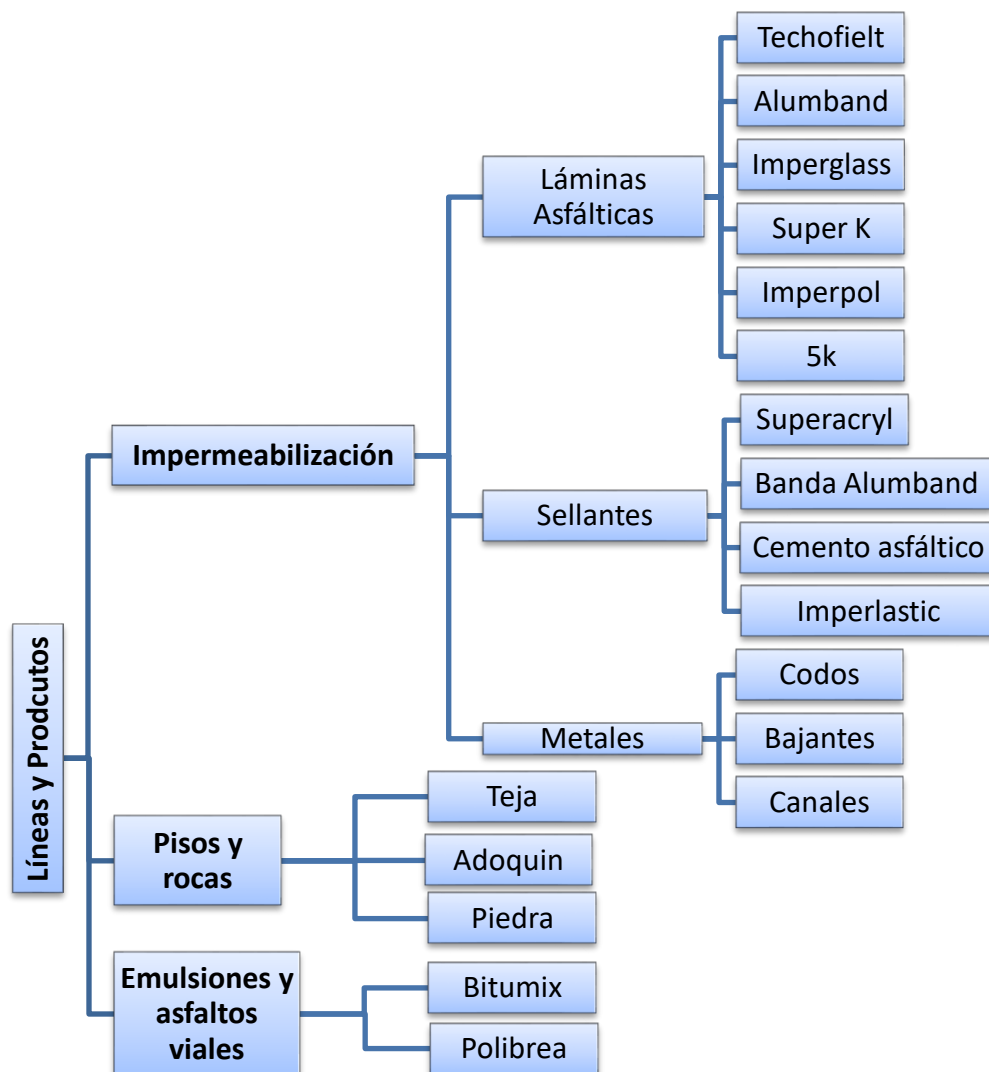
En la figura 21, se observa el organigrama estructural de la empresa.



**Figura 21:** Organigrama de la empresa

### 3.4. Líneas de producción y productos

En la figura 22, se detallan las líneas de producción de la empresa IMPTEK – Chova del Ecuador, con los respectivos productos fabricados en las mismas.



**Figura 22:** Productos realizados en la empresa IMPTEK


Fuente: (IMPTEK, 2016)


A continuación, se muestran en las tablas 6, 7 y 8 el volumen de producción, volumen de ventas y margen de utilidad de las líneas de impermeabilización, emulsiones y pisos y rocas.



**Tabla 6**


*Volumen de producción y ventas, línea de impermeabilización (láminas asfálticas)*

		LÍNEA DE IMPERMEABILIZACIÓN	
		VOLUMEN DE PRODUCCIÓN 2016	
CÓDIGO SAP	PRODUCTO	VOLUMEN DE PRODUCCIÓN ANUAL (Unidades)	
		UNIDAD	CANTIDAD
1	Techofielt	kg	1305600
2	Alumband	kg	990000
11	Imperglass	kg	1408000
21	Superk	kg	1100000
53	Imperpol	kg	1715000
62	5k	kg	1600000
		TOTAL	<b>8118600</b>


		LÍNEA DE IMPERMEABILIZACIÓN					
		VOLUMEN DE VENTAS 2016					
CÓDIGO SAP	PRODUCTO	VOLUMEN DE VENTAS (Unidades)		COSTO ANUAL		MARGEN DE UTILIDAD	
		UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO (\$/kg)	TOTAL	UNITARIO (\$/kg)	TOTAL
1	Techofielt	kg	530017,87	0,63	333911,2581	0,32	169605,7184
11	Alumband	kg	1032908	1,43	1477058,44	0,65	671390,2
21	Imperglass	kg	355852	0,61	217069,72	0,25	88963
60	Super K	kg	507585	0,78	395916,3	0,34	172578,9
61	Imperpol	kg	1905660	0,71	1353018,6	0,25	476415
530	5k	kg	465474	0,84	390998,16	0,37	172225,38
					TOTAL		<b>1751178,198</b>

**Tabla 7**

*Volumen de producción y ventas, línea de asfaltos y viales*


		LÍNEA DE EMULSIONES Y ASFALTOS VIALES	
		VOLUMEN DE PRODUCCIÓN 2016	
CÓDIGO SAP	PRODUCTO	VOLUMEN DE PRODUCCIÓN ANUAL (Unidades)	
		UNIDAD	CANTIDAD
3	Bitumix	kg	989000
5	Polibrea L-10	kg	769000
19	Polibrea 20	kg	758000
		TOTAL	<b>2516000</b>


**CONTINÚA** 

 <b>LÍNEA DE EMULSIONES Y ASFALTOS VIALES</b> <b>VOLUMEN DE VENTAS 2016</b>							
CÓDIGO SAP	PRODUCTO	VOLUMEN DE VENTAS (Unidades)				MARGEN DE UTILIDAD	
		UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO (\$/kg)	TOTAL	UNITARIO (\$/kg)	TOTAL
3	Bitumix	kg	967000	0,39	377130	0,19	183730
5	Polibrea L-10	kg	745000	1,33	990850	0,68	506600
19	Polibrea 20	kg	714000	1,62	1156680	0,99	706860
					<b>TOTAL</b>		<b>1397190</b>

**Tabla 8**

*Volumen de producción y ventas, línea de pisos y rocas*

 <b>LÍNEA DE PISOS Y ROCAS</b> <b>VOLUMEN DE PRODUCCIÓN 2016</b>				
CÓDIGO SAP	PRODUCTO	VOLUMEN DE PRODUCCIÓN ANUAL (Unidades)		
		UNIDAD	CANTIDAD	
600	Teja CT-20	kg	51421	
601	Teja XT-25	kg	51113	
605	Teja Landmark	kg	40322	
611	Adoquín recto grande	kg	50745	
649	Adoquín circular chico	kg	50216	
			<b>TOTAL</b>	<b>243817</b>

 <b>LÍNEA DE PISOS Y ROCAS</b> <b>VOLUMEN DE VENTAS 2016</b>							
CÓDIGO SAP	PRODUCTO	VOLUMEN DE VENTAS (Unidades)				MARGEN DE UTILIDAD	
		UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO (\$/kg)	TOTAL	UNITARIO (\$/kg)	TOTAL
600	Teja CT-20	kg	51011	0,54	27545,94	0,34	17343,74
601	Teja XT-25	kg	47103	0,63	29674,89	0,33	15543,99
605	Teja Landmark	kg	41202	0,81	33373,62	0,36	14832,72
611	Adoquín recto grande	kg	47450	1,09	51720,5	0,41	19454,5
649	Adoquín circular chico	kg	42016	1,04	43696,64	0,46	19327,36
					<b>TOTAL</b>		<b>86502,31</b>






Para definir la línea de producción dónde se aplicará el sistema de control estadístico "SCE", se realizará una matriz de selección, tomando en cuenta los criterios de, margen de utilidad, volumen de producción y de ventas de cada línea de producción. Ver figura 23.

LÍNEAS DE PRODUCCIÓN			
Criterios de selección	A Impermeabilización	B Emulsiones y Asfaltos viales (Referencia)	C Pisos y Rocas
Volumen de producción	+	0	-
Volumen de ventas	+	0	-
Utilidad total	+	0	-
Suma +	3	0	0
Suma 0	0	3	0
Suma -	0	0	-3
Evaluación neta	3	0	-3
¿Continuar?	Sí	Revisar	No




**Figura 23:** Matriz de selección de líneas de producción

En base a los resultados de la matriz de selección de la figura 23 se concluye aplicar el “SCE” en la línea de impermeabilización en el proceso de fabricación de lámina asfáltica. Una vez seleccionada la línea de producción para la aplicación del control estadístico, se presenta en la tabla 9 los productos realizados en la línea de impermeabilización con mayor detalle.

**Tabla 9***Productos fabricados en las líneas de impermeabilización*

PRODUCTOS FABRICADOS LÍNEA DE IMPERMEABILIZACIÓN			
PRODUCTO	TIPO DE ARMADURA	PRODUCTO	TIPO DE ARMADURA
<b>Imperglass</b> 	Fibra de vidrio	<b>Alumband</b> 	Foil de aluminio
<b>Imperpol</b> 	Poliéster	<b>5k</b> 	Polietileno
<b>Techofielt</b> 	Fibra de vidrio		

CONTINÚA 

			
<p data-bbox="379 506 504 542"><b>Super k</b></p>  	Poliéster		

Como se puede apreciar en tabla 9, la producción de lámina asfáltica impermeabilizante tiene diferentes tipos de armadura o protección. En la tabla 10, se aprecia las especificaciones referentes al espesor, peso y tipo de armadura de los productos descritos anteriormente, ya que son las variables determinantes de la calidad del producto y de interés para el control estadístico de procesos.

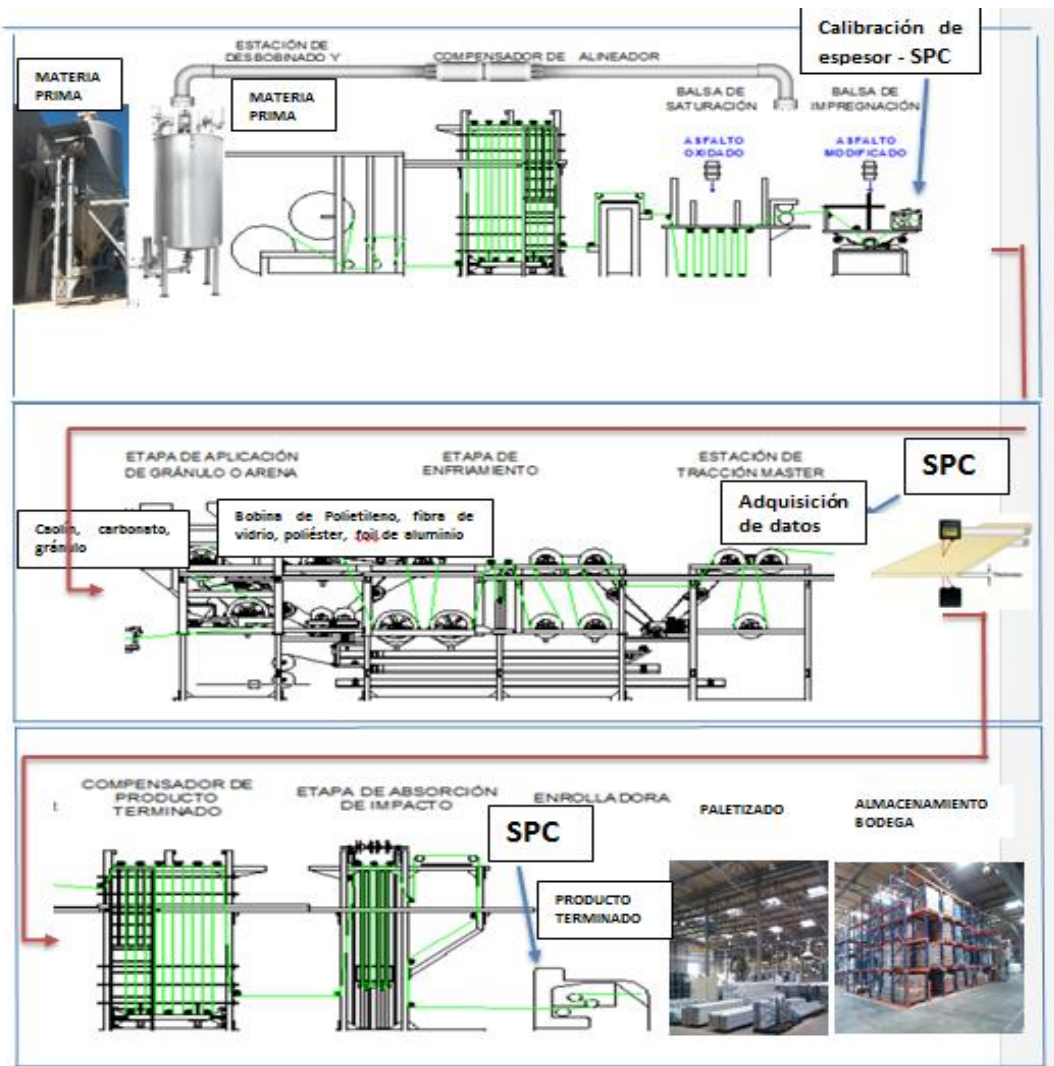
**Tabla 10***Tabla de especificaciones para laminas asfálticas*

PRODUCTO	SUBLÍNEA	PESO ROLLO (Kg)			ESPESOR REFERENCIAL (mm)			LONGITUD (m)	TIPO DE ARMADURA
		Mín	Nominal	Máx	Mín	Nominal	Máx		
Techofielt	1	28	30	32	1,4	1,5	1,6	10	Fibra de vidrio 50g/m2
Alumband	2	32	34	36	1,8	2	2,2	10	Foil aluminio 80 micras
Imperglass	1	32	34	36	2,6	2,8	3	10	Fibra de vidrio 50g/m2
Super K	1	37	39	41	2,8	3	3,2	10	Poliéster 120 g/m2
Imperpol	1	38	40	42	3	3,2	3,4	10	Poliéster 120 g/m2
5k	2	38	40	42	3,8	4	4,2	10	Polietileno 1020X90

Fuente: (IMPTEK, 2017)

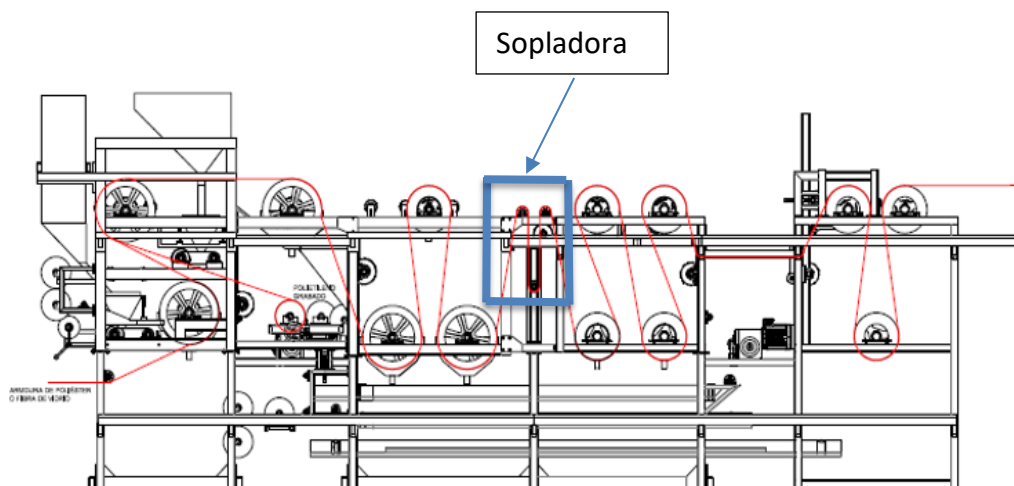
### 3.5. Caracterización de la línea de impermeabilización

El proceso de fabricación de los productos impermeabilizantes indistintamente del tipo de armadura que poseen es el mismo, y es aquí donde se implementará el sistema de control estadístico “SCE”, específicamente en el proceso de fabricación de lámina asfáltica, que abarca desde los tanques de premezclado y mezclado hasta la estación de enrollado. En la figura 24, se muestra el diagrama del proceso de producción de lámina, desde el ingreso de la materia prima, hasta su almacenamiento en las bodegas.

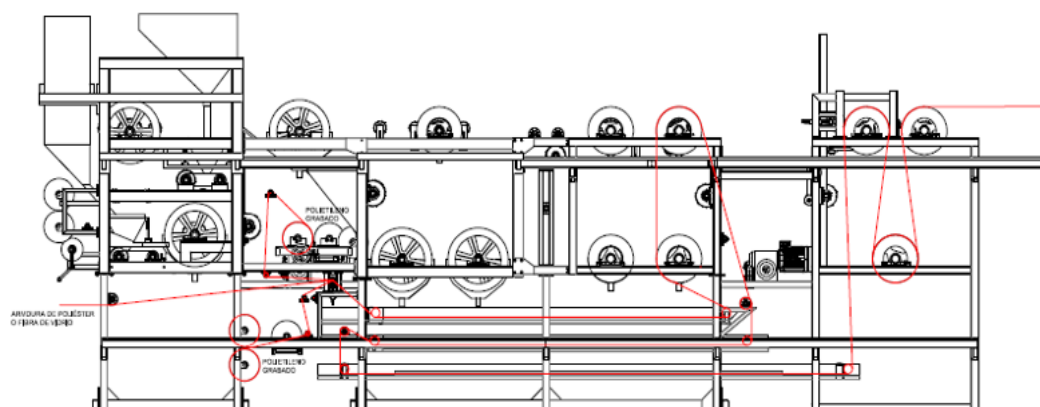


**Figura 24:** Proceso de fabricación, línea de impermeabilización

En la figura 25, se observa el recorrido de la lámina durante el proceso de fabricación en la línea de impermeabilización.



**Figura 25:** Lámina enfriada mediante un soplador



**Figura 26:** Lámina enfriada a través de la piscina

Como se puede observar en las figuras 25 y 26, en color rojo se marca el recorrido de la lámina el mismo que varía según el producto a fabricarse, para el caso de impermeabilizantes con armadura el enfriamiento se realiza por medio de un soplador ubicado en el centro de la etapa de enfriamiento, y para el caso de impermeabilizantes sin armadura el enfriamiento se realiza sumergiendo la lámina en una piscina de agua tal como se aprecia en la figura 26.



## **CAPÍTULO IV**

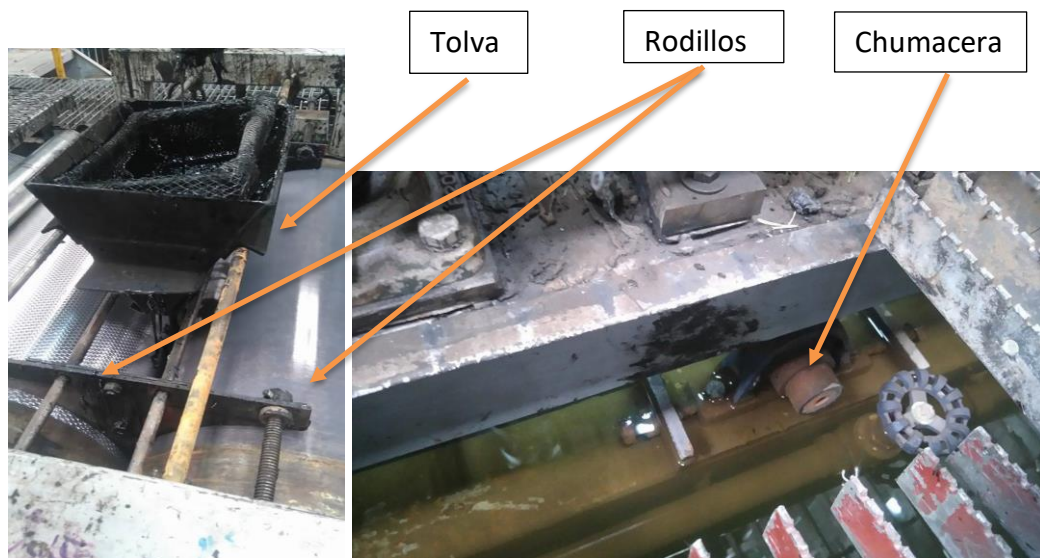
### **4. DISEÑO**

#### **4.1. Diseño del mecanismo de calibración de espesores**

En el presente capítulo se detalla el diseño mecánico del mecanismo de calibración de espesores. Se inicia con un esquema general del mecanismo, para poder entender el funcionamiento del mismo y posteriormente el diseño de detalle de cada una de las partes, se presenta un análisis estático para el diseño de los ejes, luego se verifica a través de la teoría de falla de Goodman el cumplimiento del factor de seguridad, luego se tiene el diseño del sistema de transmisión que permite el desplazamiento del rodillo móvil y finalmente una simulación operativa del mecanismo ensamblado.

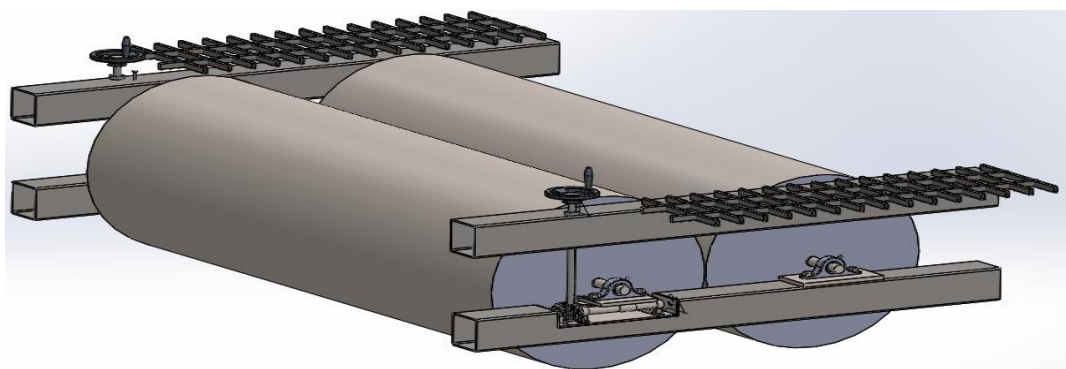
##### **4.1.1. Esquema general del mecanismo de calibración de espesores**

El mecanismo de calibración que se implementará tiene como objetivo regular la calibración del espesor, en la figura 27 se observa el estado actual de la estación de calibración, en dónde se puede apreciar los 2 rodillos laminadores y la tolva por donde baja la mezcla asfáltica a una temperatura aproximada de 160°C.

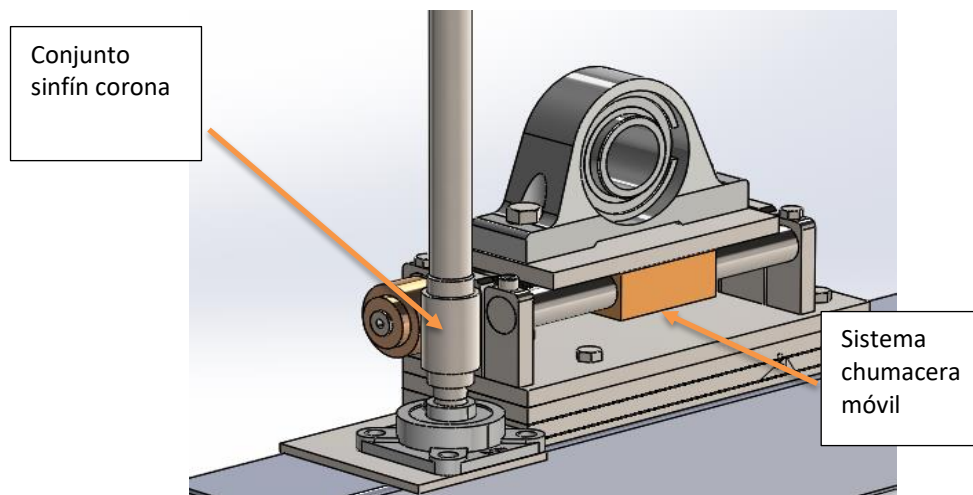


**Figura 27:** Rodillos de calibración en la línea de impermeabilización

Como se puede observar en la figura 27, los rodillos están soportados por 2 chumaceras fijas, una en cada extremo, la mezcla asfáltica que baja por la tolva pasa por medio de los rodillos y se adhiere al foil de aluminio o polietileno según sea el caso y conforma una lámina compacta tipo “sándwich”. La separación entre rodillos es la que determina el espesor final de la lámina para los diferentes productos fabricados. A continuación, en la figura 28 se observa el diseño general del mecanismo de calibración acoplado a los rodillos.



**Figura 28:** Esquema general del mecanismo de calibración de espesores acoplado



**Figura 29:** Mecanismo de calibración de espesores

En la figura 29 se observa el mecanismo de calibración en escala ampliada, el cual cuenta con un rango de desplazamiento de [0-20] mm.

#### 4.1.2. Diseño de detalle

##### 4.1.2.1. Ejes deslizantes de soporte lateral

Para diseñar los ejes se parte de las especificaciones iniciales.

#### Especificaciones Iniciales

El peso del rodillo y las condiciones de trabajo son los factores iniciales para considerarse en el diseño.

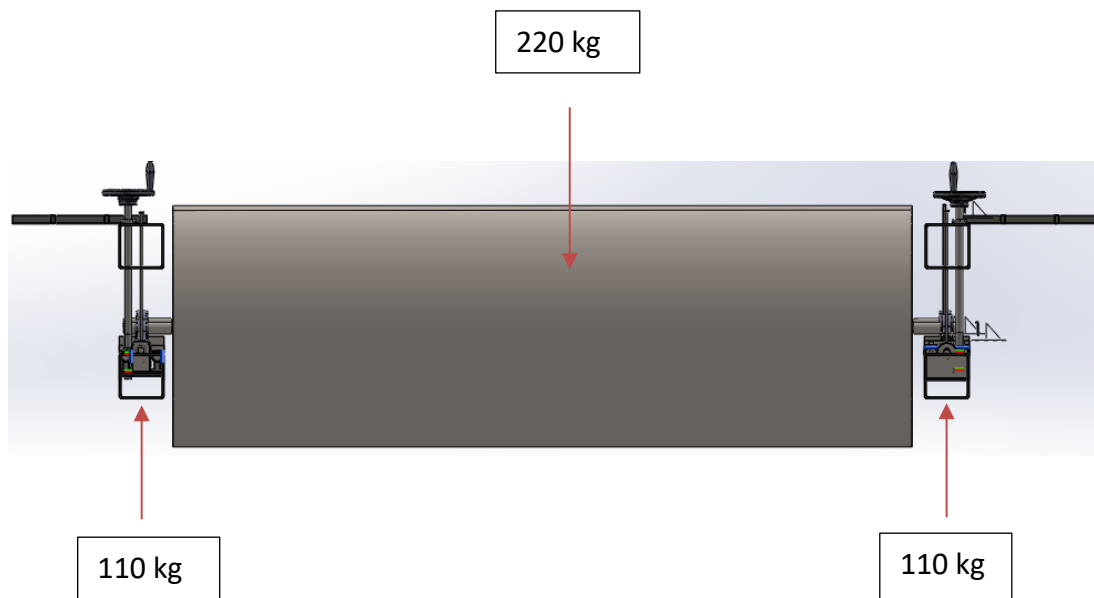
- Peso del Rodillo = 220 [kg]
- Condiciones de trabajo: Bajo agua
- Factor de seguridad >2

Para encontrar el diámetro óptimo del eje empleamos el criterio de ED GOODMAN, por ser una teoría conservadora.

### Análisis estático

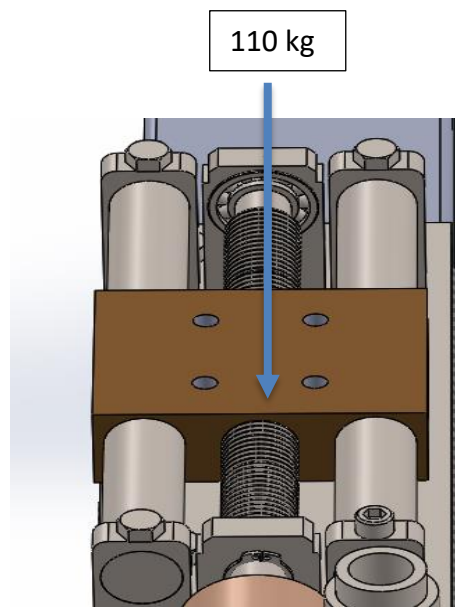
Para realizar el análisis se toma a los ejes como vigas apoyadas en los extremos, el resultado de la distribución de la fuerza que será aplicada al sistema se determina a través de la ecuación [3], tal como se aprecia en la figura 30.

$$\begin{aligned}
 \Sigma F_y &= 0 \\
 R_{Ay} - 220 \text{ kg} + R_{By} &= 0 \\
 R_{Ay} + R_{By} &= 220 \text{ kg-f} \\
 R_{Ay} &= R_{By} \\
 2R_{Ay} &= 220 \text{ kg-f} \\
 R_{Ay} &= 110 \text{ kg-f} = R_{By}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$



**Figura 30:** Distribución de carga para cada sistema

Se tiene que cada carga de 110 [kg] se debe redistribuir entre los 3 ejes que conforman el sistema de calibración para poder diseñar cada eje, en la figura 31 se muestra esta redistribución de cargas.



**Figura 31:** Redistribución de la carga en los ejes

Al tener 3 ejes distanciados de forma equidistante la fuerza se distribuye en 36.66 [kg] para cada eje, para lo cual utilizamos la ecuación [4] y calculamos las reacciones en los apoyos que serán los soportes.

$$\begin{aligned} \Sigma F_y &= 0 & [4] \\ R_{Ay1} - 36.66 \text{ kg} + R_{By1} &= 0 \\ R_{Ay1} + R_{By1} &= 36.66 \text{ kg-f} \\ R_{Ay1} &= R_{By1} \\ 2R_{Ay1} &= 36.66 \text{ kg-f} \\ R_{Ay1} &= 18.33 \text{ kg-f} = R_{By1} \end{aligned}$$

El torque para el eje central (tornillo sinfín) se determina como sigue en la ecuación [5].

$$T = F * \frac{d_{corona}}{2} = 36.66 \text{ kgf} * \frac{48\text{mm}}{2} = 880 \text{ N.m} \quad [5]$$

Como resultado se obtiene 18.33 kg-f en las reacciones, este valor sirve posteriormente para dimensionar los rodamientos del eje central (Tornillo sinfín). Como resultado del presente análisis se tiene solo la acción de las fuerzas normales, para los 2 ejes deslizantes, más adelante en el diseño del tornillo sinfín de avance que es el tercer eje central, se tomará en

consideración un adicional que es el torque generado por el mecanismo sinfín corona. A continuación, se utiliza el criterio conservador de Goodman, para lo cual se aplica la ecuación [6].

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[ 4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} \left[ 4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{1/3} \quad [6]$$

Factor de seguridad  $n \geq 2$

### Propiedades del Eje

Material: Acero Inoxidable 304

E=190000Mpa

(Esfuerzo ultimo) Sut=82.4Kpsi o 568Mpa

(Esfuerzo de Fluencia) Sy=40Kpsi o 276Mpa

### Análisis de Esfuerzos

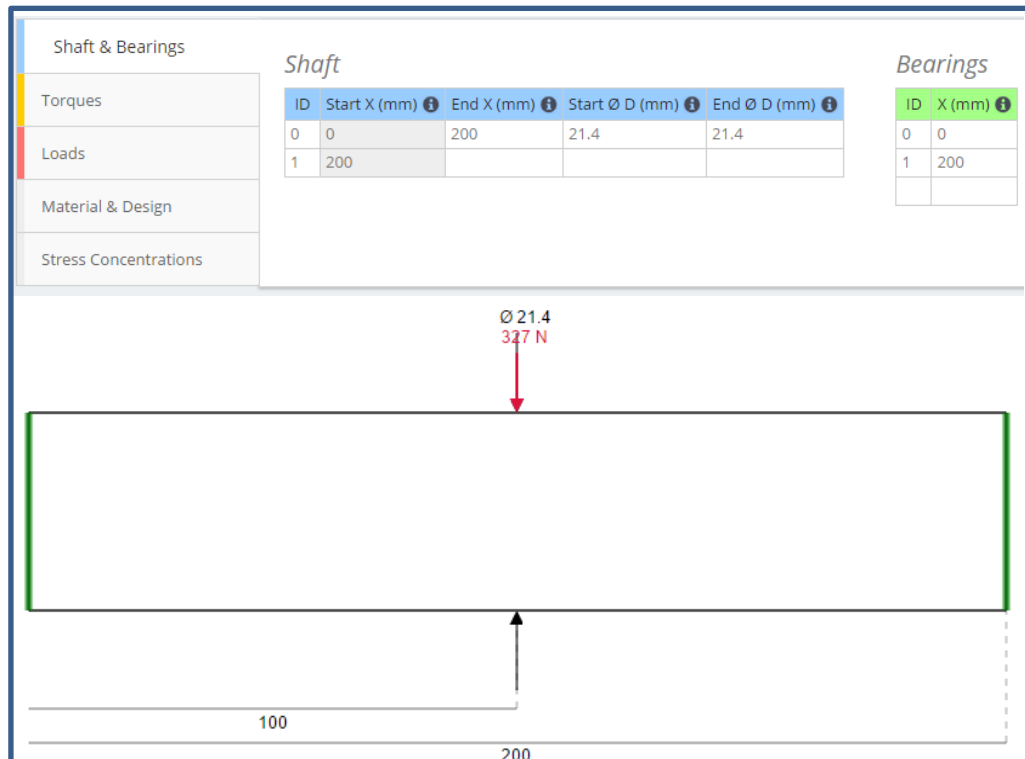
Material		Custom
Young's Modulus (MPa) ⓘ	190000	
Density (kg/m <sup>3</sup> )	8000	
S <sub>U</sub> (MPa) ⓘ	568	

**Figura 32:** Análisis de esfuerzos en SKYCIV

En la figura 32 se observan los resultados del análisis que se realizó al eje en el software SKYCIV, tratándose como un caso hiperestático

Peso del Rodillo  $\cong 220 \text{ Kg}$

En la figura 33 se observa la distribución de carga en 110Kg a cada extremo del rodillo, ahora los 110Kg se reparten para los 3 ejes que conforman el mecanismo de calibración a 36.66 [Kg] a cada uno.



**Figura 33:** Distribución de carga en el rodillo laminador

### Resultados:



**Figura 34:** Momento y cortante máximo en el rodillo laminador

**Factor de Seguridad:**

Factores Modificantes:

Ka=Factor de acabado superficial, Tabla 21, Shigley 2008, Apéndice A

$$k_a = a(Sut)^b$$

$$a = 4.51 \text{ y } b = -0.265$$

$$k_a = 4,51(82400)^{-0,265} = 0,23$$

Kb=Factor de tamaño:

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

$$k_b = 0.879d^{-0,107}$$

$$k_b = 0.879(21.4\text{mm})^{-0,107} = 1.33$$

Kc=Factor de Carga

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases}$$

$$K_c=1$$

Kd=Factor de Temperatura, Tabla 37, Shigley 2008, Apéndice A

$$K_d=1$$

Ke=Factor de Confiabilidad, Tabla 39, Shigley 2008, Apéndice A

$$K_e=1$$

Se=límite de resistencia



$S_e = 0.5 \cdot S_{ut}$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e \quad [7]$$

$$S_e = (0,23)(1,33)(1)(1)(0,5)(568) = 86,87 \text{ MPa}$$

$K_f = 1$ , shigley tabla 3-32

$$d = \left( \frac{16 \cdot 2}{\pi} \left\{ \frac{1}{86,87 \cdot 10^6} [4(1,84 \cdot 16,35)^2 + 3(1,5 \cdot 0)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{568 \cdot 10^6} [4(1 \cdot 16,35)^2 + 3(1,5 \cdot 0)^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{1/3} \quad [8]$$

$$d = 21,72 \text{ [mm]}$$

Comprobación del factor de seguridad:

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[ 4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} \left[ 4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad [9]$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi \cdot 0,02172^3} \left\{ \frac{1}{86,87 \cdot 10^6 \text{ Pa}} [4(1,84 \cdot 16,35 \text{ Nm})^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{568 \cdot 10^6 \text{ Pa}} [4(1 \cdot 16,35 \text{ Nm})^2]^{\frac{1}{2}} \right\}$$

$$\frac{1}{n} = 0,3898$$

$$n = 2,56$$

FS=2.56, No falla por Flexión

Este Factor es el mismo para los 2 ejes de los extremos del sistema de calibración.

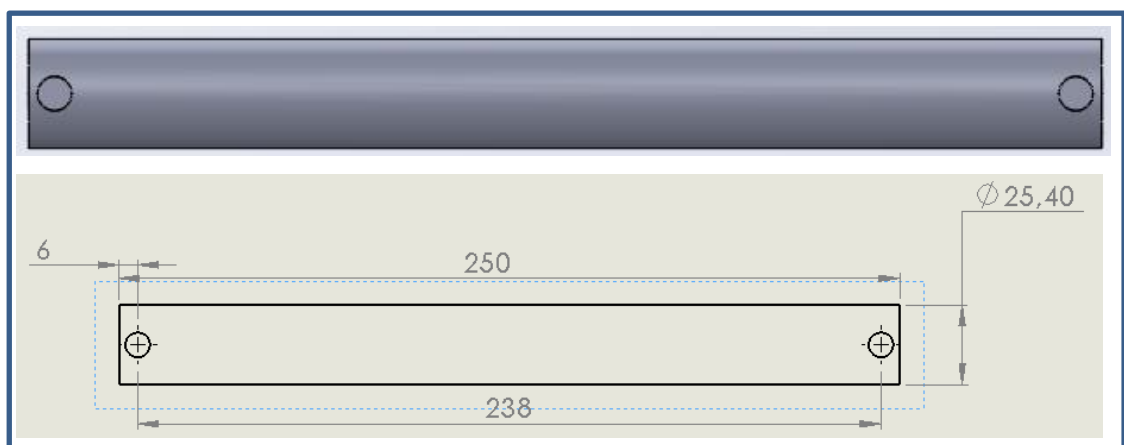
En la tabla 11, se indican las especificaciones finales del eje deslizante.

**Tabla 11**

*Tabla de especificaciones para el eje deslizando*

Ejes deslizantes laterales	
Material	Acero inoxidable 304
Diámetro exterior	25.4 mm ó 1"
Longitud	250 mm

En la figura 35, se observa un bosquejo del diseño final del eje deslizando

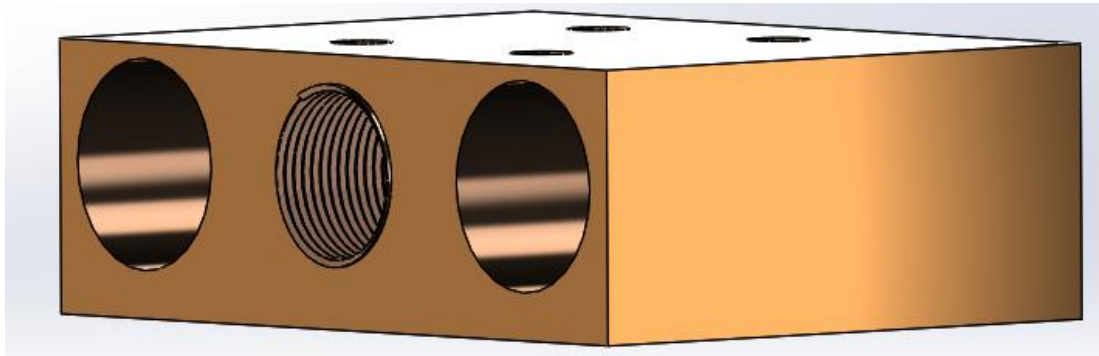


**Figura 35:** Eje deslizando

En los extremos del eje deslizando mostrado en la figura 35, se aprecia 2 agujeros roscados, que tienen el objetivo de sujetar los ejes deslizantes a los parantes de soporte

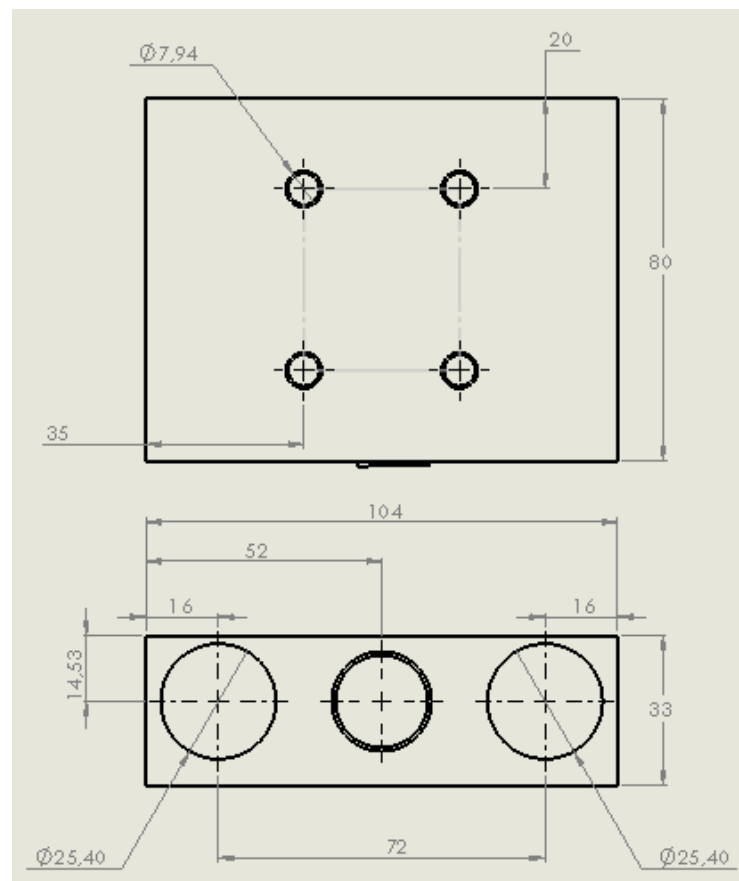
#### 4.1.2.2. Bocín cuadrangular

El bocín cuadrangular es de doble agujero y de un material de aleación de bronce - silicio, el cual cumple la función de permitir el desplazamiento de la chumacera que soporta al rodillo laminador sobre los dos ejes deslizantes de soporte lateral, en la figura 36, se observa el esquema general.



**Figura 36:** Esquema general bocín cuadrangular doble

El diseño del bocín se realizó tomando en consideración la distancia entre centros de los ejes deslizantes y el tornillo sinfín de avance que se encuentran montados sobre la plancha base de soportes. En la figura 37, se observa las dimensiones del bocín.



**Figura 37:** Bocín cuadrangular de bronce silicio

Como se puede apreciar en la figura 37, en la vista superior se tiene 4 agujeros roscados 5/16", que sirven para sujetar el bocín a la plancha superior de la chumacera.

#### 4.1.2.3. Tornillo sinfín de avance

Para el tornillo sin fin se debe considerar las especificaciones iniciales expuestas anteriormente y además se tiene el siguiente requerimiento:

La relación de transmisión es 5:1, lo que indica que el operador debe realizar 5 giros al volante para que el sistema chumacera móvil recorra 1[mm], con el propósito de reducir el tiempo de calibración. Se debe considerar también la carga resultante que soporta el tornillo sinfín. De la figura 31, obtenemos el valor de la carga igual a 36.70 [kg].

A continuación, a través del criterio de Goodman se procede a encontrar el diámetro óptimo del eje de forma similar como se hizo para los ejes deslizantes. Repetimos la ecuación (4), utilizada anteriormente, y los resultados son iguales.

$$d = \left( \frac{16 * 2}{\pi} \left\{ \frac{1}{86.87 * 10^6} [4(1.84 * 16.35)^2 + 3(1.5 * 0)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{568 * 10^6} [4(1 * 16.35)^2 + 3(1.5 * 0)^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{1/3} \quad [10]$$

$$d = 21.72[mm]$$

Para el caso del Tornillo sinfín localizado en la mitad de los 2 ejes, se varía el diámetro con el propósito de no exceder los costos, respetando el FS. El diámetro elegido entonces es: **d=22.22 mm o 7/8 "**, y el material es el mismo de Acero Inoxidable 304. Por tanto, el cálculo para verificar el factor de seguridad se repite modificando el diámetro del eje.

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[ 4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[ 4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\} \quad [11]$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi 0,022^3} \left\{ \frac{1}{86,87 \cdot 10^6 Pa} [4(1,84 * 16,35 Nm)^2]^{1/2} + \frac{1}{568 \cdot 10^6 Pa} [4(1 * 16,35 Nm)^2]^{1/2} \right\}$$

**Obteniendo:**

FS=2.10 (no falla por flexión)

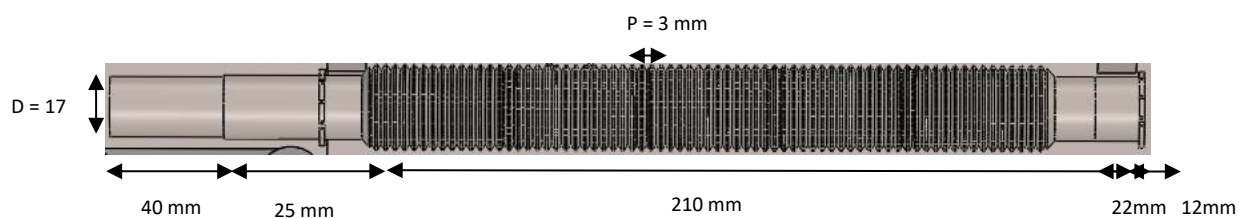
En la tabla 12 se muestran las especificaciones finales para el tornillo sinfín en base al análisis antes realizado.

**Tabla 12**

*Tabla de especificaciones para tornillo sinfín de avance*

Tornillo Sinfín de avance	
Material	Acero inoxidable 304
Diámetro exterior	22.22 mm ó 7/8"
Longitud	320 mm
Paso	3mm

En la figura 38, se observa el diseño final del tornillo sinfín.



**Figura 38:** Tornillo sinfín de avance

## Selección de rodamientos

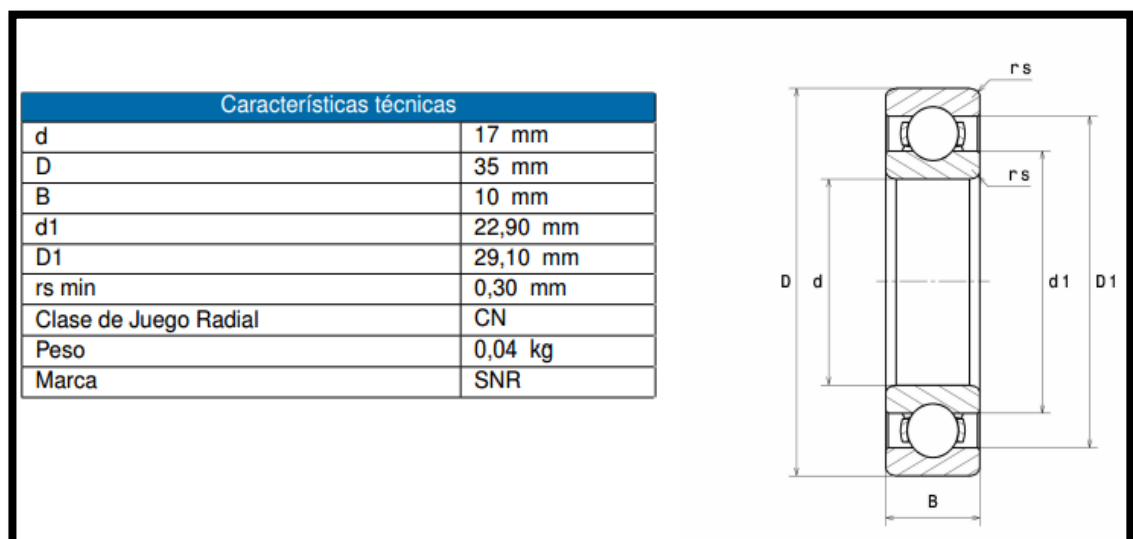
Para seleccionar los rodamientos que van en los extremos del tornillo, se toma en cuenta el diámetro final en los extremos y la carga que se calcula con la ecuación [5]. Los rodamientos se determinan con criterio de vida infinita, de la siguiente manera:

Para un cojinete de bolas:  
 $a=3$

$$C_{10} = F_D \left( \frac{L_D * n_D * 60}{L_R * n_R * 60} \right)^{\frac{1}{a}}$$

$$C_{10} = 0,35 * \left( \frac{14000h * 10 \text{ rpm} * 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,33 \text{ KN}$$

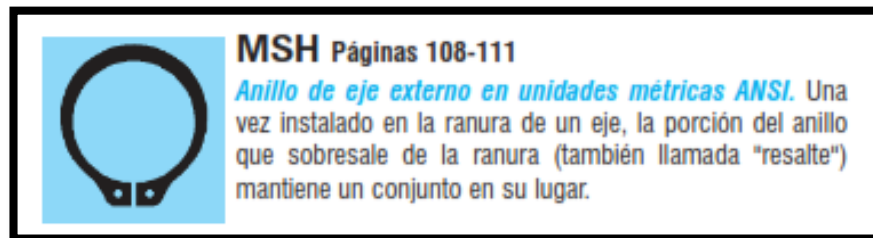
Por lo tanto, sabiendo el diámetro del eje en los extremos es de 17 mm y  $FRB=0.33KN$ , se escoge el rodamiento NTN **6003**, las especificaciones se muestran en la figura 39.



**Figura 39:** Rodamiento SKF 6003

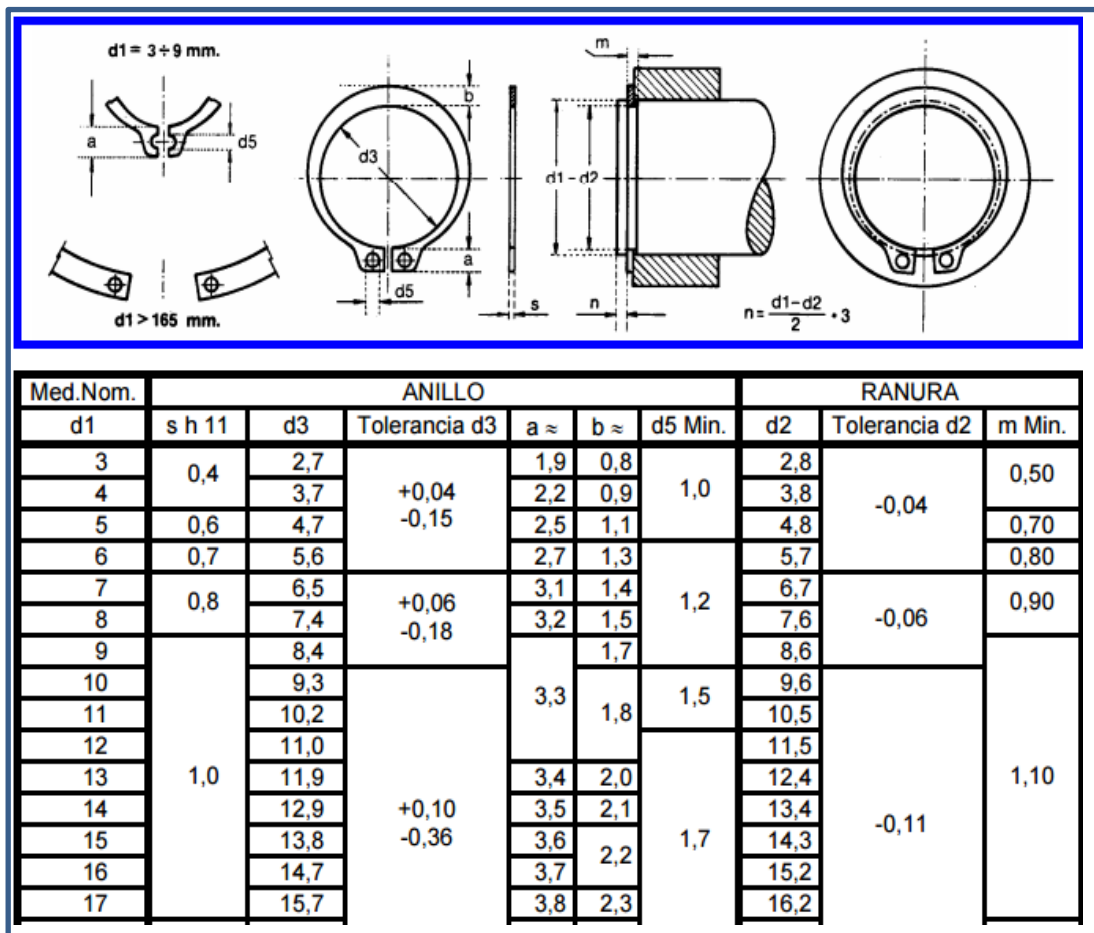
## Selección de anillo de retención

Para el anillo retenedor de los cojinetes, se usa el catálogo de “Rotor Clip”, de dónde se selecciona un anillo retenedor tipo MSH, es decir un anillo de eje externo en unidades métricas ANSI, ya que este mantiene el conjunto en su lugar, tal y como lo indica la figura 40.



**Figura 40:** Anillo de retención MSH

Para un  $d=17 \text{ mm}$  del eje del cojinete, será necesario, un anillo MSH-17, el cual tiene las siguientes características:



**Figura 41:** Características del anillo de retención MSH-17

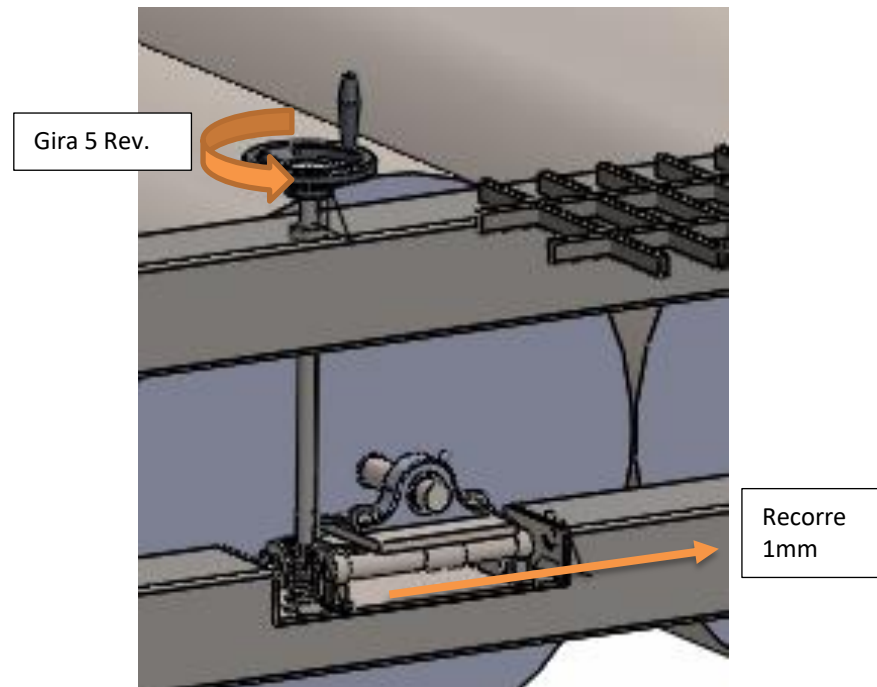
#### 4.1.2.4. Mecanismo sinfín corona

El mecanismo sinfín corona es el encargado de transformar el movimiento vertical del mecanismo de calibración en movimiento horizontal.

##### Requerimientos iniciales

Como requerimiento principal se tiene un desplazamiento milimétrico de los rodillos, por tanto, se estableció con el operador de la maquinaria una relación de transmisión de 5:1, en otras palabras, el operador debe dar 5 vueltas al volante con el fin de establecer una distancia de separación entre rodillos de 1mm, en la figura 42 se aprecia esta relación.





**Figura 42:** Mecanismo de calibración

### Calculo sinfín corona

Se utiliza la ecuación [12] para encontrar el número de dientes de la corona.

#### Requerimientos:

Relación de transmisión 5:1, por tanto, la relación del sinfín a la corona debe ser 15:1, lo que nos permite determinar el número de entradas del sinfín  $e1=2$ .

$$n1 * e1 = n2 * z2 \quad [12]$$

$$15 * 2 = 1 * Z2$$

$$Z2 = 30th$$

De los resultados anteriores se concluye las siguientes características para el sinfín corona, las mismas que se muestran en la tabla 13.

**Tabla 13**

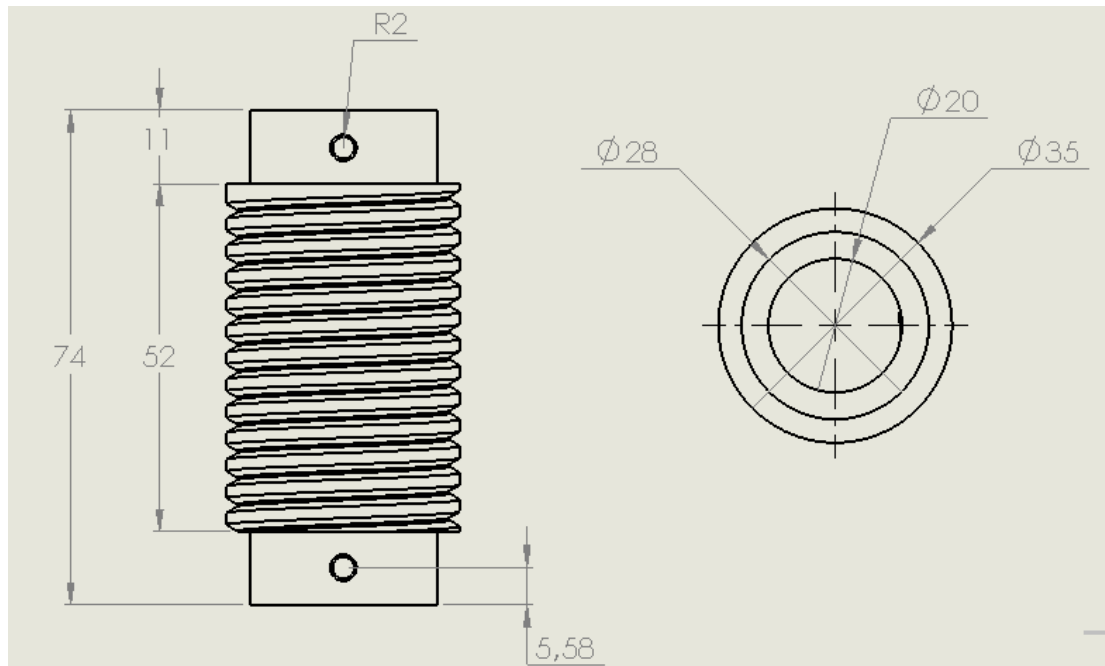
*Tabla de especificaciones para el conjunto sinfín corona*

Sinfín corona	
Material sinfín	Acero inoxidable 304
Material Corona	Bronce Silicio
Diámetro exterior sinfín	35 mm
Diámetro interior sinfín	20 mm
Número de entradas sinfín	2
Diámetro exterior corona	50 mm
Diámetro interior corona	17 mm
Número de dientes corona	30

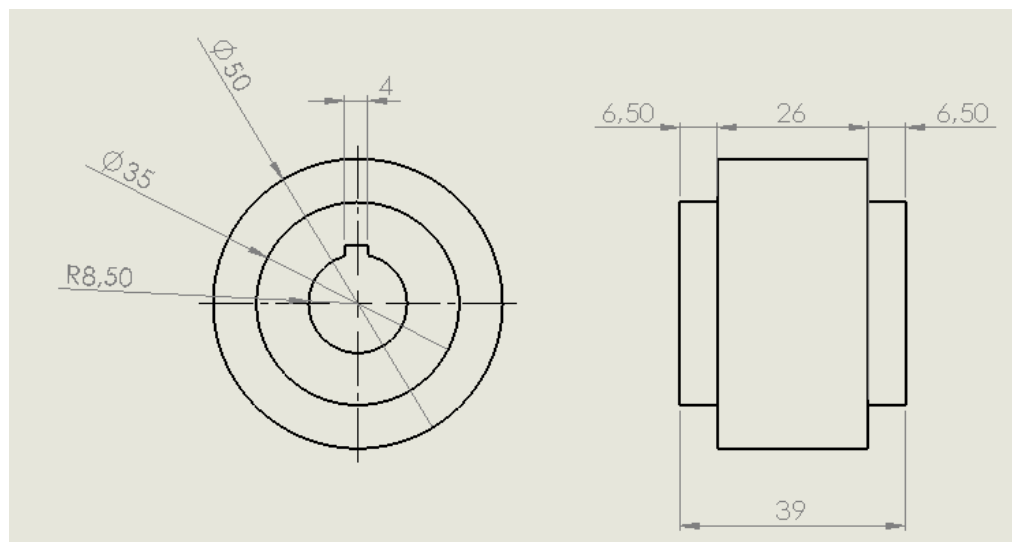
A continuación, en las figuras 43, 44 y 45, se observa el diseño del sinfín corona con sus dimensiones finales.



**Figura 43:** Conjunto sinfín corona acoplado



**Figura 44:** Sinfín de acero inoxidable



**Figura 45:** Corona de bronce silicio

#### 4.1.2.5. Eje de transmisión sinfín corona

El eje de transmisión está sujeto entre 2 chumaceras de pared y en su extremo superior está anclado a un volante el cual permite girar el sinfín, a

continuación, se describe el diseño del eje utilizando el criterio de Goodman, y finalmente la selección de los rodamientos

A continuación, se utiliza la ecuación [4], teniendo en cuenta la presencia del torque.

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[ 4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} \left[ 4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{1/3} \quad [13]$$

Se reemplaza los datos respectivos en la ecuación [13], que son básicamente los expuestos anteriormente para el diseño de los ejes deslizantes y se obtiene el diámetro del eje.

$$d = \left( \frac{16 * 2}{\pi} \left\{ \frac{1}{86.87 * 10^6} \left[ 4(1.84 * 0)^2 + 3(1.5 * 16.35)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{568 * 10^6} \left[ 4(1 * 0)^2 + 3(1.5 * 16.35)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{1/3} \quad [14]$$

$$d = 18.72 [mm]$$

El diámetro final del eje se dimensionó a:  $d = 20 [mm]$  y en los extremos  $d = 19.05 \text{ mm}$  o  $\frac{3}{4}$ " por disponibilidad de elementos comerciales (chumaceras).

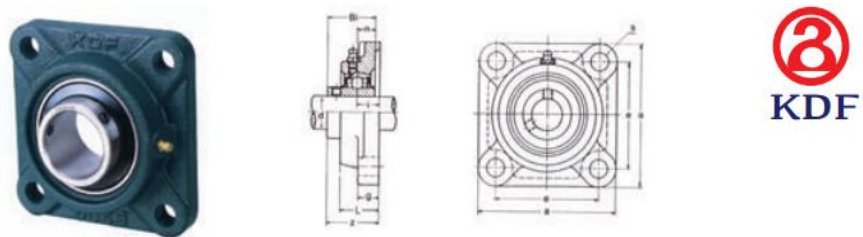
### Selección de rodamientos:

Los rodamientos se determinaron con criterio de vida infinita, de la siguiente manera, para un cojinete de bolas  $a = 3$ , y se realiza el respectivo cálculo de acuerdo con la ecuación [8].

$$C_{10} = F_D \left( \frac{L_D * n_D * 60}{L_R * n_R * 60} \right)^{\frac{1}{a}}$$

$$C_{10} = 0,35 * \left( \frac{14000h * 60 \text{ rpm} * 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 1,29 \text{ KN}$$

Por lo tanto, se conoce el diámetro del eje en los extremos que es de 19.05 [mm] y  $FRB=1.29KN$  y en base a esto se escoge el rodamiento KDF **UCF 204 - 12**, que corresponde a una chumacera de pared que es lo requerido para poder fijar el eje. Ver figura 46.

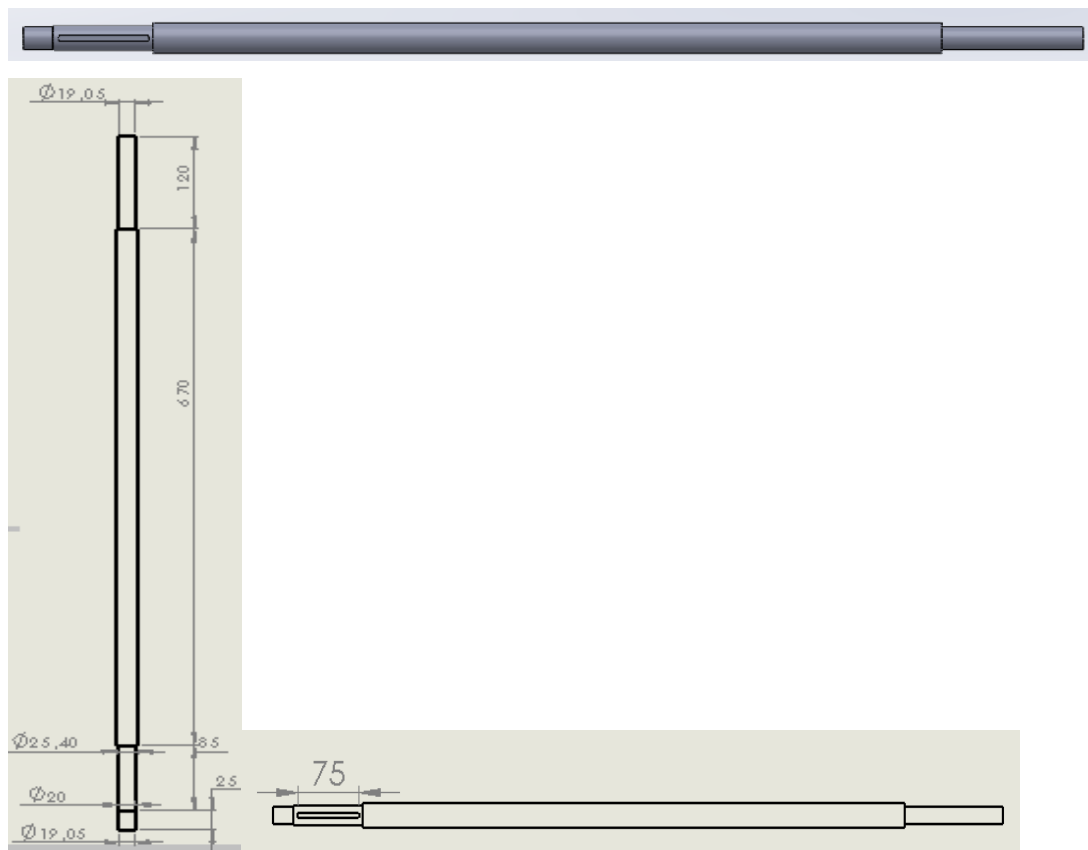


CÓDIGO IBCA	Diám. del eje		Dimensiones (mm)									Perno	Tipo de rodami.	Soporte	Masa kg
	mm	pulg	a	e	i	g	L	s	Z	Bl	n				
UCF 204-12	19.05	3/4	86	64	15	12	25.5	12	33.3	31	12.7	M10 (W3/8)	204-12	F 204	0.61

**Figura 46:** Especificaciones chumacera de pared UCF - 204

Vale recalcar que un extremo del eje va sumergido bajo el agua, por tanto, se utiliza una chumacera de las mismas características que la mostrada en la figura 46, pero de material inoxidable.

A continuación, en la figura 47, se tiene el diseño final del eje de transmisión del conjunto sinfín corona.



**Figura 47:** Eje de transmisión sinfín corona

#### 4.1.2.6. Volante

El volante permite el movimiento del eje de transmisión sinfín corona. En la figura 48 se muestra el diseño general del volante, dónde el diámetro del volante se seleccionó en 150 [mm], con el objetivo de proporcionar comodidad al operador y a la vez estandarizar la dimensión radial del volante igual a la del volante del mecanismo delimitador que se encuentra adyacente al sistema de calibración.



**Figura 48:** Volante de aluminio

En la tabla 14, se detallan las características y dimensiones del volante.

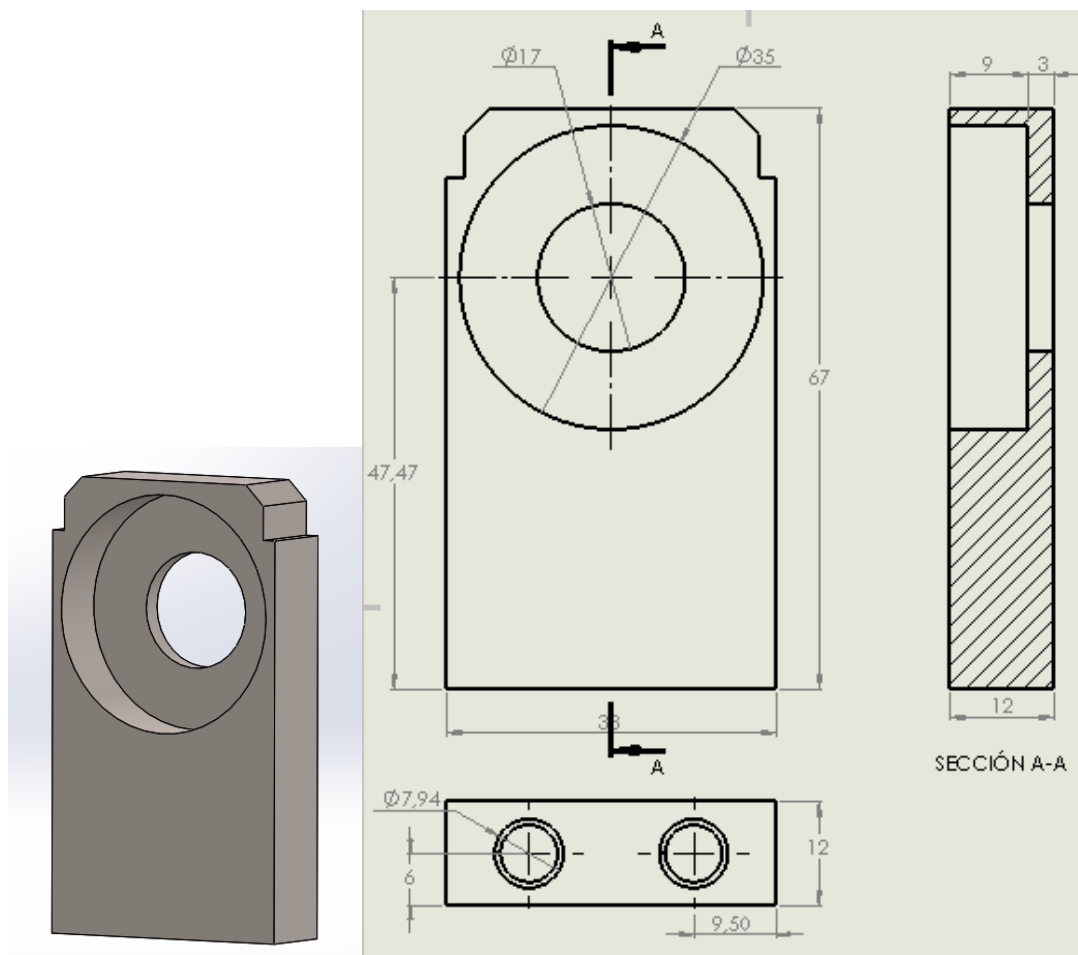
**Tabla 14**

*Tabla de especificaciones para el volante*

Volante manivela	
Material	Aluminio
Diámetro externo	140 mm
Diámetro interno	19.05mm (3/4")
Longitud manivela	100 mm

#### 4.1.2.7. Parantes de soporte para el tornillo sinfín de avance

Los parantes que soportan el tornillo sinfín de avance tienen una estructura más robusta que los parantes para los ejes deslizantes, debido a que contienen 1 rodamiento, el cual permite el giro del tornillo sinfín. En base a las dimensiones del rodamiento NTN 6003 que fue seleccionado se realiza el diseño final de los parantes que soportaran al tornillo, tal como se puede apreciar en la figura 49.



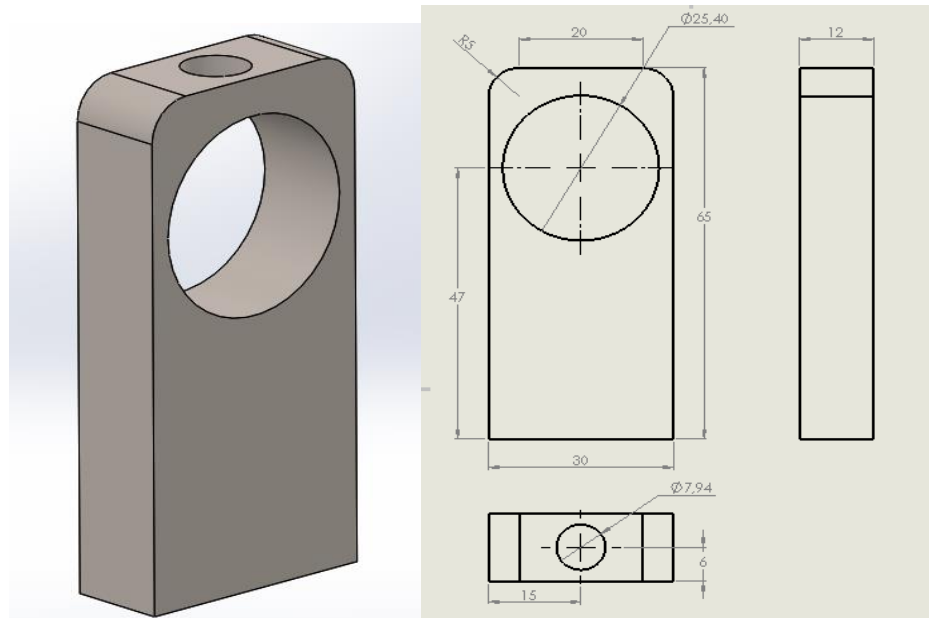
**Figura 49:** Parante de soporte tornillo sinfín de avance

Como se puede apreciar en la figura 49, el parante se diseñó de acuerdo con las dimensiones del rodamiento NTN 6003, en la vista inferior se puede observar que el parante va sujeto a la plancha base de soportes por medio de pernos avellanados  $5/16'' \times 3/4''$ .

#### 4.1.2.8. Parantes para los ejes deslizantes

Los parantes para los ejes deslizantes tienen similar estructura que los del tornillo sinfín, en la figura 50 se observa el diseño final.



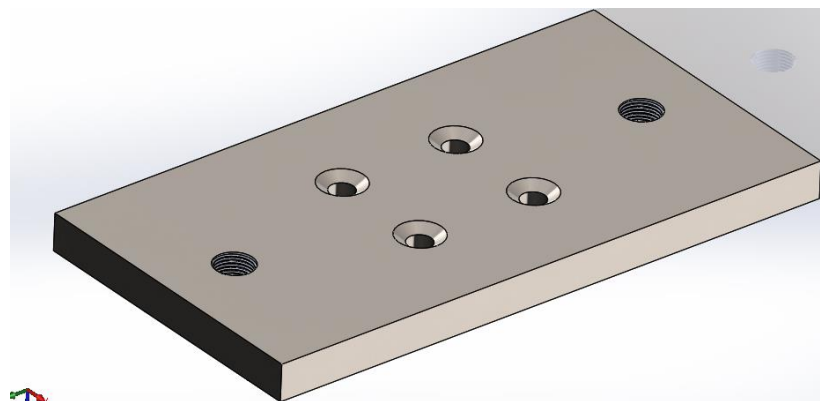


**Figura 50:** Parante de soporte para ejes deslizantes

En la figura 50 se puede apreciar, que en la vista superior se tiene un agujero por el cual pasa un perno 5/16" x 3/4" que sirve como prisionero para sujetar el eje deslizante al parante.

#### 4.1.2.9. Dimensionamiento de la plancha superior para las chumaceras

En la figura 51, se observa el diseño general de la plancha superior que soportará la chumacera de los rodillos.

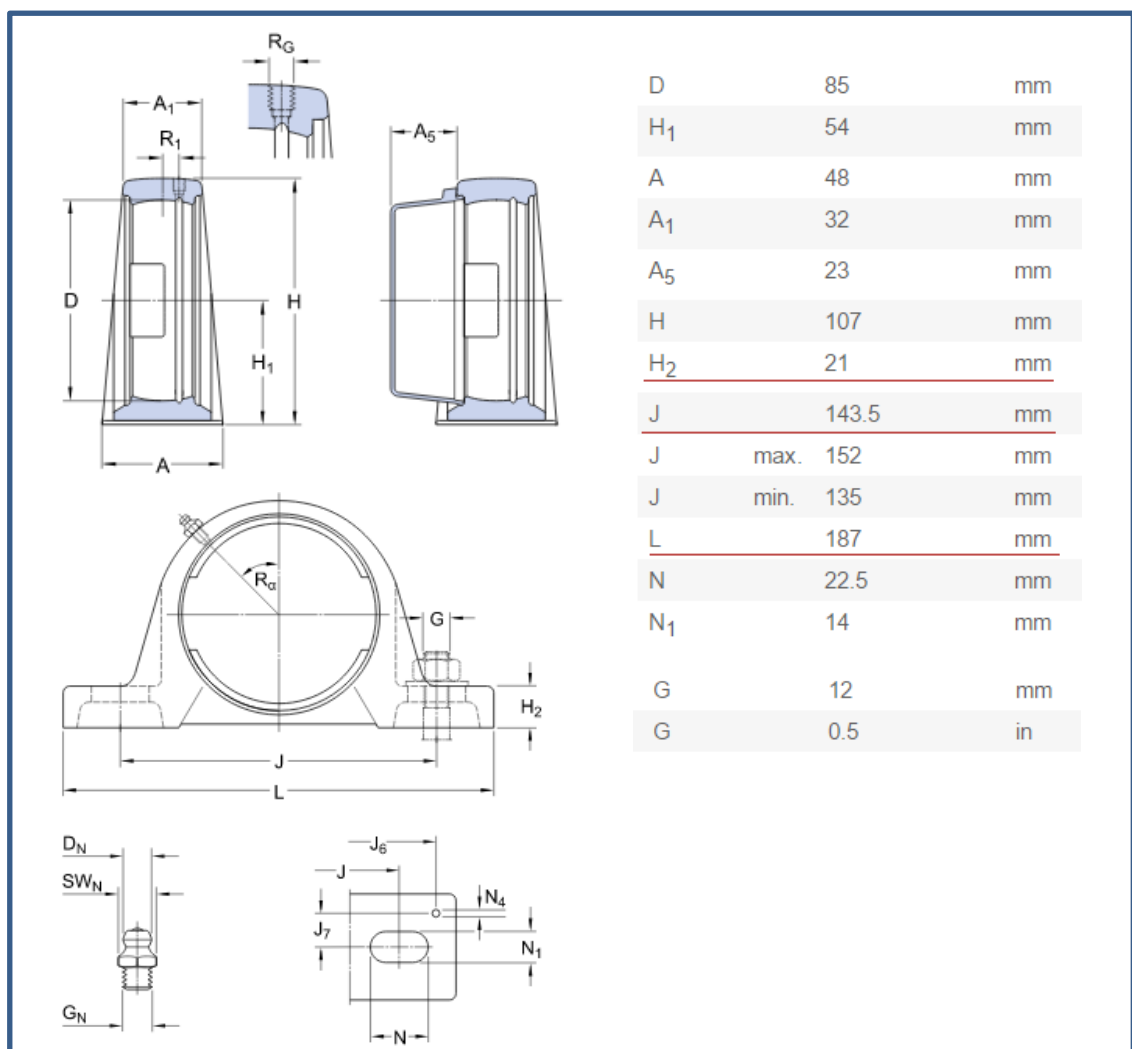


**Figura 51:** Plancha superior de soporte de chumacera

Como requerimientos previos para poder dimensionar la plancha superior se tiene los siguientes:

- Chumacera SKF SY509M, es el tipo de chumacera que usan todos los rodillos laminadores, por tanto, en base a sus características se realizó el dimensionamiento de la plancha superior.
- El sistema trabaja bajo el agua, por tanto, el material debe ser inoxidable.

A continuación, en la figura 52, se indican las características técnicas de la chumacera en mención.



**Figura 52:** Chumacera SKF SY509M, especificaciones

De la figura 52, se obtienen los datos necesarios para dimensionar la plancha, que son los siguientes:

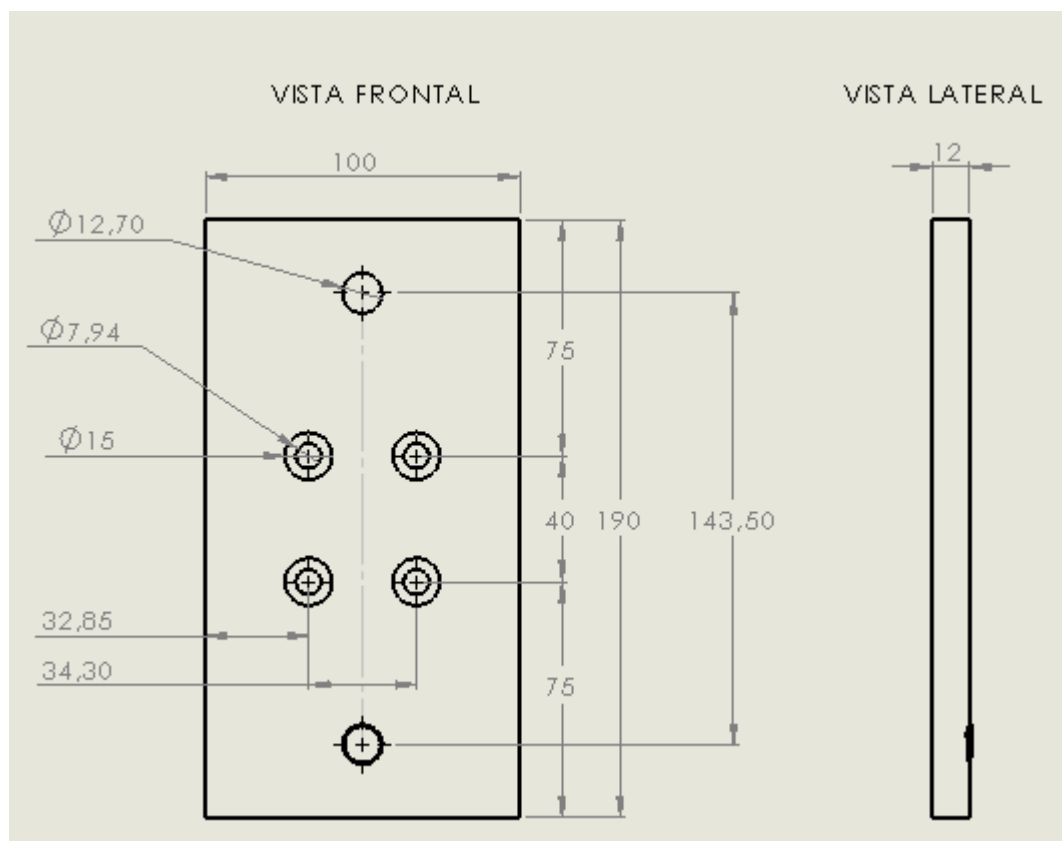
Distancia  $L = 187$  [mm]

Distancia  $J = 143.50$  [mm]

Altura  $H_2 = 21$  [mm]

Tipo de perno  $G = 0.5$  [in] x  $1 \frac{1}{4}$

Con los datos provistos anteriormente, se diseña la plancha superior de soporte, tal como se muestra en la figura 53.

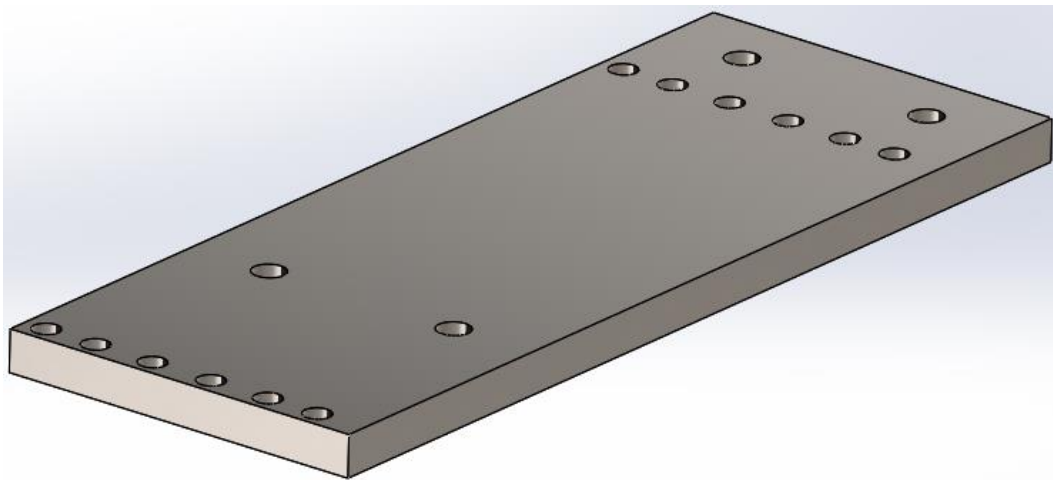


**Figura 53:** Plancha superior de soporte de chumacera

En la figura 53, se puede observar las dimensiones finales en base a las especificaciones de la chumacera, así como los 4 agujeros avellanados para sujetar el bocín cuadrangular.

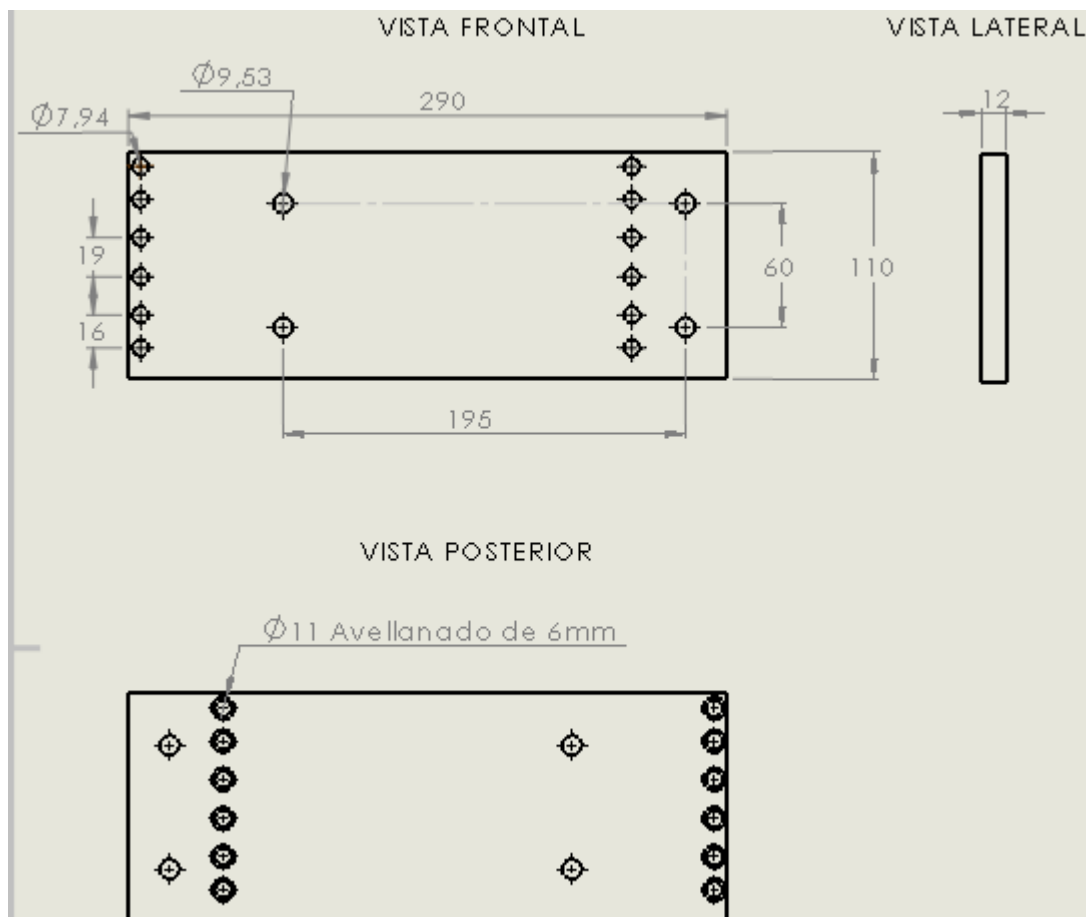
#### 4.1.2.10. Dimensionamiento de la plancha base de los soportes

Esta plancha es la base donde se fijan todos los parantes con todos sus elementos y piezas, en la figura 54 se muestra el diseño de la plancha base de soportes.



**Figura 54:** Dimensionamiento de la plancha base de soportes

A continuación, en la figura 55, se tiene el diseño final de la plancha base de soportes con todas sus dimensiones.

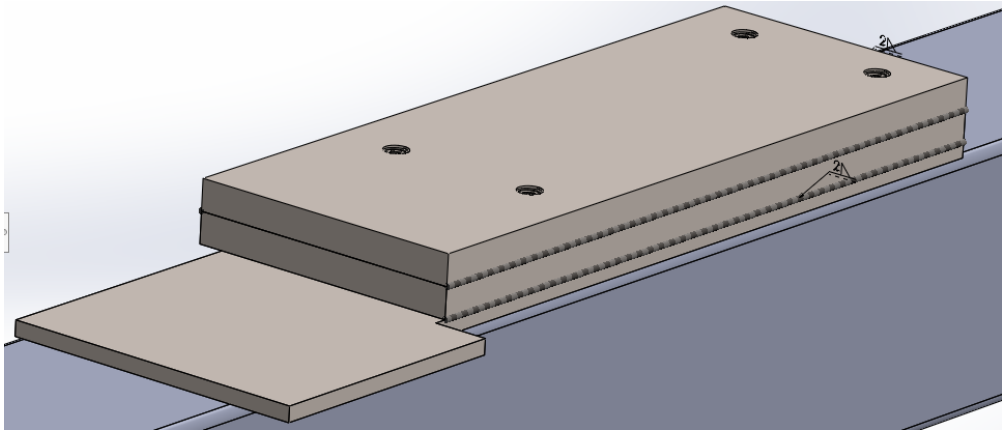


**Figura 55:** Plancha base de soportes

Como se observa en la figura 55, los parantes van sujetos a esta plancha base de soportes por medio de pernos avellanados 5/16" x 1" y a la vez ésta va sujeta a la plancha base de estructura mediante 4 pernos 3/8" x 1".

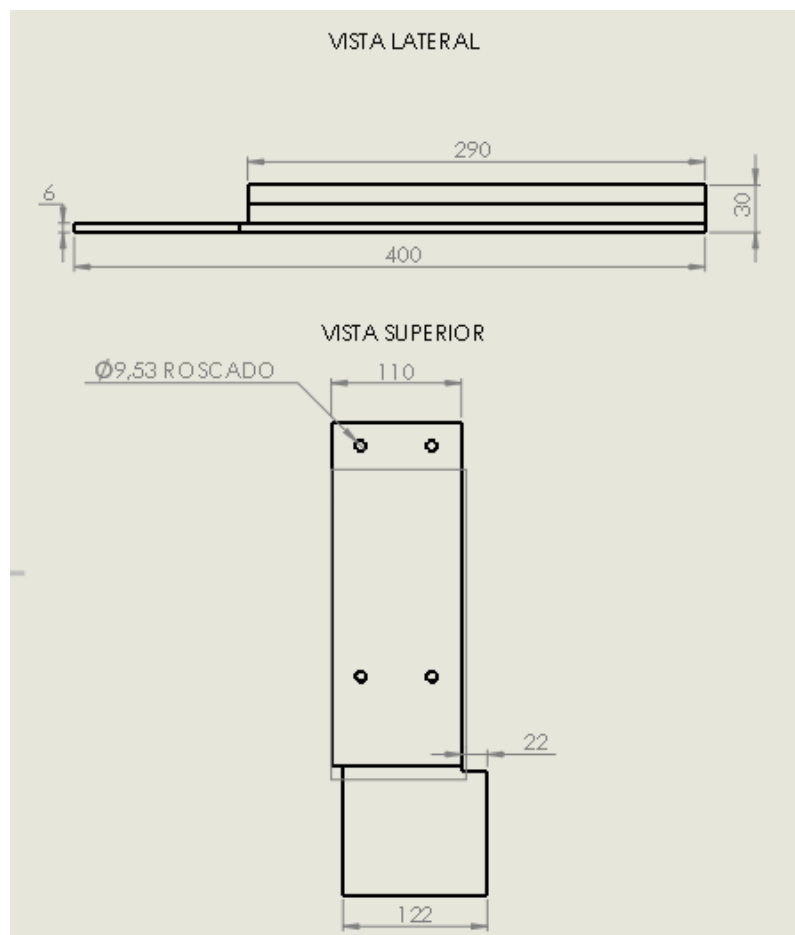
#### 4.1.2.11. Dimensionamiento de la plancha base de la estructura

La plancha base de estructura va fijada de forma permanente en la estación de calibración de la línea de impermeabilizantes sin armadura mediante soldadura de arco con electrodo revestido E6013, y a esta se ensambla la plancha base de soportes mediante pernos 3/8" x 1". En la figura 56 se observa el diseño general.



**Figura 56:** Plancha base de la estructura

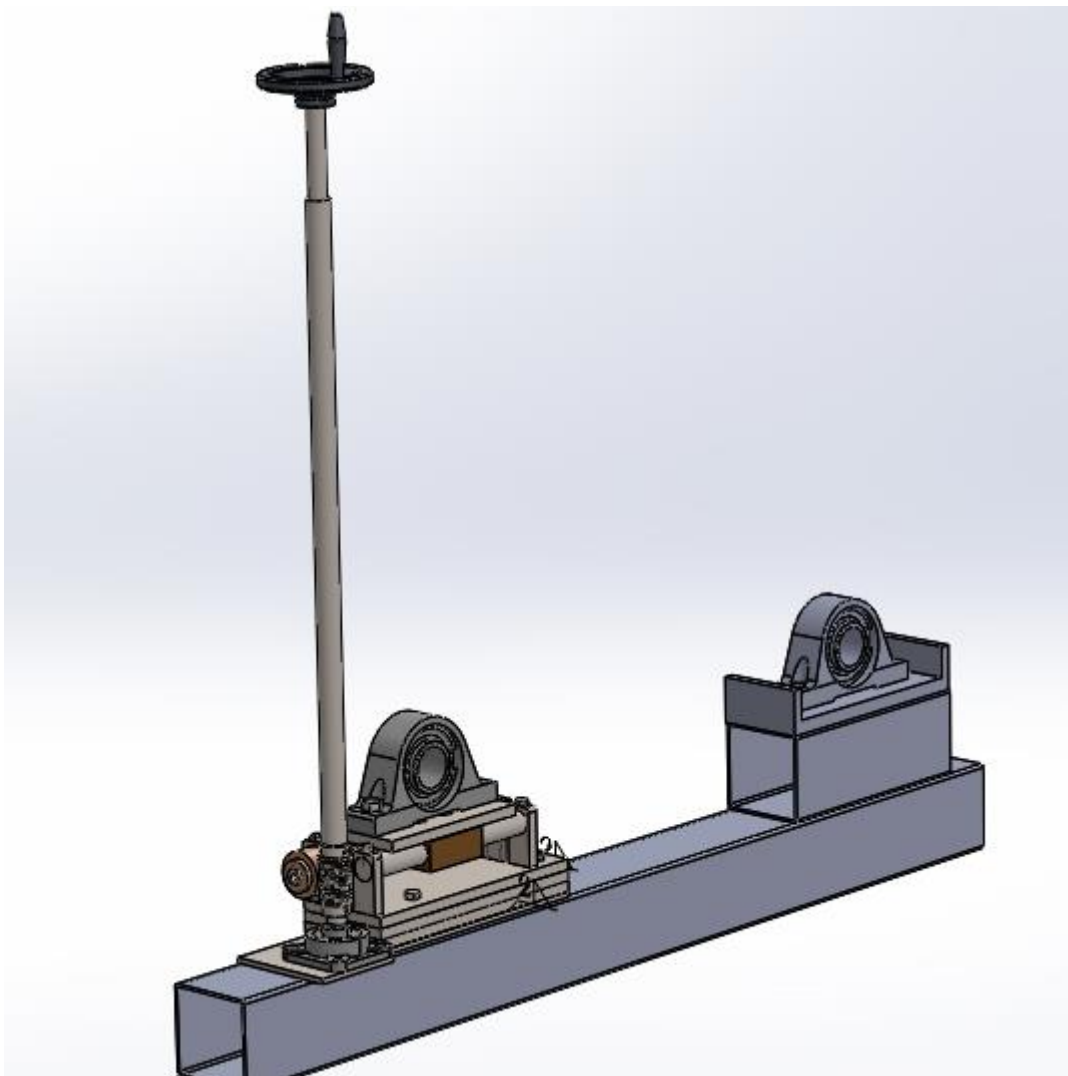
En la figura 57, se muestra las dimensiones de la plancha base de estructura.



**Figura 57:** Dimensiones plancha base de estructura

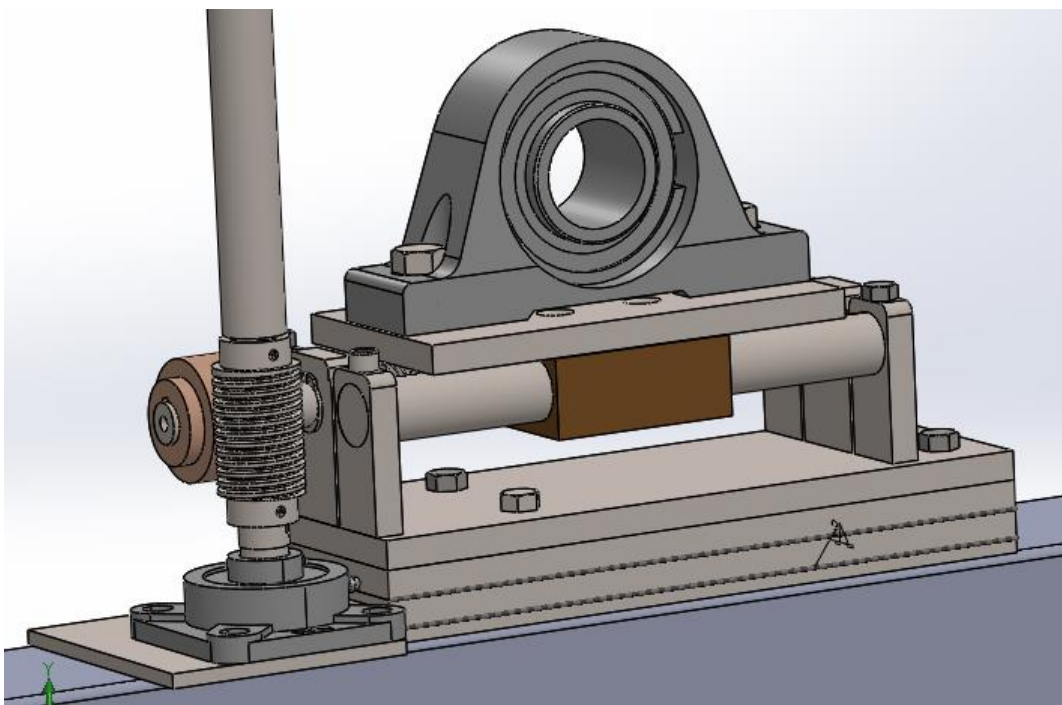
#### 4.1.3. Simulación operativa del sistema

La simulación operativa del mecanismo de calibración de espesores se realizó en el software de diseño cad “SolidWorks”. El diseño final presenta una arquitectura modular, la cual muestra un sin número de ventajas a la hora de ejecutar el mantenimiento del mecanismo. En la figura 58, se muestra el resultado de la simulación operativa.



**Figura 58:** Diseño final del sistema de calibración

En la figura 59, se tiene el diseño final ensamblado y montado sobre el tubo cuadrado de 100 x 100 mm que forma parte de la estructura de la estación de calibración de la línea de impermeabilizantes sin armadura. En la parte derecha de la figura, se ve un trozo de tubo cuadrado de 100 x 270, sobre el cual quedara montado de forma fija la otra chumacera perteneciente al rodillo fijo, de forma que solo el rodillo móvil tenga movimiento.



**Figura 59:** Mecanismo de calibración de espesores

En la figura 59 se puede observar el mecanismo de calibración de espesores totalmente ensamblado y fijado al tubo cuadrado mediante soldadura de arco eléctrico.

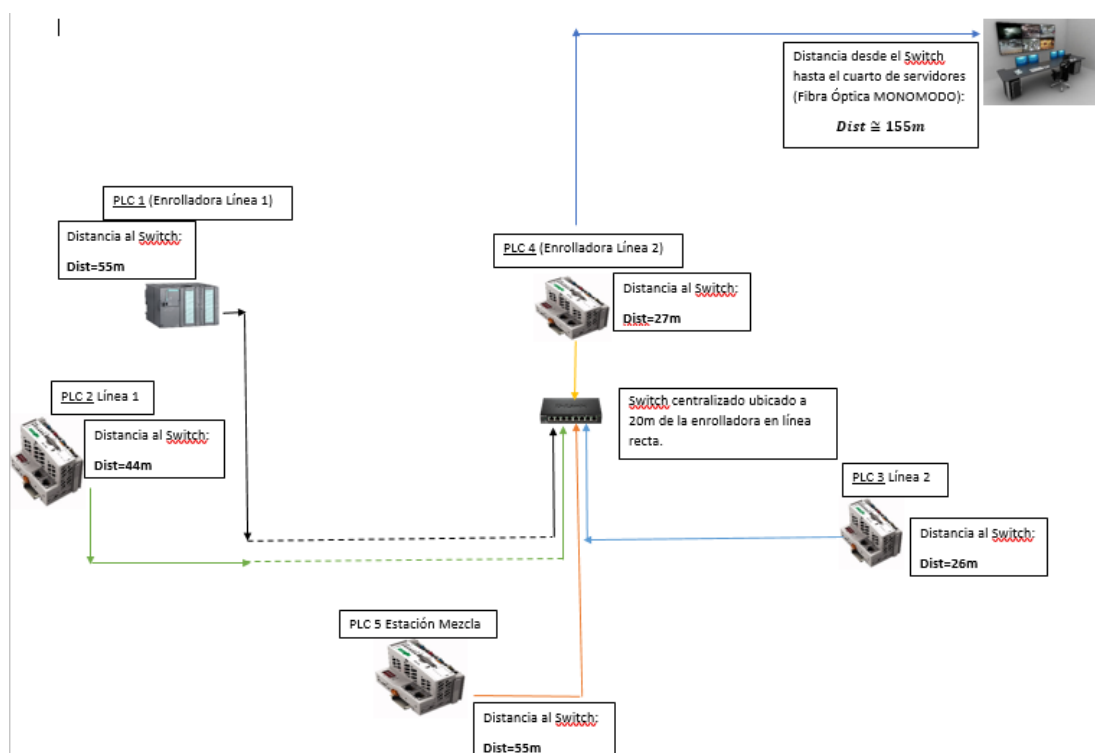
#### **4.2. Diseño del sistema de adquisición de datos**

EL sistema de adquisición de datos está compuesto principalmente por la interfaz de comunicación, seguido por los dispositivos de control y de campo como sensores.



## Comunicación entre la planta industrial y el cuarto de monitoreo

La comunicación entre la planta y el cuarto de monitoreo que es el lugar dónde se encuentra el servidor el cual almacena y gestiona toda la información proveniente del proceso, está compuesta por fibra óptica y cable de red. Para establecer la comunicación entre la planta industrial y el cuarto de monitoreo se establece el esquema mostrado en la figura 60.



**Figura 60:** Esquema de distribución de dispositivos

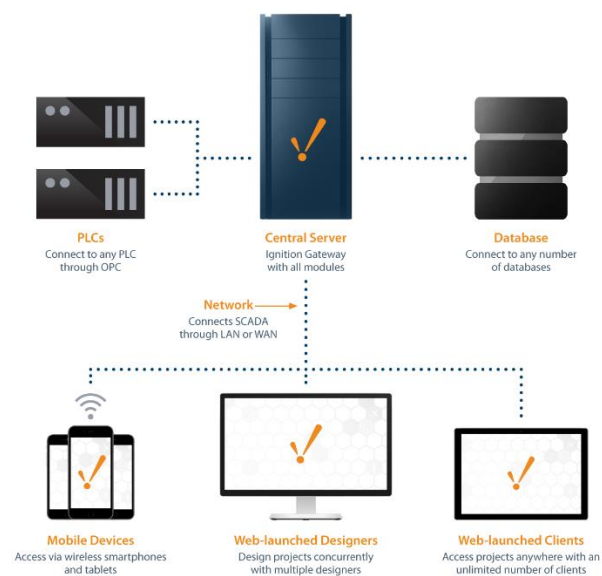
Como se puede apreciar en la figura 60, se presenta un esquema en topología estrella, el cual tiene un nodo central que es el switch industrial, al cual se interconectan todos los equipos de control y comunicación. Se eligió este tipo de conexión, por ser la más óptima en el desarrollo de sistemas SCADA.

#### 4.2.1. Selección y distribución de dispositivos de comunicación industrial en la planta

A continuación, se tiene la selección de equipos y dispositivos que intervienen en el sistema de adquisición de datos.

#### Servidor

El servidor, es un computador industrial, el cual representa una parte importante en el sistema de adquisición de datos, permite acceder e interactuar al operador con el proceso, además maneja la base de datos que tiene la función de almacenar toda la información. El servidor está ubicado en el cuarto de monitoreo, conocido en la empresa como data center o cuarto de servidores. A continuación, en la figura 61 se muestra el esquema de conexión de la base de datos.



**Figura 61:** Esquema de conexión de la base de datos SQL server

Fuente: (Automation, 2017)

### Características del servidor

- HPE ProLiant DL120 Gen9 Intel Xeon E5-2603v4  
Intel Xeon E5-2603v4 6-Core (1.70GHz 15MB L3 Cache) Kit / 8GB (1 x 8GB) DDR4 2400MHz RDIMM
- Integrated Matrox G200eH2
- HP Embedded Dual Port 361i Adapter
- Dynamic Smart Array B140i controller (RAID 0/1/1+0/5) SATA Only (No Cache) (4) Hot Plug 3.5in Large Form Factor Smart Carrier Hard Disk
- HP 1TB 6G SATA 7.2k 3.5in SC MDL HDD

Como se observa en la descripción de las características, el servidor tiene un sistema operativo muy robusto, que es necesario para soportar el software IGNITION SCADA y la base de datos SQL server, asegurando la transmisión de datos con una velocidad óptima. En la figura 62, se observa el servidor industrial DELL.



**Figura 62:** Servidor industrial Dell

Fuente: (Infolink, 2016)

## Nodo central

En la figura 63 se observa un switch industrial que es el nodo central, el cual cumple la función principal de interconectar todos los dispositivos de control industrial que intervienen en el sistema y así poder extraer la información necesaria de la planta y transmitirla hacia el cuarto de monitoreo.



**Figura 63:** Switch industrial de 8 puertos

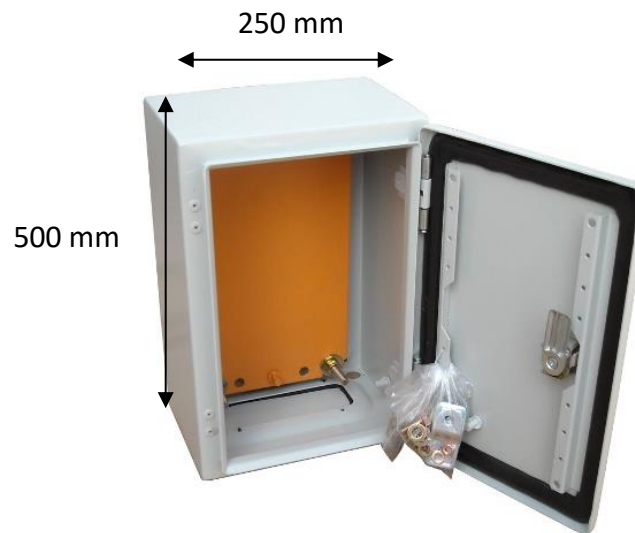
Fuente: (Infolink, 2016)

## Características Switch

- Switch industrial ethernet de 8 puertos
- Velocidad 10Mbit/1Gbit
- Alimentación 24 Vdc

## Caja central de distribución

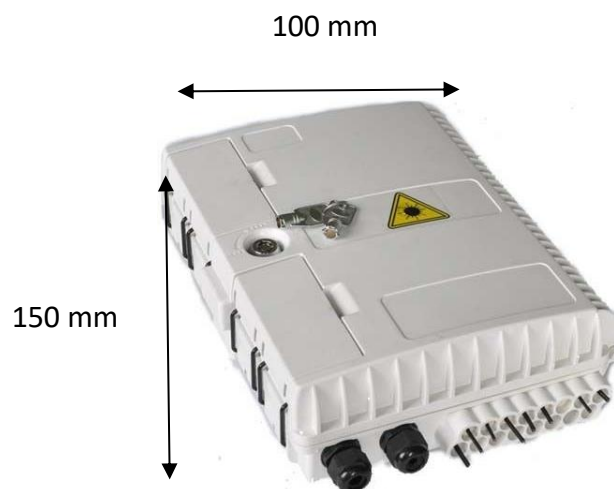
A continuación, en la figura 64 se observa la caja central, que se encuentra ubicada geométricamente en la mitad de la planta industrial, a la altura de la estación de calibración. Es una caja metálica, donde se encuentran los dispositivos de comunicación tales como el switch y terminales del cableado, con el fin de resguardar los equipos de la exposición ambiental de la planta y de proveer fácil acceso a mantenimiento.



**Figura 64:** Caja central de distribución

### Caja de fibra óptica

Esta caja es la encargada de acoplar la fibra óptica a los terminales de los receptores y transmisores mediante cables patch cord. Ver figura 65.



**Figura 65:** Caja de fibra para tipo monomodo y multimodo

Fuente: (Infolink, 2016)

## Convertidor de fibra óptica

Se los conoce en general como transmisores o receptores y son los encargados de acoplar las salidas de los cables patch cord de la caja de fibra a los terminales del cuarto de monitoreo y a la caja central de distribución y además convierten la salida del terminal de fibra al terminal RJ45. Ver figura 66.



**Figura 66:** Convertidor fibra/RJ45

Fuente: (Infolink, 2016)

## Cable de fibra óptica

El cable de fibra óptica seleccionado es del tipo monomodo de 12 hilos y de 155 [m] de longitud, lo cual cubre la distancia desde la caja central de distribución hasta el cuarto de monitoreo, en la figura 60 del capítulo 4, “esquema de conexión de dispositivos” se observa la trayectoria diseñada para la fibra óptica.

## Cable FTP categoría 6A

El cable seleccionado es un par trenzado con blindaje apantallado, debido a que la canalización de la planta incluye cableado eléctrico cercano, el mismo

que genera ruido y podría afectar al sistema, el cable se utilizará para realizar la conexión de los dispositivos de control y adquisición de datos (PLCs) hacia la caja central de distribución, la longitud de cable requerido es de 1 bobina de para trenzado FUTP que representa aproximadamente 385 m. Ver figura 60, esquema de conexión de dispositivos.

### **Sistema de medición de espesor**

El sistema de medición está compuesto principalmente por los sensores laser y su soporte mecánico. Para adquirir los datos desde la planta industrial, es necesario dimensionar los sensores en base a los siguientes requerimientos.

- Detección de cualquier material (Pruebas en láminas asfálticas)
- Respuesta rápida
- Buena precisión y exactitud
- Resistencia a ambientes hostiles
- Resolución milimétrica.

Para el efecto se eligió el sensor laser Panasonic, a continuación, se exponen las características de este sensor de medición de espesores.

- Distancia de medición: 30mm +/-5mm.
- Repetibilidad: 10um.
- Alimentación: 24VDC.
- Salida: analógica 4-20mA.
- Grado de protección: IP67

### **Soporte mecánico de los sensores**

El soporte mecánico de los sensores es de suma importancia, pues permite regular la posición de los mismos. Posee 4 G.L, los cuales le permiten al sensor moverse tanto en los ejes coordenados como en los polares.

En la figura 67, se observa el sensor dimensionado junto con su soporte mecánico.



**Figura 67:** Sensor laser Panasonic

Fuente: (Panasonic, 2016)

### **Tarjeta de entradas analógicas**

Las tarjetas de entradas analógicas cumplen la función de convertir la señal eléctrica enviada desde los sensores a un lenguaje admisible para el PLC, para cumplir el requerimiento de diseño se necesitan dos módulos de tarjetas analógicas de 4 entradas.

### **Especificaciones técnicas del módulo de entradas analógicas**

- Alimentación 24Vdc
- Tarjeta de entradas analógicas WAGO 750-466, 4-20 [Ma]

En la figura 68, se observa la tarjeta seleccionada.





**Figura 68:** Tarjeta de entradas analógicas WAGO 750-466

Fuente: (WAGO, 2016)

#### 4.2.2. Selección de software para diseño HMI

A continuación, para seleccionar el software HMI, se realiza una tabla comparativa entre varios softwares disponibles que son útiles para el presente proyecto, en dónde se describen las ventajas y desventajas de cada uno.

**Tabla 15**

*Tabla comparativa para elección del software*

<b>SOFTWARES</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>IGNITION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructura modular</li> <li>- Licencia ilimitada</li> <li>- Tags ilimitados</li> <li>- Comunicación con distintas bases de datos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Precio</li> </ul>
<b>INTOUCH</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entendimiento rápido del operador y /o programador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Licencia limitada</li> </ul>
<b>FACTORY TALK VIEW</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseño SCADA 3D</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Precio</li> <li>- Licencia limitada</li> </ul>

De acuerdo con la información provista por la tabla 15, se realiza un análisis comparativo y se decide seleccionar el software americano, IGNITION, que además se encuentra incursionando de manera exitosa en el campo de la automatización y mejoramiento continuo por su reciente módulo de desarrollo MES. A continuación, en la tabla 16, se presentan los módulos necesarios para el desarrollo de presente proyecto.

**Tabla 16**

*Módulos del software IGNITION*

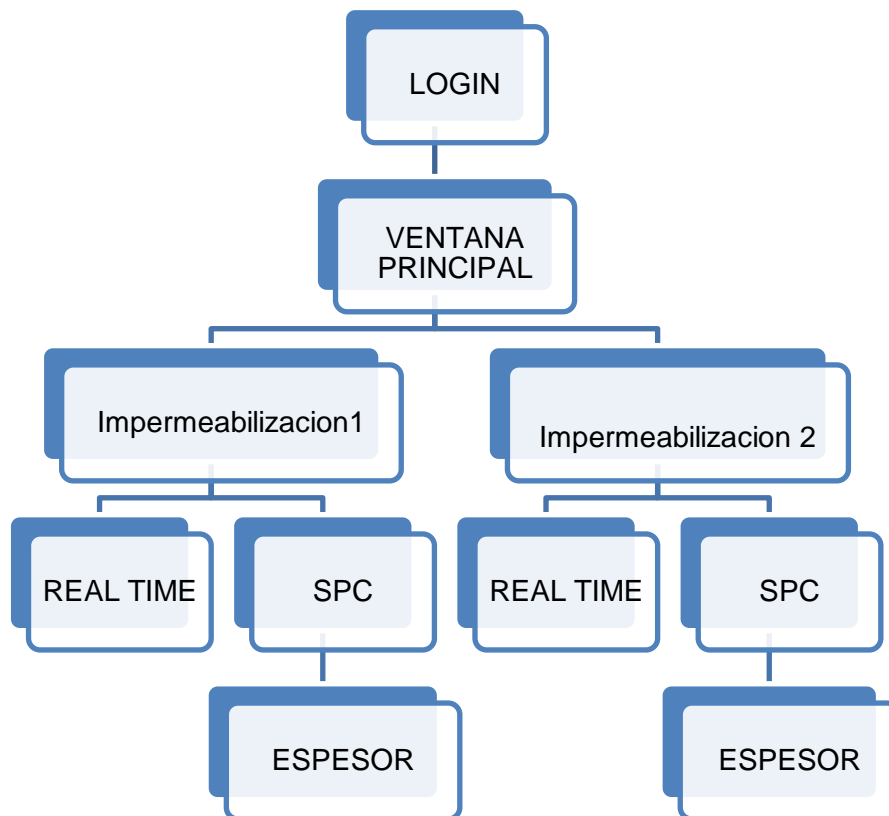
<b>Software IGNITION SCADA</b>	<b>Software IGNITION SCADA</b>
<b>MODULOS SOFTWARE</b>	
Vision Module Unlimited	INDUCTIVE AUTOMATION
Web Browser Module	INDUCTIVE AUTOMATION
SQL Bridge Module	INDUCTIVE AUTOMATION
Tag Historian Module	INDUCTIVE AUTOMATION
Mobile Module	INDUCTIVE AUTOMATION
OPC-UA Server Module (Free)	INDUCTIVE AUTOMATION
Módulo Driver (Free)	INDUCTIVE AUTOMATION
Siemens Driver	INDUCTIVE AUTOMATION
UDP and TCP Drivers Module (Free)	INDUCTIVE AUTOMATION

#### **4.2.3. Diseño y programación del HMI**

Como se mencionó anteriormente el software seleccionado para diseñar la interfaz de comunicación es IGNITION de la compañía americana INDUCTIVE AUTOMATION. A continuación, se observa el diseño y programación de cada ventana que compone el sistema de adquisición de datos.

## - Navegación HMI

En la figura 69, se muestra la navegación de las ventanas que componen la interfaz desarrollada en el software IGNITION.



**Figura 69:** Navegación HMI

## - Descripción de las ventanas de la interfaz HMI

A continuación, en la tabla 17 se describen las funciones de cada ventana que componen la interfaz HMI.

Tabla 17

Descripción de las funcionalidades de las ventanas

PANTALLA	DESCRIPCIÓN
	<p>La pantalla <b>Login</b>, permite acceder al sistema a través de un usuario y contraseña que son los siguientes:</p> <p>Usuario: imptek          Contraseña: mantenimiento</p>
	<p>En la ventana <b>Principal</b> se visualiza el acceso a las diferentes líneas de producción de la empresa, así como se puede observar el producto que se está fabricando.</p>
	<p>La ventana de <b>SPC</b>, permite visualizar la gráfica de promedios y rangos, de la variable espesor en tiempo real, tanto del lado izquierdo como derecho de la línea de impermeabilización, también se puede observar en la parte superior de la gráfica el producto que se está fabricando y en la parte izquierda el valor del Cp y Cpk.</p>

#### 4.2.4. Diseño de las gráficas de control en el software IGNITON

A continuación, se describe primero el proceso de selección de las gráficas de control necesarias a utilizarse dependiendo del tipo de proceso para luego proceder a la respectiva programación de las gráficas de control.

## Selección de las gráficas de control

Como se vio en la fundamentación teórica, existen varias gráficas de control, su utilización depende de muchos factores, para este caso en la tabla 18, se detallan las características del proceso de fabricación de lámina asfáltica, para luego analizar la información y escoger las gráficas de control necesarias.

**Tabla 18**

*Características del proceso de fabricación de lámina asfáltica*

PROCESO DE FABRICACIÓN DE LÁMINA, PLANTA IMPTEK
<b>CARACTERÍSTICAS:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los datos derivados del proceso son continuos.</li> <li>- Existen causas especiales de variación identificadas:               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Variación de temperatura en las tuberías</li> <li>o Inestabilidad del espesor en la estación de calibración</li> </ul> </li> <li>- Las características de calidad se miden a través de la variable:               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Espesor [mm]</li> </ul> </li> </ul>

De la tabla 18, se realiza el respectivo análisis y se concluye:

- Utilizar gráficas de control por variables
- Utilizar las gráficas de promedios ( $\bar{X}$ ) y Rangos (R)
- **Programación en el software IGNITION de la gráfica de control de promedios ( $\bar{X}$ -bar)**

Para construir la gráfica de promedios se utilizó el software HMI/SCADA IGNITION seleccionado en el capítulo 4, literal 4.2.2. La programación de la gráfica de control se realizó utilizando programación en lenguaje C, java y

Python, que son los lenguajes manejados por el software. A continuación, se detalla los parámetros utilizados para construir la gráfica de control.

#### **Variables de estudio:**

- Espesor [mm]
- Peso [kg] (sólo se registra el valor del peso para análisis económicos)

#### **Intervalo de tiempo de muestreo**

- Para el caso del espesor [mm], se estableció un tiempo inicial de muestreo de 30 segundos.
- Para el caso del peso [kg], cada dato corresponde a un rollo de producto y cada rollo pasa por el sensor de peso (balanza).

#### **Límites de especificación**

Los límites de especificación se introducen de manera directa en el software de acuerdo con la tabla de especificaciones de láminas asfálticas provista por el departamento de producción de la empresa IMPTEK. Los colores seleccionados para identificar los límites de especificación en la gráfica son los siguientes:

- Café oscuro, Límite de especificación superior
- Café claro, Límite de especificación inferior

#### **Límites de control**

Se tiene los límites de control, superior UCL (up control limit) e inferior LCL (low control limit), estos límites se calcularon utilizando la ecuación [15] y [16].

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 * \bar{\bar{R}} \quad [15]$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 * \bar{\bar{R}} \quad [16]$$

Dónde:

$A_2$  es una constante que depende del tamaño de subgrupo, para nuestro caso se realizó una toma de datos con un tamaño de subgrupo de 5, por tanto:

$$A_2 = 0.577$$

$\bar{\bar{X}}$  es la media del proceso

$\bar{\bar{R}}$  es la media del rango

Los colores definidos para graficar los límites de control son los siguientes:

- Verde oscuro, Límite de control superior UCL
- Verde claro, Límite de control inferior LCL

### **Media nominal**

La media nominal corresponde al dato de espesor definido en la tabla de especificaciones de láminas asfálticas provista por el departamento de producción de la empresa IMPTEK.

El color definido para la media nominal es negro:

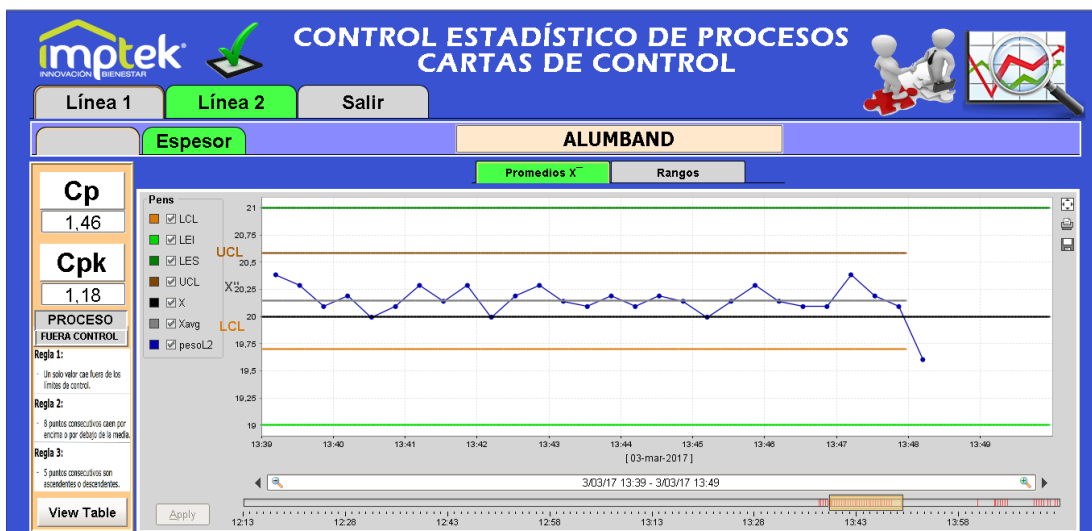
### **Media del proceso**

Representa la media calculada con los datos tomados hasta el rango de tiempo de visualización seleccionado. La ecuación [17] muestra la fórmula para calcular el valor de la media del proceso.

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{n} \quad [17]$$

El color elegido para este parámetro es plomo.

En la figura 70, se muestra la gráfica de promedios construida con todos los elementos necesarios.



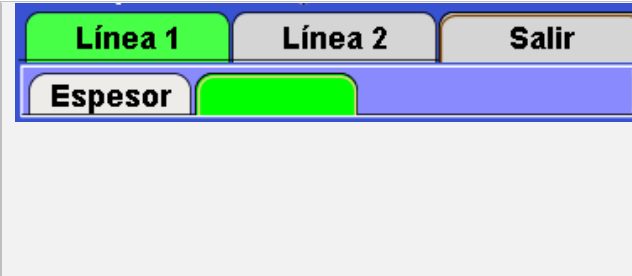
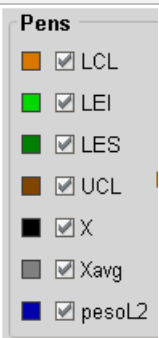
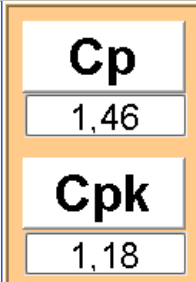

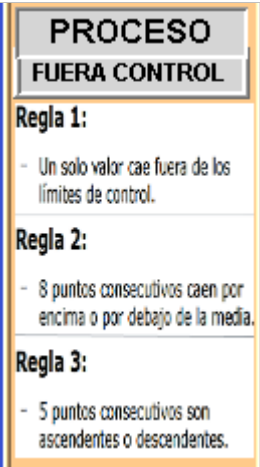
**Figura 70:** Gráfica de promedios

Como se puede observar en la gráfica 70, la gráfica de promedios está diseñada y a la cual está vinculada la variable espesor de la línea de impermeabilización. La ventana SPC, permite seleccionar entre la línea de impermeabilización sin armadura y con armadura (línea 1 y línea 2 respectivamente) y entre las gráficas de promedios o rangos. A continuación, en la tabla 18 se muestra a detalle los elementos que componen la gráfica de control mostrada en la figura 70.


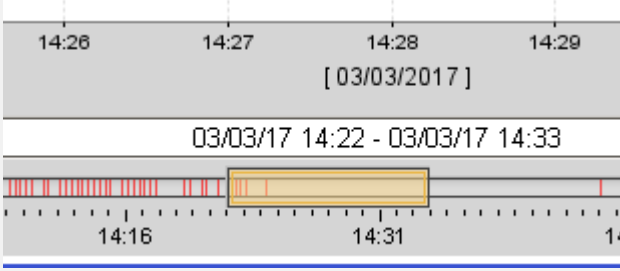


Tabla 19

Componentes de la ventana SPC y gráfica de promedios

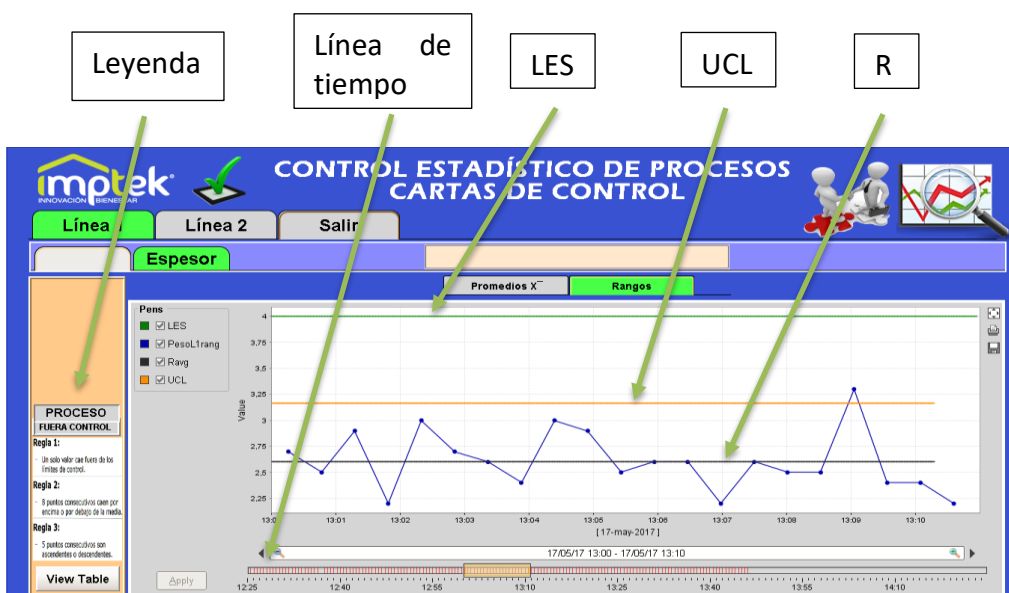
	<p><b>Paleta de navegación.</b> - Permite seleccionar entre la línea de impermeabilización con armadura (Línea 1) y sin armadura (Línea 2).</p>
	<p><b>Paleta de leyenda.</b> - Permite identificar los parámetros y variables que intervienen en la gráfica seleccionada a través de un color asignado a cada uno</p>
	<p><b>Paleta de capacidad de proceso.</b> - Permite visualizar la capacidad del proceso Cp, así como el índice de capacidad Cpk.</p>
	<p>Permite ver el producto que se está fabricando.</p>
	<p><b>Paleta de reglas.</b> - Permite visualizar una leyenda con las reglas del control estadístico de procesos que sirven para determinar si el proceso está o no bajo control.</p>

CONTINÚA 

	<p><b>Paleta de acciones.</b> – Permite ampliar la ventana, imprimir la gráfica y exportar los datos a Excel.</p>
	<p><b>Línea de tiempo.</b> – Permite seleccionar el intervalo de tiempo de visualización de la gráfica, así como navegar a través del tiempo.</p>

- **Programación en el software IGNITION de la gráfica de control de rangos (R)**

La grafica de rangos está conformada por los elementos necesarios como se aprecian en la figura 71.



**Figura 71:** Gráfica de rangos R

## CAPÍTULO V

### 5. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

#### 5.1. Construcción del sistema mecánico de calibración de espesores

A continuación, se describe el proceso de construcción y ensamble de cada parte del mecanismo de calibración de espesores.

##### 5.1.1. Plancha base de la estructura

Como se observa en la figura 72, las planchas bases de la estructura fueron sometidas al proceso de oxicorte, por el método de chorro de agua pues éste permite obtener menos rebaba en la plancha producto del corte, luego pasaron al proceso de mecanizado dónde a través de la fresadora se obtuvo las planchas completamente a escuadra y con las dimensiones especificadas. Finalmente se realizaron las perforaciones a través del taladrado.



**Figura 72:** Planchas base de estructura construidas

### 5.1.2. Plancha base de soporte

En la figura 73, se observa una de las planchas base de soporte que al igual que las de base de estructura pasaron por el mismo proceso de fabricación para obtener las dimensiones especificadas.



**Figura 73:** Plancha base de soporte construida

### 5.1.3. Parantes de soporte para los ejes deslizantes

Los parantes para ejes deslizantes, se construyeron de acero inoxidable y fueron sometidos a varios procesos de manufactura como el fresado para obtener el perfil de diseño y el taladrado para realizar la perforación central de 1". En la figura 74 se puede visualizar un parante terminado.



**Figura 74:** Parante de soporte para ejes deslizantes construido

#### 5.1.4. Parantes de soporte para el tornillo sinfín de avance

Al igual que el parante de soporte para eje deslizante se puede observar en la figura 75, el parante de soporte para el tornillo sinfín de avance acoplado al rodamiento 6002, que pasó por el mismo proceso de mecanizado que los soportes antes mencionados.



**Figura 75:** Parante de soporte para tornillo sinfín de avance

#### 5.1.5. Ejes deslizantes

En la figura 76, se observan los ejes deslizantes construidos a través de los procesos de mecanizado como, refrentado y cilindrado.



**Figura 76:** Ejes deslizantes construidos

### 5.1.6. Bocín cuadrangular doble

A continuación, en la figura 77, se observa el bocín cuadrangular doble construido en bronce al silicio, el cual presenta una resistencia mayor al resto de aleaciones de bronce. Durante el proceso de construcción el bocín pasó por el proceso de mecanizado como fresado para obtener el perfil deseado, taladrado para obtener las perforaciones laterales a 1", roscado para obtener el agujero central y los 4 agujeros superiores.



**Figura 77:** Bocín cuadrangular doble

### 5.1.7. Tornillo sinfín de avance

En la figura 78, se observa el tornillo sinfín de avance construido en acero inoxidable 304, con un paso de  $p=3$  [mm] tal como se diseñó en el capítulo 4, el tornillo sinfín pasó por los procesos de mecanizado como, fresado para realizar la chaveta, refrentado, cilindrado y roscado del eje.



**Figura 78:** Tornillo sinfín de avance

### 5.1.8. Mecanismo sinfín corona

#### Corona

El mecanismo sinfín corona, durante su construcción pasó por los procesos de, fundición (fundición del bloque cuadrado de bronce), mecanizado (fresado para realizar la chaveta, cilindrado, refrentado) y fresado (Perfil de diente de la corona). En la figura 79 se muestra la corona construida.



**Figura 79:** Corona de bronce silicio terminada

#### Sin fin

En la figura 80 se muestra el sinfín construido en acero inoxidable, el cual fue fabricado a través de los procesos de mecanizado, como corte, fresado, cilindrado y finalmente el fresado del perfil del diente. El sinfín cuenta también con 4 prisioneros M4 distribuidos 2 en cada extremo y separados 90° uno del otro y sirven para sujetar el sinfín al eje de transmisión.



**Figura 80:** Sinfín de acero inoxidable construido

En la figura 81, se muestra el ensamble del conjunto sinfín corona.



**Figura 81:** Sinfín corona terminado



### 5.1.9. Eje de transmisión del sinfín corona

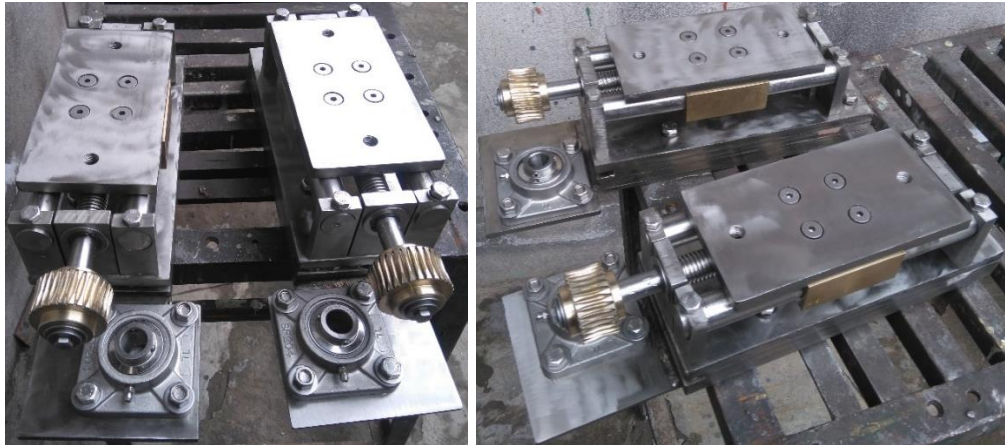
El eje de transmisión sinfín corona fabricado en acero inoxidable se observa en la figura 82, el cual durante su construcción pasó por los procesos de mecanizado como, refrentado, cilindrado y fresado para la chaveta.



**Figura 82:** Eje de transmisión acoplado a las chumaceras y sinfín

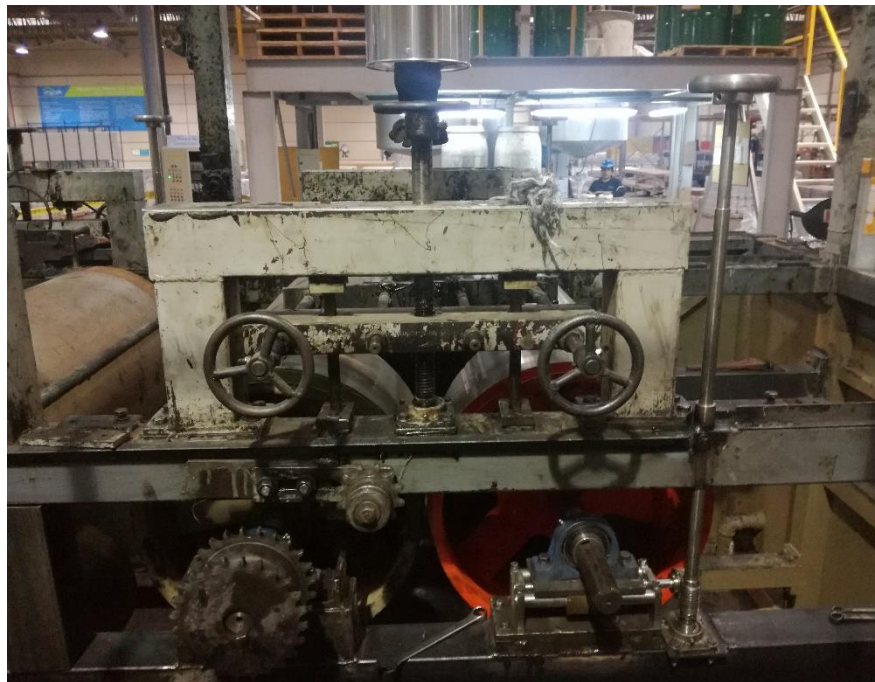
## 5.2. Implementación del sistema mecánico de calibración de espesores

El ensamble de las partes desmontables se realizó con pernos de acero inoxidable de 3/8" y 5/16" y las partes fijas con suelda eléctrica para acero inoxidable E316. Además, se utilizó rodela y anillos de retención de acero inoxidable para sujetar el tornillo sinfín de avance a los parantes y a la corona. En la figura 83 se muestra los 4 conjuntos terminados con todas sus partes ensambladas.



**Figura 83:** Ensamble total de las partes

El montaje del mecanismo de calibración de espesores al rodillo laminador, se observa en la figura 84.



**Figura 84:** Montaje del mecanismo de calibración de espesores al rodillo laminador

### 5.3. Implementación del sistema de adquisición de datos

Este apartado abarca la implementación del sistema de adquisición de datos, de los equipos de comunicación, de los sensores de medición de espesor y demás dispositivos descritos en el capítulo 4 de diseño.

#### 5.3.1. Montaje y conexión de los elementos de comunicación industrial

El proceso de montaje y conexión de los elementos de comunicación en la planta industrial empezó con el cableado estructurado de la fibra óptica.

#### 5.3.2. Canalización de la fibra óptica

El proceso de montaje empezó con la canalización de la fibra óptica, que es básicamente pasar la fibra por las canaletas de la planta industrial desde el cuarto de monitoreo hasta la caja central de distribución. Ver figura 85.



**Figura 85:** Canalización de fibra óptica hasta la caja central

### 5.3.3. Puesta en red de los dispositivos de control en la planta industrial

La puesta en red de los dispositivos de control es fundamental para extraer la información de los PLCs y poder comunicar el sistema de adquisición de datos con el cuarto de monitoreo. Para el efecto se ha creado una nueva red de comunicación denominada con la siguiente dirección IP: **192.168.11. XX**. En la Tabla 20 se muestra la dirección IP asignada a cada dispositivo.

**Tabla 20**

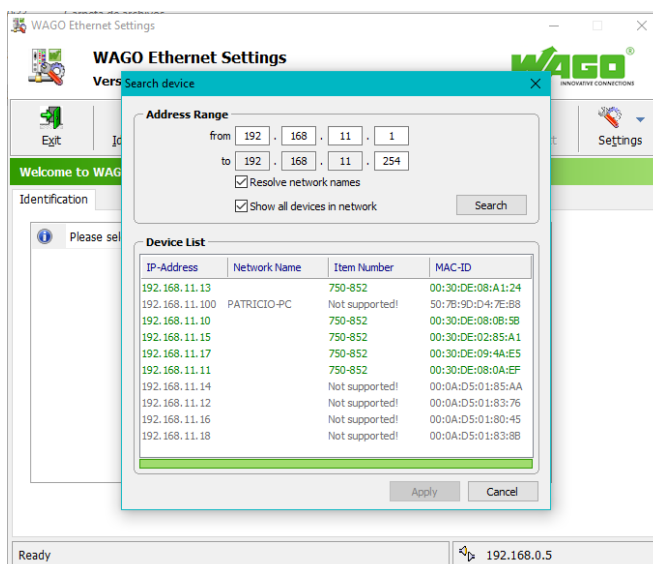
*Direcciones IP de los equipos de la planta industrial*

DIRECCIONES IP LÍNEA DE IMPERMEABILIZACIÓN		
DIRECCIÓN	ÁREA	DESCRIPCIÓN
<b>192.168.11.7</b>	Línea de impermeabilización sin armadura.	PLC, WAGO 750-852 de la línea de impermeabilización sin armadura.
<b>192.168.11.8</b>	Línea de impermeabilización con armadura.	PLC, WAGO 750-852 de la línea de impermeabilización con armadura.
<b>192.168.11.6</b>	Servidor DELL	Computador industrial ubicado en el cuarto de monitoreo

### 5.3.4. Comunicación del sistema de adquisición de datos con el software IGNITION

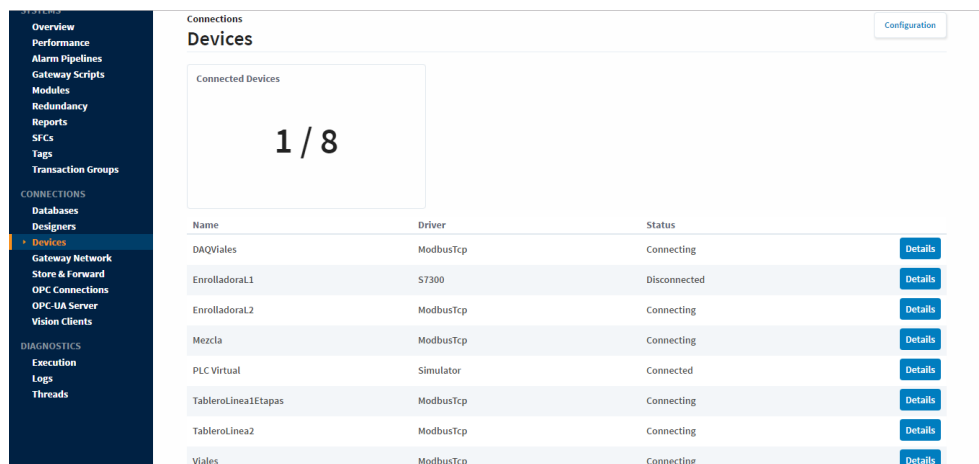
La comunicación del sistema de adquisición de datos es básicamente la comunicación entre cada PLC de la línea de impermeabilización con el software SCADA IGNITION que está instalado en el servidor DELL ubicado en el cuarto de monitoreo.

En la figura 86, se puede apreciar que la comunicación ha sido establecida entre el servidor DELL ubicado en el cuarto de monitoreo y la línea de impermeabilización a través del protocolo de comunicación industrial ethernet.



**Figura 86:** Comunicación entre la línea de impermeabilización y el servidor DELL.

A continuación, en la figura 87 se muestra la plataforma de IGNITION SCADA en conexión en tiempo real con la línea de impermeabilización.

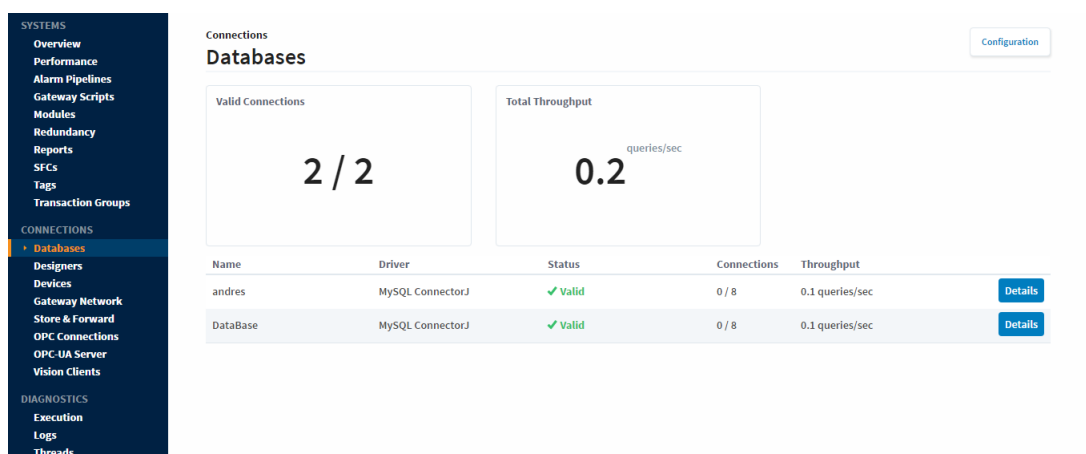


Name	Driver	Status	
DAQViales	ModbusTcp	Connecting	<a href="#">Details</a>
EnrolladoraL1	S7300	Disconnected	<a href="#">Details</a>
EnrolladoraL2	ModbusTcp	Connecting	<a href="#">Details</a>
Mezcla	ModbusTcp	Connecting	<a href="#">Details</a>
PLC Virtual	Simulator	Connected	<a href="#">Details</a>
TableroLinea1Etapas	ModbusTcp	Connecting	<a href="#">Details</a>
TableroLinea2	ModbusTcp	Connecting	<a href="#">Details</a>
Viales	ModbusTcp	Connecting	<a href="#">Details</a>

**Figura 87:** Comunicación de la línea de impermeabilización y el Software IGNITION SCADA

### 5.3.5. Conexión con la base de datos SQL server

La base de datos tiene por objetivo, almacenar todos los datos provenientes del sistema de adquisición de datos que luego serán usados por el software IGNITION para uso de las gráficas de control. La base de datos seleccionada es SQL server por su robustez. En la figura 88 se observa la conexión de la misma con el software IGNITION SCADA.

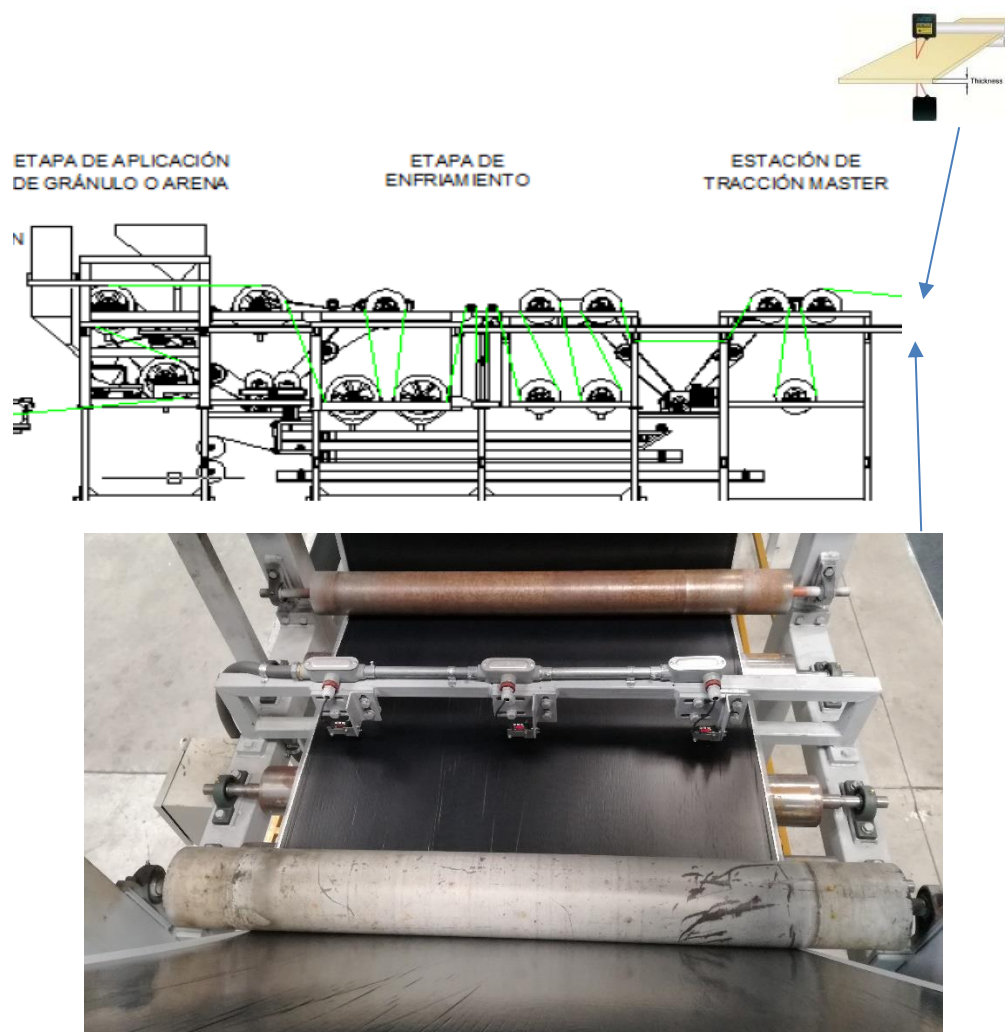


Name	Driver	Status	Connections	Throughput	
andres	MySQL ConnectorJ	✓ Valid	0 / 8	0.1 queries/sec	<a href="#">Details</a>
DataBase	MySQL ConnectorJ	✓ Valid	0 / 8	0.1 queries/sec	<a href="#">Details</a>

**Figura 88:** Comunicación entre la base de datos SQL server y IGNITION SCADA

### 5.3.6. Instalación de los sensores para medición del espesor

Se instalaron 3 grupos de sensores laser PANASONIC, en la línea de impermeabilización para medir el espesor, los mismos cuyas especificaciones están descritas en el numeral 4.2.1 del capítulo 4, los sensores fueron ubicados a los dos extremos del recorrido de la lámina asfáltica y adicional uno en la mitad, con el propósito de monitorear el desgaste en el centro del rodillo también, a continuación, en la figura 89 se observa su localización.



**Figura 89:** Ubicación de los sensores de medición de espesor

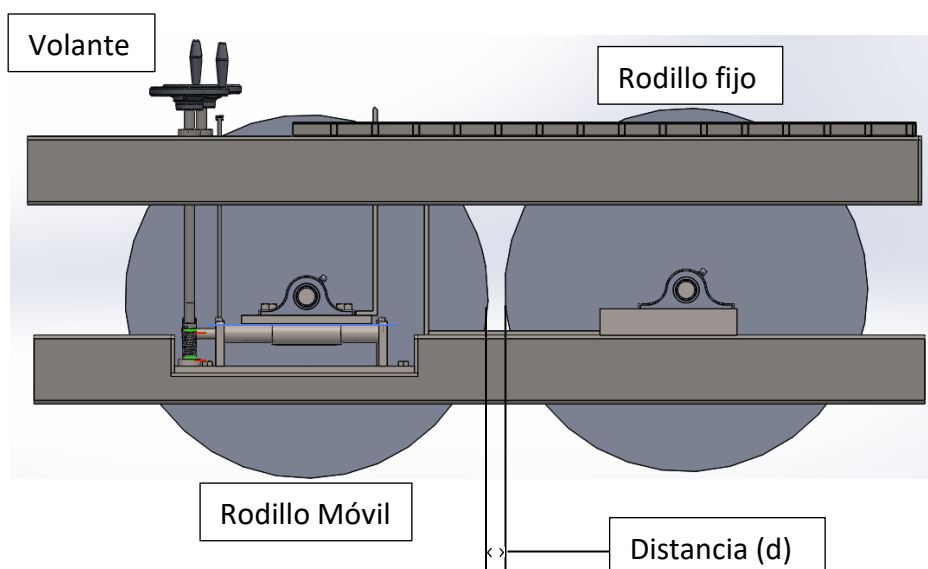
## CAPÍTULO VI

### 6. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 6.1. Pruebas a realizarse

##### 6.1.1. Mecanismo de calibración de espesores

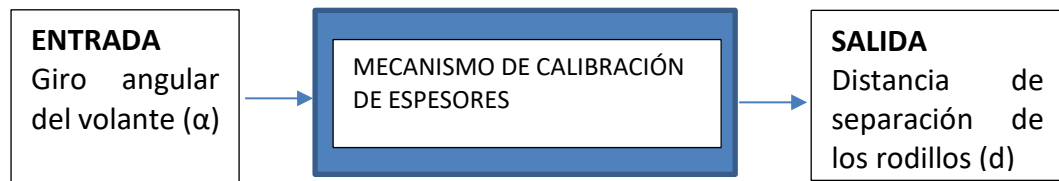
Con referencia a la figura 38 numeral 4.1.1 del capítulo 4, a continuación, se ilustra el mecanismo de calibración de espesores, el que regula la distancia de separación entre los rodillos ( $d$ ), distancia que determina el espesor de la lámina impermeabilizante.



**Figura 90:** Mecanismo de regulación de la distancia entre rodillos

Para realizar la prueba del mecanismo de calibración se mide y/o verifica la distancia de separación de los rodillos (salida) en función de la variación del ángulo de giro del volante (entrada) que acciona el mecanismo de desplazamiento del rodillo móvil, lo cual se ilustra en el esquema siguiente.





**Figura 91:** Esquema de entradas y salidas del mecanismo de calibración de espesores

- **Objetivo de la prueba**

Verificar el funcionamiento del mecanismo de calibración de espesores y obtener las gráficas de calibración correspondientes.

- **Parámetro de verificación y/o medición**

Distancia de separación entre rodillos (d) [mm]

- **Instrumentos requeridos**

- Calibrador de longitudes (Vernier)
  - Capacidad: 100 [mm]
  - Apreciación: 0.01 [mm]
- Galgas de diferente espesor (tipo lámina de acero)
  - Espesor de (1.5, 2, 2.8, 3, 3.2, 4) [mm]

- **Procedimiento**

- ✓ Verificar que el sistema de calibración de espesores esté encendido para lo cual se debe girar el volante hasta que el rodillo móvil tope al rodillo fijo y las señales marcadas tanto en el volante como en la base coincidan.
- ✓ Girar el volante las revoluciones necesarias para conseguir la distancia de separación entre los rodillos de acuerdo con la tabla 21.
- ✓ Medir la distancia de separación entre el rodillo fijo y móvil mediante un calibrador de interiores en las posiciones “a” y “b”

(izquierda y derecha respectivamente) según se indican en la figura 93.

- ✓ Realizar tres mediciones en cada posición (a, b) y obtener el promedio.
- ✓ Registrar los datos de las mediciones y promedios realizados, utilizando la hoja de registro respectiva (Ver anexo A).
- ✓ Repetir el proceso para cada espesor de lámina requerido.
- ✓ Graficar la curva real de calibración con los valores promedio de los datos obtenidos y compararla con la curva ideal de calibración mostrada en la figura 92.

**Tabla 21**

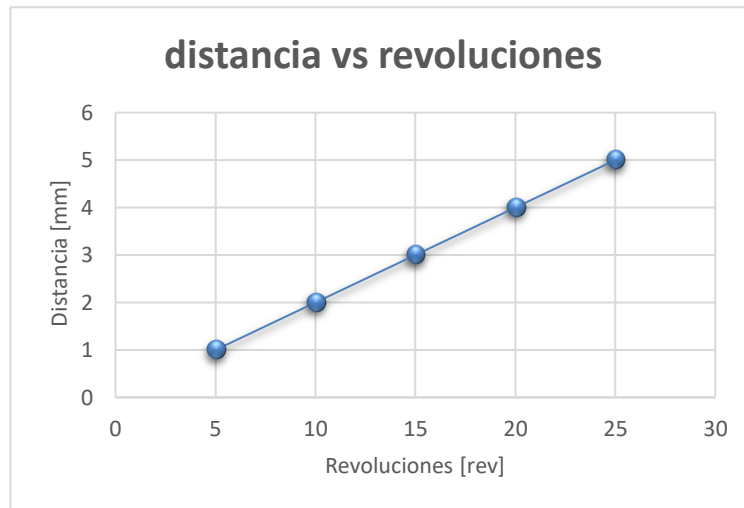
*Tabla de regulación del espesor*

	<b>Revoluciones del Volante [Rev.]</b>	<b>Separación de los rodillos (d) [mm]</b>	<b>Denominación del tipo de lámina</b>
<b>1</b>	7.5	1.5	Techofielt
<b>2</b>	10	2	Alumband
<b>3</b>	14	2.8	Imperglass
<b>4</b>	15	3	Super K
<b>5</b>	16	3.2	Imperpol
<b>6</b>	20	4	5k

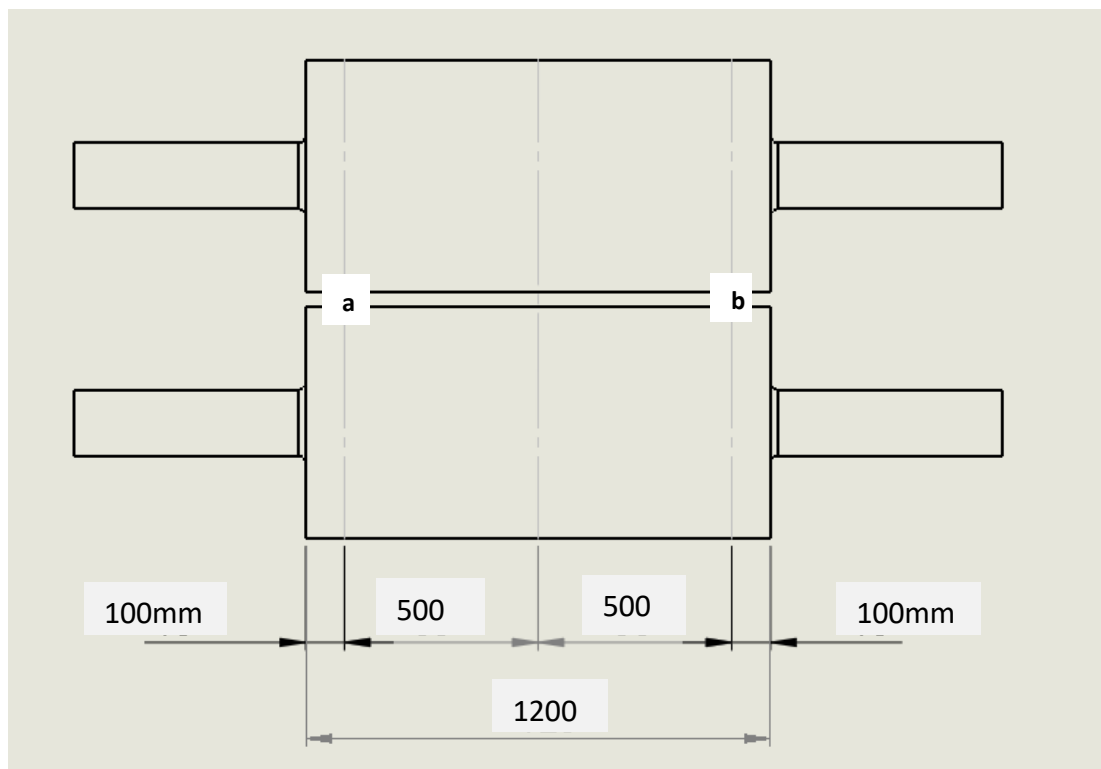
En el Anexo A, se encuentra el procedimiento de prueba del sistema de calibración de espesores de la línea de impermeabilización, el cual incluye la verificación de la distancia de separación de los rodillos a través del uso de galgas.

### Curva ideal de calibración

En la figura 92, se observa la curva ideal de calibración formada por la distancia de separación de los rodillos en función de las revoluciones del volante.



**Figura 92:** Curva ideal de calibración



**Figura 93:** Posiciones de medición entre rodillos

## Tablas de datos

A continuación, se muestran en las tablas de la 22 a la 27, el registro de los datos de medición de acuerdo con el formato respectivo (Ver Anexo A), y a continuación las curvas de calibración (ideal y real), de la distancia de separación (d) entre rodillos para los productos de la línea de impermeabilización.

### Instrumentos utilizados:

Calibrador.

Tipo: Vernier

Marca "Mitutoyo"

Capacidad: 200 [mm]

Apreciación: 0.01 [mm]

### Tabla 22

*Tabla de registro, Techofielt*

<b>F001</b>	<b>Producto: Techofielt</b>	<b>Responsable:</b>
	<b>Espesor Referencial: 1,50 [mm]</b>	<b>Carlos Jaramillo</b>
<b>Número</b>	<b>MEDICIÓN</b>	
	<b>"d" (posición izquierda - a) [mm]</b>	<b>"d" (posición derecha - b) [mm]</b>
1	1,51	1,51
2	1,50	1,50
3	1,51	1,51
<b>MEDIA</b>	1,51	1,51

**Tabla 23***Tabla de registro, Alumband*

<b>F002</b>	<b>Producto: Alumband</b>	<b>Responsable:</b>
	<b>Espesor Referencial: 2,00 [mm]</b>	<b>Carlos Jaramillo</b>
<b>Número</b>	<b>MEDICIÓN</b>	
	<b>"d" (posición izquierda - a) [mm]</b>	<b>"d" (posición derecha - b) [mm]</b>
1	2,01	2,01
2	2,01	2,01
3	2,01	2,01
<b>MEDIA</b>	2,01	2,01

**Tabla 24***Tabla de registro, Imperglass*

<b>F003</b>	<b>Producto: Imperglass</b>	<b>Responsable:</b>
	<b>Espesor Referencial: 2,80 [mm]</b>	<b>Carlos Jaramillo</b>
<b>Número</b>	<b>MEDICIÓN</b>	
	<b>"d" (posición izquierda - a) [mm]</b>	<b>"d" (posición derecha - b) [mm]</b>
1	2,81	2,81
2	2,81	2,81
3	2,81	2,81
<b>MEDIA</b>	2,81	2,81

**Tabla 25***Tabla de registro, Super K*

<b>F004</b>	<b>Producto: Super K</b>	<b>Responsable:</b>
	<b>Espesor Referencial: 3,00 [mm]</b>	Carlos Jaramillo
<b>Número</b>	<b>MEDICIÓN</b>	
	<b>"d" (posición izquierda - a) [mm]</b>	<b>"d" (posición derecha - b) [mm]</b>
1	3,00	3,00
2	3,01	3,01
3	3,00	3,00
<b>MEDIA</b>	3,00	3,00

**Tabla 26***Tabla de registro, Imperpol*

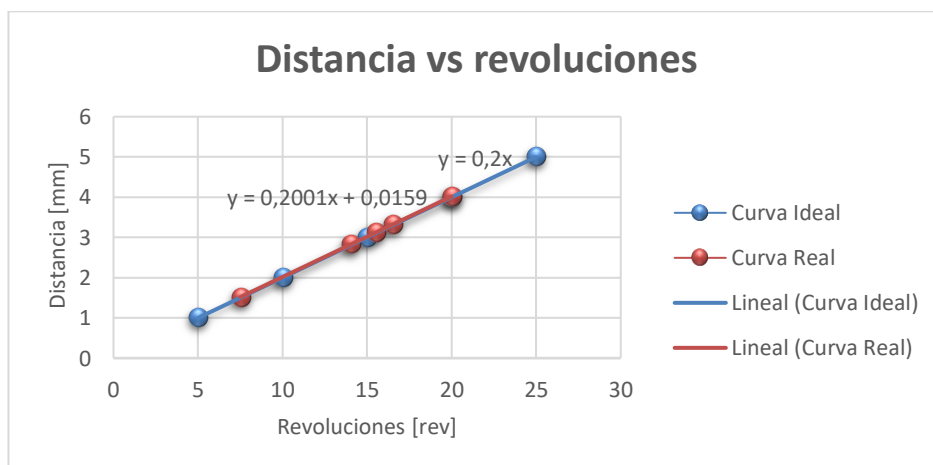
<b>F005</b>	<b>Producto: Imperpol</b>	<b>Responsable:</b>
	<b>Espesor Referencial: 3,20 [mm]</b>	Carlos Jaramillo
<b>Número</b>	<b>MEDICIÓN</b>	
	<b>"d" (posición izquierda - a) [mm]</b>	<b>"d" (posición derecha - b) [mm]</b>
1	3,21	3,21
2	3,20	3,20
3	3,21	3,21
<b>MEDIA</b>	3,21	3,21

**Tabla 27**  
*Tabla de registro, 5k*

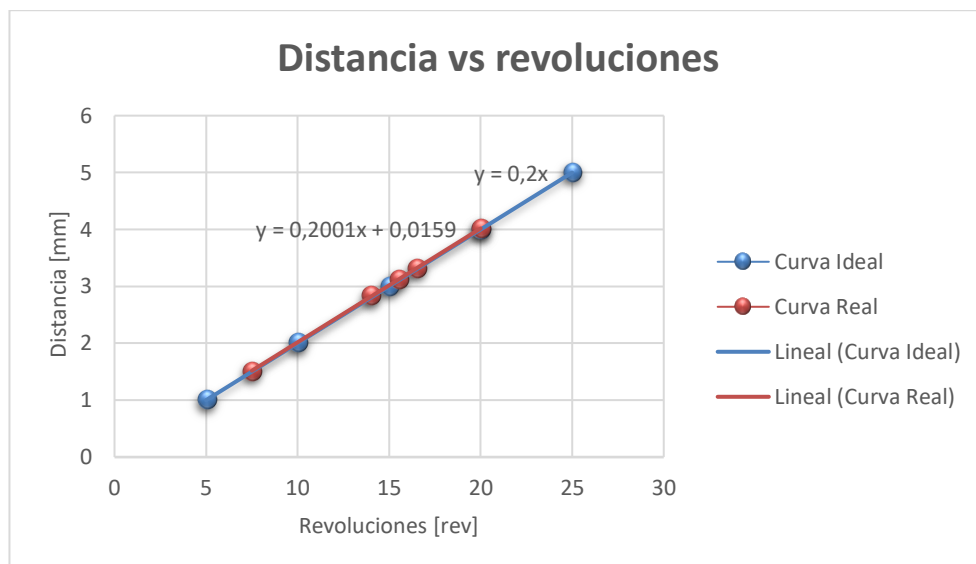
<b>F006</b>	<b>Producto: 5k</b>	<b>Responsable:</b>
	<b>Espesor Referencial: 4,00 [mm]</b>	<b>Carlos Jaramillo</b>
<b>Número</b>	<b>MEDICIÓN</b>	
	<b>"d" (posición izquierda - a) [mm]</b>	<b>"d" (posición derecha - b) [mm]</b>
1	4,02	4,02
2	4,01	4,01
3	4,02	4,02
<b>MEDIA</b>	4,02	4,02

**Gráfica de resultados**

A continuación, en las figuras 94 y 95 se observan las curvas de calibración ideal y real, del lado izquierdo (posición “a”) y derecho (posición “b”) respectivamente, obtenidas a partir de los datos de medición de la distancia de separación entre rodillos para cada producto antes expuestos, además se presenta su ecuación respectiva.



**Figura 94:** Gráficas de calibración real e ideal (lado izquierdo o posición “a”)



**Figura 95:** Gráficas de calibración real e ideal (lado derecho o posición “b”)

### Análisis de las gráficas

La figura 94 muestra la curva de calibración ideal y real, del lado izquierdo o posición “a”, dónde se observa la curva ideal en color azul y en color rojo la real, tal como se puede apreciar las dos curvas coinciden con un error de 0.002%, por tanto, se concluye en que el lado izquierdo del mecanismo de calibración se encuentra calibrado.

En la figura 95 se observa la curva de calibración ideal y real, del lado derecho o posición “b”, dónde al igual que la figura 94 la curva real marcada en color rojo es coincidente con la curva ideal marcada en color azul, de dónde se concluye que el mecanismo de calibración se encuentra calibrado del lado derecho, pues la coincidencia de la curva real con la curva ideal presenta un error de apenas 0.002%.

En función de lo anterior, las pruebas efectuadas y los resultados obtenidos demuestran que el mecanismo de calibración de espesores es un sistema más preciso que el anterior, más seguro y confiable.



### 6.1.2. Sistema de control estadístico de la producción de lámina impermeabilizante.

#### - **Objetivo de la prueba**

Verificar el correcto funcionamiento del sistema de control estadístico “SCE” implementado en la línea de impermeabilización.

#### - **Parámetro de medición**

Espesor “e” (mm)

#### - **Instrumentos requeridos**

- Calibrador de espesores
  - Capacidad: 5 [mm]
  - Apreciación: 0.01[mm]
- Flexómetro
  - Capacidad: 10 [m]

#### - **Tamaño de muestra**

Para determinar el tamaño de muestra se considera un lote de 250 rollos que corresponde a la producción de un día y de acuerdo con el procedimiento descrito en el Anexo B, se toma una muestra reducida de 3 rollos, los mismos que se deben tomar según el horario que se indica a continuación.

- **1 horario:** 7:30 am – 10:00 am
- **2 horario:** 10:30 am – 12:30 pm
- **3 horario:** 13:00 pm – 15:30 pm

Y cada rollo se toma después de 10 minutos de iniciado la producción de cada horario como se muestra a continuación.

- **1 rollo:** 7:40 am
- **2 rollo:** 10:40 am
- **3 rollo:** 13:10 pm

## - Procedimiento

- ✓ Tomar los 3 rollos de muestra de acuerdo con el horario antes indicado.
- ✓ Verificar que el sistema de control estadístico esté operando.
- ✓ Realizar 5 mediciones a lo largo del rollo de lámina asfáltica en intervalos de 2 metros, tanto al lado izquierdo como derecho mediante un calibrador de espesores, tal como se indica en la figura 96 y obtener el promedio para luego comparar con el espesor reportado por el sistema “SCE”.
- ✓ Registrar los datos de las mediciones, utilizando la hoja de registro respectiva (Ver anexo E).
- ✓ Analizar y comparar los datos de espesor registrados anteriormente con los reportados por el “SCE” y emitir las respectivas conclusiones.



**Figura 96:** Medición de espesor del producto final

En las tablas de la 28 a la 39, se muestra los datos de medición de espesor de los 3 rollos seleccionados para los productos de la línea de impermeabilización, tanto del lado izquierdo como derecho de la lámina.

**Tabla 28***Tabla de registro, Techofielt (Lado izquierdo)*

<b>F001</b>	<b>Producto: Techofielt</b>				<b>Responsable:</b> Carlos Jaramillo	
	<b>Espesor Referencial: 1,50 [mm]</b>					
<b>Número de rollo</b>	<b>Espesor a 2 metros [m]</b>	<b>Espesor a 4 metros [m]</b>	<b>Espesor a 6 metros [m]</b>	<b>Espesor a 8 metros [m]</b>	<b>Espesor a 10 metros [m]</b>	<b>Promedio "<math>\bar{e}_m</math>"</b>
1	1,51	1,52	1,52	1,51	1,51	1,52
2	1,51	1,51	1,52	1,52	1,51	1,51
3	1,51	1,51	1,51	1,52	1,51	1,51
<b>MEDIA</b>	1,51	1,51	1,52	1,52	1,51	

**Tabla 29***Tabla de registro, Techofielt (Lado derecho)*

<b>F002</b>	<b>Producto: Techofielt</b>				<b>Responsable:</b> Carlos Jaramillo	
	<b>Espesor Referencial: 1,50 [mm]</b>					
<b>Número de rollo</b>	<b>Espesor a 2 metros [m]</b>	<b>Espesor a 4 metros [m]</b>	<b>Espesor a 6 metros [m]</b>	<b>Espesor a 8 metros [m]</b>	<b>Espesor a 10 metros [m]</b>	<b>Promedio "<math>\bar{e}_m</math>"</b>
1	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51
2	1,51	1,51	1,52	1,52	1,51	1,51
3	1,51	1,52	1,51	1,52	1,51	1,51
<b>MEDIA</b>	1,51	1,51	1,51	1,52	1,51	

**Tabla 30***Tabla de registro, Alumband (Lado izquierdo)*

<b>F003</b>	<b>Producto: Alumband</b>				<b>Responsable:</b>	
	<b>Espesor Referencial: 2,00 [mm]</b>				<b>Carlos Jaramillo</b>	
<b>Número de rollo</b>	<b>Espesor a 2 metros [m]</b>	<b>Espesor a 4 metros [m]</b>	<b>Espesor a 6 metros [m]</b>	<b>Espesor a 8 metros [m]</b>	<b>Espesor a 10 metros [m]</b>	<b>Promedio "<math>\bar{e}_m</math>"</b>
1	2,01	2,02	2,02	2,02	2,01	2,02
2	2,01	2,01	2,02	2,02	2,01	2,01
3	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
<b>MEDIA</b>	2,01	2,01	2,02	2,02	2,01	

**Tabla 31***Tabla de registro, Alumband (Lado derecho)*

<b>F004</b>	<b>Producto: Alumband</b>				<b>Responsable:</b>	
	<b>Espesor Referencial: 2,00 [mm]</b>				<b>Carlos Jaramillo</b>	
<b>Número de rollos</b>	<b>Espesor a 2 metros [m]</b>	<b>Espesor a 4 metros [m]</b>	<b>Espesor a 6 metros [m]</b>	<b>Espesor a 8 metros [m]</b>	<b>Espesor a 10 metros [m]</b>	<b>Promedio "<math>\bar{e}_m</math>"</b>
1	2,01	2,01	2,02	2,02	2,01	2,02
2	2,01	2,01	2,01	2,02	2,01	2,01
3	2,02	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
<b>MEDIA</b>	2,01	2,01	2,01	2,02	2,01	

**Tabla 32***Tabla de registro, Imperglass (Lado izquierdo)*

F005	Producto: Imperglass				Responsable: Carlos Jaramillo	
	Espesor Referencial: 2,81 [mm]					
Número de rollo	Espesor a 2 metros [m]	Espesor a 4 metros [m]	Espesor a 6 metros [m]	Espesor a 8 metros [m]	Espesor a 10 metros [m]	Promedio " $\bar{e}_m$ "
1	2,81	2,80	2,81	2,80	2,81	2,81
2	2,81	2,80	2,81	2,81	2,81	2,81
3	2,80	2,81	2,80	2,81	2,81	2,81
<b>MEDIA</b>	2,81	2,80	2,81	2,81	2,81	

**Tabla 33***Tabla de registro, Imperglass (Lado derecho)*

F006	Producto: Imperglass				Responsable: Carlos Jaramillo	
	Espesor Referencial: 2,81 [mm]					
Número de rollo	Espesor a 2 metros [m]	Espesor a 4 metros [m]	Espesor a 6 metros [m]	Espesor a 8 metros [m]	Espesor a 10 metros [m]	Promedio " $\bar{e}_m$ "
1	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81
2	2,80	2,80	2,81	2,81	2,81	2,81
3	2,81	2,81	2,80	2,81	2,81	2,81
<b>MEDIA</b>	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	

**Tabla 34***Tabla de registro, super K (Lado izquierdo)*

<b>F007</b>	<b>Producto: Super k</b>				<b>Responsable:</b> Carlos Jaramillo	
	<b>Espesor Referencial: 3,00 [mm]</b>					
<b>Número de rollo</b>	<b>Espesor a 2 metros [m]</b>	<b>Espesor a 4 metros [m]</b>	<b>Espesor a 6 metros [m]</b>	<b>Espesor a 8 metros [m]</b>	<b>Espesor a 10 metros [m]</b>	<b>Promedio "<math>\bar{e}_m</math>"</b>
1	3,02	3,01	3,02	3,02	3,02	3,02
2	3,01	3,02	3,02	3,01	3,02	3,02
3	3,02	3,02	3,01	3,01	3,02	3,02
<b>MEDIA</b>	3,02	3,02	3,02	3,01	3,02	

**Tabla 35***Tabla de registro, super K (Lado derecho)*

<b>F008</b>	<b>Producto: Super k</b>				<b>Responsable:</b> Carlos Jaramillo	
	<b>Espesor Referencial: 3,00 [mm]</b>					
<b>Número de rollo</b>	<b>Espesor a 2 metros [m]</b>	<b>Espesor a 4 metros [m]</b>	<b>Espesor a 6 metros [m]</b>	<b>Espesor a 8 metros [m]</b>	<b>Espesor a 10 metros [m]</b>	<b>Promedio "<math>\bar{e}_m</math>"</b>
1	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02
2	3,02	3,01	3,02	3,01	3,02	3,02
3	3,02	3,02	3,01	3,02	3,02	3,02
<b>MEDIA</b>	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02	

**Tabla 36***Tabla de registro, Imperpol (Lado izquierdo)*

F009	Producto: Imperpol				Responsable:	
	Espesor Referencial: 3,20 [mm]				Carlos Jaramillo	
Número de rollo	Espesor a 2 metros [m]	Espesor a 4 metros [m]	Espesor a 6 metros [m]	Espesor a 8 metros [m]	Espesor a 10 metros [m]	Promedio " $\bar{e}_m$ "
1	3,21	3,20	3,20	3,21	3,21	3,21
2	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21
3	3,21	3,20	3,21	3,21	3,21	3,21
<b>MEDIA</b>	3,21	3,20	3,21	3,21	3,21	

**Tabla 37***Tabla de registro, Imperpol (lado derecho)*

F010	Producto: Imperpol				Responsable:	
	Espesor Referencial: 3,20 [mm]				Carlos Jaramillo	
Número de rollo	Espesor a 2 metros [m]	Espesor a 4 metros [m]	Espesor a 6 metros [m]	Espesor a 8 metros [m]	Espesor a 10 metros [m]	Promedio " $\bar{e}_m$ "
1	3,21	3,21	3,20	3,20	3,21	3,21
2	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21
3	3,20	3,20	3,21	3,21	3,21	3,21
<b>MEDIA</b>	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	

**Tabla 38***Tabla de registro, 5k (Lado izquierdo)*

<b>F011</b>	<b>Producto: 5k</b>					<b>Responsable:</b>	
	<b>Espesor Referencial: 4,00 [mm]</b>					<b>Carlos Jaramillo</b>	
<b>Número de rollo</b>	<b>Espesor a 2 metros [m]</b>	<b>Espesor a 4 metros [m]</b>	<b>Espesor a 6 metros [m]</b>	<b>Espesor a 8 metros [m]</b>	<b>Espesor a 10 metros [m]</b>	<b>Promedio "ē<sub>m</sub>"</b>	
1	4,02	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	
2	4,03	4,02	4,02	4,02	4,03	4,02	
3	4,03	4,02	4,03	4,02	4,03	4,03	
<b>MEDIA</b>	4,03	4,02	4,03	4,02	4,03		

**Tabla 39***Tabla de registro, 5k (Lado derecho)*

<b>F012</b>	<b>Producto: 5k</b>					<b>Responsable:</b>	
	<b>Espesor Referencial: 4,00 [mm]</b>					<b>Carlos Jaramillo</b>	
<b>Número de rollo</b>	<b>Espesor a 2 metros [m]</b>	<b>Espesor a 4 metros [m]</b>	<b>Espesor a 6 metros [m]</b>	<b>Espesor a 8 metros [m]</b>	<b>Espesor a 10 metros [m]</b>	<b>Promedio "ē<sub>m</sub>"</b>	
1	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	
2	4,03	4,02	4,02	4,02	4,03	4,02	
3	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03	
<b>MEDIA</b>	4,03	4,03	4,03	4,03	4,03		

Se realizó las pruebas del sistema de control estadístico de procesos "SCE", para los productos Techofielt, Alumband, Imperglass, Super K, Imperpol y 5k de la línea de impermeabilización para la variable de control de calidad espesor "e", obteniendo la media "ē" y el índice de capacidad del



proceso “Cp”, en un intervalo de 6 minutos de producción lo cual representa 6 rollos fabricados aproximadamente, para luego realizar una comparación entre el espesor reportado  $\bar{e}_r$  y el espesor medido  $\bar{e}_m$  de 1 rollo tomado en el mismo intervalo de 6 minutos de producción reportado por el sistema “SCE” y verificar cuan coincidentes son los datos. Adicionalmente para efecto de análisis económico se ha registrado el peso “p” de cada rollo de los diferentes productos, obteniendo al igual que en el caso del espesor la media “ $\bar{p}$ ”. Ver tabla 40.

**Tabla 40**

*Datos de espesor reportado por el sistema “SCE”*

PRODUCTO	Fecha de reporte de datos [dd/mm/aa] h:mm	Espesor Nominal [mm]	Media (Espesor) $\bar{e}_r$ [mm] (Lado izquierdo)	Media (Espesor) $\bar{e}_r$ [mm] (Lado derecho)	Cp (Espesor)	Peso Nominal [kg]	Media (Peso) $\bar{p}$ [kg]	Costo /kg
Techofielt	18/05/2017 13:42-13:48	1.5/ $\pm 0.1$	1.51	1.51	1.52	26.7/ $\pm 2$	27.0	1.42
Alumband	19/05/2017 13:38-13:44	2/ $\pm 0.2$	2.02	2.02	1.40	20/ $\pm 1$	20.2	0.65
Imperglass	22/05/2017 13:40-13:46	2.8/ $\pm 0.2$	2.82	2.82	1.42	38/ $\pm 2$	40.2	1.74
Super K	05/06/2017 08:40-08:46	3.0/ $\pm 0.2$	3.05	3.05	1.54	40/ $\pm 2$	40.1	1.08
Imperpol	07/06/2017 09:40-09:46	3.2/ $\pm 0.2$	3.23	3.23	1.54	40/ $\pm 2$	40.1	1.97
5k	12/06/2017 11:30-11:36	4/ $\pm 0.2$	4.06	4.06	1.54	50/ $\pm 2$	50.3	0.66

En base a los datos expuestos en la tabla 40, a continuación, se muestra la comparación entre el espesor medido " $\bar{e}_m$ " en los dos extremos de la lámina (izquierdo y derecho), y el reportado " $\bar{e}_r$ " por el sistema de control estadístico "SCE".

**Tabla 41**

*Comparación entre espesor medido y reportado por el sistema de control estadístico "SCE"*

PRODUCTO	Valor medido espesor " $\bar{e}_m$ " (Izquierda)	Valor medido espesor " $\bar{e}_m$ " (Derecha)	Valor de espesor " $\bar{e}_r$ " reportado "SCE" (Izquierda)	Valor de espesor " $\bar{e}_r$ " reportado "SCE" (Derecha)	% Error (Lado izquierdo)	% Error (Lado derecho)
Techofielt	1.51	1.51	1.51	1.51	0.00	0.00
Alumband	2.01	2.01	2.02	2.02	-0.49	-0.49
Imperglass	2.81	2.81	2.82	2.82	-0.35	-0.35
Super K	3.02	3.02	3.05	3.05	-0.99	-0.99
Imperpol	3.21	3.21	3.23	3.23	-0.62	-0.62
5k	4.03	4.03	4.06	4.06	-0.74	-0.74

Como se observa en la tabla 41, tanto el espesor reportado " $\bar{e}_r$ " por el sistema de control estadístico como el obtenido en las mediciones " $\bar{e}_m$ " es igual en los dos extremos de la lámina, lo cual indica la uniformidad y buen estado de los rodillos de calibración.

Con el objetivo de verificar el desempeño del sistema automático de control estadístico "SCE", la tabla 41 muestra la comparación entre el espesor medido y el espesor reportado y se observa que los datos son muy similares, presentando un error de 0.00% en el Techofielt, -0.49% en el producto Alumband, -0.35% en el Imperglass, -0.99 para el Super K, 0.62% en el Imperpol y -0.74% en el 5K; estos errores no son significativos pues se encuentran por debajo del máximo error admisible que es del 1%, lo cual permite concluir que el sistema es confiable y trabaja de forma adecuada.

Además, gracias al funcionamiento en tiempo real del sistema, se redujo considerablemente el tiempo de respuesta, con lo cual se tienen 5 [m] de lámina fuera de especificaciones, debido a la distancia existente desde la estación de calibración hasta el punto de medición de los sensores.

A continuación, en la gráfica 97 se muestra una captura de pantalla del sistema de control estadístico “SCE”, dónde se observa una tabla con el espesor registrado en el lado izquierdo de la lámina para el producto “Imperglass”, con una frecuencia de muestreo de 20 segundos y a continuación en base a los datos registrados en la tabla se construye la gráfica de control de promedios mostrada en la figura 98, con un tamaño de subgrupo igual a 5, registrando un total de 125 datos en 32 minutos.



**mptek**  
INNOVACION TECNOLÓGICA

**TABLA DE DATOS ESPESOR LINEA IMPERMEABILIZACION**

**IMPERGLASS**

ID	Espesor (izquierdo) [mm]	Fecha
1		2,82 may 22, 2017 1:40 PM
2		2,82 may 22, 2017 1:40 PM
3		2,82 may 22, 2017 1:40 PM
4		2,81 may 22, 2017 1:41 PM
5		2,82 may 22, 2017 1:41 PM
6		2,82 may 22, 2017 1:41 PM
7		2,82 may 22, 2017 1:42 PM
8		2,82 may 22, 2017 1:42 PM
9		2,82 may 22, 2017 1:42 PM
10		2,82 may 22, 2017 1:43 PM
11		2,82 may 22, 2017 1:43 PM
12		2,82 may 22, 2017 1:43 PM
13		2,83 may 22, 2017 1:44 PM
14		2,82 may 22, 2017 1:44 PM
15		2,83 may 22, 2017 1:44 PM
16		2,82 may 22, 2017 1:45 PM
17		2,82 may 22, 2017 1:45 PM
18		2,82 may 22, 2017 1:45 PM

Regresar

Reset

**Figura 97:** Espesor reportado por el sistema “SCE” (Izquierdo)



**Figura 98:** Gráfico de control de promedios, lado izquierdo

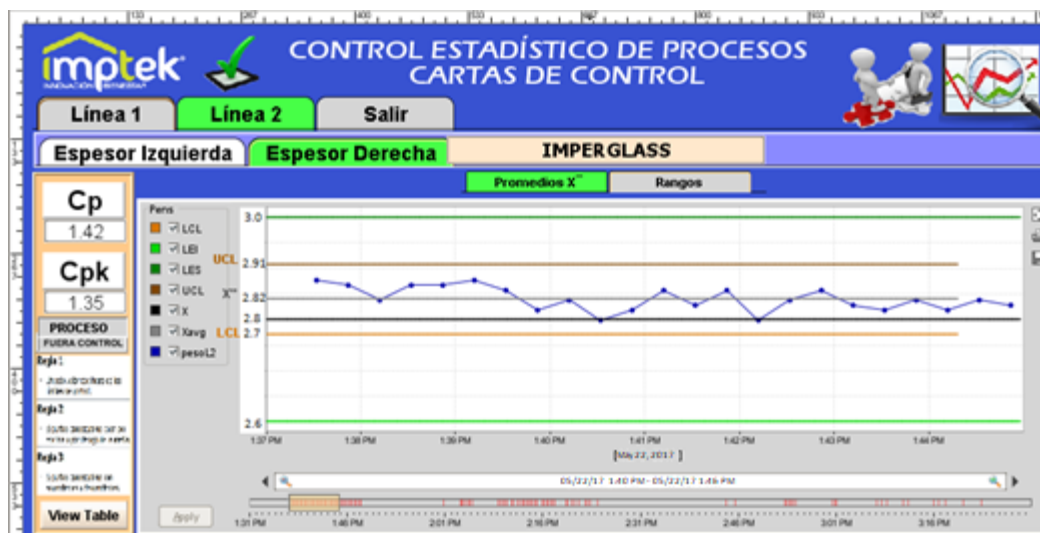
De igual manera se procede con el lado derecho de la lámina, se registran 125 datos divididos en subgrupos de 5 y con una frecuencia de muestreo de 20 segundos. A continuación, se muestran la tabla de datos de espesor y su grafica de control correspondiente.

The screenshot shows a data table titled 'TABLA DE DATOS ESPESOR LINEA IMPERMEABILIZACION' (Thickness Data Table for Impermeabilization Line) for 'IMPERGLASS'. The table has three columns: ID, Espesor (Derecho) [mm], and Fecha. The data points are as follows:

ID	Espesor (Derecho) [mm]	Fecha
1	2,81	may 22, 2017 1:40 PM
2	2,82	may 22, 2017 1:40 PM
3	2,82	may 22, 2017 1:40 PM
4	2,82	may 22, 2017 1:41 PM
5	2,82	may 22, 2017 1:41 PM
6	2,82	may 22, 2017 1:41 PM
7	2,82	may 22, 2017 1:42 PM
8	2,82	may 22, 2017 1:42 PM
9	2,82	may 22, 2017 1:42 PM
10	2,82	may 22, 2017 1:43 PM
11	2,82	may 22, 2017 1:43 PM
12	2,82	may 22, 2017 1:43 PM
13	2,82	may 22, 2017 1:44 PM
14	2,82	may 22, 2017 1:44 PM
15	2,83	may 22, 2017 1:44 PM
16	2,82	may 22, 2017 1:45 PM
17	2,82	may 22, 2017 1:45 PM
18	2,82	may 22, 2017 1:45 PM

The interface also includes a 'Regresar' button at the bottom left and a 'Reset' button at the bottom right.

**Figura 99:** Espesor reportado por el sistema “SCE” (Lado derecho)



**Figura 100:** Gráfica de control de promedios, lado derecho

A continuación, en la tabla 42, se muestra el Cp y Cpk reportados por el sistema de control estadístico “SCE” para todos los productos de la línea de impermeabilización.

**Tabla 42**  
*Registro de Cp y Cpk reportados*

PRODUCTO	Cp (Reportado “SCE”)	Cpk (Reportado “SCE”)
Techofielt	1.52	1.38
Alumband	1.40	1.34
Imperglass	1.42	1.35
Super K	1.54	1.38
Imperpol	1.54	1.41
5k	1.54	1.38

## 6.2. Análisis de resultados

En base a las gráficas de control mostradas en las figuras 98 y 100 para el producto imperglass, se realiza un análisis y no se visualizan patrones no aleatorios, puntos fuera de los límites de control ni tendencias en las gráficas, lo cual significa que el proceso se encuentra estadísticamente estable.

Por otra parte, analizando los Cp y Cpk mostrados en la tabla 42 se observa los valores más bajos en el producto Alumband, con un  $C_p=1.40$  y  $C_{pk}=1.34$ , lo cual significa que el proceso utiliza el 71.42% de la banda de tolerancia del producto y que además está operando apartado del centro, dicho en otras palabras, aun cuando el proceso está descentrado con respecto a la media nominal del producto, es capaz de producir dentro de las especificaciones, pues cumple con el valor mínimo recomendado de índice de capacidad del proceso  $C_p$  y  $C_{pk} \geq 1.33$ , indicado por Douglas Montgomery en su libro "Control estadístico de calidad". (Montgomery, 2005, pág. 371)

En función del análisis realizado con anterioridad a partir de los datos de espesor, Cp y Cpk adquiridos, se concluye que el proceso es estadísticamente estable y capaz, pero sin embargo aún trabaja levemente por encima de la media nominal.

Del análisis anterior surge la importancia de conocer el impacto económico que representa que el proceso de fabricación de lámina impermeabilizante trabaje levemente por encima de la media nominal, a pesar de que el espesor esté dentro de los límites naturales y de especificación, por tal motivo se presenta en la tabla 43 la diferencia entre la especificación nominal y el espesor registrado para todos los productos.

**Tabla 43**

*Comparación entre la especificación nominal y espesor registrado*

Producto	Espesor nominal [mm]	Espesor registrado [mm]	Diferencia [mm]
Techofielt	1.50	1.51	0.01
Alumband	2.00	2.01	0.01
Imperglass	2.80	2.81	0.01
Super K	3.00	3.02	0.02
Imperpol	3.20	3.21	0.01
5k	4.00	4.03	0.03

La tabla 43 permite visualizar que se está produciendo con un exceso en el espesor y por ende en el peso. Para cuantificar dicho exceso y verificar el costo que representa, se realiza un análisis en base al peso del rollo con espesor nominal, siguiendo el siguiente procedimiento:

Se obtiene una muestra de  $1 \text{ m}^2$  de lámina, verificando que el espesor sea el indicado para cada producto. (Ver tabla 46), y luego se pesa dicha muestra en una balanza.

A continuación, con los valores de peso antes medidos se calcula la densidad aplicando la siguiente fórmula.

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{\text{masa [kg]}}{1\text{m}^2 * \text{espesor [m]}}$$

Y finalmente para calcular el peso nominal del rollo aplicamos la siguiente fórmula.

$$m = \rho * V$$

$$m = \rho * (10\text{m}^2 * \text{espesor\_del\_producto})$$

Dónde:

m=masa

$\rho$ =densidad de la lámina

V=volumen de la lámina (1 rollo de 10 [m] X 1 [m])

A continuación, se muestra el cálculo de la densidad para cada producto y el resumen de los resultados en la tabla 44.

$$\rho_{\text{techofielt}} = \frac{2.67 \text{ [kg]}}{1\text{m}^2 * 0.0015\text{[m]}} = 1780 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\rho_{\text{alumband}} = \frac{2.01 \text{ [kg]}}{1\text{m}^2 * 0.002\text{[m]}} = 1005 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\rho_{\text{imperglass}} = \frac{3.98 \text{ [kg]}}{1\text{m}^2 * 0.0028\text{[m]}} = 1421.43 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\rho_{super k} = \frac{3.99 [kg]}{1m^2 * 0.003[m]} = 1330 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\rho_{imperpol} = \frac{3.98 [kg]}{1m^2 * 0.0032[m]} = 1243.8 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\rho_{5k} = \frac{5.02 [kg]}{1m^2 * 0.004[m]} = 1255 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$m_{techofielt} = 1780 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * (10m^2 * 0.0015m) = 26.70 \left[ \frac{kg}{rollo} \right]$$

$$m_{alumband} = 1005 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * (10m^2 * 0.0020m) = 20.1 \left[ \frac{kg}{rollo} \right]$$

$$m_{imperglass} = 1421.43 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * (10m^2 * 0.0028m) = 39.80 \left[ \frac{kg}{rollo} \right]$$

$$m_{superk} = 1330 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * (10m^2 * 0.0030m) = 39.90 \left[ \frac{kg}{rollo} \right]$$

$$m_{imperpol} = 1243.8 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * (10m^2 * 0.0032m) = 39.80 \left[ \frac{kg}{rollo} \right]$$

$$m_{5k} = 1255 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * (10m^2 * 0.0040m) = 50.2 \left[ \frac{kg}{rollo} \right]$$

**Tabla 44**  
Tabla de resumen

PRODUCTO	ESPOSOR NOMINAL [mm]	PESO POR ÁREA $\left[ \frac{kg}{m^2} \right]$	DENSIDAD $\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$	PESO NOMINAL ROLLO [kg]	PESO MEDIDO [kg]	EXESO EN PESO [kg]
Techofielt	1.50	2.67	1780	26.70	27.0	0,3
Alumband	2.00	2.01	1005	20.1	20.2	0.1
Imperglass	2.80	3.98	1421.43	39.80	40.2	0.4
Super K	3.00	3.99	1330	39.90	40.1	0.2
Imperpol	3.20	3.98	1243.80	39.80	40.1	0.3
5k	4.00	5.05	1275	50.20	50.3	0,1



Como se mencionó con anterioridad, a pesar de que el proceso está bajo control estadístico, trabaja ligeramente por encima de la especificación nominal. En base a los datos presentados en la tabla 43 y 44, a continuación, se presenta el siguiente análisis para cuantificar el costo que representa el exceso en espesor y peso de cada producto.

La producción de techofielt se está realizando con un exceso de 0.01 [mm] en espesor y 0.3 [kg] en peso por rollo. Se conoce que el costo de materia prima por unidad de peso para el techofielt es  $0.32 \left[ \frac{\$}{kg} \right]$ , si se multiplica este valor por el exceso en peso se obtiene el costo de dicho excedente por rollo, como se observa a continuación.

$$0.32 \left[ \frac{\$}{kg} \right] * 0.3 [kg] = 0.10 \left[ \frac{\$}{rollo} \right]$$

Del cálculo anterior se obtuvo el costo del exceso en peso por rollo; si se multiplica ese valor por el lote de producción en un turno que es aproximadamente 250 rollos y luego por los días laborables en un año, se obtiene el costo del exceso anual del producto techofielt, tal como se muestra a continuación.

$$0.10 \left[ \frac{\$}{rollo} \right] * 250 \left[ \frac{rollos}{día} \right] * 20 \left[ \frac{días}{mes} \right] * 12 \left[ \frac{meses}{año} \right] = 6000 \left[ \frac{\$}{año} \right]$$

Para el caso del alumband el análisis es similar al del techofielt, el costo anual del exceso se muestra a continuación:

$$0.65 \left[ \frac{\$}{kg} \right] * 0.1 [kg] = 0.26 \left[ \frac{\$}{rollo} \right]$$

$$0.26 \left[ \frac{\$}{rollo} \right] * 250 \left[ \frac{rollos}{día} \right] * 20 \left[ \frac{días}{mes} \right] * 12 \left[ \frac{meses}{año} \right] = 3900 \left[ \frac{\$}{año} \right]$$

]

El cálculo para los productos restantes es similar a los anteriores, y se muestra a continuación.

Imperglass:

$$0.25 \left[ \frac{\$}{kg} \right] * 0.4[kg] = 0.1 \left[ \frac{\$}{rollo} \right]$$

$$0.12 \left[ \frac{\$}{rollo} \right] * 250 \left[ \frac{rollos}{día} \right] * 20 \left[ \frac{días}{mes} \right] * 12 \left[ \frac{meses}{año} \right] = \mathbf{6000} \left[ \frac{\$}{año} \right]$$

Super K:

$$0.45 \left[ \frac{\$}{kg} \right] * 0.2[kg] = 0.09 \left[ \frac{\$}{rollo} \right]$$

$$0.09 \left[ \frac{\$}{rollo} \right] * 100 \left[ \frac{rollos}{día} \right] * 20 \left[ \frac{días}{mes} \right] * 12 \left[ \frac{meses}{año} \right] = \mathbf{2160} \left[ \frac{\$}{año} \right]$$

Imperpol:

$$0.25 \left[ \frac{\$}{kg} \right] * 0.3[kg] = 0.08 \left[ \frac{\$}{rollo} \right]$$

$$0.08 \left[ \frac{\$}{rollo} \right] * 250 \left[ \frac{rollos}{día} \right] * 20 \left[ \frac{días}{mes} \right] * 12 \left[ \frac{meses}{año} \right] = \mathbf{4800} \left[ \frac{\$}{año} \right]$$

5K:

$$0.51 \left[ \frac{\$}{kg} \right] * 0.1[kg] = 0.10 \left[ \frac{\$}{rollo} \right]$$

$$0.10 \left[ \frac{\$}{rollo} \right] * 250 \left[ \frac{rollos}{día} \right] * 20 \left[ \frac{días}{mes} \right] * 12 \left[ \frac{meses}{año} \right] = \mathbf{3060} \left[ \frac{\$}{año} \right]$$

**Tabla 45***Tabla resumen de resultados*

<b>PRODUCTO</b>	<b>Exceso en peso por rollo [kg]</b>	<b>Costo por peso [<math>\frac{\\$}{kg}</math>]</b>	<b>Costo del exceso por rollo [<math>\frac{\\$}{rollo}</math>]</b>	<b>Costo del exceso anual [<math>\frac{\\$}{año}</math>]</b>	<b>Costo del exceso en porcentaje [%]</b>
Techofielt	0.30	0.32	0.10	6000	1.16
Alumband	0.10	0.65	0.06	3900	1.45
Imperglass	0.40	0.25	0.10	6000	0.4
Super K	0.20	0.78	0.16	2160	1.19
Imperpol	0.30	0.71	0.21	4800	1.21
5k	0.10	0.51	0.05	3060	1.25
			<b>TOTAL</b>	<b>25920</b>	<b>6.66</b>

Con referencia a lo anterior se puede concluir que a pesar de que el proceso se encuentra bajo control y dentro de los límites naturales y de especificación, está trabajando por encima de la media nominal, generando un exceso en los costos de producción, tal como se evidencia en la tabla 45. Por consiguiente, si se ajusta el proceso de manera que trabaje del lado que menor costo de producción implique a la empresa, esto quiere decir reducir el espesor de la lámina que a su vez implica disminuir su peso, cuidando que no sobrepase el límite natural inferior ni el de especificación; el resultado es un incremento en el margen de utilidad por concepto de reducción en los costos de producción.

## CAPÍTULO VII

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. Conclusiones

- Se han alcanzado los objetivos general y específicos del proyecto pues, se consiguió regular y corregir el espesor de las láminas impermeabilizantes de forma manual sin necesidad de parar la producción, mediante la implementación de un mecanismo de calibración de espesores, el cual se encuentra calibrado y es confiable. Por otra parte, la implementación del sistema de control estadístico de calidad en el proceso de producción de lámina impermeabilizante permitió la adquisición y procesamiento de datos de forma automática y monitoreo en tiempo real.
- En base a la comparación entre los datos de espesor medidos y los reportados por el sistema de control estadístico, se observa que estos son muy similares, presentando un error máximo del 0.99% en la producción de super k, este error no es significativo pues representa una variación que se encuentra dentro de los límites de control y de especificación; de esta forma se concluye que el sistema es confiable y trabaja de forma adecuada.
- En base a los datos de espesor presentados por el sistema de control estadístico de calidad y debido a la ausencia de patrones no aleatorios y tendencias en las gráficas de control, se concluye que el proceso trabaja dentro de los límites naturales de control y por consiguiente es estadísticamente estable.
- El proceso de producción muestra un  $C_p > 1.33$  en todos los productos, lo cual significa que el proceso es capaz de producir cumpliendo con las especificaciones solicitadas, por otra parte, el  $C_{pk}$  es menor al  $C_p$ , indicando que el proceso se encuentra descentrado y por encima de la

media nominal, pero es mayor a 1.33 en todos los productos, lo cual significa que cumple con el mínimo valor establecido para aceptar que un proceso es capaz.

- En base a las mediciones de espesor y peso realizadas en los diferentes productos impermeabilizantes se concluye que se está produciendo con una media del espesor por encima de la especificación nominal, generando un exceso en los costos de producción de todos los productos impermeabilizantes.

## 7.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar el procedimiento de verificación del funcionamiento del sistema de control estadístico al menos una vez al mes y de acuerdo a los resultados que se obtengan se puede modificar este periodo de verificación.
- Realizar una revisión y mantenimiento del mecanismo de calibración de espesores al finalizar cada semestre, a fin de determinar desgastes en las piezas que podrían ser motivo de apariciones de nuevas “causas especiales” en el proceso.
- En base a los resultados obtenidos en las pruebas del mecanismo de calibración, se recomienda introducir en el instructivo de trabajo de producción de lámina impermeabilizante, la verificación de la separación de los rodillos mediante el uso de galgas y realizarlo al menos cada tres meses.
- Se recomienda reducir el espesor de la lámina en 0.1 [mm] y realizar las pruebas necesarias para asegurar que el proceso se encuentre bajo control y dentro de los límites naturales y de especificación, con el objetivo de reducir los costos de producción en la línea de impermeabilización e incrementar la utilidad de la empresa.

## REFERENCIAS

- Alcalde, P. (2009). *Calidad* (Primera ed.). España: Thomson.
- Antonio, R. (2007). *Sistemas SCADA*. Barcelona: Marcombo.
- Campanario, L. (2014). *UF0426: Instalaciones de telefonía y comunicacion interior* (Primera ed.). Málaga: IC Editorial.
- Diaz. (1990). *Control de calidad teoria y aplicaciones*. Madrid: Prentice Hall.
- Ford Motor Company. (1995). *Control Estadístico de Procesos*. Michigan: Segunda.
- Guajardo, E. (1996). *Administracion de la Calidad Total*. México: Pax México.
- Gutierrez, F. (2016). *Sistema de Aeronaves de Turbinas* (Vol. V). Valencia: NoKooks.
- Ishikawa. (1990). *Introduction to Quality Control*. New Jersey: Prentice Hall.
- Jordi, G. (2008). *Estructura de redes de computadores*. Barcelona: UOC.
- Jose, M. (2009). *Sistemas empotrados en tiempo real*. California: CC.
- Juran, J. (2010). *Quality Control Handbook*. Barcelona: McGraw-Hill Education.
- Juran, J., & Godfrey, B. (2001). *Manual de Calidad* (Vol. I). Madrid: McGraw Hill.
- Kathy, M. (2009). *Conceptos fundamentales en la planificacion estrategica de las relaciones públicas*. Barcelona: UOC.
- Montgomery. (2005). *Control estadístico de calidad*. Londres: Limusa.
- Ospino, L., Barraza, F., Ruiz, T., & Torres, K. (2012). Calidad y su evolucion: una revisión. *Calidad y su evolucion: una revisión*, 100-107.
- Pablo, V. (2006). *Manual de control estadístico de calidad*. Castello: ISBN.
- Pere Ponsa, Díaz Martha, & Catalá Andreu. (2015). Creación de guía ergonómica para el diseño de interfaz. *Universitat Politècnica de Catalunya*, 17.
- Romero, M. d., Barbancho, J., Benjumea, J., Rivera, O., Roperero, J., Sanchez, G., & Sivianes, F. (2014). *Redes Locales*. España: Parainfo.
- Safe Line. (2015). *Electrical Protection and energy efficiency*. Recuperado el 19 de 08 de 2017, de <http://www.safeline.es/es/features/communications/7wr-m1/siscode>. (4 de 12 de 2015). *Sistema de codificacion S.A*. Obtenido de <http://siscode.com/>
- WAGO. (25 de 10 de 2016). *Wago*. Obtenido de <http://www.wago.es/>
- Automation, I. (01 de 02 de 2017). *IGNITION*. Obtenido de <https://inductiveautomation.com/>
- Digamel. (25 de 02 de 2013). *DIGAMEL*. Recuperado el 31 de 07 de 2017, de <http://www.digameltelecomunicaciones.com/que-es-la-fibra-optica/>
- Electro Industria. (Junio de 2007). *Touch One Electro Industria*. Recuperado el 17 de 08 de 2017, de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=720&edi=41&xit=ethernet-para-uso-industrial-proteccion-y-seguridad-para-ambientes-hostiles>
- Electro Industria. (2008). *One Touch Electro Industria*. Recuperado el 16 de 08 de 2017, de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1034>
- FANDOM. (2016). *FANDOM POWERED BY WIKIA*. Recuperado el 04 de 08 de 2017, de [http://es.sistemas1131719.wikia.com/wiki/Est%C3%A1ndar\\_ANSI/TIA/EIA\\_568B](http://es.sistemas1131719.wikia.com/wiki/Est%C3%A1ndar_ANSI/TIA/EIA_568B)
- Futek. (19 de 08 de 2017). *FUTEK*. Obtenido de <http://www.futek.com/>

- Imptek. (2015). *IMPTEK*. Recuperado el 10 de agosto de 2017, de <http://imptek.com/trayectoria/>
- Infolink. (02 de 09 de 2016). *Infolink*. Obtenido de <http://www.infolink.com.ec/>
- ISO. (16 de 08 de 2015). *ISO 9001*. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:10017:ed-2:v1:en>
- Markgraf, B. (2016). *Especificaciones de los cables Cat 5 y Cat 6*. Recuperado el 13 de 08 de 2017, de [http://www.ehowenespanol.com/especificaciones-cables-cat-5-cat-6-info\\_197062/](http://www.ehowenespanol.com/especificaciones-cables-cat-5-cat-6-info_197062/)
- Moises, E. (05 de 03 de 1995). *Diseño y contruccion de una celda de carga*. Obtenido de <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020074697.pdf>
- Nava, L. (2016). *Web del Profesor*. Recuperado el 26 de 08 de 2017, de <http://webdelprofesor.ula.ve/economia/navalu/materias/controldecalidad/Control1.pdf>
- Panasonic. (4 de 08 de 2016). *Sensores laser*. Obtenido de <https://www.panasonic-electric-works.com/es/sensores-laser.htm>
- SENATI. (2016). *SENATI*. Recuperado el 29 de 07 de 2017, de <https://cld.bz/bookdata/2142G1i/basic-html/page-158.html#>
- Universidad de Valencia. (2015). *Sistemas Industriales Distribuidos*. Recuperado el 18 de 08 de 2017, de [http://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo3\\_rev0.pdf](http://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo3_rev0.pdf)
- Wikispaces. (2017). *wikispaces*. Recuperado el 20 de 08 de 2017, de <https://calidadtotalqm.wikispaces.com/Herramientas+de+Planificaci%C3%B3n+y+Administraci%C3%B3n>
- Alderete, V., Colombo, A., Stefano, V., & Wade, P. (05 de 05 de 2015). *SIX SIGMA*. Obtenido de <http://200.16.86.50/digital/33/revistas/cse/sixsigma-six.pdf>
- Wonderware. (04 de 05 de 2017). *Intouch*. Obtenido de <http://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/>



## **ANEXOS**

Anexo A: Hoja de registro de prueba del mecanismo de calibración

Anexo B: Determinación y selección del tamaño de muestra de rollos

Anexo C: Procedimiento de prueba del sistema de calibración de espesores  
previo al inicio de producción

Anexo D: Hoja de registro de prueba del sistema de control estadístico