



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

TÍTULO:

“Diseño y construcción de un sistema automático para el control de espesores en la elaboración de lámina asfáltica de la empresa IMPTEK.”

PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

AUTOR:

WILSON ANDRÉS PAREDES GUERRERO

DIRECTOR: ING. JAVIER POZO

CODIRECTOR: ING. LUIS ECHEVERRIA

ENERO 2015

SANGOLQUI – ECUADOR

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL CONTROL DE ESPESORES EN LA ELABORACIÓN DE LÁMINA ASFÁLTICA DE LA EMPRESA IMPETK.**”, fue realizado en su totalidad por Wilson Andrés Paredes Guerrero como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica.

ING. JAVIER POZO

DIRECTOR

ING. LUIS ECHEVERRIA

CODIRECTOR

Sangolquí Enero, 2015

CERTIFICACIÓN DE AUTORIA

Yo, Wilson Andrés Paredes Guerrero, certifico que el proyecto titulado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL CONTROL DE ESPESORES EN LA ELABORACIÓN DE LÁMINA ASFÁLTICA DE LA EMPRESA IMPETK.”**, el cual presento como requisito previo para la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica es producto de mi labor, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Wilson Andrés

Paredes Guerrero

Sangolquí Enero, 2015

AUTORIZACIÓN

Yo: Wilson Andrés Paredes Guerrero, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL CONTROL DE ESPESORES DE LÁMINA ASFÁLTICA DE LA EMPRESA IMPTEK.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Wilson Andrés

Paredes Guerrero

Sangolquí Enero, 2015

DEDICATORIA

A mi madre Miriam, a mis hermanas Sofía y Jenny por su sacrificio e incondicional apoyo sin el cual esta meta no hubiera sido posible, a mi padre Wilson aunque no se encuentre entre nosotros ha sido mi ejemplo de persona, así como de profesional a seguir, a todo mi familia que ha estado tanto en los buenos como en los malos momentos, y a todo mis amigos de la universidad con los cuales hemos convivido todo esta etapa.

Wilson Andrés Paredes Guerrero

AGRADECIMIENTO

A mi madre Miriam ya que sin ella no estaría cumpliendo este sueño, por la paciencia que tuvo y por siempre apoyarme incondicionalmente en todas mis decisiones.

A mis hermanas Sofía y Jenny, debido a que siempre supieron guiarme, cuidarme, y preocuparse que no me falte nada.

A mis amigos Diego, Raúl, Fausto, Manuel con los cuales conviví este tiempo, alcanzando varios éxitos académicos, a mi amiga Gaby a la que conozco desde el principio de esta etapa estudiantil, ella ha estado en todos los momentos de mi vida brindándome su apoyo, y al resto de mis compañeros con los que siempre podía contar para cualquier actividad.

A Evelyn por toda la ayuda y el apoyo recibido en gran parte de mi vida universitaria.

A los ingenieros Luis Segura y Javier Pozo, ya que ellos abrieron las puertas de tan prestigiosa institución como lo es IMPTEK, en la cual pude culminar este proyecto con total éxito.

Wilson Andrés Paredes Guerrero

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	i
CERTIFICACIÓN DE AUTORIA	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
1. Introducción.....	1
1.1 Definición del Proyecto	1
1.2 Antecedentes	1
1.2.1 Láminas asfálticas	4
1.3 Justificación e importancia.....	5
1.4 Espesores láminas asfálticas.....	6
1.5 Área de influencia.....	10
1.5.1 Láminas asfálticas auto protegidas.....	10
1.5.2 Láminas asfálticas no protegidas.....	11
1.5.3 Teja asfáltica.....	11
1.5.4 Bandas asfálticas autoadhesivas autoprotección	12
1.5.5 Capas separadoras	13
1.6 Objetivos.....	13
1.6.1 Objetivo General.....	13
1.6.2 Objetivos Específicos.....	13
1.7 Alcance.....	14
2. Fundamentación teórica	15

2.1	Introducción al proceso de desarrollo de láminas asfálticas	15
2.1.1	Descripción del proceso de elaboración.....	15
2.1.1.1	Preparación del asfalto modificado	15
2.1.1.2	Laminación	15
2.1.1.3	Material de refuerzo	16
2.1.1.4	Enfriamiento.....	16
2.1.1.5	Enrollado	16
2.1.2	Descripción de los componentes que intervienen en el proceso	16
2.1.2.1	Banco desbobinador	16
2.1.2.2	Empalmadora de armadura	16
2.1.2.3	Unidad de alineamiento inicial	17
2.1.2.4	Unidad de impregnación y revestimiento	18
2.1.2.5	Unidad de aplicación de gránulo o arena	18
2.1.2.6	Unidad de enfriamiento.....	19
2.1.2.7	Estación de tracción.....	20
2.1.2.8	Unidad de alineamiento final.....	20
2.1.2.9	Enrollado de producto.....	21
2.2	Tipos de recubrimientos para láminas asfálticas.....	22
2.2.1	Gránulo mineral	22
2.2.2	Arena.....	22
2.2.3	Foil de aluminio.....	22
2.3	Introducción a los sistemas mecánicos.....	23
2.3.1	Procesos de deformación volumétrica	23
2.3.1.1	Laminado plano	23
2.3.1.2	Molinos laminadores	24
2.3.2	Introducción a los cojinetes de contacto.....	27

2.3.2.1	Cojinetes de contacto rodante	27
2.3.2.2	Cojinetes de contacto deslizante.....	29
2.3.2.3	Guías lineales	30
2.3.3	Introducción a los mecanismos de transformación de movimiento rotacional a líneal.....	30
2.3.3.1	Mecanismo leva.....	31
2.3.3.2	Excéntrica.....	32
2.3.3.3	Tornillo de potencia.....	32
2.3.4	Engranés cónicos	33
2.3.5	Introducción a la teoría de contacto	34
2.3.5.1	Teoría general de Kalker.....	34
2.3.6	Desgaste en los materiales.....	35
2.3.6.1	Desgaste por fatiga de contacto.....	35
2.3.6.2	Desgaste abrasivo	36
2.3.6.3	Desgaste adhesivo	36
2.3.6.4	Desgaste por erosión.....	36
2.3.6.5	Desgaste por deslizamiento.....	37
2.3.7	Materiales	37
2.3.7.1	Nylon PA 6 (Duralon).....	37
2.3.7.2	Polietileno	37
2.3.7.3	Acero A36.....	38
2.4	Introducción a los sistemas eléctricos y electrónicos	38
2.4.1	Descripción de los servomotores industriales	38
2.4.1.1	Servomotores Brushless DC/AC.....	39
2.4.2	Controlador lógico programable (PLC).....	40
2.5	Introducción a los sistemas de control.....	40

2.5.1	Descripción sensores LVDT.....	40
2.5.2	Descripción de sensores de distancia láser	41
2.5.3	Descripción de controlador industrial digital PID	41
2.5.4	Controlador ON-OFF	42
3.	Diseño del sistema	43
3.1	Dimensionamiento y diseño de los componentes mecánicos	43
3.1.1	Selección del material para el sistema de medición.....	43
3.1.1.1	Ensayo Pin-on -Disk	44
3.1.1.2	Pérdida de masa en el Teflón, Polietileno y Nylon	44
3.1.2	Selección de guías lineales.....	45
3.1.3	Sistema de medición del espesor	48
3.1.3.1	Diseño del rodillo seguidor.....	50
3.1.3.2	Análisis rodillo seguidor plano X-Y.....	50
3.1.3.3	Análisis rodillo seguidor plano X-Z.....	52
3.1.3.4	Estudio de elementos finitos de la estructura de soporte	53
3.1.3.5	Análisis de desgaste rodillo seguidor	55
3.1.3.6	Selección de cojinetes	57
3.1.3.7	Selección de ajustes	59
3.2	Dimensionamiento de los componentes eléctricos y electrónicos.....	59
3.2.1	Dimensionamiento y selección de servomotor	59
3.2.2	Dimensionamiento por leva excéntrica	61
3.2.3	Dimensionamiento por tornillo de potencia	62
3.2.4	Selección del mecanismo a usar.....	66
3.2.5	Diseño del acople servomotor-tornillo	67
3.2.6	Cálculo de las cargas.....	72
3.2.7	Diseño de la chaveta y chavetero	73

3.2.8	Presión ejercida por el molino laminador	74
3.3	Dimensionamiento de los componentes del sistema de control	77
3.3.1	Selección del sensor a utilizar.....	77
3.3.2	Modelo matemático rodillos laminadores	79
4.	Construcción e implementación.....	84
4.1	Construcción del sistema mecánico.....	84
4.1.1	Implementación del mecanismo para medir la variación de espesor	84
4.1.2	Construcción estructura de soporte	85
4.1.3	Instalación del molino laminador	87
4.2	Construcción del sistema eléctrico/electrónico	88
4.2.1	Instalación de resistencias.....	88
4.2.2	Instalación de la caja de control.....	90
4.3	Construcción del sistema de control	91
4.3.1	Construcción del controlador	92
4.3.2	Diseño parámetros del actuador	93
4.3.3	Diagrama de flujo de control	94
5.	Análisis de resultados y pruebas	95
5.1	Prueba del sistema con armadura	95
5.2	Prueba del sistema con Imperpol 3000.....	97
5.3	Adquisición de temperatura de la tina de impregnación.....	100
5.4	Análisis de resultados.....	100
6.	Análisis económico y financiero.....	102
6.1	Análisis financiero.....	102
6.1.1	Costos elementos de control.....	102
6.1.2	Costos sensores	103
6.1.3	Costos mecanismo de medición	103

6.1.4 Costos componentes del servomotor.....	104
6.1.5 Costos de instalación.....	104
6.1.6 Costo mano de obra	105
6.1.7 Costo total	105
6.2 Análisis económico.....	106
7. Conclusiones y recomendaciones	109
7.1 Conclusiones	109
7.2 Recomendaciones	110
BIBLIOGRAFÍA.....	112
ANEXOS	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Evolución del PIB vs el PIB de construcción 2000-2009	2
Figura 2 Evolución crédito vivienda del sistema financiero	3
Figura 3 Mecanismo de regulación de espesor manual	8
Figura 4 Regulación manual cilindros mínimo – máximo	8
Figura 5 Regulación engrane para los productos.....	9
Figura 6 Imperpol 3000/4000.....	10
Figura 7 Techofielt 3000	11
Figura 8 Teja Asfáltica	11
Figura 9 Imperband	12
Figura 10 Alumband	12
Figura 11 Techofielt 1500	13
Figura 12 Empalmadora de armadura	17
Figura 13 Unidad de alineamiento inicial	17
Figura 14 Unidad de impregnación y revestimiento	18
Figura 15 Unidad de impregnación de gránulo mineral.....	19
Figura 16 Unidad de enfriamiento.....	19
Figura 17 Estación de tracción	20
Figura 18 Unidad de alineamiento final.....	21
Figura 19 Enrolladora	21
Figura 20 Gránulo mineral	22
Figura 21 Lámina asfáltica con foil de aluminio.....	23
Figura 22 Laminado plano	24

Figura 23 Molino 2 rodillos.....	24
Figura 24 Molino 3 rodillos.....	25
Figura 25 Molino 4 rodillos.....	25
Figura 26 Molino racimo	26
Figura 27 Molino de rodillos en tándem	26
Figura 28 Cojinete de bolas	28
Figura 29 Cojinete de rodillos	28
Figura 30 Cojinete de rodillos cónicos	29
Figura 31 Cojinete de empuje.....	29
Figura 32 Cojinete de contacto deslizante	30
Figura 33 Guías lineales.....	30
Figura 34 Leva-seguidor.....	31
Figura 35 Excéntrica.....	32
Figura 36 Gato mecánico con tornillo de potencia cuerda Acme	33
Figura 37 Tornillo de avance impulsado por un servomotor.....	33
Figura 38 Engrane cónico recto (a), Engrane cónico espiral (b)	34
Figura 39 Teoría general de Kalker	35
Figura 40 Desgaste abrasivo	36
Figura 41 Servomotor	39
Figura 42 Conmutación brushless DC/AC	39
Figura 43 PLC	40
Figura 44 Circuito regulación, esquema funcional	42
Figura 45 Pérdida de masa de los 3 materiales	44
Figura 46 Guía lineal TW-01015.....	46
Figura 47 Guía lineal WJ200UM-01-10LL.....	47

Figura 48 Guía lineal OGAS-01-12	47
Figura 49 Estación de tracción	49
Figura 50 Rodillo seguidor	50
Figura 51 DCL en plano X-Y.....	51
Figura 52 DCL en plano X-Z.....	52
Figura 53 Estructura de soporte	54
Figura 54 Análisis FEM factor de seguridad	54
Figura 55 Análisis FEM desplazamiento máximo escala (7911)	55
Figura 56 DCL- Rodillo laminador.....	60
Figura 57 Diagrama de fuerzas	60
Figura 58 Diagrama cuerpo libre leva excéntrica	61
Figura 59 Tornillo de potencia impregnadora.....	63
Figura 60 Análisis de fuerzas en el punto de contacto tornillo-tuerca cuerda Acme ..	64
Figura 61 Geometría de un engrane cónico.....	67
Figura 62 Nomenclatura engrane cónico	68
Figura 63 Fuerzas engrane cónico	72
Figura 64 Chavetas prismáticas y ranuras.....	74
Figura 65 Vista lateral compresión lámina asfáltica	75
Figura 66 Servomotor (FESTO).....	76
Figura 67 Caja reductora (FESTO)	76
Figura 68 Sensor Laser OD1-B015C05I14	77
Figura 69 Sensor DTA-25D	78
Figura 70 Comportamiento dinámico rodillos laminadores.....	80
Figura 71 Analogía eléctrica rodillos laminadores (Platero, 2008).....	81
Figura 72 Fresado sistema medición	84

Figura 73 Mecanismo de medición	85
Figura 74 Construcción estructura de soporte	85
Figura 75 Estructura de soporte	86
Figura 76 Montaje estructura de soporte	86
Figura 77 Molino laminador	87
Figura 78 Rodillos de dirección.....	87
Figura 79 Instalación resistencias en molino	88
Figura 80 Instalación sensor temperatura.....	89
Figura 81 Caja de paso	89
Figura 82 Caja de control REISER	90
Figura 83 Pantalla de inicio.....	90
Figura 84 Pantalla control etapas	91
Figura 85 Pantalla de visualización espesor	91
Figura 86 Diagrama de flujo algoritmo de control.....	94
Figura 87 Medición armadura polyester.....	95
Figura 88 Espesor armadura vs tiempo	96
Figura 89 Espesor armadura en el HMI	97
Figura 90 Medición Imperpol 3000.....	97
Figura 91 Espesor Imperpol 3000.....	99
Figura 92 Gráfico de correlación.....	99
Figura 93 Temperatura tina de impregnación	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Causas producto conforme	6
Tabla 2 Causas producto no conforme	6
Tabla 3 Espesores de láminas asfálticas	7
Tabla 4 Valores para el cálculo del coeficiente de desgaste	45
Tabla 5 Datos técnicos guía TW	46
Tabla 6 Datos técnicos guía W	46
Tabla 7 Datos técnicos guía R	47
Tabla 8 Matriz de selección de guías lineales.....	48
Tabla 9 Peso de los componentes del sistema de medición.....	51
Tabla 10 Selección de ajustes	59
Tabla 11 Matriz de selección ubicación del servomotor	66
Tabla 12 Datos técnicos sensor laser	77
Tabla 13 Datos técnicos sensor LVDT.....	78
Tabla 14 Matriz de selección sensores.....	79
Tabla 15 Relación Avance lineal-Ángulo.....	92
Tabla 16 Valores iniciales de las láminas asfálticas.....	93
Tabla 17 Espesor armadura polyester	96
Tabla 18 Espesor Imperpol 3000.....	98
Tabla 19 Precio elementos de control.....	102
Tabla 20 Precio sensores	103
Tabla 21 Precio mecanismo medición	103
Tabla 22 Precio servomotor y componentes.....	104

Tabla 23 Precio instalación.....	105
Tabla 24 Precio mano de obra.....	105
Tabla 25 Precio total del proyecto.....	106
Tabla 26 Egresos-Ingresos.....	108
Tabla 27 Resultados Beneficio-Costo.....	108

RESUMEN

El presente proyecto muestra el diseño y construcción de un sistema automático para el control del espesor de la lámina asfáltica de la empresa IMPTEK, ubicada en su nueva instalación en el sector de El INGA, la compañía tiene como objetivo principal, la elaboración de productos para el sector de la construcción, dentro de los cuales destaca la lámina asfáltica, la misma que se encuentra dividida según su tipo de protección. IMPTEK actualmente cuenta con certificados de calidad como lo son “ISO-9000” y el sello “HACE BIEN”. Para mantener los mismos la empresa debe garantizar que la lámina cumpla con todas sus propiedades como lo son la impermeabilización, la resistencia a la tracción y su espesor. Por lo mencionado se ha optado por la automatización y control de gran parte del proceso de laminación dentro del cual se encuentra el control del espesor de la lámina el proyecto que se ha desarrollado permitirá a IMPTEK el control de esta propiedad.

Palabras clave:

- LÁMINA ASFÁLTICA
- SISTEMA DE MEDICIÓN
- CONTROLADOR DE ESPESOR
- LEVA EXCÉNTRICA
- TORNILLO DE POTENCIA.

ABSTRACT

This project shows the design and construction of an automatic system for controlling the thickness of the asphalt layer IMPTEK Company, located in its new facility in the field of INGA, the company's main objective is the development of products of house building sector within which stresses the asphalt layer, the same that is divided by type of protection. IMPTEK currently has several quality certificates such as "ISO-9000" and stamped "HACE BIEN". To keep them company must ensure that the sheet meets all its properties such as waterproofing, tensile strength and thickness. As mentioned we have opted for the automation and control of much of the rolling process in which the control is the thickness of the film project that has developed IMPTEK allow control of this property.

Keywords:

- ASPHALT BLADE
- MEASURING SYSTEM
- THICKNESS CONTROLLER
- ECCENTRIC CAM
- POWER SCREW.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1. Introducción

1.1 Definición del Proyecto

El presente proyecto está orientado a resolver el control de espesores de la lámina asfáltica de la empresa IMPTEK mediante el control y regulación de un sistema automático.

Para lo cual este proyecto contará con tres fases; la primera que es el desarrollo del sistema de medición, la segunda que es el mecanismo de regulación automática del espesor y por último el control automático de todo el sistema.

1.2 Antecedentes

IMPTEK es una empresa que fabrica y comercializa mayoritariamente productos asfálticos para la impermeabilización, viales, paneles de poliuretano entre otros. Esta empresa se encuentra ubicada en el Cantón Rumiñahui de la provincia de Pichincha; cuenta actualmente con dos plantas de producción, las mismas que están ubicadas en los sectores de Cashapamba y en el INGA.

Este proyecto surgió debido a varios factores entre los cuales destacan, el crecimiento actual de la industria de la construcción, lo cual requiere que los insumos necesarios se incrementen en relación a la demanda de los mismos.

Desde el año 2005 a 2011 se ha observado que el sector inmobiliario creció en un 15%. En 2010, según la Cámara de Construcción de Pichincha, alrededor de 85 000 personas invirtieron en una casa propia.

De acuerdo a la Asociación de Promotores Inmobiliarios de Vivienda del Ecuador (Apive) indican que el total de ventas fue de USD 1 700 millones, que se descompone en USD 1 140 millones en créditos concedidos entre todos los operadores financieros regulados por la Superintendencia de Bancos y Seguros (SBS) y el Banco del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (Biess), más un estimado de las diferencias no financiadas y las transacciones realizadas sin financiamiento, así lo confirman los ratios generados por Apive; el 60% del mercado fue movido por entes privados y cerca del 40% por el estatal.

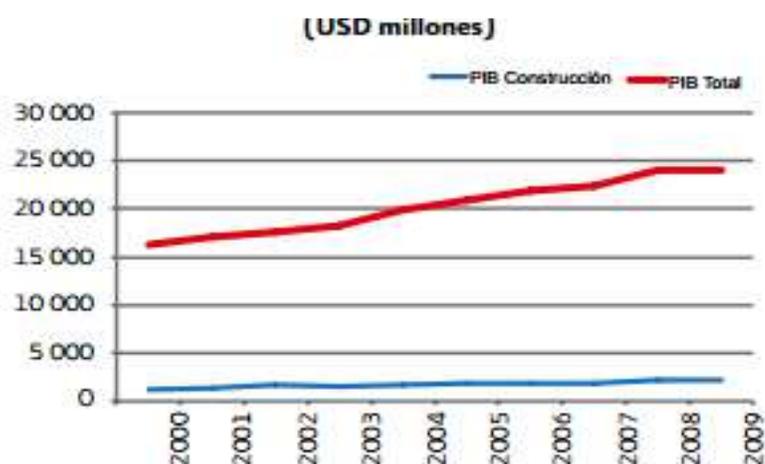


Figura 1 Evolución del PIB vs el PIB de construcción 2000-2009
(BCE/UTPL)

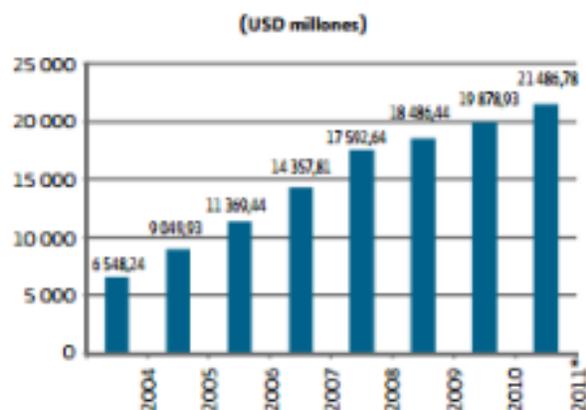


Figura 2 Evolución crédito vivienda del sistema financiero (ECONESTAD)

En el año 2012, Ecuador registró un crecimiento del 5,4%, según cifras del Banco Central del Ecuador. La construcción, con un incremento del 3,4%, los servicios con el 2,4% y las industrias manufactureras con el 1,5%, son las actividades que lideran la economía. La inversión realizada en el área bordea los \$1.000 millones, según la información del MIDUVI, situación que habría permitido mejorar las condiciones de vida de la población y reducir el déficit de vivienda.

Las industrias relacionadas con el mercado de construcción inmobiliaria como las de cemento, metal, plásticos e impermeabilizantes son las que han crecido igual que la demanda inmobiliaria. Desde el 2005 la productividad en Ecuador ha registrado un aumento en la exportación de productos no petroleros de USD 9377 millones, según el Banco Central del Ecuador.

Por lo expuesto con anterioridad, la empresa IMPTEK se encuentra cada vez más en caminata a elaborar productos de calidad en todo lo que concierne a productos de impermeabilización lo mismo ha hecho que la empresa se haya posicionado dentro del mercado ecuatoriano así como en otros sectores de la región.

1.2.1 Láminas asfálticas

IMPTEK inicio su producción de láminas asfálticas de tipo Impernylon, Imperglass, Asfalum, y pegamentos e imprimantes de base asfáltica con solventes.

Estas son láminas impermeables compuestas por sustancias bituminosas derivadas del asfalto que por lo general se utilizan en la impermeabilización de cubiertas y muros subterráneos, por la aplicación de calor se logra su adherencia al soporte y así evita el paso del agua.

La producción de láminas asfálticas en IMPTEK empieza cuando la armadura de poliéster se sumerge en asfalto modificado en la tina de impregnación en este proceso queda cubierta de asfalto modificado por ambos lados es ahí cuando pasa por el medio de unos rodillos para regular su espesor, dichos rodillos son manipulados manualmente por el operario y regulados de forma poca eficiente para lo que es un proceso de producción continua, en este proceso se regula a un determinado espesor, después comienza la colocación del material de refuerzo de la lámina asfáltica dependiendo del producto que se esté produciendo, cabe indicar que para la nueva nave industrial que será instalada en la planta del sector el INGA no cuenta con rodillos para presionar el gránulo o el material de aporte, por esta circunstancia la cantidad de asfalto modificado debe ser la indicada para que el producto tengo su espesores dentro de las tolerancias indicadas.

Por estas razones se propone diseñar un sistema automático que controle el espesor, para lo cual se debe realizar un sistema para medir las variaciones automáticas para enviar esta señal al controlador lógico programable (PLC) y este dará la señal de control que activara de forma automática a los rodillos que

realizaran la acción de control para regular el espesor y que se encuentre dentro de los parámetros requeridos.

1.3 Justificación e importancia

El proyecto fue desarrollado con el fin de satisfacer las necesidades de automatización y control de la línea de laminación asfáltica, en lo que se refiere a la regulación del espesor de la misma. Actualmente en IMPTEK este proceso es totalmente manual, la parte de regulación del espesor se la realiza mediante el uso de rodillos, al igual que la parte de la medición del espesor de la lámina asfáltica es realizada mediante un operario que mide de forma manual, lo cual no garantiza exactitud debido a que la línea de producción es continua, y no se detiene por tal la acción de control del operario que este encargado de la regulación de los rodillos no es inmediata, adicionalmente el operario de los rodillos vuelve a verificar la distancia entre rodillos con otro calibrador.

La importancia de este producto en la empresa se enfoca en temas de calidad y productividad. Cuando el sistema propuesto entre en funcionamiento garantizara a la empresa que la corrección del espesor de lámina sea inmediata por lo cual el producto que se fabrique estará dentro de los parámetros indicados y ya no tendrá que eliminarse y desperdiciar el material.

Tabla 1
Causas producto conforme

Producto	Tipo de producto Imperglass 3000	Causas
Conforme		<p>Espesor de 3.1 mm</p> <p>Correcta impregnación de asfalto modificado en el pre impregnador, y del gránulo mineral. La alineación de la lámina asfáltica fue correcta.</p>

Tabla 2
Causas producto no conforme

Producto	Tipo de producto Imperglass 3000	Causas
No conforme		<p>Espesor de 4.2 mm</p> <p>Mal calibrados los rodillos del pre impregnador. El espació entre cilindros de impregnación de granulo mineral no fue regulado adecuadamente</p>

1.4 Espesores láminas asfálticas

Dentro de la empresa IMPTEK se producen, diferentes tipos de láminas asfálticas estas varían su espesor dependiendo del recubrimiento que tenga así como de su funcionalidad.

Tabla 3
Espesores de láminas asfálticas

Producto	Espesor	
	Menor (mm)	Mayor (mm)
IMPERPOL 3000	3	3.5
IMPERPOL 4000	3.8	4.2
IMPERGLASS 3000	3	3.5
ASFALUN	2.7	3
TECHOFIELT 2000	1.8	2.2
TECHOFIELT 3000	2.8	3.2
SUPER K 2500	2.4	2.6
SUPER K 3000	2.8	3.2
ALUMBAND	2.4	2.6

(IMPTEK)

El espesor de la lámina asfáltica brinda ciertas propiedades a la misma, por lo cual es importante su control, ya que si el espesor de la lámina es inferior a los parámetros requeridos estará expuesta a sufrir daños mecánicos, y por el contrario si la lámina es más gruesa esta no se adherirá correctamente a la superficie y tampoco permitirá el montaje sobre la misma.

Actualmente se da el espesor a la lámina asfáltica de forma manual, un obrero es el encargado de manipular el mecanismo para regular el espesor, lo cual no garantiza que dicho espesor se encuentre dentro de los límites establecidos para los productos que se produzcan.

En la figura 3, se observa el mecanismo de regulación del espesor de la lámina asfáltica, el mismo que es operado manualmente lo que no garantiza, que el producto se encuentre dentro las tolerancias establecidas.

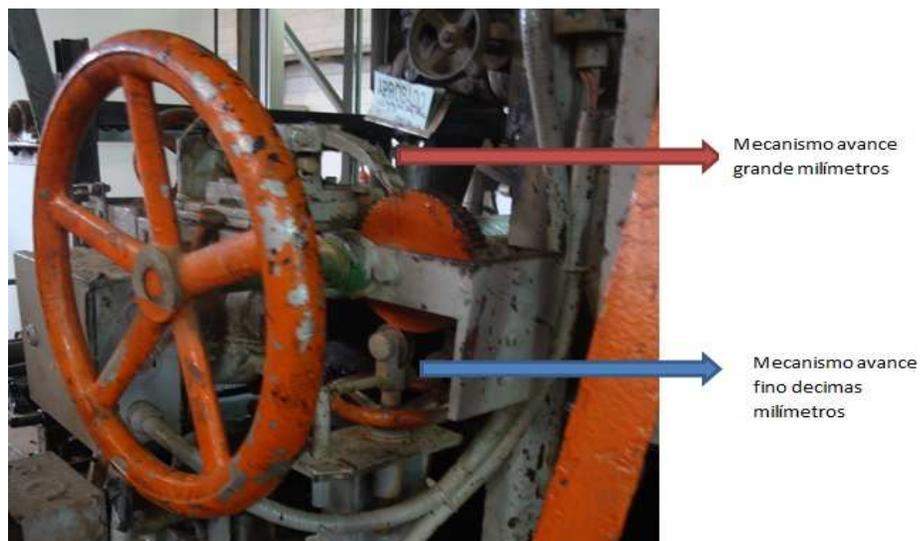


Figura 3 Mecanismo de regulación de espesor manual

Actualmente la forma de saber qué tipo de lámina asfáltica se fabricara, es por medio de marcas en la leva excéntrica del mecanismo como se lo puede ver en la figura 4 y 5, dichas señales han sido colocadas por los obreros de una forma muy empírica.



Figura 4 Regulación manual cilindros mínimo – máximo



Figura 5 Regulación engrane para los productos

Para regular el espesor de lámina se utilizan rodillos, los cuales son operados mediante una manivela, por ende no garantiza precisión del mismo, por estas razones se usó un servo motor para regular el movimiento del mismo y por ende su espesor.

El desarrollo del proyecto colaboró con la mejora y modernización de la nueva planta del sector de El INGA, lo cual hará que la empresa mejore sus estándares y políticas de calidad, incrementado su producción así como la satisfacción del cliente al adquirir un producto de altísima calidad.

IMPTEK es una empresa que cumple con los más altos parámetros de calidad por estos motivos ha obtenido certificaciones que lo avalan como la ISO-9000 y sello "HACE BIEN", para que la empresa mantengan dichas certificaciones y obtenga otras se debe garantizar que el producto que se fabrica para posteriormente ser comercializado debe estar entre los parámetros requeridos,

pero con más énfasis las láminas asfálticas, debido a que es el producto que más se comercializa en la empresa.

1.5 Área de influencia

El proyecto influyó en el área de producción de la lámina asfáltica por lo que interviene en la línea de producción de la maquinaria REISER, debido a que en esta parte de la empresa es la encargada de producir todo lo que compete a láminas asfálticas, dentro de los productos que destacan son los siguientes:

1.5.1 Láminas asfálticas auto protegidas

Estas son láminas de asfalto modificado con polímeros SBS, con armadura de poliéster y presentan autoprotección de gránulos minerales

- Imperpol 3000/4000
- Imperpol 3000 Anti-raíz
- Imperglass 3000/4000

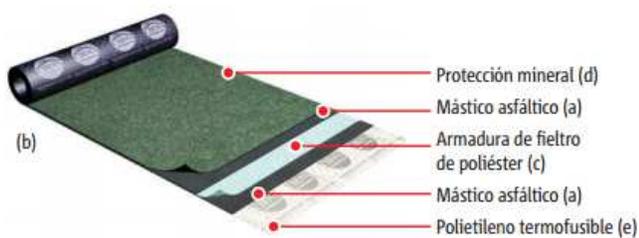


Figura 6 Imperpol 3000/4000
(IMPTEK)

1.5.2 Láminas asfálticas no protegidas

Lámina de asfalto modificado con polímeros SBS, con armadura de fibra de vidrio, polietileno termo fusible en la cara inferior y arena en la cara superior

- Techofielt 3000

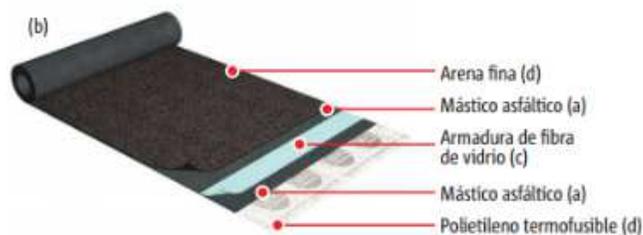


Figura 7 Techofielt 3000
(IMPTEK)

1.5.3 Teja asfáltica

Placa asfáltica decorativa producida a partir de una lámina de asfalto modificado con polímeros SBS, con armadura de fibra de vidrio y autoprotección de gránulos minerales

- Tejas asfáltica decorativa

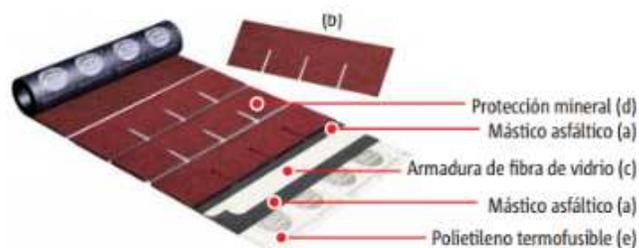


Figura 8 Teja Asfáltica
(IMPTEK)

1.5.4 Bandas asfálticas autoadhesivas autoprotección granular, o metálica

Lámina de asfalto modificado con polímeros autoadhesivos SBS, con autoprotección de gránulos minerales y armadura de poliéster

- Imperband

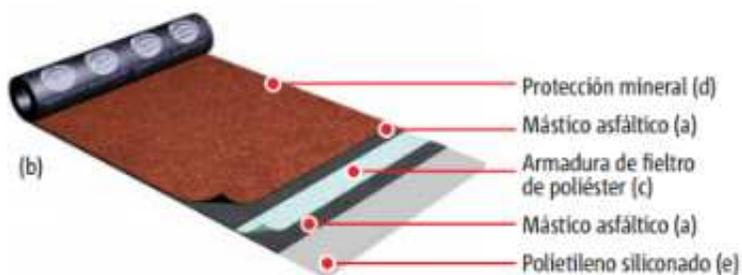


Figura 9 Imperband (IMPTEK)

- Alumband

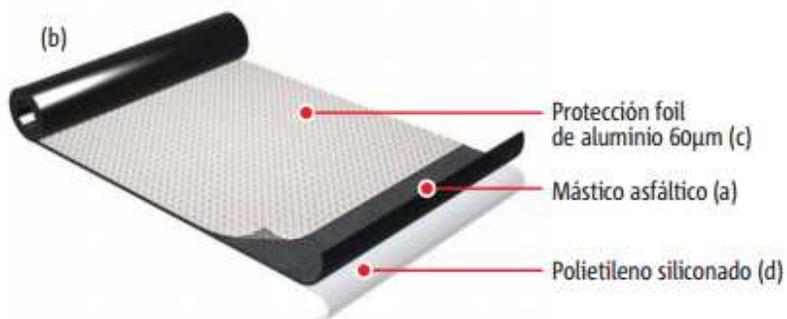


Figura 10 Alumband (IMPTEK)

1.5.5 Capas separadoras

Lámina de asfalto modificado con polímeros SBS con armadura de fibra de vidrio y arena en las caras superior e inferior

- Techofielt 1500

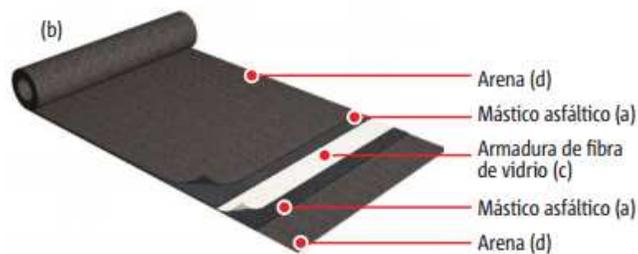


Figura 11 Techofielt 1500
(IMPTEK)

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema automático para el control de espesores de la lámina asfáltica elaborada por la empresa IMPTEK.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Implementar el diseño de un mecanismo automático para medir la variación de espesor de la lámina asfáltica.
- Dimensionar los componentes eléctricos y electrónicos para que permitan el correcto funcionamiento del sistema de control de espesores.

- Diseñar un sistema de control automático que permita realizar la regulación del espesor de lámina asfáltica por medio de los rodillos prensadores.
- Implementar un sistema SCADA que permita la visualización de cada uno de los parámetros sensado en el proceso de fabricación de la lámina asfáltica.
- Reducir los costos por sobredimensionamiento en la fabricación de la lámina asfáltica debido al exceso de asfalto modificado impregnado en la armadura.
- Validar el funcionamiento del mecanismo implementado para medir las variaciones de espesor de la lámina asfáltica.

1.7 Alcance

El presente proyecto tiene como alcance el desarrollo de un sistema automático de control para la regulación de espesor de la lámina asfáltica, diseño y construcción del sistema de medición. Para contribuir con la empresa IMPTEK teniendo en cuenta el crecimiento inmobiliario actual del Ecuador

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2. Fundamentación teórica

2.1 Introducción al proceso de desarrollo de láminas asfálticas

El proceso de fabricación de la lámina asfáltica consiste básicamente en tener un material base, el mismo que será cubierto con un manto asfáltico, a continuación se detallara el proceso elaboración.

2.1.1 Descripción del proceso de elaboración

La lámina asfáltica es fabricada a partir de betún asfáltico, dicho material es el encargado de realizar la impermeabilización, la lámina asfáltica consta de un armadura la que se encargada de dar soporte y resistencia, su proceso de elaboración son los siguientes.

2.1.1.1 Preparación del asfalto modificado

Es la materia base para la lámina asfáltica atravésé de tanques mezcladores los cuales regulan sus componentes y propiedades del asfalto, caolín entre otros.

2.1.1.2 Laminación

Es cuando la armadura se impregna por ambos lados de asfalto modificado, a continuación se ajusta el espesor mediante rodillos de separación regulable.

2.1.1.3 Material de refuerzo

Estos son materiales que se añaden a la armadura cuando está impregnada con el asfalto modificado como por ejemplo gránulo mineral, arena, foil de aluminio entre otros brinda ciertas propiedades a la lámina asfáltica.

2.1.1.4 Enfriamiento

La lámina asfáltica debe ser enfriada antes de ser enrollada por lo cual pasa por una serie de rodillos que reducen la temperatura de la lámina.

2.1.1.5 Enrollado

Lo realiza sobre soportes donde es medida antes de su paletizado y posterior almacenamiento.

2.1.2 Descripción de los componentes que intervienen en el proceso

2.1.2.1 Banco desbobinador

Cuentan con rodillos que son los ejes que soportan la bobina de armadura de polyester o fibra de vidrio, para después controlar la tensión que es regulada mediante frenos regulados neumáticamente.

2.1.2.2 Empalmadora de armadura

Se utiliza para realizar empalmes cuando la bobina de armadura se termine y se quiera unir con el inicio de la otra bobina de armadura, las uniones entre bobinas son realizadas mediante el uso de una cinta y unidas por transferencia de calor.

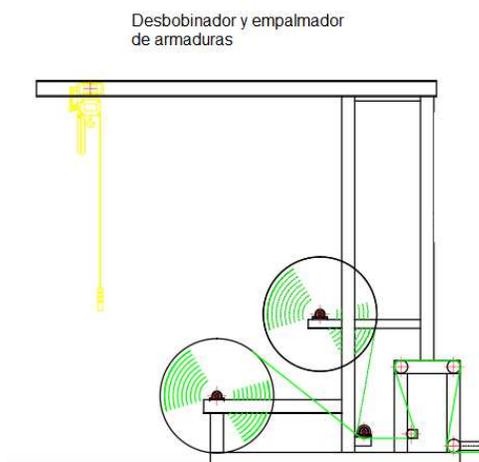


Figura 12 Empalmadora de armadura (IMPTEK)

2.1.2.3 Unidad de alineamiento inicial

Este proceso contará con dos máquinas diferentes que serán las encargadas de compensar la altura y también de acumular armadura, y la otra máquina encargada del alineamiento de la armadura, la maquinaria que interviene son: compensador de armaduras y el alineador de armaduras.

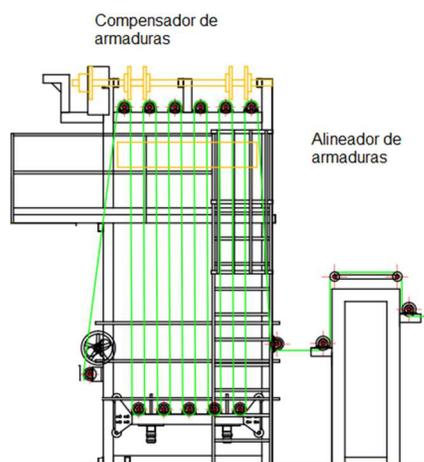


Figura 13 Unidad de alineamiento inicial (IMPTEK)

2.1.2.4 Unidad de impregnación y revestimiento

En este proceso el trabajo es realizado por la balsa de saturación, y la tina o balsa de impregnación donde la lámina es sumergida en asfalto modificado, dos veces para asegurar su completa impregnación y dar el espesor a la lámina.

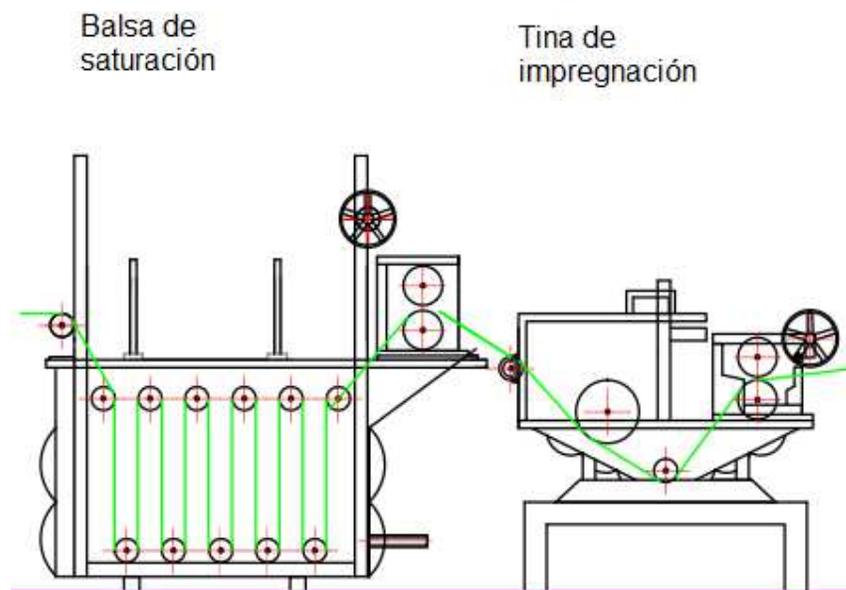


Figura 14 Unidad de impregnación y revestimiento (IMPTEK)

2.1.2.5 Unidad de aplicación de gránulo o arena

Esta unidad cuenta con la impregnadora de gránulo y el elevador de cangilones, la primer máquina es la encargada de distribuir el material de protección a la lámina en un a cara o en ambas, la segunda máquina se encarga de transportar el material a la impregnadora de gránulo.

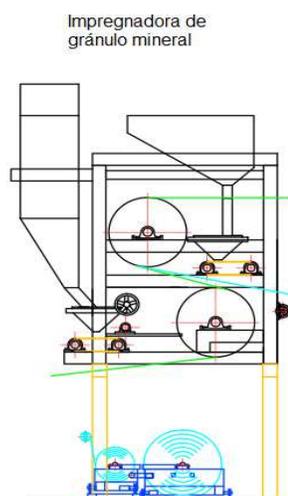


Figura 15 Unidad de impregnación de gránulo mineral
(IMPTEK)

2.1.2.6 Unidad de enfriamiento

El enfriamiento se realiza mediante 2 estaciones con rodillos, que internamente se encuentran llenos de agua, para enfriar la lámina asfáltica por lo cual el enfriamiento se realiza por convección.

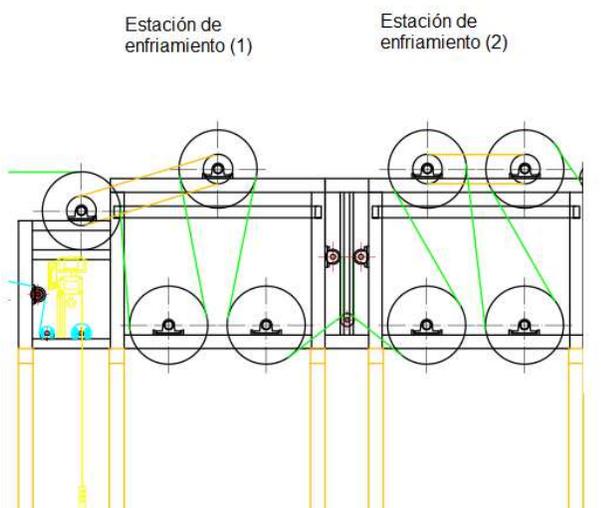


Figura 16 Unidad de enfriamiento
(IMPTEK)

2.1.2.7 Estación de tracción

Esta máquina será la encargada de dar la tracción a la lámina asfáltica entre la unidad de impregnación de granulo con la unidad de alineamiento final, esto ocurrirá cuando la lámina sea enfriada mediante la piscina de enfriamiento.

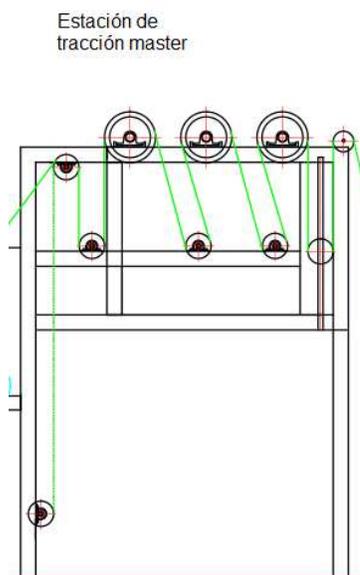


Figura 17 Estación de tracción (IMPTEK)

2.1.2.8 Unidad de alineamiento final

Al igual que el primer proceso de alineamiento este se encarga de compensar la altura y acumular el producto terminado, el controlador de vibraciones y la alineación del producto terminado, en esta etapa intervienen de tres máquinas como se ve en la figura 18.

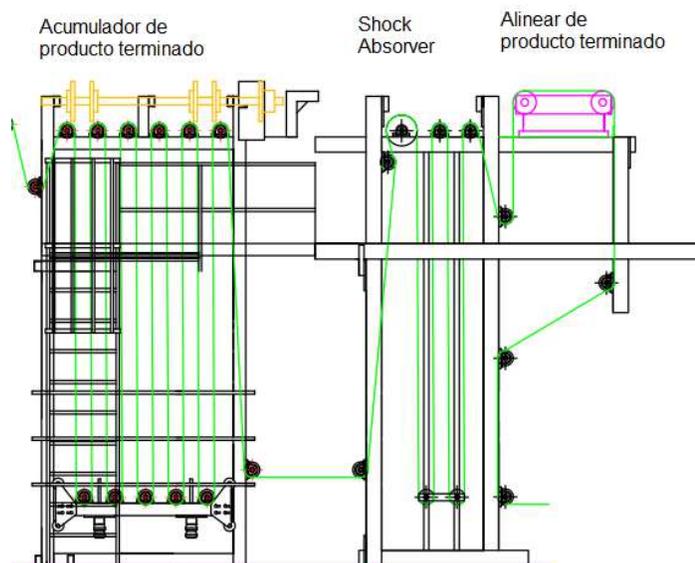


Figura 18 Unidad de alineamiento final (IMPTEK)

2.1.2.9 Enrollado de producto

En este proceso final la lámina asfáltica es enrollada mediante la máquina enrolladora Boato la cual la acumula en rollos el producto, para que posteriormente sean paletizados y almacenados, para que finalmente se proceda a su comercialización.

Enrolladora

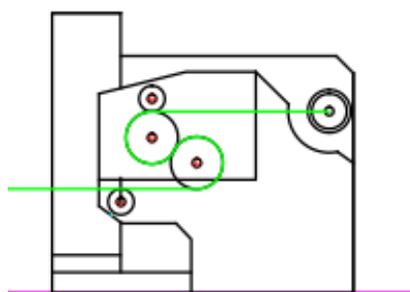


Figura 19 Enrolladora (IMPTEK)

2.2 Tipos de recubrimientos para láminas asfálticas

La función del recubrimiento en las láminas asfálticas, es la de brindar protección, contra diferentes factores ambientales que puedan disminuir la vida útil de la misma, a continuación se describen los diferentes tipos de recubrimiento utilizados por IMPTEK.

2.2.1 Gránulo mineral

El gránulo mineral son gránulos de cerámica de diferentes colores, actúa como autoprotección de la lámina asfáltica a la exposición de la radiación ultravioleta.



Figura 20 Gránulo mineral (DANOSA)

2.2.2 Arena

Actúa como protección a los rayos ultra violeta, puede ser aplicada pintura acrílica para brindar diferentes tonalidades

2.2.3 Foil de aluminio

Consiste en un laminado plano, entregado en rollos de espesores tan finos de llegan hasta los 6.35 micrones. En la lámina asfáltica contiene foil de aluminio de 60 micras que actúa como autoprotección, ya que refleja los rayos solares.



Figura 21 Lámina asfáltica con foil de aluminio (IMPTEK)

2.3 Introducción a los sistemas mecánicos

A continuación se mostrara una descripción detallada de los componentes mecánicos que intervendrán en el desarrollo del proyecto

2.3.1 Procesos de deformación volumétrica

Los procesos de deformación volumétrica son aquellos cuya forma inicial es más voluminosa que laminar, el proceso de deformación laminar consiste en someter el material a un esfuerzo lo suficiente para hacer que este fluya plásticamente y obtenga la forma deseada.

2.3.1.1 Laminado plano

Es un proceso de deformación en el cual el espesor del material de trabajo se reduce mediante fuerzas de compresión ejercidas por dos rodillos opuestos.

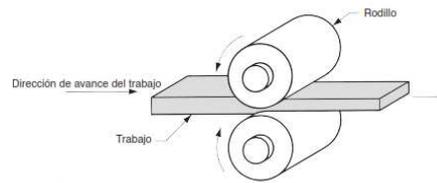


Figura 22 Laminado plano
(Groover, 2010)

El proceso mostrado en la figura es el laminado plano que se usa para reducir el espesor de una sección transversal rectangular. La mayoría de los procesos de laminado involucran una alta inversión de capital, requieren piezas de equipo pesado llamadas molinos laminadores o de laminación. El alto costo de inversión requiere que los molinos se usen para producción en grandes cantidades de artículos estándar, como láminas y placas.

2.3.1.2 Molinos laminadores

Existen varias configuraciones de molinos de laminación los mismos que manejan una variedad de aplicación en los procesos de laminación, tales como:

- Molino de 2 rodillos

La configuración de rodillos en este tipo de molino puede ser reversible, o no reversible.

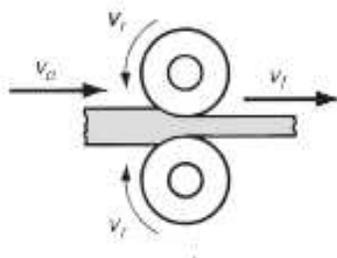


Figura 23 Molino 2 rodillos
(Groover, 2010)

- Molino de 3 rodillos

Los rodillos están configurados en forma de columna vertical, este modelo es usado para lograr una serie de reducciones se puede pasar el material de trabajo en cualquier dirección.

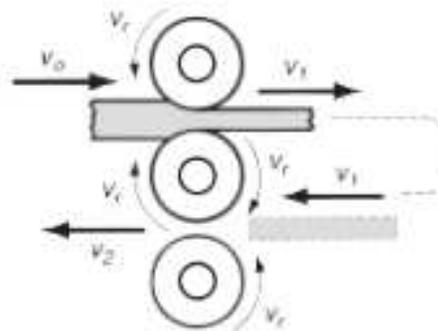


Figura 24 Molino 3 rodillos
(Groover, 2010)

- Molino de 4 rodillos

Se usan 2 rodillos de diámetro menor para hacer contacto con el trabajo y dos rodillos detrás como respaldo.

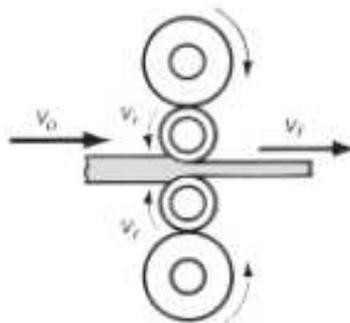


Figura 25 Molino 4 rodillos
(Groover, 2010)

- Molino en conjunto o racimo

Debido a las altas fuerzas de laminado, los rodillos menores pueden desviarse elásticamente con el paso de la laminación, si no fuera por los rodillos más grandes de respaldo que los soportan.

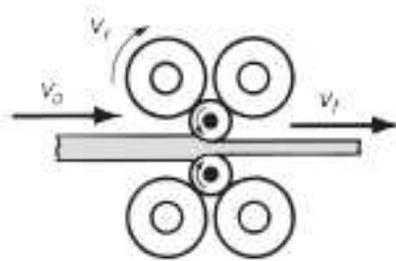


Figura 26 Molino racimo
(Groover, 2010)

- Molino de rodillos en tándem

Para lograr altas velocidades de rendimiento en los productos estándar se usa frecuentemente esta configuración.

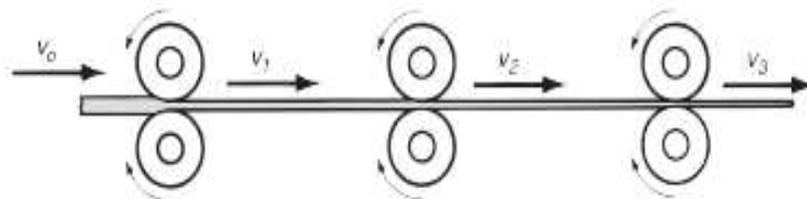


Figura 27 Molino de rodillos en tándem
(Groover, 2010)

2.3.2 Introducción a los cojinetes de contacto

Los cojinetes son puntos de apoyo de ejes y árboles que se usan para sostener su peso, guiarlos en su rotación o en su movimiento axial lo que beneficia para evitar deslizamientos no deseados. Para esto los cojinetes deben cumplir ciertas propiedades, dentro de las cuales destacan; que sean de material de coeficiente de rozamiento reducido, buen transmisor del calor para que no cause una acumulación excesiva de calor, el material debe tener una cierta dureza que ayude a soportar la carga que actúa sobre él, entre otras.

2.3.2.1 Cojinetes de contacto rodante

Son aquellos en el cual se transfiere la carga principal mediante elementos que experimentan contacto rodante en vez de contacto deslizante. En esta clase de cojinete la fricción inicial casi duplica la fricción de operación. La característica de fricción del cojinete de rodamiento se ve afectado por la carga, la velocidad y la viscosidad del lubricante. Dentro de este grupo se subdivide dependiendo del elemento de apoyo que presente los cuales son:

- Cojinete de bolas

Estos cojinetes resisten lo que es el empuje, esto es importante debido a que una unidad de empuje causa daño diferente por revolución al de una carga radial unitaria.



Figura 28 Cojinete de bolas (SKF)

- Cojinete de rodillos cilíndricos

Debido a su geometría hacen contacto lineal con las pistas de rodadura por lo cual pueden soportar grandes cargas radiales siendo así baja su carga axial.



Figura 29 Cojinete de rodillos (SKF)

- Cojinete de rodillos cónicos

Su diseño hace que los vértices de los conos de rodillos y pistas de rodadura se encuentren en un punto común sobre el eje del rodamiento. El contacto lineal entre los rodillos y las pistas de rodadura, hace que estos rodamientos tengan una elevada capacidad de carga.



Figura 30 Cojinete de rodillos cónicos (SKF)

- Cojinetes de empuje

Los cojinetes de bolas de empuje se clasifican en dos tipos, los de asiento plano y los de asientos de alineación. Estos cojinetes pueden soportar cargas axiales pero no cargas radiales. A estos cojinetes es necesario aplicar cierta carga axial para evitar el deslizamiento entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura (NSK, 2009).



Figura 31 Cojinete de empuje (NSK, 2009)

2.3.2.2 Cojinetes de contacto deslizante

Son elementos de rodadura para movimientos de traslación, las aplicaciones en los que se utilizan son para sistemas de transporte, sistemas de medición en los que se requiere; velocidad y precisión.



Figura 32 Cojinete de contacto deslizante (IGUS)

2.3.2.3 Guías lineales

Son ejes sobre los cuales se deslizan cojinetes de desplazamiento lineal, o carros de diferente forma que pueden ser carro abierto o carros para desplazamiento y giros.

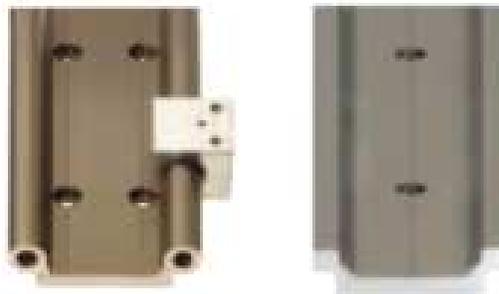


Figura 33 Guías lineales (IGUS)

2.3.3 Introducción a los mecanismos de transformación de movimiento rotacional a lineal

Dentro de este campo existen diferentes tipos de mecanismo que realizan esta acción, como por ejemplo: biela-manivela-corredera, cuatro barras, leva-

seguidor entre otros. Por motivos de desarrollo del proyecto nos enfocaremos en el mecanismo leva-seguidor y tornillo de potencia.

2.3.3.1 Mecanismo leva

Es un elemento común de un mecanismo que impulsa un componente aparejado en movimiento lineal, conocido como seguidor, visto desde un punto de vista funcional es un arreglo conocido como leva – seguidor.

La característica de la leva es que puede impartir movimiento muy diferente a su seguidor, por lo cual las levas sirven para obtener movimientos inusuales o irregulares que sería difícil de conseguir con otra clase de mecanismos. Este movimiento es programable ya que se le puede dar al seguidor diferentes posiciones, alturas en distintos intervalos de tiempo.

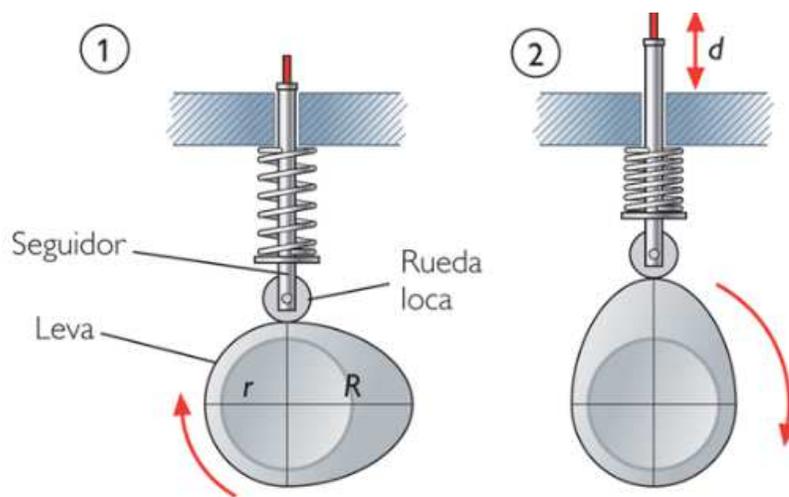


Figura 34 Leva-seguidor
(Kalipedia)

2.3.3.2 Excéntrica

La excéntrica es una variación del mecanismo leva – seguidor, este mecanismo consiste en una rueda circular cuyo eje de giro no coincide con el centro de la circunferencia, Por lo cual transforma el movimiento de rotación de la rueda en un movimiento alterno del seguidor, siendo así la carrera del seguidor el doble de la distancia que existe entre el centro de la circunferencia y el eje de giro.

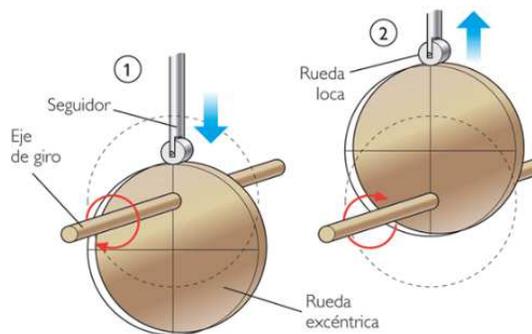


Figura 35 Excéntrica
(Kalipedia)

2.3.3.3 Tornillo de potencia

Estos tornillos también son conocidos como tornillos de avance, convierten el movimiento giratorio en un movimiento lineal. Su principal característica es que pueden obtener una gran ventaja mecánica, por lo cual pueden elevar o descender grandes cargas.

Para lo cual se necesita perfiles de cuerda muy fuertes, porque se usan cuerdas de tipo cuadradas, Acme o reforzadas.

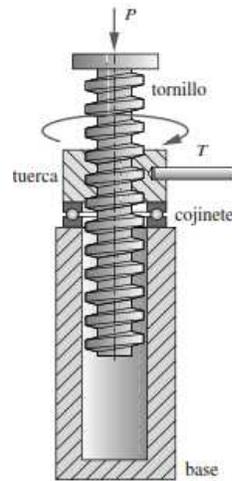


Figura 36 Gato mecánico con tornillo de potencia cuerda Acme (Norton, 2011)

Si el giro de entrada se suministra con un servomotor o un motor por etapas, en combinación con un tornillo de avance de precisión, se obtiene un posicionamiento muy preciso (Norton, 2011).

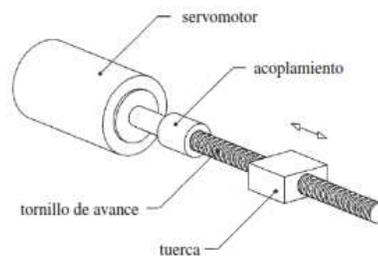


Figura 37 Tornillo de avance impulsado por un servomotor (Norton, 2011)

2.3.4 Engranajes cónicos

Estos engranes son elaborados sobre conos coincidentes. Los ejes de este tipo de engranes no son paralelos y se intersecan, el ángulo entre ejes puede ser de cualquier valor.

Si sus dientes se cortan paralelos al eje del cono se trata de engranes cónicos rectos y si los dientes se cortan en ángulo espiral se los conoce como cónicos espirales.



Figura 38 Engrane cónico recto (a), Engrane cónico espiral (b)
(Norton, 2011)

2.3.5 Introducción a la teoría de contacto

La teoría de contacto estudia fenómenos macroscópicos resultantes de la interacción entre superficies de sólidos en contacto. La teoría de contacto trata dos problemas uno que el estudio geométrico del contacto y el análisis de las fuerzas presentes en el contacto las cuales son fuerzas normales las mismas que ocasionan la deformación de los materiales. Y las fuerzas tangenciales las cuales ocasionan la deformación en el contacto y además se debe considerar que el rozamiento se trata de un problema no lineal.

2.3.5.1 Teoría general de Kalker

La teoría de Kalker pretende establecer una relación entre los pseudo-deslizamientos con las fuerzas tangenciales y el momento del cuerpo. La resolución de la fuerza normal proporciona las dimensiones de la superficie de

contacto y la distribución normal de presiones. Las fuerzas normal y tangencial se suponen independientes.

La compresión y la fricción producen deformaciones que afectan a la superficie y a las velocidades de deslizamiento.

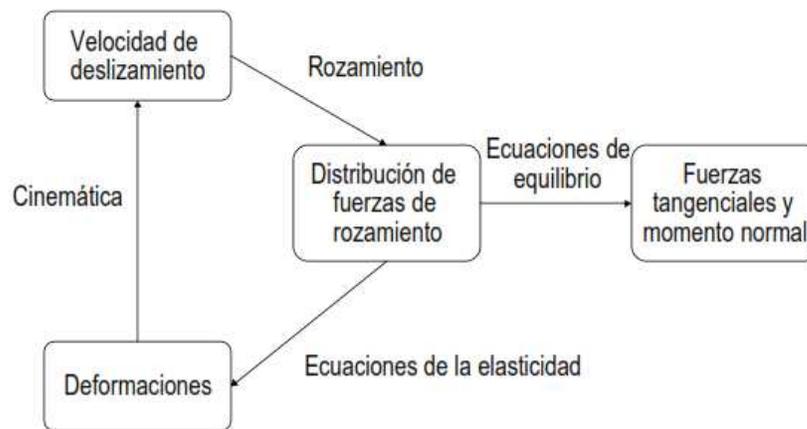


Figura 39 Teoría general de Kalker
(Jiménez J.M)

2.3.6 Desgaste en los materiales

El desgaste es el daño superficial que sufren los materiales después de determinadas condiciones de trabajo a los que son sometidos. Este fenómeno se presenta generalmente en las superficies de los materiales. Las consecuencias de este fenómeno son la pérdida de material y la subsiguiente disminución de las dimensiones y por ende la pérdida de tolerancias.

2.3.6.1 Desgaste por fatiga de contacto

Este tipo de desgaste ocurre cuando las piezas son sometidas a elevados esfuerzos, los cuales provocan la aparición y propagación de grietas bajo la

acción repetitiva de estos. Los esfuerzos a los que son sometidos los materiales en las capas superficiales, promueven las alteraciones en la estructura cristalina y en el tamaño de grano.

2.3.6.2 Desgaste abrasivo

El desgaste abrasivo se da como la pérdida de masa resultante de la interacción entre las partículas o asperezas duras que son forzadas contra una superficie y se mueven a lo largo de ellas.

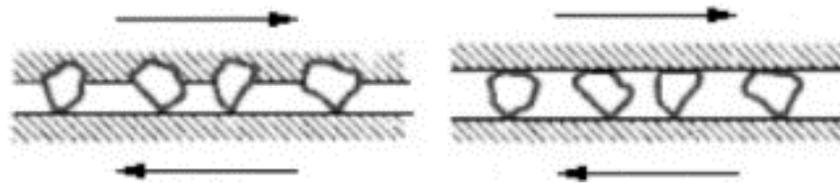


Figura 40 Desgaste abrasivo
(Zum Gar, 2005)

2.3.6.3 Desgaste adhesivo

Ocurre como resultado de la destrucción de los enlaces entre las superficies unidas, permitiendo que parte del material arrancado se transfiera a la superficie del otro. Haciendo que la superficie que gana material aumente su rugosidad con el agravante de que cuando el movimiento continuo, se genera desgaste abrasivo contra la otra superficie.

2.3.6.4 Desgaste por erosión

Se presenta en la superficie de los cuerpos, resultado del impacto de partículas sólidas, líquidas o gaseosas que los impactan. Las partículas que causan el desgaste pueden estar en ambientes secos o húmedos.

2.3.6.5 Desgaste por deslizamiento

Es aquel en el que ahí movimiento relativo entre dos superficies en contacto con una carga aplicada, donde el daño de la superficie no ocurre por riscado rígido debido a la penetración asperezas o partículas externas.

2.3.7 Materiales

Para la construcción del sistema automático se utilizaran varios materiales, a continuación se detallara cada uno de estos:

2.3.7.1 Nylon PA 6 (Duralon)

El duralon es un tecnopolimero de alta cristalinidad y (Nylon de alto peso molecular). Una de las ventajas del duralon es que al ser un tipo de plástico es muy suave y liviano además cuando se lo maquina, presenta un acabado superficial bastante lizo por lo cual las superficies presenta un rozamiento mínimo, lo que beneficia cuando estas piezas deben girar o deslizarse sobre otros elementos.

2.3.7.2 Polietileno

Es un polímero termoplástico que consiste en largas cadenas de hidrocarburos, dependiendo de la cristalinidad y el peso molecular. El polietileno presenta una excelente resistencia química, por esto no es atacado por ácidos fuertes o bases fuertes.

2.3.7.3 Acero A36

El acero suave es el tipo más común de acero utilizado en la construcción, la perfilaría y muchas otras aplicaciones, De los aceros al carbono el acero A36 es una de las variedades más comunes en parte debido a su bajo costo. Ofrece una excelente resistencia y fuerza para un acero bajo en carbono y aleación.

2.4 Introducción a los sistemas eléctricos y electrónicos

Los sistemas eléctricos y electrónicos empleados son los siguientes, controladores lógicos programables, motores dentro de esta rama se analizara los servomotores ya que estos son los más óptimos para poder realizar tanto un control de posición así como de velocidad.

2.4.1 Descripción de los servomotores industriales

Son utilizados donde se requiera una elevada dinámica, control de par y precisión de velocidad y posicionamiento. El servomotor está diseñado para proporcionar control y desempeño precisos. Por ejemplo para transportar una carga y posicionarla más rápido. La diferencia que existe entre los servomotores y otros motores, radica en el diámetro del servomotor que es menor y el uso de un dispositivo de retroalimentación. Los servos son usados con retroalimentación para así cerrar el lazo. Un sistema de lazo cerrado es un sistema en el que hay un comando y una señal de retroalimentación. La señal de retroalimentación provee información al control para monitorear el proceso y llevar a cabo tareas con mayor precisión, por ejemplo realiza mediciones a las tareas que esté llevando acabo el servomotor, después envía la señal de retroalimentación para que sea comparada y luego el control envía la señal de corrección para compensar el error.



Figura 41 Servomotor
(SIEMENS)

2.4.1.1 Servomotores Brushless DC/AC

Los brushless DC fue la primera que se aplicó para el control, estos requieren de un encoder de baja resolución para realizar la conmutación, por motivos de coste se opta por sensores de efecto Hall, normalmente hay seis puntos de conmutación por una revolución eléctrica no es posible que el ángulo sea de 90 grados en todo momento. Mientras que los brushless AC necesitan un encoder absoluto de alta resolución, por esta razón al tener más posiciones de conmutación puede controlar la conmutación siempre alrededor de 90 grados.

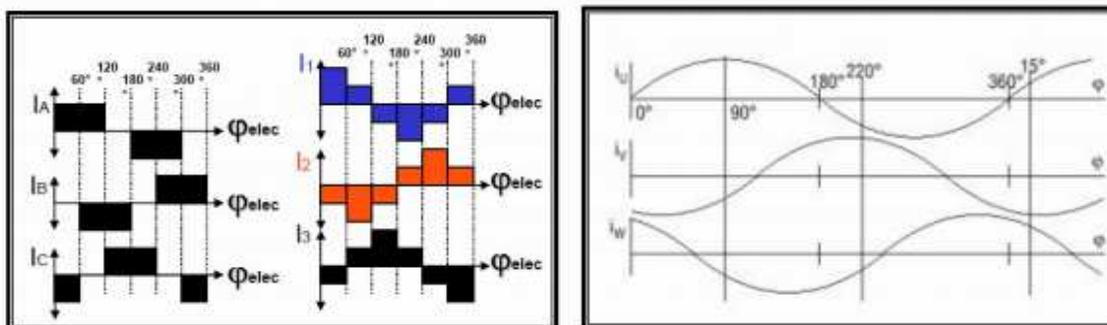


Figura 42 Conmutación brushless DC/AC
(Universidad Vigo)

2.4.2 Controlador lógico programable (PLC)

Es un dispositivo electrónico que es programado por el usuario y destinado para gobernar maquinas o proceso o secuencias. Las funciones del PLC son las de remplazar la lógica de relés para el comando de motores, máquinas, control y comando de tareas repetitivas peligrosas entre otras.

Un PLC posee las herramientas necesarias, tanto de software como de hardware, para controlar dispositivos externos, recibir señales de sensores y tomar decisiones de acuerdo a un programa que el usuario elabore según el esquema del proceso a controlar.



Figura 43 PLC
(WAGO)

2.5 Introducción a los sistemas de control

Los instrumentos y sistemas de control empleados son los siguientes:

2.5.1 Descripción sensores LVDT

Estos son sensores de tipo inductivo que basan su funcionamiento en el movimiento de los núcleos dentro del cuerpo del sensor que tiene arrollados los

bobinados, de ahí que sea un transformador de núcleo móvil. Es un sensor sin rozamiento ya que al ser inductivo, la variación es por campo magnético

2.5.2 Descripción de sensores de distancia láser

Un sensor de distancia láser funciona utilizando la medición del tiempo que tarda un pulso de luz láser en reflejarse en un blanco y volver al remitente.

Los sensores láser de desplazamiento son los adecuados para medir pequeñas distancias. Ya que pueden medir distancias de 24 mm con resolución 0.02 micras y un tiempo de respuesta de 1 ms. Esto hace los sensores de desplazamiento láser una alternativa ideal a dispositivos de medición mecánicos, tales como los LVDT

2.5.3 Descripción de controlador industrial digital PID

A pesar de que los primeros controladores digitales fueron realizados con ordenadores de proceso, actualmente se encuentran integrados, no sólo en sistemas más complejos de mando y automatización, sino en la forma de ejecución de un regulador compacto. Como la estructura PID se ha convertido en un estándar en su utilización, se intenta que el regulador digital que trabaja discretamente respecto al tiempo, se acerque en su comportamiento al regulador analógico.

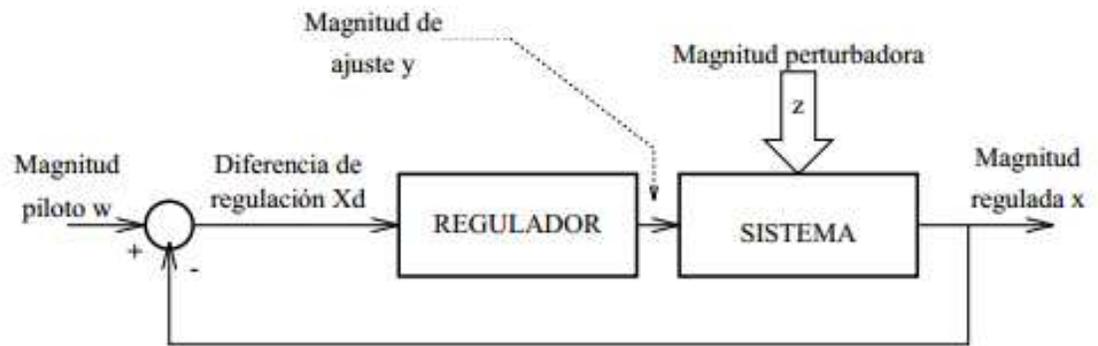


Figura 44 Circuito regulación, esquema funcional
(Universidad de Sevilla)

Los parámetros de un control PID son los siguientes:

- K_p : Constante de proporcionalidad
- T_d : Tiempo de acción derivativa
- T_i : Tiempo de acción integral

2.5.4 Controlador ON-OFF

Este tipo de controlador, solo puede variar entre dos valores determinados, dicho controlador no tiene la capacidad de producir un valor exacto para la variable controlada, por lo cual se produce una desviación continua del SET POINT, debido a esta desviación estos controladores presentan cierta histéresis.

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA

3. Diseño del sistema

3.1 Dimensionamiento y diseño de los componentes mecánicos

En esta sección se analizará y dimensionara de forma mecánica, cada uno de los componentes con los que cuenta el sistema, desde la elección del material a emplear para la construcción, así como cada fuerza que intervendrá en el proceso de medición del espesor, hasta el mecanismo de regulación.

3.1.1 Selección del material para el sistema de medición

Para la elección del material se tomó en cuenta como principal factor el peso que debe tener el sistema, ya que si este es muy elevado eliminará la variación de espesor por lo cual se descartó la mayoría de los aceros con excepción del aluminio. A continuación el siguiente factor fue el desgaste en seco que presentaría el sistema debido a que estará en permanente rozamiento con la lámina asfáltica.

Considerando estos parámetros, se escogió trabajar con materiales plásticos, debido a que estos presentan bajo peso molecular, mayor resistencia al desgaste en seco y no necesitan lubricación.

Según los estudios realizados en “Estudio del desgaste por deslizamiento en seco de algunos plásticos” por (Giraldo & Veléz, 2002), decidieron trabajar con;

Polietileno de alta densidad (HDPE), Nylon (PA) y Teflón (PTFE), en el ensayo de desgaste tipo Pin-on-Disk.

3.1.1.1 Ensayo Pin-on -Disk

El ensayo consiste en aplicar una carga sobre un pin colocado perpendicularmente respecto a un disco. El pin permanece fijo mientras que el disco gira provocando un deslizamiento relativo en el área de contacto entre ambos elementos (Pérez, 1999).

3.1.1.2 Pérdida de masa en el Teflón, Polietileno y Nylon

Al realizar el ensayo se trabajó con dos tipos de muestras de diferente rugosidad: $0.14 \mu\text{m}$ y $0.84 \mu\text{m}$ para los tres materiales. Estas muestras fueron sometidas a una velocidad de 1 m/s y una carga de 1.7 Kg . Las distancias de observación para el teflón fueron de: 250 m , 500 m , 750 m , 1000 m ; y para el Polietileno y el Nylon fueron de: 20 km , 40 km , 60 km , 80 km , según (Giraldo & Veléz, 2002)

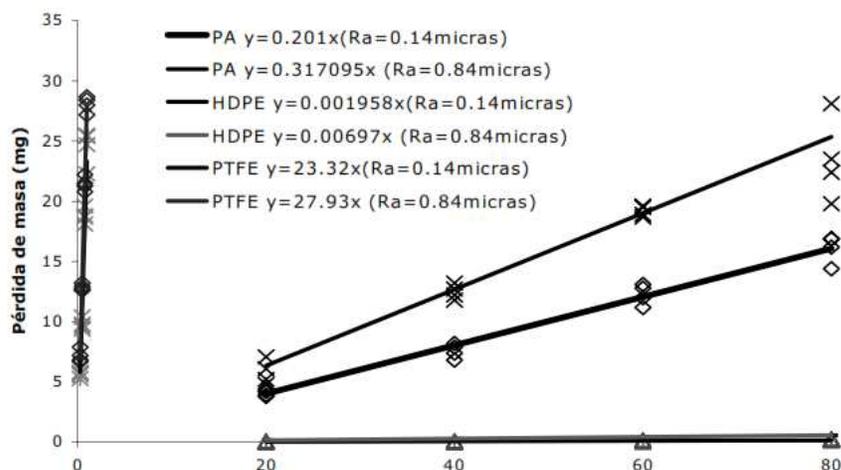


Figura 45 Pérdida de masa de los 3 materiales (Giraldo & Veléz, 2002)

Los resultados de este ensayo determinaron que el Polietileno tiene una resistencia al desgaste más alta, y es 150 veces mayor que el Nylon, y 400 000 veces mayor que el teflón. Se observó que el aumento de la rugosidad favorece al desgaste abrasivo. (Giraldo & Veléz, 2002)

Tabla 4
Valores para el cálculo del coeficiente de desgaste

Material	Densidad (gr/cm ³)	Dureza HR-R	Rugosidad disco (μm)	Pendiente del modelo y=bx
HDPE	0.95	60	0.14	0.002 mg/Km
			0.84	0.007 mg/Km
PA	1.15	110	0.14	0.201 mg/Km
			0.84	0.317 mg/Km
PTFE	2.18	48	0.14	0.0232 mg/Km
			0.84	0.02793 mg/Km

(Giraldo & Veléz, 2002)

Con esta información se concluyó que el material a usar será el Nylon (PA), fue seleccionado ya que presenta buenas propiedades mecánicas y al desgaste en seco, además de su fácil adquisición en el país, por este motivo en especial no se seleccionó el polietileno de alta densidad (HDPE), ya que la venta en el país solo se encuentra como materia prima, fundas o envases más no en barras ni planchas.

3.1.2 Selección de guías lineales

Los parámetros primordiales para la selección de las guías lineales son: que tengan un peso ligero y que sea auto lubricado. Esto debido a que la guía lineal interviene en el peso total del sistema de medición lo que ocasionaría que este sea muy pesado, lo cual provocará que no detecte la variación de espesor. Y que sea auto lubricado debido a que, ya que el lubricante puede intervenir en el sistema de medición, si el lubricante se derrama sobre el rodillo, se producirá una ligera capa lo que producirá una des calibración del sensor.

Por lo cual se elige trabajar con guías lineales de la marca IGUS, debido a que estas son auto lubricadas y de un peso muy ligero

- Característica guía lineal tipo TW

Tabla 5
Datos técnicos guía TW

Guía TW-01015	
Características	
Peso	0.11 kg
Longitud	74 mm
Ancho	47 mm
Sistema de fijación	Si

(IGUS, 2014)



Figura 46 Guía lineal TW-01015
(IGUS, 2014)

- Característica guía lineal tipo W

Tabla 6
Datos técnicos guía W

Guía WJ200UM-01-10-LL	
Características	
Peso	0.082 kg
Longitud	21 mm
Ancho	26 mm
Sistema de fijación	Si

(IGUS, 2014)



Figura 47 Guía lineal WJ200UM-01-10LL
(IGUS, 2014)

- Característica guía lineal tipo R

Tabla 7
Datos técnicos guía R

Guía OGAS-01-12	
Características	
Peso	0.094 kg
Longitud	52 mm
Ancho	20 mm
Sistema de fijación	No

(IGUS, 2014)

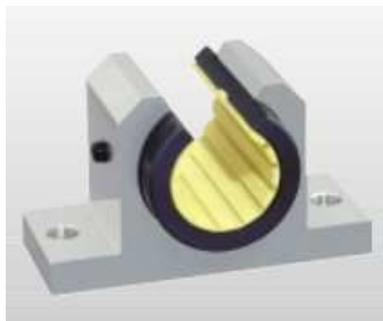


Figura 48 Guía lineal OGAS-01-12
(IGUS, 2014)

En la tabla 8 se muestra el resultado de la evaluación del tipo de guías lineales:

Tabla 8
Matriz de selección de guías lineales

N	Criterio de selección	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Ideal
1	Peso	6	9	8	10
2	Longitud	6	9	9	10
3	Ancho	7	8	9	10
4	Sistema de fijación	10	10	0	10
5	Costo	7	8	8	10
6	Disponibilidad	9	7	7	10
	Total	45	51	41	60

Con los resultados obtenidos mediante la matriz de selección acerca de las guías lineales, se ve que la mejor opción para el proyecto es la alternativa número dos (WJ200UM-01-10-LL).

3.1.3 Sistema de medición del espesor

Para diseñar el sistema de medición se debe tomar en cuenta la resistencia a la tracción de la lámina asfáltica de IMPTEK. Se escogió trabajar con el producto ALUMBAND cuya resistencia a la tracción es de 240 N/5cm. Se escoge esta lámina ya que es la que presenta menor resistencia.

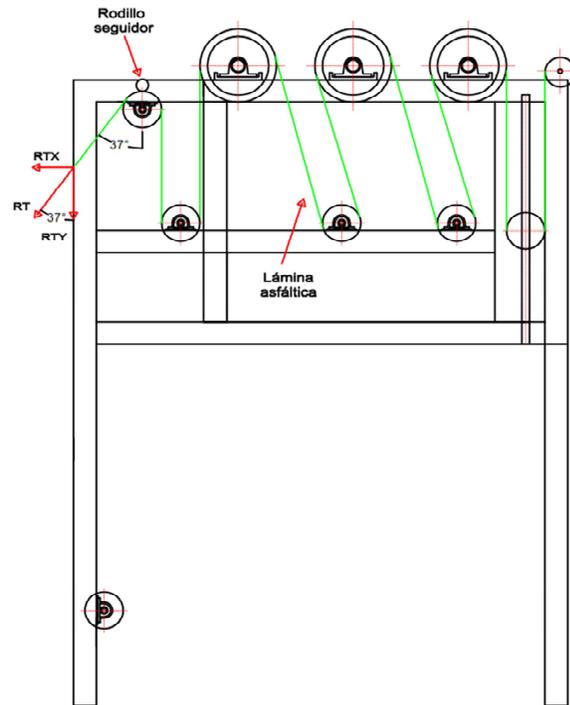


Figura 49 Estación de tracción (IMPTEK)

El sistema de medición estará en contacto con la lámina asfáltica en un milímetro de superficie por lo cual el valor de la resistencia a la tracción de la lámina será el siguiente:

$$RT_{mm} = 240 \frac{N}{5cm} * \frac{1cm}{10 mm}$$

$$RT = 4.8 N/mm$$

La fuerza que existe por resistencia a la tracción en 1mm será de $RT = 4.8 N$

Valor de la fuerza de tracción en los ejes Y – Z

$$\text{sen}(37) = \frac{RTZ}{RT}$$

$$RTZ = (4.8) * \text{sen}(37)$$

$$RTZ = 2.889 \text{ N}$$

$$\cos(37) = \frac{RTY}{RT}$$

$$RTY = 4.8 * \cos(37)$$

$$RTY = 3.833 \text{ N}$$

3.1.3.1 Diseño del rodillo seguidor

El rodillo seguidor será elaborado en Nylon PA6, sobre este actuarán las fuerzas a la resistencia a la tracción de la lámina y el peso del rodillo.

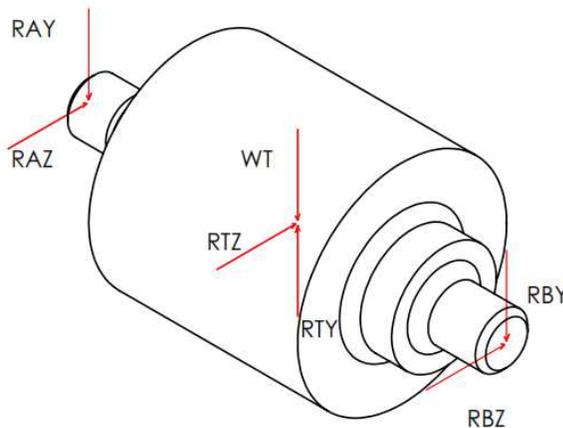


Figura 50 Rodillo seguidor

En el rodillo seguidor será montado sobre el rodillo de la estación de tracción, y su apoyo será sobre rodamientos, por ende se lo puede analizar como una viga simplemente apoyada.

3.1.3.2 Análisis rodillo seguidor plano X-Y

Ya que la fuerza WT correspondiente al peso del sistema de medición es menor a la fuerza de tracción, se puede continuar con el diseño, al ser esta fuerza

mayor provocara que el sistema se mueva sobre el eje Y, y el peso del sistema no afectara a las variaciones de espesor que puedan existir en la lámina asfáltica.

Datos:

Tabla 9
Peso de los componentes del sistema de medición

Fuerza	Valor (gr)	Cantidad	Valor (gr)	Descripción
WR	67.22	1	67.22	Masa del rodillo
WJL	16.25	2	32.5	Masa de la base lateral del sistema de medición
WJH	122.91	1	122.91	Masa de la base horizontal del sistema de medición
WGL	41	2	82	Masa de la guía lineal IGUS W
WTOR	25	1	25	Peso adicional
WT		Total	329.63	Masa total del sistema de medición

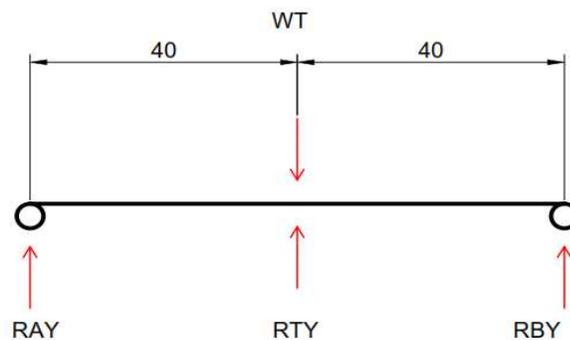


Figura 51 DCL en plano X-Y

$$WT = 329.63 \text{ gr} * \frac{1\text{kg}}{1000 \text{ gr}} * 9.81$$

$$WT = 3.233 \text{ N}$$

Remplazando el valor de RTY y WT en la ecuación (3.1.1)

$$\sum f_y = 0$$

$$RAY + RTY - WT + RBY = 0 \quad (3.1.1)$$

$$RAY + RBY = -0.6$$

$$\sum MAY = 0$$

$$40 * RTY - 40 * WT + 80 * RBY = 0 \quad (3.1.2)$$

$$RBY = -0.3 N$$

Remplazando el valor de RBY en la ecuación (3.1.3)

$$RAY + RBY = -0.6 \quad (3.1.3)$$

$$RAY = -0.3 N$$

3.1.3.3 Análisis rodillo seguidor plano X-Z

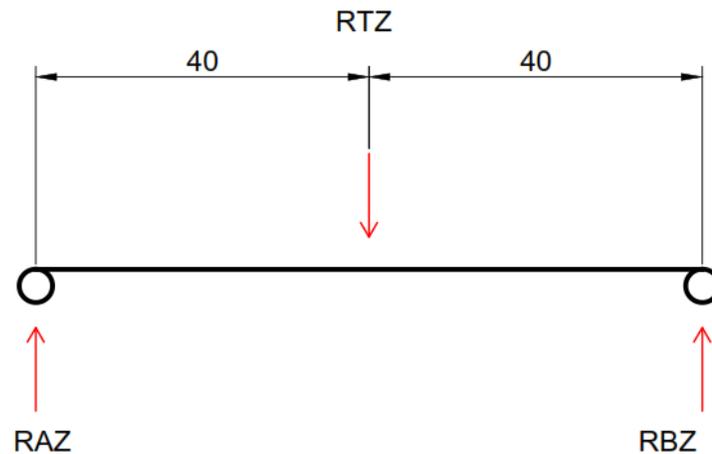


Figura 52 DCL en plano X-Z

Remplazando el valor de RTY y WT en la ecuación (3.1.4)

$$\begin{aligned}\sum f_z &= 0 \\ RAZ - RTZ + RBZ &= 0 \\ RAZ + RBZ &= 2.889\end{aligned}\tag{3.1.4}$$

$$\begin{aligned}\sum MAZ &= 0 \\ 80 * RBZ - 40 * RTZ &= 0 \\ RBZ &= 1.4445 N\end{aligned}\tag{3.1.5}$$

Remplazando el valor de RBZ en la ecuación (3.1.6)

$$\begin{aligned}RAZ + RBZ &= 1.4445 \\ RAZ &= 1.4445 N\end{aligned}\tag{3.1.6}$$

3.1.3.4 Estudio de elementos finitos de la estructura de soporte

A la estructura sobre la que se montara el sistema de medición, se la analizara por medio de elementos finitos y con la ayuda del software SOLIDWORKS.

En la figura 53 se puede observar la estructura a simular, la cual fue diseñada con perfiles estructurales rectangulares de 100 x 50 x 3 mm.

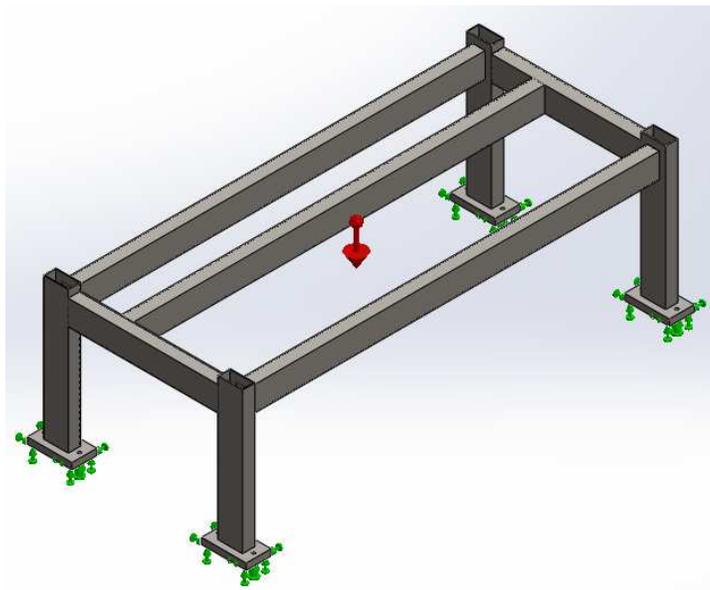


Figura 53 Estructura de soporte

Se optó por usar un paquete de simulación, debido a que los elementos de la estructura se encuentran soldados, por lo que ocasionara que se tenga una viga doblemente empotrada, lo cual a su vez provocara que se tenga una viga hiperestática.

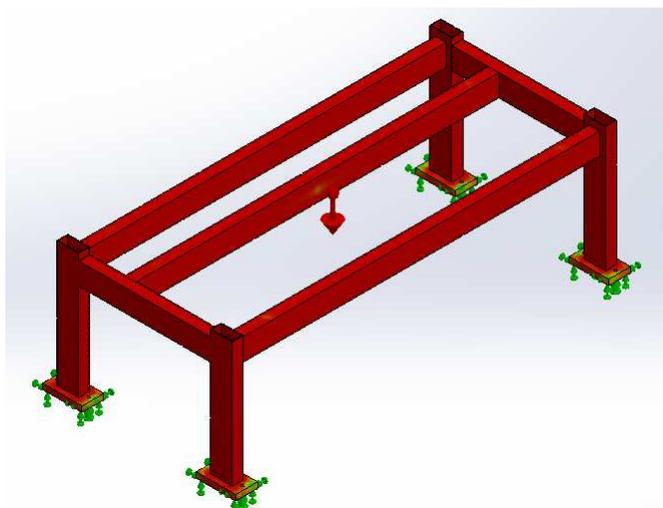


Figura 54 Análisis FEM factor de seguridad

Los resultados obtenidos se pueden ver en la figura 54 y en la figura 55, respectivamente, nos indican un factor de seguridad alto y el desplazamiento máximo que existirá es de 0.02275 mm.

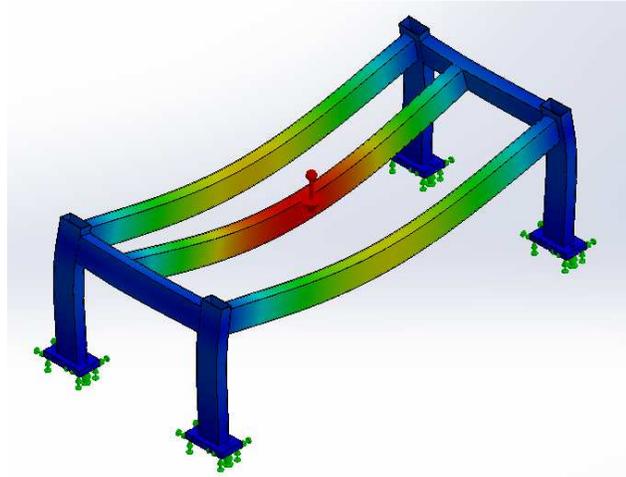


Figura 55 Análisis FEM desplazamiento máximo escala (7911)

3.1.3.5 Análisis de desgaste rodillo seguidor

Debido a que el rodillo va a estar en permanente contacto con la lámina, se producirá desgaste del mismo, dentro de los tipos de desgaste que existirá entre estas superficies son: Por deslizamiento y erosión. Por estas razones es importante saber la vida útil del rodillo, para evitar malas mediciones.

Primero debemos calcular la cantidad de vueltas que dará el rodillo en un minuto, esta lo obtendremos en función de la velocidad de la lámina asfáltica que es de 40 m/min

$$Vr = Rrodillo * \omega r \quad (3.1.7)$$

$$\omega r = \frac{0.666}{0.02}$$

$$\omega r = 33.3 \text{ rad/s}$$

$$n = 33.3 \frac{rad}{s} * 1 \frac{rev}{2\pi} * 60 \frac{seg}{min} = 317.99 \text{ rpm}$$

Vr: velocidad lineal del rodillo 40 m/min o 0.666 m/s.

ωr : Velocidad angular del rodillo.

Rrodillo: Radio rodillo 20 mm

A continuación determinaremos la distancia que recorrerá el rodillo en una jornada de traba de 16 horas diarias.

$$L = 2 * \pi * Rrodillo \quad (3.1.8)$$

$$L = 0.125 \text{ m}$$

L: Longitud de arco del rodillo en 360 grados.

$$dmin = n * L = 39.75 \text{ m} \quad (3.1.9)$$

$$d16h = dmin * 960 = 38160 \text{ m} \quad (3.1.10)$$

n: Revoluciones por minuto del rodillo 318

dmin: Distancia recorrida en un minuto

d16h: distancia recorrida en 16 horas o 960 minutos

Después determinaremos la cantidad de material que perderá el rodillo en un año de trabajo, con jornada de trabajo diaria de 16 horas.

$$Mp = mNy * \frac{d16h}{1000} = 7.67 \text{ mg} \quad (3.1.11)$$

$$\text{Maño} = Mp * 240 = 1840.8 \text{ mg} \quad (3.1.12)$$

mNy: Cantidad de material perdida del material Nylon 0.201 mg/km (Giraldo & Veléz, 2002)

Mp: Masa perdida en un día laboral.

Maño= Masa perdida en un año de trabajo con 20 días mensuales, 240 días al año.

Una vez determinado la totalidad de las variables procedemos a realizar una relación entre cuanto era el radio y cantidad de masa original, con lo cantidad de masa que se perderá en un año de trabajo, con lo cual tendremos como única incógnita el radio del rodillo después de un año laboral.

$$Nr = \frac{Rrodillo*(Minc-Maño)}{Minc} = 19.26 \text{ mm} \quad (3.1.13)$$

Minc: Masa de la superficie de contacto del rodillo con 20 mm de radio 50.22 gr

Nr: Nuevo radio después de un año de trabajo.

Se puede determinar que el rodillo después de un año de trabajo tendrá una pérdida de masa de 3.7 % aproximadamente, por lo que se recomienda realizar un remplaza del mismo cada año.

3.1.3.6 Selección de cojinetes

Para seleccionar el mejor cojinete para las fuerzas que soportara el rodillo, se determinara la capacidad de carga dinámica mediante la ecuación (3.1.14) (Carvajal & Zurita, 2005).

$$C_B = F_s * P \quad (3.1.14)$$

Fs: Factor de servicio 2.5. Valor obtenido del catálogo de SKF.

P= Fuerza equivalente.

$$P = X * F_r + Y * F_a \quad (3.1.15)$$

X*Fr: Cargas radiales, si existe esta carga X=1 caso contrario X=0.

Y*Fa: Cargas axiales, si existe esta carga Y=1 caso contrario Y=0.

Para el dimensionamiento de la fuerza equivalente, se debe analizar el apoyo más crítico del eje.

En este caso las reacciones tanto del punto A como de B son iguales, por lo que no importa qué lado se analiza. Las fuerzas que actúan en el rodillo son solo radiales por lo cual X=1, y por la ausencia de fuerzas axiales Y=0, sustituiremos estos valores en la ecuación (3.1.15).

$$Fr = \sqrt{RAY^2 + RAZ^2}$$

$$Fr = 1.475 \text{ N}$$

Por lo cual reemplazando los datos en la ecuación (3.1.14), se obtiene la carga dinámica:

$$C_B = Fs * (X * Fr)$$

$$C_B = 3.6875 \text{ N}$$

El cojinete seleccionado es el de tipo bolas de la marca SKF, ya que estos son adecuados para trabajar cuando la carga que actúa sobre él no es muy grande.

Designación SKF: 61800

Diámetro interior: 10 mm

Diámetro exterior: 19 mm

Espesor: 5 mm

Carga dinámica: 1.38 kN

3.1.3.7 Selección de ajustes

Los ajustes que se quiere plantear son los que existen entre el rodillo – rodamiento que sería un ajuste para eje, y rodamiento – base lateral el cual sería un ajuste para agujero.

Según los parámetros de diseño se deben seleccionar ajustes precisos y finos, ya que si existe alguna clase de juego entre las piezas que están montadas, puede producir un movimiento no deseado, lo que ocasionara que la variación del espesor se pierda en este ajuste y no sea detectada por el sensor.

Tabla 10
Selección de ajustes

Piezas montadas	Sistema fabricación	Tipo de ajuste
Rodillo-Rodamiento	Agujero único	10 H7/n6
Rodamiento-Base lateral	Eje único	19 N7/h6

Diámetro del rodillo: \varnothing 10 mm

Diámetro externo del rodamiento: \varnothing 19 mm

3.2 Dimensionamiento de los componentes eléctricos y electrónicos

3.2.1 Dimensionamiento y selección de servomotor

Para seleccionar el servomotor necesitamos calcular el torque que requerirá para mover el sistema de rodillos prensadores.

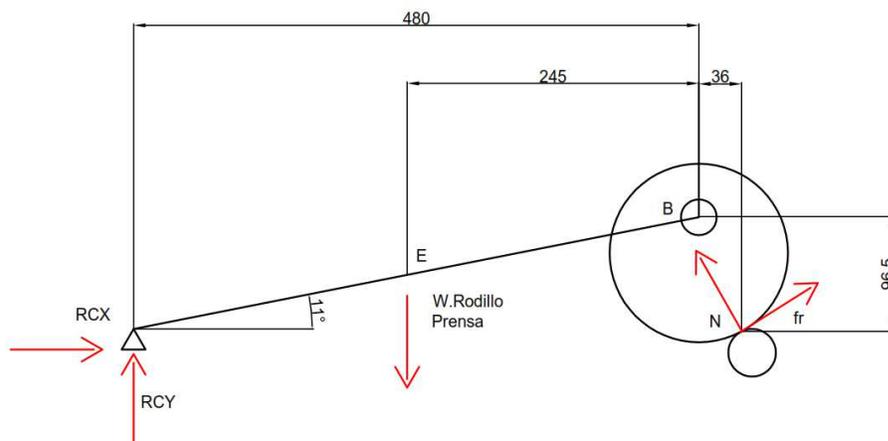


Figura 56 DCL- Rodillo laminador

Se procede a realizar el estudio estático del sistema, y de las fuerzas que actúan sobre el mismo. Donde N es la fuerza normal que se produce por el peso del rodillo sobre su apoyo, y fr es la fuerza de fricción que va a existir entre la leva cuando gire sobre el apoyo, ya que el contacto va hacer entre acero con acero el valor de la fricción será igual $\mu=0.18$ (Koshkin N. I., 1975).

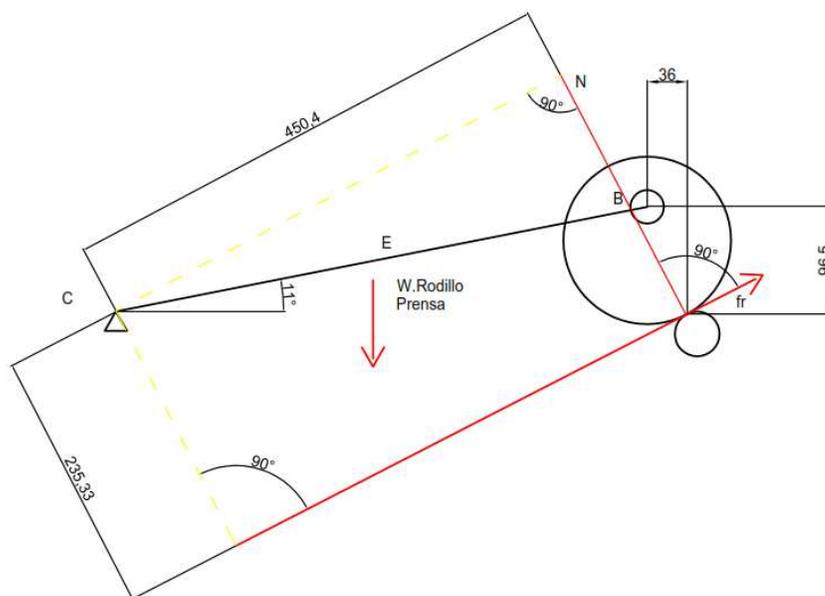


Figura 57 Diagrama de fuerzas

Habiendo tomado las medidas correctamente, procedemos a dibujar en el software AUTOCAD, el que nos ayudara a determinar las distancias faltantes para poder realizar el análisis de momentos respecto al punto C.

El peso del rodillo prensador más el resto de componentes que tendrá que mover el servomotor es de 490 kg.

$$\sum MC = 0$$

$$N * (0.4504) - W_{rodillo} * (0.48 - 0.245) + \mu * N * (0.23533) = 0 \quad (3.2.1)$$

$$0.4927 * N = 1129.62$$

$$N = 2292.716 \text{ N}$$

3.2.2 Dimensionamiento por leva excéntrica

Con el valor de la normal determinada procederemos a determinar el torque que necesita el servomotor para mover el sistema, por lo cual realizaremos el análisis en la leva excéntrica de diámetro 150 mm, ya que en este mecanismo se situara el motor.

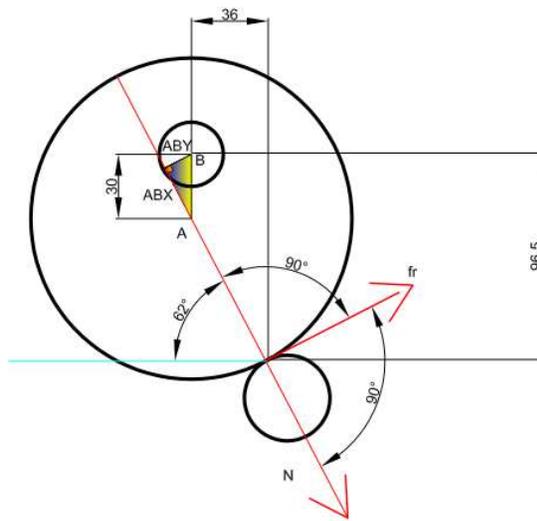


Figura 58 Diagrama cuerpo libre leva excéntrica

Mediante trigonometría podremos determinar el valor de las componentes ABX y ABY, estas servirán para calcular el torque necesario para mover el sistema.

$$\cos(62) = \frac{ABY}{0.03} \quad (3.2.2)$$

$$\text{sen}(62) = \frac{ABX}{0.03} \quad (3.2.3)$$

$$ABY = 0.0141 \text{ m} \quad ABX = 0.0265 \text{ m}$$

Torque requerido del servomotor:

Calculamos el torque que necesitara el servomotor respecto al punto B, ya que en este lugar se lo ubicara.

$$T_s = N * ABY + \mu * N * (ABX + \text{radioleva}) \quad (3.2.4)$$

$$T_s = 2292.716 * 0.0141 + [0.18 * 2292.716 * (0.1015)]$$

$$T_s = 74.23 \text{ Nm}$$

Ts: Torque del servomotor

3.2.3 Dimensionamiento por tornillo de potencia

A continuación el torque se analizara en el tornillo de potencia con el que cuenta la máquina como se lo ve en la figura 59. La ventaja de este tipo de tornillos es que nos permite obtener una gran ventaja mecánica por lo cual es capaz de mover grandes cargas.



Figura 59 Tornillo de potencia impregnadora

Con el valor obtenido de la normal que se produce entre la leva excéntrica y el apoyo, calcularemos el valor de la componente en el eje Y, ya que este es la carga que el tornillo debe levantar.

$$\cos(28) = \frac{N_y}{N} \quad (3.2.5)$$

$$N_y = 2024.34 \text{ N}$$

$$N = 2292.716 \text{ N}$$

N_y = Valor de la componente en Y de la normal

Después analizaremos el sistema de tornillo de potencia para lo cual debemos determinar las características del tornillo el mismo cuenta con una con cuerda simple tipo Acme, con un paso de 2.5 y con un diámetro exterior de 20 mm.

El diámetro de paso del tornillo ya que es una cuerda tipo ISO, se calcula con la ecuación (3.2.6).

$$d_p = d - 0.649519 * p \quad (3.2.6)$$

$$d_p = 18.376 \text{ mm}$$

d_p =diámetro de paso.

p =2.5 paso en mm.

d =20 mm diámetro exterior.

Las fuerzas que actúan en el punto de contacto entre tornillo y la tuerca para levantar la carga se puede ver en la figura 60.

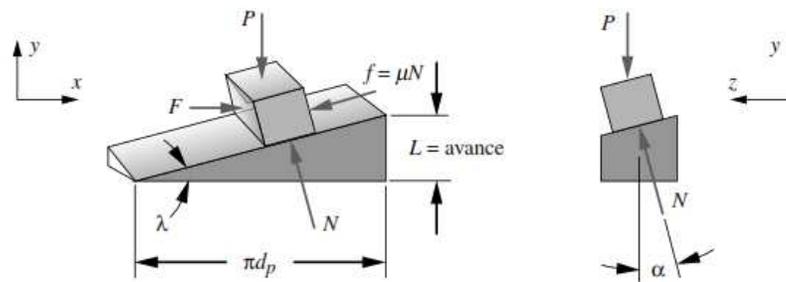


Figura 60 Análisis de fuerzas en el punto de contacto tornillo-tuerca cuerda Acme
(Norton, 2011)

Calcularemos el ángulo de avance λ con la ecuación (3.2.7).

$$\tan \lambda = \frac{L}{\pi * d_p} \quad (3.2.7)$$

$$\lambda = 2.479^\circ$$

$L = 2.5$ Avance, la tratarse de una cuerda simple el avance es igual al paso.

Las ecuaciones para calcular el torque necesario para elevar y bajar la carga son las siguientes.

$$T_{su} = \frac{P * dp}{2} * \frac{(\mu * \pi * dp + L * \cos \alpha)}{(\mu * dp * \cos \alpha - \mu * L)} \quad (3.2.8)$$

$$T_{ba} = \frac{P * dp}{2} * \frac{(\mu * \pi * dp - L * \cos \alpha)}{(\mu * dp * \cos \alpha + \mu * L)} \quad (3.2.9)$$

En este sistema van a estar presente dos tipos de rozamiento uno entre el conjunto cuerda-tuerca para el cual el coeficiente de fricción será igual a 0.15 ± 0.05 lubricado con aceite. Y el rozamiento existente en el cojinete plano de empuje que es aproximadamente al mismo coeficiente de fricción que en las cuerdas. Por lo cual las ecuaciones para elevar y bajar la carga quedaran de la siguiente forma.

$$T_{suc} = T_{su} + T_c = \frac{P * dp}{2} * \frac{(\mu * \pi * dp + L * \cos \alpha)}{(\mu * dp * \cos \alpha - \mu * L)} + \mu_c * P * \frac{dc}{2} \quad (3.2.10)$$

$$T_{bac} = T_{ba} + T_c = \frac{P * dp}{2} * \frac{(\mu * \pi * dp - L * \cos \alpha)}{(\mu * dp * \cos \alpha + \mu * L)} + \mu_c * P * \frac{dc}{2} \quad (3.2.11)$$

T_{su} : Torque requerido para elevar la carga.

T_{ba} : Torque para bajar la carga.

T_c : Torque para girar el collarín de empuje.

P : 2024.34 N Carga ejercida sobre el tornillo.

μ : 0.2 Coeficiente de fricción entre tornillo y la tuerca.

μ_c : 0.2 Coeficiente de fricción cojinete de empuje.

dc : 40 mm Diámetro del collarín.

α : 15° Ángulo radial cuerda acme.

Ahora podremos determinar el torque necesario para elevar la carga mediante la ecuación (3.2.10).

$$T_{suc} = 18.59963 * \frac{(0.0139653)}{(0.055391)} + 8.09736$$

$$T_{suc} = 4.6893 + 8.09376$$

$$T_{suc} = 12.786 \text{ Nm}$$

De igual manera calcularemos el torque necesario para bajar la carga con la ecuación (3.2.11).

$$T_{bac} = 18.59963 * \frac{(0.0091245)}{(0.056391)} + 8.09736$$

$$T_{bac} = 3.0093 + 8.09376$$

$$T_{bac} = 11.103 \text{ Nm}$$

Podemos ver que el mayor torque que va a realizar el tornillo de potencia es para elevar la carga por lo cual elegiremos este valor como el de diseño.

3.2.4 Selección del mecanismo a usar

Para la selección del servomotor nos ayudaremos en una matriz de decisión, en la cual analizaremos los aspectos más importantes para decidir la correcta ubicación del servomotor.

Tabla 11
Matriz de selección ubicación del servomotor

N	Criterio de selección	Alternativa 1	Alternativa 2	Ideal
1	Torque	4	10	10
2	Servomotores	10	5	10
3	Precisión para el control	6	9	10
4	Costo	6	8	10
5	Disponibilidad	7	7	10
	Total	33	39	50

Como podemos ver en la tabla 11, la mejor opción es la alternativa número dos la cuál es usar los tornillos de potencia, ya que necesitaremos un menor torque para elevar la carga. Y su desventaja es la que se necesitara dos servomotores ya que la maquina cuenta con dos tornillos uno a cada lado. Por motivos de seguridad se seleccionará un servomotor con un 20% más del torque calculado por lo cual necesitaremos un servomotor de 16 Nm.

3.2.5 Diseño del acople servomotor-tornillo

Debido a la ubicación del tornillo y el eje, se usara un sistema engranes cónicos rectos con ejes perpendiculares entre el servo y el tornillo como se puede ver en la figura 61. Además el engrane que se conectara al tornillo será roscado en su interior ya que este cumplirá las funciones de tuerca en el sistema de un tornillo de potencia.

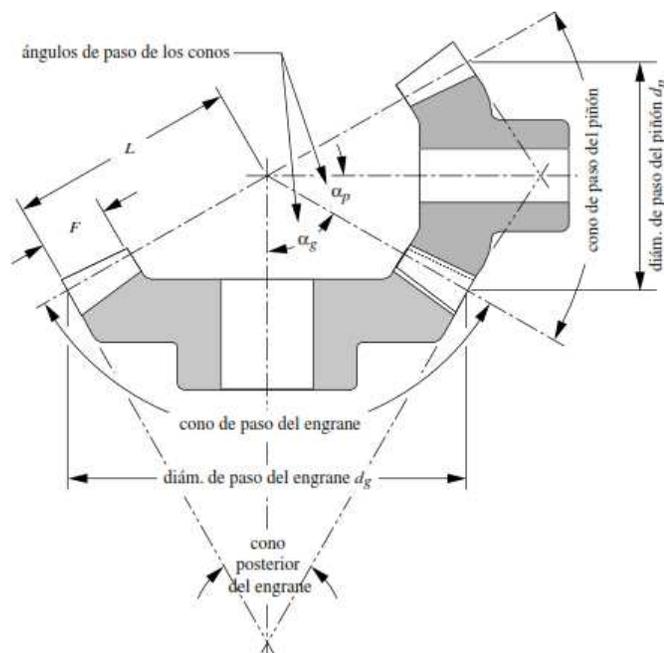


Figura 61 Geometría de un engrane cónico (Norton, 2011)

Los engranes cónicos que se usaran deben tener una relación de transmisión de 1, debido a que solo se quiere que cambie la dirección del movimiento.

Para lo cual el número mínimo de dientes para evitar interferencia, que se escogió es 20 dientes tabla 13.3 (Budynas, 2011), se escogió un módulo de la herramienta en función de las denominaciones estándares $m=4$ tabla 13.2 (Budynas, 2011) y el ángulo de presión seleccionado es el más común sugerido para el diseño de $\phi = 20^\circ$.

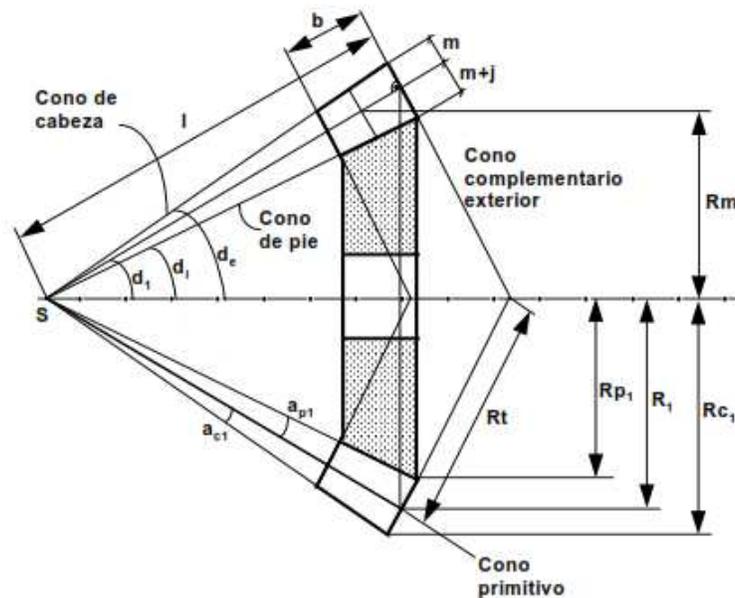


Figura 62 Nomenclatura engrane cónico
(Nebrija, 2002)

$$i = \frac{z_1}{z_2} \quad (3.2.12)$$

$$i = 1$$

$$\tan d_2 = \frac{\text{sen } d}{1 + \cos d} \quad (3.2.13)$$

$$d_2 = 45^\circ \quad d_1 = 45^\circ$$

d: 90 ° Ángulo entre ejes.

i: 1 Relación de transmisión.

d1: Ángulo primitivo engrane.

d2: Ángulo primitivo piñón.

z1: 20 Número de dientes engrane.

z2: 20 Número de dientes piñón.

m: 4 módulo.

- Diámetro primitivo

$$dp1 = m * z1 \quad (3.2.14)$$

$$dp1 = 80 \text{ mm}$$

- Longitud de la generatriz

$$l = \frac{1}{2} * (dp1^2 + dp2^2)^{0.5} \quad (3.2.15)$$

$$l = 56.568 \text{ mm}$$

- Ancho del diente

$$b1max = 10 * m \quad (3.2.16)$$

$$b = 40 \text{ mm}$$

$$b2max = \frac{l}{3} \quad (3.2.17)$$

$$b2max = 18.856 \text{ mm}$$

- Seleccionamos en base del menor b_{max}

$$b = 18.856 \text{ mm}$$

- Generatriz media del diente

$$l_m = l - \frac{b}{2} \quad (3.2.18)$$

$$l_m = 47.14 \text{ mm}$$

- Altura de trabajo

$$h_w = 2 * m \quad (3.2.19)$$

$$h_w = 8 \text{ mm}$$

- Huelgo

$$h_u = 0.188 * m + 0.05 \quad (3.2.20)$$

$$h_u = 0.802 \text{ mm}$$

- Altura del diente

$$h_t = h_u + h_w \quad (3.2.21)$$

$$h_t = 8.802 \text{ mm}$$

- Addendum

$$add = 0,54 * m + \frac{0.46 * m}{i^2} \quad (3.2.22)$$

$$ad = 4 \text{ mm}$$

- Dedendum

$$dd = ad + hu \quad (3.2.23)$$

$$dd = 4.802$$

- Ángulos de addendum y dedendum

$$\tan ac1 = \frac{ad}{l} \quad (3.2.24)$$

$$ac1 = 4.0447^\circ$$

$$\tan ap1 = \frac{dd}{l} \quad (3.2.25)$$

$$ap1 = 4.852^\circ$$

- Semi-ángulos del cono exterior e interior

$$dex1 = d1 + ac1 \quad (3.2.26)$$

$$dex1 = 49.0447^\circ$$

$$di1 = d1 - ap1 \quad (3.2.27)$$

$$di1 = 40.148^\circ$$

- Radios de cabeza y de pie serán

$$Rc1 = \frac{dp1}{2} + m * \cos d1 \quad (3.2.28)$$

$$Rc1 = 42.828 \text{ mm}$$

$$Rp1 = \frac{dp1}{2} - 1.25 * m * \cos d1 \quad (3.2.29)$$

$$Rp1 = 39.116 \text{ mm}$$

- Radios medios

$$Rm1 = \frac{dp1}{2} - \frac{b}{2} * \text{sen } d1 \quad (3.2.30)$$

$$Rm1 = 33.33 \text{ mm}$$

Debemos indicar que los cálculos solo fueron realizados para el engrane, esto debido a que la relación entre el engrane y el piñón va a ser de 1, por lo que tendrán el mismo número de dientes.

3.2.6 Cálculo de las cargas

En los engranes cónicos van a existir tres fuerzas que actúan sobre el mismo las cuales son:

Ft1: Fuerza tangencial.

Fr1: Fuerza radial.

Fa1: Fuerza axial.

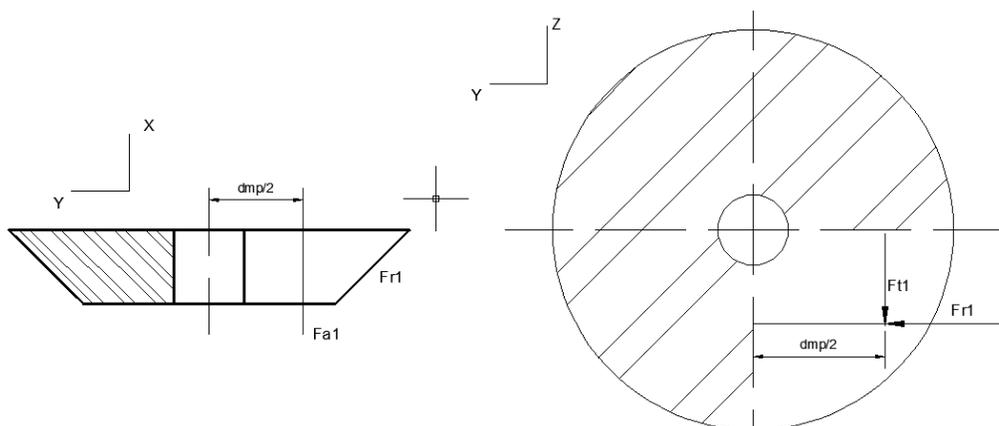


Figura 63 Fuerzas engrane cónico

T: 12.786 Nm Torque ejercido.

ϕ : 20° Ángulo de presión.

- Fuerza tangencial

$$Ft1 = \frac{T}{\frac{dp}{2}} \quad (3.2.31)$$

$$Ft1 = 319.56 \text{ N}$$

- Fuerza radial

$$Fr1 = Ft1 * \tan(\phi) * \cos(d1) \quad (3.2.32)$$

$$Fr1 = 82.243 \text{ N}$$

- Fuerza axial

$$Fa1 = Ft1 * \tan(\phi) * \text{sen}(d1) \quad (3.2.33)$$

$$Fa1 = 82.243 \text{ N}$$

Ya que el engrane y el piñón estañen contacto estas fuerzas se transmiten por lo cual las fuerzas que actúan en el engrane van a ser las mismas que las del piñón.

3.2.7 Diseño de la chaveta y chavetero

La chaveta del eje del servomotor y el chavetero del engrane cónico, fueron dimensionados en base al libro Atlas de elementos de máquinas y mecanismos. En la hoja 67 de Chaveta prismática y ranuras según GOST 8788-58, para un eje que tenga un diámetro entre \varnothing (18-24) mm (Bogatirev, 1971).

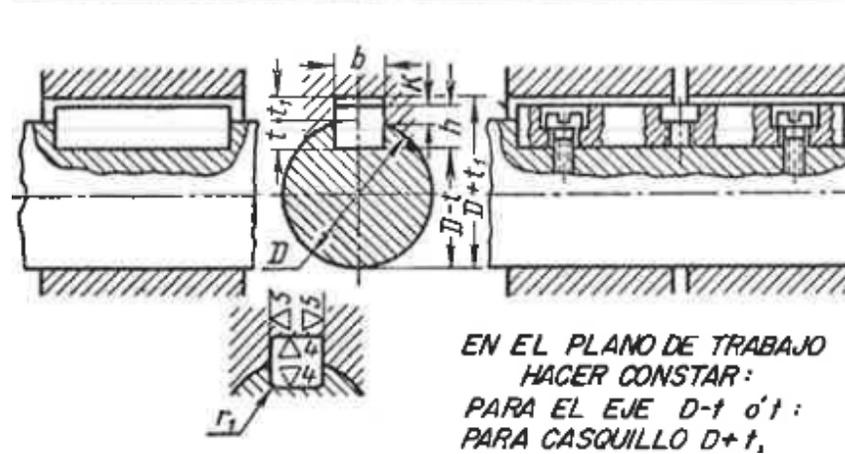


Figura 64 Chavetas prismáticas y ranuras
(Bogatirev, 1971)

Para la cual sus valores serán los siguientes

$$b = 6 \text{ mm}$$

$$h = 6 \text{ mm}$$

$$t = 3.5 \text{ mm}$$

$$t_1 = 2.6 \text{ mm}$$

$$k = 2.9 \text{ mm}$$

3.2.8 Presión ejercida por el molino laminador

El sistema va a generar una presión por unidad de área proyectada al comprimir la masa según (Saráuz & Tirira, 2011). Esta área proyectada será un rectángulo cuya longitud será el ancho de la lámina asfáltica, y su ancho es la distancia (X), la cual comienza desde que la lámina empieza hacer prensada hasta el centro de los rodillos o donde deja de ser prensada.

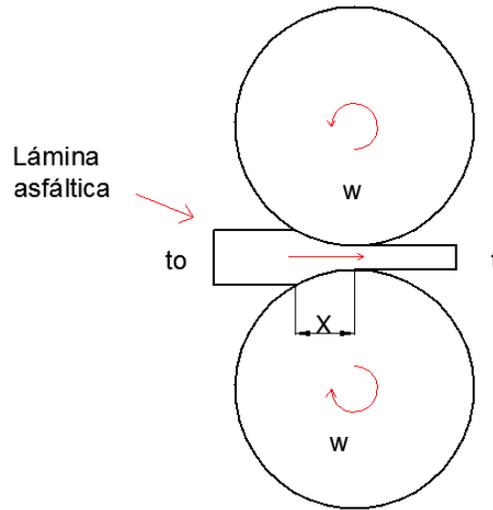


Figura 65 Vista lateral compresión lámina asfáltica

El área proyectada se determina

$$Ap = x * y \quad (3.2.34)$$

y: Es la longitud de la lámina asfáltica 1 m.

x: Ancho del área proyectada en el rodillo

$$x = \sqrt{R * (to - t)} \quad (3.2.35)$$

$$x = \sqrt{0.25 * (0.01 - 0.002)}$$

$$x = 0.045 \text{ m}$$

to: Espesor inicial de la lámina

t: Espesor regulado de la lámina

Remplazando los valores en la ecuación (3.2.34) se determina el área:

$$Ap = 0.045 \text{ m}^2$$

Con lo cual la presión será:

$$P = \frac{WRp \cdot g}{Ap} \quad (3.2.36)$$

$$P = 106.711 \text{ kPa}$$

El servomotor que se necesitamos para que mueva el sistema de rodillo prensador, debe generar un torque de 16 Nm, y garantizar una presión de 106.711 kPa para que la lámina sea reducida al valor deseado.

Con estos datos se procedió a seleccionar el servomotor FESTO EMMS-AS-100-L-HS-RMB, y la caja reductora EMGA-120-P-G20-SAS-100, estos componentes nos permitirá alcanzar los valores calculados.



Figura 66 Servomotor (FESTO)



Figura 67 Caja reductora (FESTO)

3.3 Dimensionamiento de los componentes del sistema de control

En el cálculo de los componentes de control se considerará desde la correcta elección del sensor a utilizar, así como el análisis dinámico del molino laminador.

3.3.1 Selección del sensor a utilizar

Para seleccionar correctamente el sensor se debe considerar principalmente que tenga, buena precisión, mínima resolución y que tenga una respuesta rápida.

- Características sensor laser SICK OD1-B015C05I14

Tabla 12
Datos técnicos sensor laser

SICK OD1-B015C05I14	
Características	
Resolución	1 μm
Tiempo de respuesta	2 ms
Linealidad	10 μm
Rango de medida	20 mm
Resistencia vibración	55 Hz

(SICK)



Figura 68 Sensor Laser OD1-B015C05I14
(SICK)

- Características sensor LVDT micro épsilon DTA-25D

Tabla 13
Datos técnicos sensor LVDT

DTA-25D	
Características	
Resolución	3 μm
Tiempo de respuesta	2 ms
Linealidad	150 μm
Rango de medida	25 mm
Resistencia vibración	58 Hz

(Micro Épsilon, 2011)



Figura 69 Sensor DTA-25D
(Micro Épsilon)

En la tabla número 14, se muestra el resultado de la evaluación del sensor a usar en el mecanismo de medición:

Tabla 14
Matriz de selección sensores

N	Criterio de selección	Alternativa	Alternativa	Ideal
		1	2	
1	Resolución	9	7	10
2	Tiempo de respuesta	8	8	10
3	Linealidad	9	5	10
4	Rango de medida	9	9	10
5	Resistencia a la vibración	7	8	10
6	Disponibilidad	8	8	10
	Total	50	45	60

Mediante la matriz de selección, se observa que la mejor opción es la alternativa número uno, el sensor laser (SICK OD1-B015C05I14).

3.3.2 Modelo matemático rodillos laminadores

Para la implementación del controlador automático de espesor, primero es necesario obtener el modelo matemático de la planta que se quiere controlar.

Los rodillos laminadores con los que se cuenta en IMPTEK son una analogía de lo que es una prensa, por lo cual el modelo matemático de los rodillos laminadores será basado en el modelo de una prensa (Platero, 2008). Debido a que el rodillo superior se desplaza verticalmente, para regular el espesor por lo cual ejerce una presión sobre la lámina y su manto asfáltico que se encuentra apoyado sobre el rodillo inferior. De esta forma se regula el espesor.

Donde

P= Presión que ejerce el rodillo superior sobre la lámina asfáltica.

M= Es la masa del rodillo superior.

A = Es el área proyectada determinada anteriormente en la sección 3.2.1.

K_L = La compresión de masa es modelada por un resorte de constante (K_L)

K = La dinámica del rodillo inferior donde se apoya la lámina, es modelada por dos resortes de constante K

B = Es el rozamiento viscoso que se producirá entre la superficie de contacto de del rodillo y la lámina asfáltica.

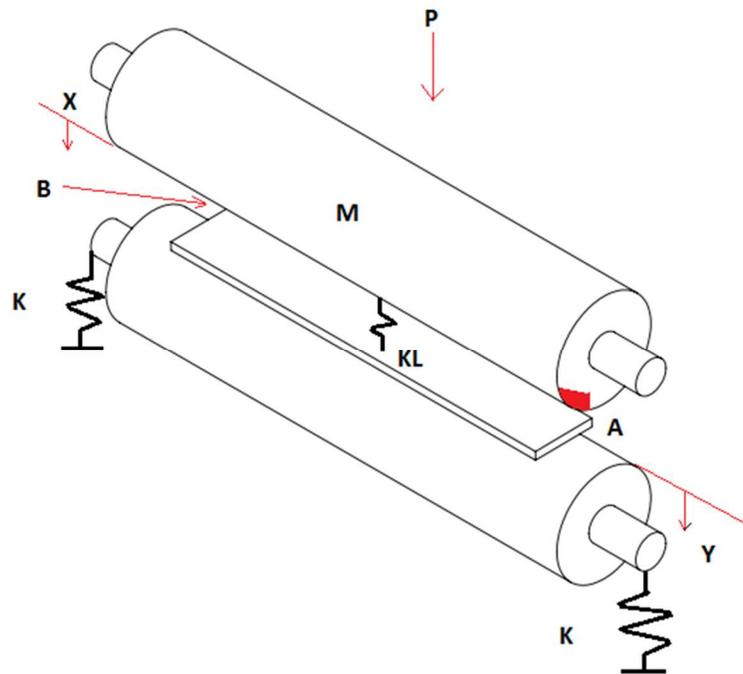


Figura 70 Comportamiento dinámico rodillos laminadores

Para poder modelar matemáticamente los rodillos laminadores, se realizara una analogía con los circuitos eléctricos, para así obtener las ecuaciones. La analogía de la fuerza es equivalente a la corriente, y la del desplazamiento con el potencial.

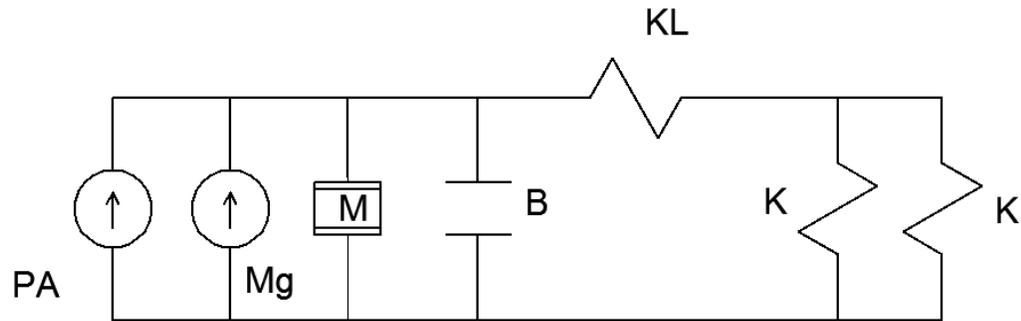


Figura 71 Analogía eléctrica rodillos laminadores
(Platero, 2008)

$$P * A + M * g = M * \ddot{x} + B * \dot{x} + KL * (x - y) \quad (3.3.1)$$

$$KL * (x - y) = K * y + K * y \quad (3.3.2)$$

$$KL * (x - y) = 2K * y$$

La que se comprimirá la lámina asfáltica será una variable dependiente entre el desplazamiento del rodillo superior y rodillo inferior.

$$d = x - y \quad (3.3.3)$$

$$KL * d = 2K * (x - d)$$

La masa del rodillo superior con la gravedad produce un término constante lo cual hace necesario la linealización de las ecuaciones diferenciales, se analizara el sistema en reposo, en equilibrio, por ende la presión inicial igual a 0.

$$M * g = KL * (x_0 - y_0) = 2K * y_0$$

$$y_0 = \frac{M * g}{2K}$$

Despejando x_0

$$x_0 = \frac{M * g}{KL} + y_0$$

Reemplazando y_0

$$x_0 = \frac{M * g}{KL} + \frac{M * g}{2K}$$

$$x_0 = M * g \left(\frac{1}{KL} + \frac{1}{2K} \right)$$

La dinámica del sistema de rodillos laminadores es una función que depende de la presión P , y de las derivadas del desplazamiento del rodillo respecto al tiempo y de lo que se compactará el cuerpo.

$$\Delta P * A = M * \Delta \ddot{x} + B * \Delta \dot{x} + KL * \Delta d$$

$$KL * \Delta d = 2K * (\Delta x - \Delta d)$$

La función de transferencia de los rodillos laminadores es la siguiente:

$$\Delta P(s) * A - KL * \Delta d(s) = (M * s^2 + B * s) * \Delta x(s) \quad (3.3.4)$$

$$\Delta d = \frac{2K}{KL+2K} * \Delta x(s) \quad (3.3.5)$$

Despejando $\Delta x(s)$ de la ecuación (3.3.5)

$$\Delta x(s) = \frac{\Delta d * (KL+2K)}{2K}$$

Reemplazando en la ecuación (3.3.4)

$$\begin{aligned} \Delta P(s) * A - KL * \Delta d(s) &= (M * s^2 + B * s) * \frac{\Delta d * (KL + 2K)}{2K} \\ \Delta P(s) * A &= (M * s^2 + B * s) * \frac{\Delta d * (KL + 2K)}{2K} + KL * \Delta d(s) \\ \frac{\Delta d(s)}{\Delta P(s)} &= \frac{2K * A}{(M * s^2 + B * s) * (KL + 2K) + (2K * KL)} \end{aligned} \quad (3.3.6)$$

Se puede observar en la ecuación (3.3.6), el modelo dinámico de los rodillos laminadores, para obtener las respectivas constantes para el controlador.

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN

4. Construcción e implementación

4.1 Construcción del sistema mecánico

En esta sección se mostrará un registro fotográfico de la construcción de los diferentes componentes mecánicos que intervienen en el proyecto, como el sistema de medición, estructura de soporte entre otros.

4.1.1 Implementación del mecanismo para medir la variación de espesor

Como se mencionó en el capítulo anterior, los principales parámetros para la construcción de este sistema eran el peso y la resistencia al desgaste del mismo. Por dicha razón se escogió al NYLON como materia prima. En la figura 72 se puede ver la construcción de uno de los componentes del sistema de medición.



Figura 72 Fresado sistema medición

En la figura 73 se puede apreciar, el mecanismo para medir la variación del espesor de la lámina asfáltica.

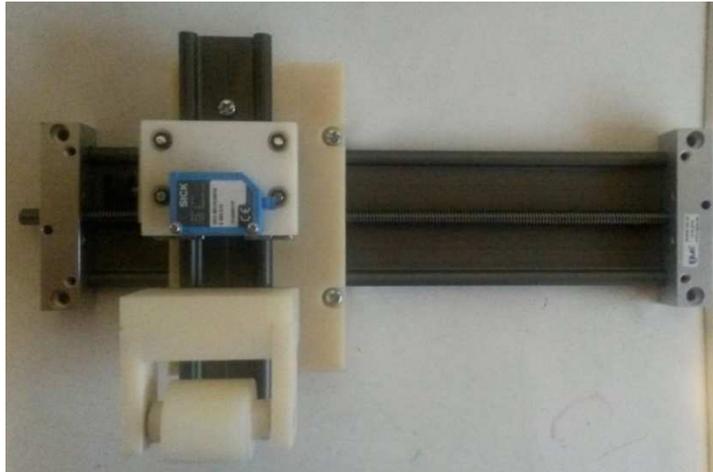


Figura 73 Mecanismo de medición

4.1.2 Construcción estructura de soporte

Con los resultados que se consiguieron gracias al paquete de simulación SOLIDWORKS, se optó por usar perfiles estructurales rectangulares de 100X50X3 mm. En la figura 74 se aprecia los componentes de la estructura cortados y maquinados.



Figura 74 Construcción estructura de soporte

Se observa en la figura 75 el proceso de unión de los componentes, mediante el uso de soldadura tipo SMAW con electrodo 6010.



Figura 75 Estructura de soporte

Cabe recalcar que la estructura debe ser desmontable por motivos de mantenimiento que se realizan en el rodillo sobre el cual está montado. Se puede apreciar en la figura 76 el sistema ya construido y montado sobre el rodillo de la estación de tracción.



Figura 76 Montaje estructura de soporte

4.1.3 Instalación del molino laminador

Se debe indicar que la tina de impregnación ya cuenta con rodillos prensadores, los cuales no estaban funcionando, por lo que solo realizó un mantenimiento, para su posterior re instalación.



Figura 77 Molino laminador

En la figura 78 se puede ver la instalación, de nuevos rodillos que servirán para cambiar la dirección de la lámina asfáltica.



Figura 78 Rodillos de dirección

4.2 Construcción del sistema eléctrico/electrónico

En esta sección se observara el montaje de los componentes eléctricos del proyecto, así como la instalación de las resistencias de los rodillos prensadores.

4.2.1 Instalación de resistencias

Para el correcto prensado de la lámina por parte del molino laminador, los rodillos deben contar con una resistencia interna como se ve en la figura 79, esto debido a que la emulsión asfáltica tiene una elevada densidad, por lo cual es necesario calentarlo para poder regular el espesor correctamente. Además en la figura 80 se puede ver la PT 100 instalada en la tina impregnación para monitorear la temperatura del asfalto modificado.



Figura 79 Instalación resistencias en molino



Figura 80 Instalación sensor temperatura

En la figura 81 se puede ver la instalación y cableado del sensor SICK, hacia la caja de control general donde se encuentra ubicado el PLC.



Figura 81 Caja de paso

4.2.2 Instalación de la caja de control

La caja de control fue ubicada en la parte posterior de la línea de laminación, en la que se encuentran ubicados los sistemas de protección así como los PLC, junto con otros elementos que intervienen en el proceso de laminación.



Figura 82 Caja de control REISER

En la figura 83 se puede ver la pantalla de inicio para el proceso de laminación.



Figura 83 Pantalla de inicio

Después ingresaremos a la pantalla de control de etapas como se puede ver en la figura 84

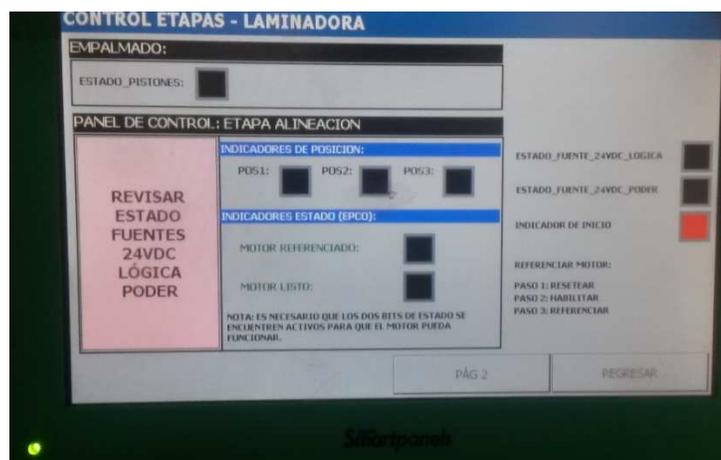


Figura 84 Pantalla control etapas

Y finalmente ingresaremos a la pantalla de visualización del espesor de la lámina asfáltica como se ve en la figura 85.



Figura 85 Pantalla de visualización espesor

4.3 Construcción del sistema de control

Para la construcción del sistema de control se debe tener muy en cuenta que ya no se puede aplicar un control PID debido a que el servomotor cuenta con un controlador integrado, por lo cual se realizara un control ON-OFF.

4.3.1 Construcción del controlador

Para el dimensionamiento del controlador se debe tomar en cuenta las características del tornillo las cuales son que tiene un paso de 2.5, lo que nos indica que por cada vuelta del volante el tornillo deberá moverse 2.5 mm.

Pero al tratarse de un tornillo de potencia debemos saber que estos son usados para aumentar fuerzas o pares de torsión, lo cual se hace mediante una relación de movimiento, mayor de la unidad, en la que el filete recorrer una gran distancia a lo largo de la hélice, mientras que el elemento movido avanza una pequeña cantidad a lo largo del eje del tornillo (Tecnológica, 2010) .

Mediante el uso de galgas de espesores se determinó esta relación, y se obtuvo que por cada cuarto de vuelta del volante el tornillo se elevaba 0.2 mm, es decir que un una vuelta completa del volante el sistema se va a elevar 0.8 mm.

Ya que se va a usar un servomotor podremos realizar una analogía con el valor de ángulo versus el desplazamiento del tornillo.

Tabla 15
Relación Avance lineal-Ángulo

Ángulo (°)	Avance (mm)
45	0.1
90	0.2
135	0.3
180	0.4
225	0.5
270	0.6
315	0.7
360	0.8

Con estos datos podremos determinar el ángulo que tendrá que girar el servomotor para posicionar el sistema, por ejemplo para el Imperpol 3000, el deberá girar un ángulo de 1170°, para elevar el molino laminador a 2.6 mm.

4.3.2 Diseño parámetros del actuador

Debido a que se va a controlar la cantidad de asfalto modificado impregnado en la armadura y no el espesor cuando esta tenga material de protección, se tomara como SET POINT de cada lámina otro valor al indicado en la tabla 3. Donde se muestran los espesores de las láminas, para elegir correctamente este valor, primero se consideraran las láminas que contiene protección granular, ya que el gránulo mineral tiene un diámetro aproximado entre 0.6-0.7 mm, la arena es de un diámetro menor a este y cuando este cubierta con foil de aluminio este tiene un espesor de 0.3 mm. Por lo que los valores para la elaboración de cada tipo de lámina se los puede ver en la tabla 16.

Tabla 16
Valores iniciales de las láminas asfálticas

Producto	Espesor (mm)	Ángulo (°)
IMPERPOL 3000	2.6	1170
IMPERPOL 4000	3.4	1530
IMPERGLASS 3000	2.6	1170
ASFALUN	2.3	1035
TECHOFIELT 2000	1.7	765
TECHOFIELT 3000	2.7	1215
SUPER K 2500	2.4	1080
SUPER K 3000	2.8	1260
ALUMBAND	2	900

4.3.3 Diagrama de flujo de control

Una vez obtenido estos valores se continúa con la programación del controlador lógico programable (PLC), para la cual se realiza una descripción del programa en un diagrama de flujo.

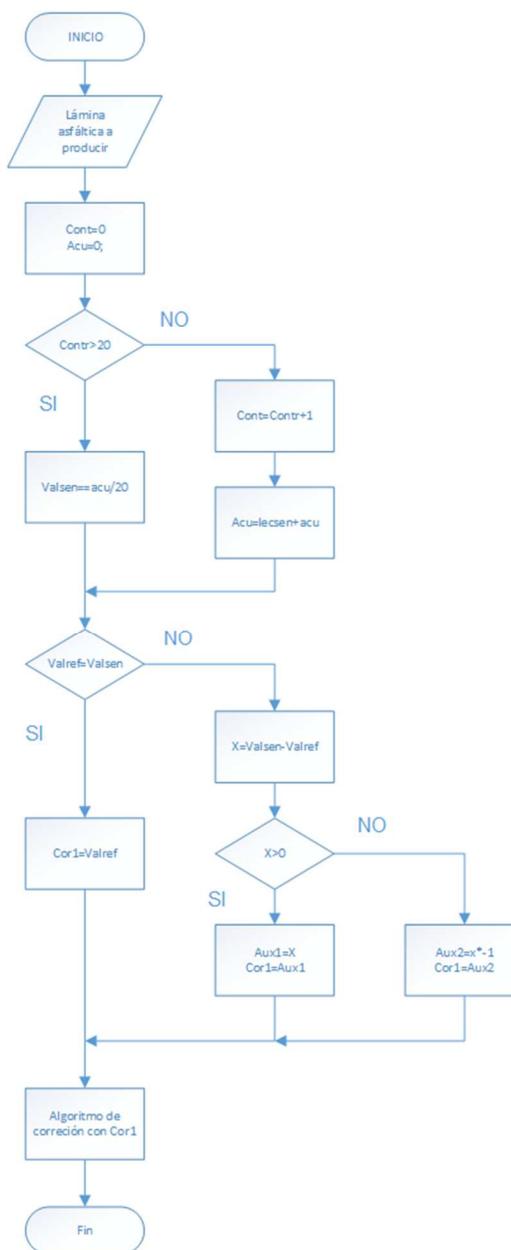


Figura 86 Diagrama de flujo algoritmo de control

CAPÍTULO 5

PRUEBAS

5. Análisis de resultados y pruebas

5.1 Prueba del sistema con armadura

El sistema de medición fue probado primeramente con la armadura de la lámina asfáltica en este caso fue polyester la cual tiene un espesor de 0.4 mm, las medidas fueron tomadas en un periodo de un minuto.

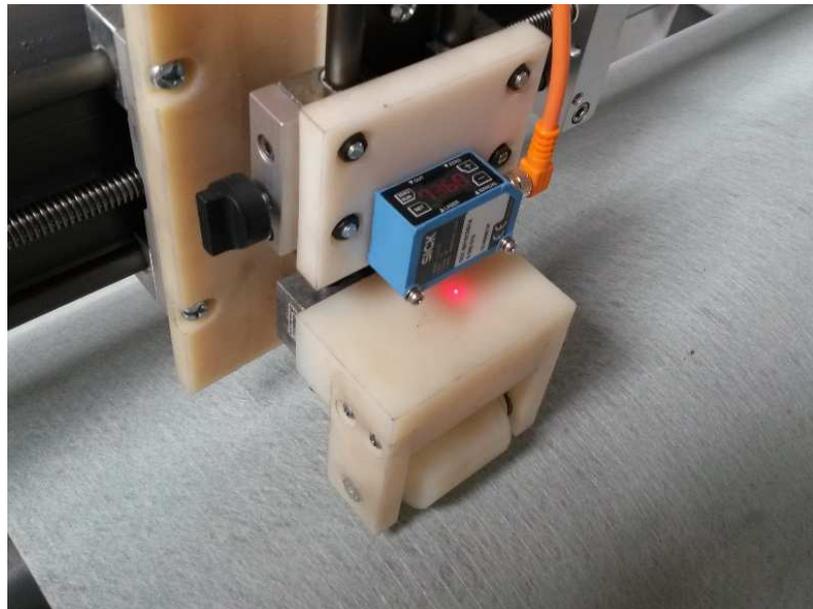


Figura 87 Medición armadura polyester

En la tabla 17 se puede ver los datos del sistema de medición como con los calibrador, adquiridos cada 5 segundos aproximadamente.

Tabla 17
Espesor armadura polyester

Dato	Tiempo (s)	Sistema Medición (mm)	Calibrador (mm)
1	0	0.4	0.3
2	5.32	0.4	0.4
3	10.27	0.4	0.4
4	14.92	0.5	0.3
5	19.87	0.4	0.3
6	24.91	0.4	0.4
7	29.8	0.4	0.4
8	35.47	0.4	0.3
9	40.12	0.4	0.4
10	44.93	0.5	0.4
11	50.35	0.4	0.4
12	55.17	0.4	0.5

En la figura 88 se ve que los datos tomados con el sistema de medición son más precisos y solo se encuentran dos valores fuera de 0.4 mm, y con el calibrador hay mayor variación en los datos adquiridos.

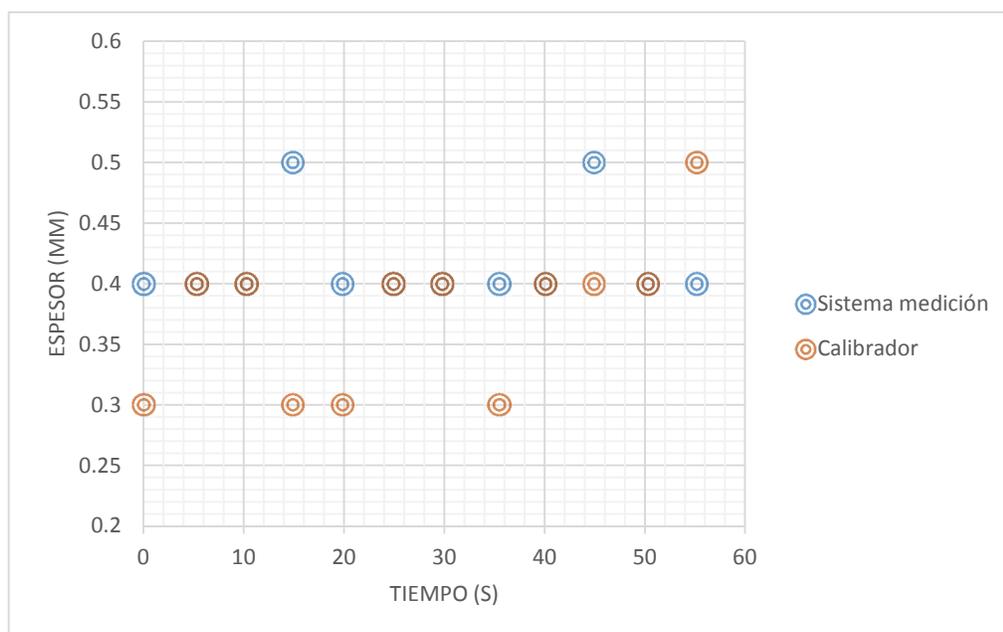


Figura 88 Espesor armadura vs tiempo

En la figura 89 se puede ver el valor del espesor obtenido mediante el interfaz humano máquina (HMI).



Figura 89 Espesor armadura en el HMI

5.2 Prueba del sistema con Imperpol 3000

Con la lámina asfáltica que se probó el sistema de control del espesor fue el Imperpol 3000, esta es una lámina con recubrimiento mineral, el espesor se debe encontrar en un valor de 2.6 mm en su traslape como se ve en la figura 90.

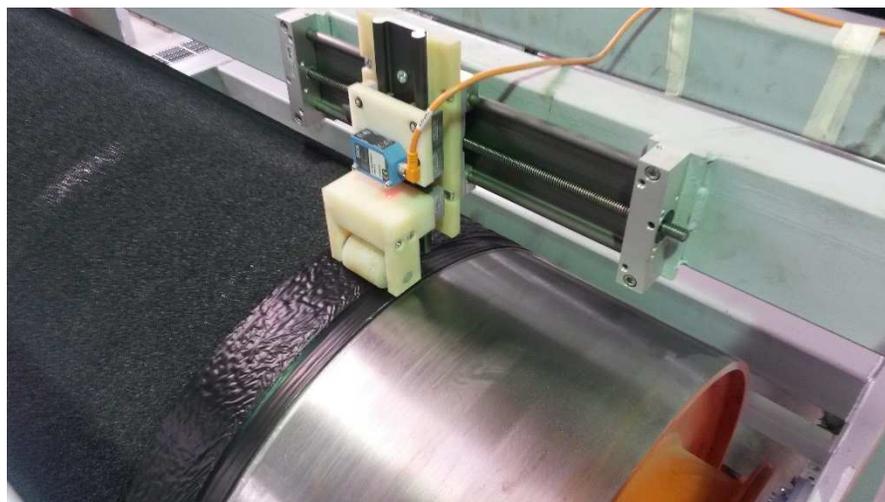


Figura 90 Medición Imperpol 3000

Los datos para esta lámina fueron tomados en un periodo de 5 segundos, como se lo puede ver en la tabla 18, se decidió tomar más número de pruebas ya que este es un producto que se a comercializar no como la armadura del literal anterior, y por lo cual se quería ver el comportammiento del mecanismo.

Tabla 18
Espesor Imperpol 3000.

Dat o	Tiemp o (s)	Sistema Medició n (mm)	Calibrado r (mm)	Dat o	Tiemp o (s)	Sistema Medició n (mm)	Calibrado r (mm)
1	5.46	3	3.2	16	80.33	3.1	3.3
2	9.36	2.9	2.9	17	85.37	3	3.2
3	15.06	2.6	2.8	18	90.31	2.6	2.8
4	19.36	2.6	2.7	19	94.37	2.8	2.8
5	25.34	2.6	2.4	20	100.4	2.8	3
6	30.38	2.8	3	21	105.31	2.9	3
7	35.32	2.9	3.2	22	110.21	2.7	2.6
8	40.36	2.8	3	23	116.03	2.5	2.6
9	44.41	2.7	3.1	24	120.34	2.9	2.8
10	50.34	3	2.9	25	125.3	2.5	2.8
11	55.36	2.9	2.9	26	130.28	2.6	2.7
12	60.19	3	3	27	134.27	3.1	3
13	66.06	2.8	3	28	140.22	2.8	2.9
14	70.15	2.7	2.8	29	145.16	2.9	2.8
15	74.92	2.5	2.6	30	150.31	2.8	3

En la figura 91 se puede ver que los datos tomados tanto con el sistema de medición así como con el calibrador, varían respecto a su valor referencial, en el cual solo ocho en total se encuentran en el SET POINT del Imperpol 3000.

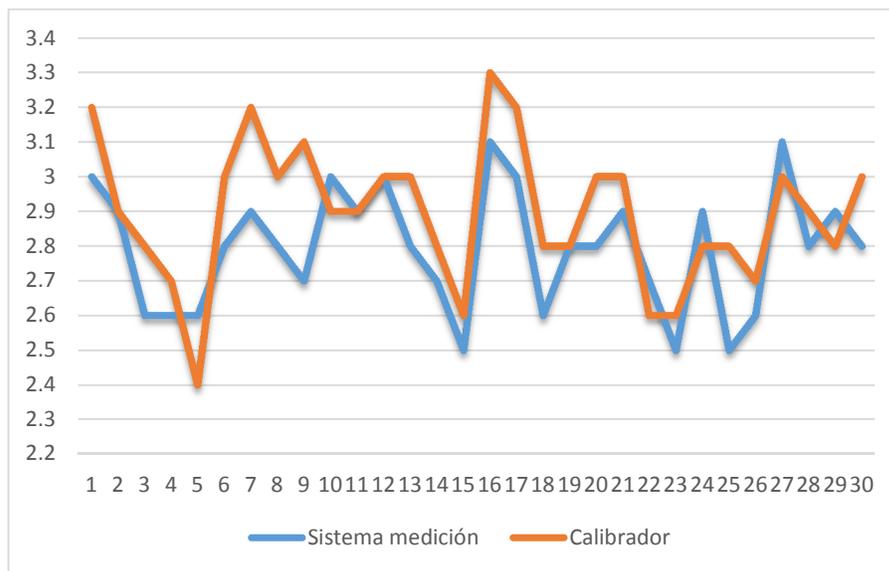


Figura 91 Espesor Imperpol 3000

En la figura 92, podemos ver el gráfico de correlación entre las medidas adquiridas con el calibrador y con el sistema de medición.

Podemos ver que existe una correlación entre estas dos variables, por lo cual podemos decir que existe una tendencia hacia arriba, por lo que existe una correlación con dirección positiva.

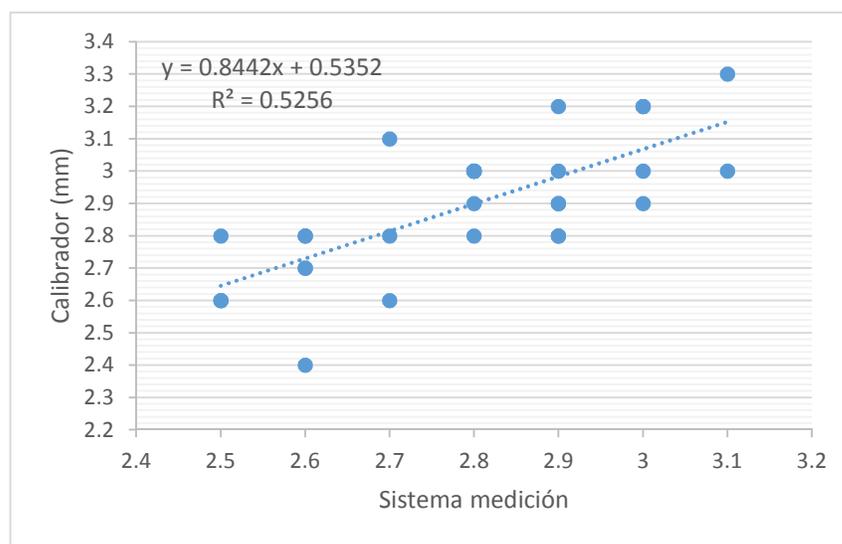


Figura 92 Gráfico de correlación

Con los puntos en la figura 92 podemos ver que se asemejan pocamente a una línea recta, por lo cual decimos que la fuerza de correlación que existe entre el sistema de medición y el calibrador es media.

5.3 Adquisición de temperatura de la tina de impregnación

El monitoreo de la temperatura del asfalto modificado se puede ver en la figura 93, en la misma ventana se muestra las temperaturas de distintos componentes, la de la tina de impregnación es la de color naranja.



Figura 93 Temperatura tina de impregnación

5.4 Análisis de resultados

Se puede mencionar que el sistema de medición garantiza una correcta lectura del valor del espesor de la lámina, como se lo ve en la medición del espesor de la armadura de polyester en la cual se puede ver que el valor de 0.4 mm es predominante y solo se obtuvieron dos medidas de 0.5 mm, esto se puede deber a que la armadura puede presentar ciertas imperfecciones lo cual hace que el

sistema se desplace. Podemos ver que hemos obtenido un promedio de lectura de 0.41 mm de espesor de la armadura de polyester.

Con el sistema de medición se pudo obtener valores más cercanos a 2.6 mm y con el calibrador más alejados, las diferencias que existen entre el calibrador y mecanismo de medición, se deben que en el uso del pie de rey se debe tener en cuenta la apreciación y el uso del instrumento de medición por parte del usuario, por lo que se puede producir el error de operador

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS FINANCIERO

6. Análisis económico y financiero

6.1 Análisis financiero

En esta sección se detalla los costos asociados y la inversión para el desarrollo del proyecto diseño y construcción de un sistema para el control de espesor de la lámina asfáltica.

6.1.1 Costos elementos de control

Para la etapa de control se usaron dos controladores lógicos programables (PLC), uno que es el encargado de recibir todas las señales de los sensores y otro en el que solo se conectaran todos los motores de la línea de laminación.

Tabla 19
Precio elementos de control

Componentes	Descripción	Cantidad	Val. Unitario (\$)	Val. Total (\$)
Fuente alimentación	5A	1	176.16	176.16
PLC	WAGO 750-8XX	2	867.67	1735.34
Modulo entrada	2 canales	1	355.18	355.18
Modulo salida	2 canales	1	375.6	375.6
Módulo de cierre		2	22.27	44.54
HMI Brainchild		1	1646.85	1646.85
Switch industrial WAGO		1	447.36	447.36
Braker tres polos		1	83.86	83.86
			Subtotal	4864.89
			IVA 12%	583.79
			Total	5,448.68

6.1.2 Costos sensores

Para el proyecto se utilizó dos sensores, uno el sensor laser para medir la variación del espesor y el sensor para medir la temperatura del asfalto modificado

Tabla 20
Precio sensores

Componentes	Descripción	Cantidad	Val. Unitario (\$)	Val. Total (\$)
Sensor pt100 temperatura	TK201-P-H-200L-G	1	93.07	93.07
Sensor laser sick	OD1-B015C05I14	1	1577.92	1577.92
Cable conector	DOL-0804-G05M	1	28.59	28.59
			Subtotal	1699.58
			IVA 12%	203.95
			Total	1,903.23

6.1.3 Costos mecanismo de medición

La mayoría de los componentes del mecanismo de medición fueron adquiridos a la empresa IGUS. El material Nylon PA6 o (Duralon), así como el proceso de maquinado de las piezas fue realizado por la empresa IFESA.

Tabla 21
Precio mecanismo medición

Componentes	Descripción	Cantidad	Val. Unitario (\$)	Val. Total (\$)
Mesa lineal	SLW-1080, 250	1	854.7	854.7
Riel doble. Longitud 200mm	WS-10-40, 200	1	144.55	144.55
Fijación manual	WHKA-10	1	64.05	64.05
Cojinete de deslizamiento	4 WJ200UM-01-10-LL	6	15.1	90.6
Maquinado de piezas	Nylon PA6	1	280	280
			Subtotal	1433.9
			IVA 12%	172.07
			Total	1,605.97

6.1.4 Costos componentes del servomotor

El servomotor así como sus componentes serán adquiridos a la empresa FESTO para lo cual la empresa ECUAINSETEC servirá como intermediaria para la compra de estos elementos, así como los sensores.

Tabla 22
Precio servomotor y componentes

Componentes	Descripción	Cantidad	Val. Unitario (\$)	Val. Total (\$)
Servomotor	EMMS-AS-100-L- HS-RMB	2	5312.75	10625.5
Controlador servo	CMMP-AS-C10-11A- P3-M3	2	4451.64	8903.28
cable servomotor	NEBM-M23G6-E-15- N-LE7	2	1160.83	2321.66
Cable controlador	NEBM-M12W8-E- 15-N-S1G15	2	658.3	1316.6
Módulo de seguridad	CAMC-G-S1	2	306.91	613.82
Línea de control	NEBC-S1G25-K- 2.5N-LE26	2	292.17	584.34
Caja reductora	EMGA-120-P-G20- SAS-100	2	3241.64	6483.28
Engranajes de acople	Engranajes cónicos rectos	4	100	400
			Subtotal	31248.48
			IVA 12%	3749.82
			Total	34,998.30

6.1.5 Costos de instalación

La instalación de los componentes del proyecto fue realizada por obreros pertenecientes a IMPTEK. Los componentes para la instalación fueron adquiridos a distintas empresas con las que trabaja la empresa.

Tabla 23
Precio instalación

Componentes	Descripción	Cantidad	Val. Unitario (\$)	Val. Total (\$)
Perfil rectangular	100x150x3	3	53.23	159.69
Perno acero G8	1/2x1	8	0.25	2
Arandela estriada	1/2"	8	0.34	2.72
Broca titanio	7/16"	1	4.76	4.76
Juego machuelo	1/2"	1	22.96	22.96
Juego machuelos	M6	1	22.5	22.5
Pernos allen	M6	4	0.25	1
			Subtotal	215.63
			IVA 12%	25.88
			Total	241.51

6.1.6 Costo mano de obra

Como se lo menciono en la sección anterior la instalación así como la mano de obra fue realizada por personal de IMPTEK.

Tabla 24
Precio mano de obra

Mano de obra	Horas trabajadas	Valor/ hora trabajo (\$)	Valor total (\$)
Ayudante mecánico	50	3	150
Soldador	10	5	50
Electricista	20	4	80
		Total	280.00

6.1.7 Costo total

El costo total del proyecto \$ 44,477.69, este valor fue cubierto en su totalidad por la empresa IMPTEK, en la tabla 25 se puede ver la descripción del valor de cada etapa de la construcción del proyecto.

Tabla 25
Precio total del proyecto

Descripción	Valor (\$)
Elementos de control	5448.68
Sensores	1903.23
Mecanismo medición	1605.97
Componentes del servomotor	34998.3
Instalación	241.51
Mano de obra	280
Total	44,477.69

6.2 Análisis económico

Es necesario justificar el costo-beneficio del proyecto, por lo cual se va a comparar los ingresos y los egresos. Para lo cual tomaremos los siguientes parámetros pedidos por IMPTEK, los cuales son una tasa de descuento del 12% en un periodo de 10 años. Se toma como dato que en la línea de laminación existe actualmente una pérdida del 15% anual de la producción de láminas; en este detrimento de la producción se incluye la cantidad impregnada de asfalto modificado en la armadura.

Con el proyecto se pretende reducir el exceso de asfalto en la lámina en un 10%, se deja un margen de 5% de exceso ya que para que el proyecto funcione correctamente depende de otras estaciones que intervienen en la elaboración de la lámina asfáltica.

Para determinar las pedidas con las que cuenta la empresa para el control de espesor de la lámina asfáltica debemos saber que el promedio de exceso de asfalto modificado en cada metro cuadrado es de 0.1 mm, y se tiene un promedio de producción 165200 m² como se lo puede ver en el anexo B, en el cual se muestra a detalle la producción de los 13 tipos de láminas.

Determinaremos las pérdidas usando como referencia el Imperpol 3000 el que debe tener un espesor de 3 mm.

- Exceso de asfalto modificado por rollo de Imperpol 3000

$$Exasf = \frac{exces * pla}{eimp}$$

$$Exasf = 0.1267 \text{ kg}$$

eimp: 3 mm Espesor ideal del Imperpol 3000

exces: 0.1 mm Exceso de espesor en la lámina.

pla: 3.8 kg Peso de cada rollo de Imperpol 3000

Se puede ver que el exceso de asfalto modificado por metro cuadrado de lámina es de 0.1267 kg/m². Con lo cual podremos determinar anualmente cuantos kilogramos de asfalto se pierde sin recibir ganancias.

$$Exaño = 165200 \text{ m}^2 * 0.1267 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$Exaño = 20930.84 \text{ kg}$$

El precio de elaboración actual del asfalto modificado es de \$1 por kilo lámina asfáltica. Con esto se puede decir que la empresa pierde anualmente \$ 20,930.84 dólares.

El proyecto tendrá como único egreso la inversión inicial para su construcción de \$ 44,477.69 dólares, a partir de este punto la empresa obtendrá anualmente ingresos, con una tasa de recuperación del 12%.

Tabla 26
Egresos-Ingresos

Año	Egresos	Ingresos	Saldo	Saldo Acumulado
Inversión	(44,477.69)	-	(44,477.69)	(44,477.6)
1	-	20,930.84	20,930.84	(23,546.85)
2	-	20,930.84	20,930.84	(2,616.01)
3	-	20,930.84	20,930.84	18,314.83
4	-	20,930.84	20,930.84	39,245.67
5	-	20,930.84	20,930.84	60,176.51
6	-	20,930.84	20,930.84	81,107.35
7	-	20,930.84	20,930.84	102,038.19
8	-	20,930.84	20,930.84	122,969.03
9	-	20,930.84	20,930.84	143,899.87
10	-	20,930.84	20,930.84	164,830.71
V.presente	(38,377.11)	\$118,263.91	73,786.22	

Con los resultados obtenidos en la tabla 27, vemos que el proyecto presenta una tasa de recuperación de aproximadamente 3 años. Y aparte presentara un beneficio-costo de 2.98, por lo cual es mismo es rentable para la empresa IMPTEK.

Tabla 27
Resultados Beneficio-Costo

Detalle	Valor
V.A.N.=	73,786
T.I.R. =	46%
B/C. =	2.98
T. Recuperación =	2.12
Tasa Descuento =	12%

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Se diseñó e implementó el sistema de medición para monitorear el espesor de la lámina asfáltica, lo que aumentará la eficiencia de la línea de laminación, lo cual contribuirá para que la empresa mantenga sus certificados de calidad.
- El servomotor fue diseñado en base a que nos brinde una regulación más exacta y que no se requiera mucho torque para su funcionamiento, por lo que escogió trabajar con el sistema de tornillo de potencia ya que cumple con los parámetros antes mencionados.
- Debido a que el servomotor FESTO cuenta ya con un controlador en el cual vienen determinadas cierto número de posiciones, no es factible realizar un control proporcional integral derivativo (PID), por lo cual se optó por realizar un control ON-OFF.
- Se logró implementar y validar el funcionamiento del sistema de medición para a línea de laminación, de láminas sin protección como el Súper K, así como para las láminas auto protegidas como lo son Imperpol 3000.
- Para obtener un mejor resultado en el prensado de la lámina, se optó por rehabilitar las resistencias internas con las que contaban los rodillos

del molino laminador, con lo que se consigue un mejor prensado de la lámina.

- El proyecto lograra reducir los costos por sobredimensionamiento, como se lo pudo observar en el análisis económico, el sistema de control de espesores permitirá a IMPTEK el ahorro anual de \$ 20,930.84 dólares.
- En el caso de las láminas asfálticas que cuenten con auto protección se debe realizar un promedio de 20 medidas, esto debido a que cuentan con protección granular y se puede correr el riesgo que estas piedras se monten una sobre la otra por lo cual puedan ocasionar una medida incorrecto y por ende un mal desempeño del algoritmo de control.
- El proyecto es rentable, en un principio IMPTEK solicito que el proyecto tenga una tasa de descuento del 12% en un periodo de 10 años, pero como se puede ver en la justificación financiera el proyecto en realidad tendrá una tasa del 46% y la tasa de recuperación será en aproximadamente 3 años.

7.2 Recomendaciones

- Se recomienda implementar un sistema automático que limpie constantemente los rodillos del molino laminador, debido a que si en estos se acumula en exceso el asfalto modificado el molino fallará en su operación, además que actualmente esta operación se la realiza de forma manual, lo que con lleva un riesgo a los operadores debido a la temperatura a la que se encuentra el asfalto.
- Para garantizar el correcto funcionamiento del mecanismo de medición, se debe calibrar y ubicar el sensor a una distancia de 10 mm respecto a la base horizontal del sistema de medición, y asegurándose que el

rodillo seguidor se encuentre apoyado sobre el rodillo de la estación de tracción sin lámina en el medio, esta corrección se la debe realizar cada mes.

- Se debe realizar un remplazo del rodillo seguidor, después de 3840 horas de trabajo, esto debido al desgaste por deslizamiento y erosión al que va ser sometido, por lo cual perderá masa y ocasionara medidas erróneas.
- Es recomendable implementar otro sistema automático para regular y medir el espesor de la lámina, en la impregnación del gránulo mineral y arena, ya que en el presente proyecto se regulo la impregnación del asfalto modificado en la armadura de la lámina asfáltica.
- Antes de encender el sistema de medición se debe verificar el correcto trabajo del alineador de armadura, ya que si este no está funcionando, el traslape sobre el cual se va a realizar la medida se desplazara, y el operador deberá estar calibrando la posición del mecanismo de medición para que este encuentre sobre el traslape.
- Debido a que la fuerza de correlación es media entre el sistema de medición y el calibrador se recomienda a la empresa nuevamente hacer esta toma de datos, una vez que todos los componentes de la línea de laminación REISER estén funcionando correctamente.
- Se debe verificar periódicamente que la superficie superior de la base lateral del sistema de medición, se encuentre limpia y libre de impurezas debido a que si hay presencia de las mismas las medidas del sensor serán erróneas y por lo cual provocaran un mal funcionamiento del sistema de control.

BIBLIOGRAFÍA

Barahona, B. (2011). *Construcción de una máquina etiquetadora automática para envases cilíndricos con etiquetas autoadhesivas*. Quito.

Bogatirev, B. (1971). *Atlas de elementos de máquinas y mecanismos*. Barcelona: CEAC.

Budynas, R. (2011). *Shigley's Mechanical engineering design*. Missouri: McGraw-Hill.

Carvajal & Zurita, J. J. (2005). *Diseño de una máquina automática para la fabricación de resortes helicoidales de compresión y construcción del sistema de enrollado para la empresa VYMSA*. Sangolqui.

Cordova, A. R. (1993). *Control de espesor en el proceso del galvanizado*. Nuevo León.

electrónica-industrial. (2014, Abril 8). *Electrónica industrial*. Retrieved from <http://www.electronicaindustrial.cl/index.php/productos/servo-motor-yeli>

FESTO. (2014, Enero 22). *Festo*. Retrieved from http://www.festo.com/cms/es_es/14967.htm

Giraldo & Veléz, D. J. (2002). *Estudio del desgaste por deslizamiento en seco de algunos plásticos*. Medellín.

Groover, M. (2010). *Fundamentos de manufactura moderna*. Lehigh: McGraw-Hill.

IGUS. (1, Abril 2014). *igus plaastics for longer life*. Retrieved from <http://www.igus.es/>

- INEN. (2008). *Código de dibujo técnico-mecánico*. Quito.
- Jiménez, J. (2006). Teoría de contacto mecanismos de fricción y adherencia. *Elementos de máquinas*, (p. 38). Navarra.
- Joaquín Santos, N. A. (2011). *Simulación del sistema de control de espesor y control de tensión de banda de una laminador*. Caracas.
- Johnston, B. (2010). *Mecánica de materiales*. México: Mc Graw Hill.
- Joksan. (2013). *El controlador On-Off (si-no o todo y nada)*.
- Koshkin N. I., S. M. (1975). *Manual de Física Elemental*. Mir.
- Mariano. (2012, julio lunes). *Tecnología de los plásticos*. Retrieved from <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/07/polietileno-pe.html>
- Myszka, D. (2012). *Máquinas y mecanismos*. México: Pearson.
- Nebrija, U. (2002, Diciembre 16). *Universidad Nebrija* . Retrieved from <http://www.nebrija.es/~alopezro/Conicos.pdf>
- Norton, R. (2011). *Diseño de máquinas*. México: Pearson.
- NSK. (2009, Marzo 30). *NSK rodamientos de empuje*. Retrieved from [http://www.mx.nsk.com/cps/rde/xbcr/mx_es/Rodamientos_-_Rod.Empuje_\(B202-B239\).LR.pdf](http://www.mx.nsk.com/cps/rde/xbcr/mx_es/Rodamientos_-_Rod.Empuje_(B202-B239).LR.pdf)
- Pérez, C. (1999). *Estudio del desgaste por deslizamiento en seco en un equipo "Pin-on-Disk"*. Medellín.
- Platero, C. (2008). *Modelado matemático de los sistemas dinámicos*.
- PLC's, H. d. (2008). *Universidad Nacional de La Plata*. La Plata.

- Popov, V. (2010). *Contact mechanics and friction*. Berlin: Springer.
- Saráuz & Tirira, J. A. (2011). *Diseño y construcción de una máquina para la elaboración de tortillas de harina de trigo para la empresa TAQUITO'S*. Quito.
- Sevilla, U. d. (2006). *Control de procesos con controladores PID industriales*. Sevilla.
- Tecnológica, U. (2010, Agosto 5). *Universidad Tecnológica*. Retrieved from <http://www.utp.edu.co/~lvanegas/dis1/Cap8.pdf>
- Ubidia, P. (2013). *Diseño y construcción del sistema de aire comprimido de la planta industrial de CHOVA del ECADOR S.A*. Sangolquí.
- Vigo, U. d. (2009). *Sensores y actuadores industriales.*, (p. 52). Pontevedra.

ANEXOS

ANEXO A: Carta de conformidad IMPTEK

ANEXO B: Tabla de producción láminas asfálticas IMPTEK

ANEXO C: Planos mecánicos

ANEXO D: Planos eléctricos-electrónicos

ANEXO E: LAYOUT REISER

ANEXO F: Hoja de datos elementos

