



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

TÍTULO DEL PROYECTO

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO
DE ALINEAMIENTO ANGULAR PARA LA PRODUCCIÓN DE
LÁMINAS IMPERMEABILIZANTES ASFÁLTICAS EN LA
EMPRESA CHOVA DEL ECUADOR S.A.”**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECATRÓNICO**

REALIZADO POR:

GONZÁLEZ BASSANTE MÓNICA KATHERINE

ZAMBRANO COBOS LUIS ALEJANDRO

DIRECTOR: ING. CRISTIAN LEIVA, Msc.

CODIRECTOR: DR. DIEGO BENÍTEZ

SANGOLQUÍ, NOVIEMBRE 2014

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN DE ELABORACIÓN DE PROYECTO

El proyecto “Diseño y construcción de un sistema automático de alineamiento angular para la producción de láminas impermeabilizantes asfálticas en la empresa Chova del Ecuador S.A.”, fue realizado en su totalidad por la señorita GONZÁLEZ BASSANTE MÓNICA KATHERINE y el señor ZAMBRANO COBOS LUIS ALEJANDRO, que ha sido guiado y revisado periódicamente, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.

Sangolquí, Noviembre del 2014.

ING. CRISTIAN LEIVA, Msc.

DIRECTOR

DR. DIEGO BENÍTEZ

COORDIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

NOSOTROS, GONZÁLEZ BASSANTE MÓNICA KATHERINE
ZAMBRANO COBOS LUIS ALEJANDRO

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “Diseño y construcción de un sistema automático de alineamiento angular para la producción de láminas impermeabilizantes asfálticas en la empresa Chova del Ecuador S.A.” ha sido desarrollado mediante investigación de sus autores y con el debido respeto a los derechos intelectuales de terceros, los mismos que han sido declarados en las citas que constan en los pies de página correspondientes además de incorporarlos en la bibliografía.

En virtud de esta declaración, aclaramos que el trabajo es de nuestra autoría y nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto.

Sangolquí, Noviembre del 2014.

GONZÁLEZ BASSANTE

MÓNICA KATHERINE

ZAMBRANO COBOS

LUIS ALEJANDRO

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

NOSOTROS, GONZÁLEZ BASSANTE MÓNICA KATHERINE

ZAMBRANO COBOS LUIS ALEJANDRO

Autorizamos 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 de alineamiento angular para la producción de láminas impermeabilizantes asfálticas en la empresa Chova del Ecuador S.A.”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Noviembre del 2014.

GONZÁLEZ BASSANTE

MÓNICA KATHERINE

ZAMBRANO COBOS

LUIS ALEJANDRO

DEDICATORIA

“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa”.

Mahatma Ghandi

A Dios, fuente de luz, sabiduría, comprensión y paz infinita.

A mis padres: Cecilia y Renán, que han sido la columna vertebral de mi crecimiento, su entrañable amor, lecciones y valores inculcados han formado la persona que ahora soy. La consecución de todos mis logros, así como este proyecto, son fruto de su esfuerzo, sacrificio y confianza total en mis capacidades.

A mis abuelos, mis verdaderos segundos padres, su inigualable cariño y comprensión ha sido para mí fuente de fortaleza. Abuelito, sé que desde el cielo siempre tienes una bendición para mí. Abuelita, son tus ganas de vivir y tu espíritu de lucha inagotable un ejemplo para mi vida.

A mi querido hermano, mi entrañable compañero de juegos y aventuras, de vida.

A mis familiares y amigos, por su compañía, soporte, apoyo, preocupación en todas las etapas de este proyecto y en especial por su amistad.

KATHERINE GONZÁLEZ B.

DEDICATORIA

“Convierte la realidad en sueños, y los sueños en realidad”.

Antoine de Saint-Exupéry

A Dios, fuente de vida.

A mi madre Marlene Cobos, por estar en todo momento junto a mí, y enseñarme grandes lecciones de vida, este esfuerzo también es tuyo, gracias por ser mi mejor compañera.

A mi padre Luis Zambrano, que a pesar de la distancia, siempre ha sido como si estuvieses a mi lado, tus consejos han hecho de mí una mejor persona, todo tu sacrificio ha dado frutos una vez más.

A mis dos maravillosas hermanas Andre y Magus, son mi orgullo y siempre serán mi ejemplo a seguir.

A mis familiares y amigos, que de manera incondicional han llegado a aportar algo en mí para que sea la persona que hoy soy.

LUIS ZAMBRANO C.

AGRADECIMIENTO

"El que da, no debe volver a acordarse; pero el que recibe nunca debe olvidar."

Proverbio hebreo

Sinceramente son innumerables personas a las que debo agradecer, muchas que han formado y forman parte de mi diario caminar y han influido también en la consecución de este proyecto. Muchas ya no están presentes, pero siempre se encontrarán en un lugar especial de mi corazón.

Agradezco a mi familia por siempre estar pendientes de mi crecimiento académico, profesional y espiritual. Han sido su ejemplo, cariño y confianza los que me han impulsado en la consecución de mis objetivos.

A todos mis amigos de Carrera y de vida, todos los momentos que juntos hemos vivido forman parte de mis más preciados recuerdos.

Gracias a mis directores de tesis, Ing. Cristian Leiva y Dr. Diego Benítez, por compartir su conocimiento y experiencia a través de la dirección de este proyecto, por solventar nuestras dudas y señalar nuestras fallas, eso de seguro hará de nosotros mejores profesionales.

Un infinito agradecimiento a Chova del Ecuador S.A. por el auspicio y las facilidades brindadas en la realización de este proyecto. Principalmente al Ing. Javier Pozo, Gerente General de la Institución por toda la ayuda y el apoyo que siempre supo otorgarnos, además de su buena predisposición y atención para con nosotros y nuestro proyecto.

A Luis Zambrano, mi querido amigo y compañero, gracias a tu esfuerzo y dedicación hoy podemos ver nuestro proyecto cristalizado. Tu amistad incondicional, tu don de gente y tu capacidad permitieron que nuestro trabajo en equipo sea una gran experiencia.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, autoridades y docentes, por ser el pilar fundamental en nuestra formación como profesionales. Gracias por compartir sus conocimientos y su vasta experiencia con nosotros.

KATHERINE GONZÁLEZ B.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia por todo el esfuerzo dado para poder realizar nuestras metas y sueños, por guiarme durante todo este camino, y enseñarme a valorar los detalles de la vida, esos detalles que hacen únicos los momentos que vivimos.

A mi mejor amiga y enamorada Katherine Garcés, gracias por los momentos, y el apoyo brindado durante todo este tiempo.

A mis amigos y compañeros, gracias por el apoyo y sabiduría compartida, en especial a Katherine González, que gracias a su apoyo, esfuerzo y dedicación hemos logrado juntos finalizar este gran logro.

A mis Directores de Tesis Msc. Cristian Leiva y Dr. Diego Benítez, gracias por guiarnos, brindándonos su conocimiento y experiencia, han permitido que este proyecto haya culminado de la mejor manera.

Gracias sinceras a Chova Del Ecuador S.A. por ser una empresa que apoyó y creyó en nosotros, prestándonos la ayuda necesaria, para la realización del proyecto. De igual manera al Ingeniero Javier Pozo, gracias por la confianza y los consejos brindados.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, gracias por ser pilar fundamental de nuestra educación y valores, elementos que forman profesionales de calidad.

LUIS ZAMBRANO C.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. GENERALIDADES	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4
1.5. ALCANCE DEL PROYECTO	10
1.6. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	10
1.6.1. COMPONENTES MECÁNICOS.....	12
1.6.2. COMPONENTES ELECTRÓNICOS/ELÉCTRICOS.....	13
1.6.3. COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL.....	14
1.7. METODOLOGÍA DE DISEÑO.....	15
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	18
2.1. INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE LAMINACIÓN EN LA EMPRESA CHOVA DEL ECUADOR S.A.....	18
2.1.1. DESBOBINADOR EMPALMADOR DE ARMADURAS.....	19
2.1.2. COMPENSADOR DE ARMADURAS	20
2.1.3. ALINEAMIENTO ANGULAR DE ARMADURAS.....	20
2.1.4. Balsa de saturación	20
2.1.5. Balsa de impregnación.....	21
2.1.6. APLICACIÓN DE GRÁNULOS MINERALES.....	21
2.1.7. ESTACIÓN DE ENFRIAMIENTO DE LÁMINAS 1 Y 2.....	21
2.1.8. REGULADOR DE VELOCIDAD.....	22
2.1.9. ESTACIÓN DE TRACCIÓN MASTER.....	22
2.1.10. ACUMULADOR DE PRODUCTO TERMINADO.....	23
2.1.11. ESTACIÓN DE ABSORCIÓN DE IMPACTO.....	23
2.1.12. ALINEADOR DE PRODUCTO TERMINADO.....	23
2.1.13. ENROLLADO AUTOMÁTICO	24
2.1.14. ETIQUETADO Y EMBALAJE	24
2.2. CONCEPTOS BÁSICOS DE MANIPULACIÓN DE LÁMINAS	25

2.2.1.	ARMADURA O LÁMINA PRIMA.....	25
2.3.	GENERALIDADES PARA EL TRANSPORTE DE LÁMINAS	27
2.3.1.	TENSIÓN DE LA LÁMINA.....	27
2.4.	FUERZA REQUERIDA PARA DESPLAZAMIENTO DE LÁMINAS	29
2.5.	CAUSAS DE DESPLAZAMIENTO LATERAL DE LAS LÁMINAS ...	30
2.6.	REGISTRO LATERAL DE LAS LÁMINAS	32
2.7.	SISTEMAS DE GUIADO DE LÁMINAS	34
2.7.1.	GUÍAS PASIVAS.....	35
2.7.2.	GUÍAS ACTIVAS.....	36
2.7.3.	PRECISIÓN Y RESPUESTA DEL GUIADO	41
2.7.4.	LIMITACIONES EN SISTEMAS DE GUIADO	42
2.8.	COMPONENTES DEL SISTEMA DE GUIADO	43
2.8.1.	RODILLO	43
	RODILLOS CILÍNDRICOS RECTOS	48
2.8.2.	SENSOR	56
2.8.3.	ACTUADOR.....	62
2.9.	CONTROL EN EL SISTEMA DE GUIADO.....	68
2.9.1.	DETERMINACIÓN DE LA PRECISIÓN EN EL SISTEMA DE GUIADO.....	68
2.9.2.	LÍMITES DE CONTROL EN EL SISTEMA DE GUIADO	69
2.9.3.	DEFINICIÓN DEL ERROR.....	70
2.9.4.	ALTERNATIVAS DE CONTROL PARA SISTEMAS DE GUIADO	71
2.9.5.	ESTRUCTURAS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIALES.....	75
3.	ALTERNATIVAS.....	78
3.1.	SELECCIÓN DE SISTEMA DE GUIADO DE LÁMINAS	81
3.2.	SELECCIÓN DE SISTEMAS MECÁNICOS.....	84
3.2.1.	TIPOS DE MECANISMOS DE GUIADO	85
3.2.2.	MECANISMO DE DESPLAZAMIENTO PARA GUIADO	86
3.2.3.	MONTAJE DE RODILLOS EN MECANISMOS DE GUIADO ...	93
3.2.4.	COMPONENTES PARA DESPLAZAMIENTO LINEAL	95

3.2.5.	RODAMIENTOS PARA GIRO OSCILANTE O COMPENSACIÓN DE ÁNGULO.....	97
3.3.	SISTEMA ELÉCTRICO- ELECTRÓNICO	99
3.3.1.	ACTUADOR	100
3.3.2.	SENSOR.....	102
3.3.3.	EQUIPO DE CONTROL.....	105
3.4.	SISTEMA DE CONTROL.....	107
3.4.1.	LÓGICA DE CONTROL	107
3.4.2.	ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE CONTROL INDUSTRIAL	110
4.	DISEÑO MECATRÓNICO	113
4.1.	DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS	113
4.1.1.	TENSIÓN DE ROTURA DE LA LÁMINA	115
4.1.2.	DISEÑO DE RODILLOS DE ENTRADA Y SALIDA	116
4.1.3.	DISEÑO DE RODILLOS DEL ALINEADOR	126
4.1.4.	MECANISMO DE GUIADO	142
4.1.5.	ESTRUCTURA BASE	190
4.1.6.	ELEMENTO DE SUJECCIÓN BASTIDOR- MOTOR	196
4.2.	DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS Y/O ELECTRÓNICOS	201
4.2.1.	SENSOR.....	201
4.2.2.	MOTOR/CONTROLADOR	203
4.2.3.	PLC.....	216
4.2.4.	DISEÑO DEL SISTEMA DEL CONTROL.....	217
5.	CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN	220
5.1.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE ALINEACIÓN	220
5.1.1.	RODILLOS DE ENTRADA/SALIDA.....	221
5.1.2.	RODILLOS DEL ALINEADOR.....	222
5.1.3.	PLACA PARA MOTOR	222
5.1.4.	PLACA PARA SENSOR.....	223
5.1.5.	ELEMENTO DE SUJECCIÓN BASTIDOR- MOTOR	224

5.1.6.	MECANISMO DESLIZANTE	225
5.1.7.	BASE	227
5.1.8.	BASTIDOR.....	228
5.1.9.	ESTRUCTURA BASE	230
5.1.10.	ENSAMBLE GENERAL	231
5.2.	IMPLEMENTACIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	235
6.	ANÁLISIS DE PRUEBAS Y RESULTADOS	239
6.1.	PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS.....	239
6.2.	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO .	241
6.2.1.	PROCEDIMIENTO PARA SETEAR LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO.	241
6.2.2.	PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO.....	248
6.3.	ADQUISICIÓN DE DATOS.....	251
6.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	254
6.4.1.	SISTEMA DE ALINEACIÓN APAGADO	254
6.4.2.	SISTEMA DE ALINEACIÓN ENCENDIDO	256
6.5.	MANUAL DE OPERACIÓN	257
7.	ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO	258
7.1.	ANÁLISIS FINANCIERO.....	258
7.1.1.	COSTOS DE MATERIALES DIRECTOS	258
7.1.2.	COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA	260
7.1.3.	COSTO INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN	260
7.1.4.	COSTOS TOTALES DEL PROYECTO	261
7.2.	ANÁLISIS ECONÓMICO	261
7.2.1.	VALOR ACTUAL NETO (VAN).....	266
7.2.2.	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	266
7.2.3.	FACTOR BENEFICIO- COSTO (B/C)	266
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	268
8.1.	CONCLUSIONES	268
8.2.	RECOMENDACIONES.....	270
	BIBLIOGRAFÍA.....	272

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Alineador manual actual.	6
Figura 2. Alineación de la lámina realizada por un operador.....	7
Figura 3. Elementos del Sistema de Alineación.	10
Figura 4. Bancada con sistema OPG.....	13
Figura 5. Diagrama de Control en ON-OFF en lazo cerrado.	15
Figura 6. Muestras de tejidos Non-Woven	26
Figura 7. Fuerza, tensión y esfuerzos en las láminas.	28
Figura 8. Esquema de una guía lateral de direccionamiento.....	29
Figura 9. Producto no conforme, mal enrollamiento del plástico protector. ..	31
Figura 10. Rodillo cóncavo, ejemplo de guía pasiva.	36
Figura 11. Guía de direccionamiento, ejemplo de guía activa.	37
Figura 12. Esquema de guía de direccionamiento.	38
Figura 13. Esquema de guía de desplazamiento.	39
Figura 14. Esquema de guías en el desenrollado.	40
Figura 15. Esquema de guías en el enrollado.....	41
Figura 16. Esquema de un rodillo general con sus partes principales.....	43
Figura 17. Esquema de rodillo convexo o coronado.	45
Figura 18. Esquema de rodillo convexo.	47
Figura 19. Esquema de rodillo recto.	48
Figura 20. Esquema de montaje de rodillo con eje vivo.	50
Figura 21. Esquema de partes de un rodillo con eje muerto.	50
Figura 22. Esquema de montaje de rodillo con eje muerto.	51
Figura 23. Esquema de montaje de rodillo en voladizo.....	52

Figura 24. Configuración de sensores para sistemas de guiado de láminas.	57
Figura 25. Esquema de la geometría de un sensor horquilla o forma de u, para sistemas de guiado de láminas.	60
Figura 26. Sensor óptico (fotoeléctrico) para detección de proximidad.	61
Figura 27. Esquema de un motor eléctrico lineal.	67
Figura 28. Rangos de corrección lateral según la aplicación.	69
Figura 29. Diagrama de Control en lazo cerrado.	71
Figura 30. Controlador ON-OFF con histéresis.	72
Figura 31. Diagrama de control PID general.	73
Figura 32. Ejemplo de conjuntos difusos	74
Figura 33. Estructura de un controlador difuso.	75
Figura 34. Esquema de Arquitectura Centralizada.	76
Figura 35. Esquema arquitectura distribuida.	77
Figura 36. Diferencias de presión a través de un rodillo cóncavo.	83
Figura 37. Alternativa 1: mecanismo con carro deslizante.	87
Figura 38. Movimiento de Mecanismo de Alternativa 1.	88
Figura 39. Alternativa 2: mecanismo con ruedas de bola y placas guías.	89
Figura 40. Movimiento de Mecanismo de Alternativa 1.	89
Figura 41. Alternativa 3 mecanismo OPG.	90
Figura 42. Movimiento de Mecanismo de Alternativa 1.	91
Figura 43. Elementos del sistema automático de alienación.	114
Figura 44. Elementos del mecanismo de guiado del sistema automático de alienación.	115

Figura 45. DCL rodillo y lámina.....	117
Figura 46. Esquemas de Fuerzas de rodillo general.	117
Figura 47. Gráfica de cortante rodillo de entrada/salida	120
Figura 48. Gráfica de momentos flectores rodillo de entrada/salida	121
Figura 49. Especificaciones chumacera SKF.....	125
Figura 50. DCL del eje muerto de rodillo alineador	126
Figura 51. Diagrama de cortantes del eje muerto.	127
Figura 52. Diagrama de momentos del eje muerto.	128
Figura 53. DCL carcasa del rodillo del alineador.....	131
Figura 54. Diagrama de cortantes de la carcasa del rodillo del alienador. .	133
Figura 55. Diagrama de momentos de la carcasa del rodillo del alienador.	134
Figura 56. Especificaciones rodamiento para rodillo alineador, SKF.....	141
Figura 57. Esquema movimiento sistema de alineación angular.....	143
Figura 58. Esquema de montaje de sistema de alineación.	144
Figura 59. Esquema bastidor del sistema de guiado.....	146
Figura 60. Esquema de ubicación de vigas y de puntos de apoyo del bastidor.	147
Figura 61. Esquema desarrollo de circunferencias descritas y centro de rotación.	148
Figura 62. DCL del elemento AB del bastidor.	149
Figura 63. Diagrama de cortantes elemento AB del bastidor.	150
Figura 64. Diagrama de momentos elemento AB del bastidor.	151
Figura 65. Esquema tubo estructural del sistema de alineación.	151
Figura 66. DCL del elemento GH del bastidor.....	152

Figura 67. Diagrama de cortantes elemento GH del bastidor.....	153
Figura 68. Diagrama de momentos elemento GH del bastidor.....	154
Figura 69. Centro instantáneo de rotación del bastidor.	155
Figura 70. Diagrama geométrico del punto de apoyo superior.....	157
Figura 71. Diagrama geométrico del punto de apoyo inferior.....	158
Figura 72. Esquema ubicación de eje de guiado superior y mecanismo deslizante.....	160
Figura 73. DCL eje de guiado superior, bajo carga por su propio peso.....	160
Figura 74. DCL eje de guiado superior, bajo dos carga puntuales y simétricas.....	161
Figura 75. Deflexión y pendiente del eje de guiado superior.	163
Figura 76. Especificaciones rodamiento lineal LBCR25 de SKF.	164
Figura 77. Deformación elástica permisible en la zona de contacto para rodamientos lineales.	165
Figura 78. Influencia por des-alineamiento.	166
Figura 79. Esquema ubicación de eje de guiado inferior y mecanismo deslizante.....	167
Figura 80. Factores de Confiabilidad.	170
Figura 81. Esquema de mecanismo deslizante inferior.	170
Figura 82. Esquema de mecanismo deslizante superior.	171
Figura 83. Requisito cinemático de viscosidad.	172
Figura 84. Factor C2 para condiciones de operación.....	173
Figura 85. Factor FI y FI0, de la influencia de la dirección de la carga para rodamientos lineales de las series LBCR y LBCD.....	176

Figura 86. Especificaciones de rótulas de SKF.....	178
Figura 87. Esquema determinación de ciclo de trabajo.....	179
Figura 88. Movimiento angular de rótulas del sistema de alineación, Simulado en Solidworks.....	180
Figura 89. Tabla de factor b1 dirección de carga para rótulas.	181
Figura 90. Gráfico de factor de temperatura b2 para rótulas.....	181
Figura 91. Gráfico de factor de velocidad b4 para rótulas.	182
Figura 92. Tabla de constante de cara específica y exponente n.....	182
Figura 93. Esquema de alojamiento de rótula.....	184
Figura 94. Especificaciones para el diseño de alojamiento de la rótula.....	184
Figura 95. Esquema de base del sistema de guiado.....	185
Figura 96. Esquema perno- bastidor.....	187
Figura 97. Layout planta de laminación, sector alineación.	190
Figura 98. Diagrama cuerpo libre del sistema de guiado y la tensión de la lámina.	192
Figura 99. Configuración de la carga total, alineador y lámina, que se ejerce en la parte superior de la estructura.	193
Figura 100. Configuración de fuerzas ejercida por los rodillos de entrada y salida en la estructura.	194
Figura 101. Resultado del análisis de esfuerzos de la estructura.....	195
Figura 102. Esquema del elemento de sujeción bastidor-motor.....	196
Figura 103. Parámetros del factor de superficie.....	197
Figura 104. Eje con filete sometido a flexión.....	199
Figura 105. Interruptor fotoeléctrico SICK.....	201

Figura 106. Características del sensor VTE 18.....	202
Figura 107. Ubicación real del sensor en el sistema automático de alineación.....	203
Figura 108. Esquema de partes del motor eléctrico lineal EPCO.....	204
Figura 109. Esquema de movimiento del mecanismo deslizante a lo largo del eje de guiado.	205
Figura 110. DCL bolas del rodamiento lineal y eje de guiado.	205
Figura 111. Esquema de descomposición de fuerzas de fricción en los puntos de apoyo.	206
Figura 112. Datos mecánicos de los modelos de motores lineales EPCO.	208
Figura 113. Simulación de movimiento del sistema de alineación.....	210
Figura 114. Datos técnicos de los modelos de motores lineales EPCO.	210
Figura 115. Especificaciones de brida de fijación giratoria EAHS.	211
Figura 116. Especificaciones de caballete LNZG.....	212
Figura 117. Especificación de la cabeza de rótula SGS.....	212
Figura 118. Esquema Ubicación de los accesorios del motor eléctrico EPCO.....	212
Figura 119. Controlador CMMO para motores eléctricos lineales EPCO.	213
Figura 120. Esquemas de conectores del controlador CMMO.	214
Figura 121. Modos de funcionamiento del controlador CMMO.	214
Figura 122. PLC WAGO 750-843	216
Figura 123. Módulo de Visualización- Sistema de alineación.....	219
Figura 124. Rodillos entrada/salida terminados en espera para transporte.	221
Figura 125. Rodillos del alineador en almacenamiento	222

Figura 126. Inspección de medidas de la placa para motor	222
Figura 127. Placa empernada a la base y sensor ubicado en la misma.	224
Figura 128. Corte de material para elemento de sujeción bastidor-motor. ...	225
Figura 129. Inspección de medidas y prueba de ubicación de ejes de guiado	225
Figura 130. Proceso de soldeo de placa de soporte.	226
Figura 131. Ubicación de placas de soporte para el alojamiento rótula-rodamiento.	226
Figura 132. Proceso de soldeo de base del sistema de alineación.	227
Figura 133. Disposición de elementos acoplados a la base del sistema de alineación.	227
Figura 134. Bastidor posterior al proceso de soldeo.	228
Figura 135. Ubicación y soldadura de Alojamiento rotula-rodamiento y de la placa bastidor-motor.	229
Figura 136. Armado de piezas de la estructura base	230
Figura 137. Soldado de piezas de estructura base	230
Figura 138. Ensamble del sistema de alineación	232
Figura 139. Colocación de espaciadores en los rodillos del alineador.	232
Figura 140. Ubicación del motor en el sistema de alineación.	232
Figura 141. Conexión del elemento de sujeción bastidor-motor.	233
Figura 142. Posicionamiento del sistema de alineación en la estructura base.	233
Figura 143. Posicionamiento de sensores.	234
Figura 144. Colocación de rodillos de entrada/salida.	234

Figura 145. Proceso de Cableado de Gabinete del Controlador	236
Figura 146. Cableado de sensores ópticos	236
Figura 147. Caja de paso de sensores ópticos	237
Figura 148. Panel de Control Área de Laminación	237
Figura 149. Elementos que intervienen en las pruebas de funcionamiento.....	240
Figura 150. Propiedades de la conexión LAN.	241
Figura 151. Ingreso a centro de control de dispositivo.	242
Figura 152. Descarga del archivo requerido para el controlador	243
Figura 153. Búsqueda de archivo descargado.....	244
Figura 154. Device Control.	245
Figura 155. Referenciación.....	246
Figura 156. Ingreso de Parámetros de Funcionamiento.	247
Figura 157. Almacenamiento definitivo de Parámetros de Funcionamiento.	248
Figura 158. Curvas de funcionamiento del Motor EPCO seleccionado.	250
Figura 159. Parámetros seteados en el controlador CMMO-ST.....	251
Figura 160. Sensor infrarrojo simplificado.....	252
Figura 161. Funcionamiento del sensor infrarrojo elaborado.	252
Figura 162. Tarjeta ARDUINO.	253
Figura 163. Entorno de Labview para adquisición de datos.	253
Figura 164. Desplazamiento lateral de la lámina en el rodillo de impregnación con el sistema de alineación apagado.	255

Figura 165. Desplazamiento lateral de la lámina en el rodillo de
impregnación con el sistema de alineación apagado.257

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Causas de Producto no Conforme	5
Tabla 2. Datos desviaciones de armadura	8
Tabla 3. Descripción de los elementos del Sistema de Alineación	11
Tabla 4. Parámetros de Funcionamiento del Sistema de Alineación	11
Tabla 5. Rangos de tensiones de láminas por milímetro de espesor	29
Tabla 6. Velocidades laterales según la velocidad de línea	63
Tabla 7. Matriz morfológica de sistemas de guiado lateral de láminas	81
Tabla 8. Ponderación de características de sistemas de guiado lateral de láminas	83
Tabla 9. Valoración de alternativas de sistemas de guiado lateral de láminas	84
Tabla 10. Requerimientos técnicos mecánicos para el sistema de guiado ...	84
Tabla 11. Matriz morfológica de los tipos de mecanismos de guiado	85
Tabla 12. Ponderación de características de tipos de mecanismos de guiado	86
Tabla 13. Puntuación de alternativas de tipos de mecanismos de guiado ...	86
Tabla 14. Matriz morfológica de mecanismo de desplazamiento para guiado	91
Tabla 15. Ponderación de características para el mecanismo de desplazamiento para guiado	92
Tabla 16. Valoración de alternativas para el mecanismo de desplazamiento para guiado	93
Tabla 17. Matriz morfológica de tipos de montaje de rodillos	94

Tabla 18. Ponderación de características para montaje de rodillos	95
Tabla 19. Valoración de alternativas para montaje de rodillos	95
Tabla 20. Matriz morfológica de componentes para desplazamiento lineal..	96
Tabla 21. Ponderación de características para componentes de desplazamiento lineal.....	97
Tabla 22. Valoración de alternativas para componentes de desplazamiento lineal.....	97
Tabla 23. Matriz morfológica de componentes para giro oscilante	98
Tabla 24. Ponderación de características de componentes para giro oscilante.....	99
Tabla 25. Valoración de alternativas de componentes para giro oscilante ...	99
Tabla 26. Requerimientos técnicos eléctrico- electrónicos para el sistema de guiado	100
Tabla 27. Matriz Morfológica de actuadores para el sistema de guiado	101
Tabla 28. Ponderación de actuadores para el sistema de guiado	102
Tabla 29. Valoración de actuadores para el sistema de guiado	102
Tabla 30. Matriz Morfológica de sensores para el sistema de guiado	103
Tabla 31. Ponderación de sensores para el sistema de guiado	104
Tabla 32. Valoración de sensores para el sistema de guiado	104
Tabla 33. Matriz Morfológica de equipos de control para sistemas de guiado.....	105
Tabla 34. Ponderación de equipos de control para el sistema de guiado...	106
Tabla 35. Valoración de equipos de control para el sistema de guiado.....	106
Tabla 36. Requerimientos técnicos eléctrico- electrónicos para el sistema	

de guiado	107
Tabla 37. Matriz Morfológica de la lógica de control sugerida	108
Tabla 38. Ponderación de la lógica de control sugerida	109
Tabla 39. Valoración de la lógica de control sugerida	109
Tabla 40. Matriz Morfológica de la estructura del sistema de control	110
Tabla 41. Ponderación de la estructura del sistema de control	111
Tabla 42. Valoración de la estructura del sistema de control	112
Tabla 43. Dimensiones de tubería	122
Tabla 44. Especificaciones tubería estructural rectangular	151
Tabla 45. Propiedades mecánicas del acero E410	159
Tabla 46. Factor F_s	174
Tabla 47. Pesos de elementos del sistema de guiado, sobre la estructura	191
Tabla 48. Detalle de activación de motor-controlador	215
Tabla 49. Listado de materiales y herramientas utilizados en la construcción e implementación de la placa para motor	223
Tabla 50. Listado de materiales y herramientas utilizados en la construcción e implementación de la placa para sensor	224
Tabla 51. Listado de materiales y herramientas utilizados en la construcción e implementación de la base	228
Tabla 52. Listado de materiales y herramientas utilizados en la construcción e implementación del bastidor	229
Tabla 53. Listado de materiales y herramientas utilizados en la construcción e implementación de la estructura base	231
Tabla 54. Listado de materiales y herramientas utilizados en el	

ensamble general	235
Tabla 55. Listado de materiales y herramientas utilizados en la implementación de componentes eléctricos/electrónicos	238
Tabla 56. Posiciones del Motor EPCO configuradas en el controlador	249
Tabla 57. Parámetros finales seteados en el controlador CMMO-ST	251
Tabla 58. Costo de Materiales Directos	258
Tabla 59. Costo de Mano de Obra Directa.....	260
Tabla 60. Costos totales del proyecto	261
Tabla 61. Detalle de la inversión realizada	262
Tabla 62. Funciones generales de los operadores del Área de Laminación	262
Tabla 63. Distribución de la jornada laboral de los trabajadores en la zona A	263
Tabla 64. Descripción de Producto no Conforme.....	264
Tabla 65. Detalle del beneficio a obtener	265
Tabla 66. Flujo de caja proyectado a 10 años.....	265
Tabla 67. Resultados de los índices económico/financieros	267

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Descripción de fallas por falta de sistema de alineación.	6
Gráfico 3. Desviación de la lámina con respecto a la línea base.....	9
Gráfico 4. Cuadro Esquemático del Sistema Mecánico.	12
Gráfico 5. Cuadro Esquemático del Sistema Eléctrico/Electrónico.....	13
Gráfico 6. Esquema del Sistema de Control.	14
Gráfico 7. Diagrama del Proceso Metodológico a seguir.	17
Gráfico 8. Flujo de la nueva línea de producción- Laminación.	19
Gráfico 9. Organigrama de clasificación de guías laterales.....	35
Gráfico 10. Propiedad y/o parte componente del Alineador Automático de Láminas.	78
Gráfico 11. Alternativas para el Sistema Mecánico	79
Gráfico 12. Alternativas para el Sistema Eléctrico/Electrónico	80
Gráfico 13. Alternativas para el Sistema de Control.....	80
Gráfico 14. Diagrama de Flujo con Lógica de Programación	218
Gráfico 15. Sistema de alineación apagado.....	254
Gráfico 16. Sistema de alineación encendido.	256

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: ESQUEMA DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LÁMINAS IMPERMEABILIZANTES EMPRESA CHOVA DEL ECUADOR.

ANEXO B: CARACTERÍSTICAS FIBRA DE LÁMINA DE FIBRA DE VIDRIO TEXTBOND R50.

ANEXO C: CARACTERÍSTICAS FIBRA DE LÁMINA DE FIBRA DE VIDRIO TEXTBOND R120.

ANEXO D: CARACTERÍSTICAS FIBRA DE LÁMINA DE FIBRA DE VIDRIO TEXTBOND R180.

ANEXO E: INFORME TRATAMIENTO TÉRMICO DE EJES DE GUIADO.

ANEXO F: CURVAS CARACTERÍSTICAS SYNTHETIC HI-TEMP CREASE.

ANEXO G: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN PLC.

ANEXO H: PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE.

ANEXO I: DIAGRAMAS DE FLUJO PARA CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE.

ANEXO J: ESPECIFICACIONES MOTOR EPCO-FESTO.

ANEXO K: PLANOS ELÉCTRICOS/ELECTRÓNICOS.

ANEXO L: DATOS TOMADOS CON EL SENSOR ELABORADO.

ANEXO M: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

RESUMEN

El presente proyecto de tesis trata sobre el diseño conceptual, así como el diseño mecánico y el diseño electrónico, de un sistema automático de alineamiento angular para la producción de láminas impermeabilizantes asfálticas, en la nueva planta de la Empresa Chova del Ecuador S.A. La empresa auspiciante, en su afán de desarrollo e incremento de producción, vio la necesidad de crear una nueva línea de producción de láminas asfálticas, para así cubrir la demanda. La necesidad de la implementación de un sistema de corrección en la desviación de láminas, se basa en las observaciones realizadas a la antigua línea de producción, en la que mediante un sistema de calidad se ha podido comprobar que este problema causa tanto el desperdicio de lámina asfáltica como también de la pérdida de tiempo en procesos, traducido en valor económico. El sistema de alineación se diseña para reducir posibles desviaciones en la zona previa de la impregnación asfáltica, mediante el análisis, diseño e implementación de un mecanismo pivotante semi-circular, que sea capaz de corregir la máxima desviación que puede existir en la etapa antes mencionada. Para lo cual se empleara sensores fotoeléctricos y un controlador lógico programable, a fin de realizar las acciones de control del sistema. Para comprobar la efectividad del sistema se realizaron varias pruebas de funcionamiento, tomando datos del desplazamiento lateral de la lámina se obtuvieron resultados satisfactorios, obteniendo una corrección estable, de igual manera en la parte económica se realiza un análisis del costo-beneficio del proyecto, dando como consecuencia una factibilidad de inversión positiva para la empresa.

PALABRAS CLAVES: Mecanismo pivotante, lámina, PLC, fotoeléctricos, impermeabilizantes, alineamiento angular.

ABSTRACT

The aim of this project is the conceptual, mechanical and electronic design of an automatic for the production of asphalt waterproofing webs in the new factory of the company Chova Del Ecuador SA. The sponsoring company, in an effort to increase development and production, saw the necessity to create a new production line of asphalt webs in order to meet demand. The need for the implementation of a system for correct the misalignment webs, is based on observations made at the old production line, which means a quality system has been proved that this problem causes much waste of film asphalt as well as the loss of time in the process, translated into economic value. The alignment system is designed to reduce deviations in the asphalt prior impregnation zone, by analysis, design and implementation of a semicircular pivoting mechanism, which is capable of correcting the maximum deviation which can exist in the above step. For this purpose photoelectric sensors and a PLC are employed, in order to perform the control actions of the system. To test the effectiveness of the system several test runs were conducted, using data from the lateral displacement of the web with satisfactory results, obtaining a stable correction, just as in the economic analysis portion of the cost-benefit of the project is done by giving resulted in a positive feasibility investment for the company.

KEY WORDS: Pivoting mechanism, web, deviation, PLC, photoelectric, waterproofing, angular alignment.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

En el presente capítulo se describe de forma global los intereses y motivaciones para la realización del proyecto de tesis. Inicia con los antecedentes de la industria de la construcción en el país, su importancia económica y desafíos actuales, así como la descripción de la problemática que originó la necesidad de un sistema automático de alineación de láminas impermeabilizantes asfálticas en la empresa Chova del Ecuador S.A. Finalmente se exponen la hipótesis, objetivos y estructura del presente proyecto.

1.1. ANTECEDENTES

La industria de la construcción es uno de los principales motores de desarrollo actual del país, debido a su encadenamiento con otras ramas comerciales e industriales de la sociedad. En nuestro país, el crecimiento sostenido de esta industria se ha convertido en un catalizador del incremento del PIB.

Entre los años 2008 a 2012, gracias al desarrollo del mercado de la construcción, la empresa Chova del Ecuador ha presentado un crecimiento importante, superando sus metas de ventas en un 40% durante ese período. Esto gracias al giro que ha dado el sector de la construcción, buscando no sólo productos y sistemas impermeabilizantes, sino una visión ecológica al momento de construir.

Por las razones previamente mencionadas, en el año 2009, la empresa realizó el estudio de prefactibilidad para la construcción de una nueva planta industrial que consolidara todas las líneas de producción existentes y que le permitiera adaptarse a su constante expansión. A partir del año 2011 se

encuentra en construcción la nueva planta en el sector “EL INGA”, la misma que se ha propuesto entre en funcionamiento en agosto del 2014.

La empresa en mención se encuentra actualmente en un proceso de adquisición de gran cantidad de equipos para mejorar los procesos productivos. Principalmente en el área de laminación, se procederá a ensamblar una nueva línea, la misma que requiere de varios equipos y mecanismos adicionales para mejorar su funcionamiento y alcanzar un nivel de automatización de proceso que permita mejorar las condiciones presentes de producción.

Bajo condiciones normales, a la fecha, se producen alrededor de dos rollos de lámina asfáltica por minuto, tiempo variable de acuerdo al tipo de producto, sin embargo, en la nueva planta se pretende duplicar la velocidad de producción con la puesta en marcha de todos los proyectos de mejora.

Para este incremento de velocidad, dentro de todos los proyectos de mejora, se contempla también la necesidad de un sistema automático de alineamiento de láminas, considerado tanto en la parte inicial del proceso, posterior al desenrollado de la armadura como en la parte final del proceso, previo al enrollado del producto terminado.

Actualmente la empresa maneja una política encaminada a mejorar el proceso productivo, la calidad del producto que a la presente cumple con estándares ISO 9001:2008, la reducción de desperdicios y mejora de la eficiencia de la línea de producción lo que se traducirá en un ahorro considerable de recursos económicos.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El creciente interés de la empresa CHOVA DEL ECUADOR S.A. en ofrecer a sus clientes productos de calidad en el mercado nacional e internacional, centrándose principalmente en la producción de láminas

impermeabilizantes asfálticas, conlleva la necesidad de mejorar los procesos productivos dentro de esta línea, mediante la implementación de proyectos de automatización y mejora.

Empresas dedicadas a la transformación de láminas de diferentes materiales alrededor del mundo utilizan mecanismos de corrección de la desviación lateral de sus láminas para controlar diferentes parámetros inherentes a los procesos de fabricación tales como: holguras variables de la lámina, diferentes tracciones o arrastre de los rodillos o cambios de tensión en la lámina que originan una modificación en como la misma se desplaza hacia el final de la línea, entre otros (Roisum, s.f.).

Los sistemas de guiado son empleados para llevar el borde o el centro de la lámina a una posición específica CD (cross direction, perpendicular al eje de máquinas) y generalmente son localizados en el desenrollado para darle una buena ubicación inicial a la lámina, en una posición intermedia, o en el enrollado para mejorar la calidad de borde de los rollos (Walker, 2008). Actualmente, la línea de laminación de la empresa trabaja sin ningún tipo de mecanismo que corrija la desviación de la lámina, lo que origina pérdidas debido a que se afecta la calidad del producto y también económicas contempladas en los excesos de material que se requiere debido a la desviación.

Debido a esta problemática, la empresa Chova del Ecuador S.A. solicitó a estudiantes de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE el diseño y construcción de un sistema automático de alineamiento angular que será colocado posterior al desenrollado de la lámina y elaborado bajo los requerimientos específicos de los distintos materiales de armadura base.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema automático de alineamiento angular para la producción de láminas asfálticas en la empresa Chova del Ecuador S.A.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar alternativas viables en sistemas automáticos de alineamiento angular.
- Diseñar, validar y construir la estructura y componentes mecánicos del sistema automático de alineamiento.
- Dimensionar y seleccionar los componentes eléctricos y electrónicos para que cumplan los requerimientos del sistema automático de alineamiento y validar su funcionamiento.
- Diseñar un sistema de control y determinar los parámetros del controlador.
- Implementar sistemas mecánicos, eléctricos-electrónicos y de control bajo los parámetros de diseño.
- Realizar ajustes de prueba y calibraciones para puesta en marcha del sistema.
- Elaborar el análisis económico financiero del sistema automático de alineamiento angular implementado.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El presente proyecto será desarrollado a fin de satisfacer una necesidad dentro del área de producción más representativa de la empresa, como es

Laminación, y permitirá gracias a su aporte por una parte a la disminución productos no-conformes, y por otra parte la eliminación de la tarea de alineación dentro de las responsabilidades encargadas a los operadores del área, logrando una disminución de las horas hombre empleadas en la producción de láminas impermeabilizantes que cuentan con armadura.

El correcto alineamiento y compensación de las vibraciones en las láminas son factores fundamentales en el aseguramiento de calidad del producto, ya que eliminan las perturbaciones propias en el transporte de las láminas a través del tren de laminación y evitan la generación de producto no conforme debido al incorrecto posicionamiento, generación de arrugas o solapamiento de la lámina previo a la impregnación.

Tabla 1

Causas de Producto no Conforme.


CAUSAS DE PRODUCTO NO CONFORME	
	
	Desalineado en uno a ambos lados, lo que impide el adecuado almacenaje vertical.
	Formación de cono en el rollo, o mal cortado (Retrabajo).
	Dimensiones fuera de lo establecido.
	Embalado defectuoso.
	Producto sin información.
	<u>Mástico a los lados.</u>
	<u>Defectos de funcionalidad, estética y protección del producto.</u>
	<u>Presencia de ampollas, arrugas, grietas, agujeros o calvas.</u>



Gráfico 1. Descripción de fallas por falta de sistema de alineación.

Las causas de origen de producto no conforme que han sido marcadas en la tabla 1.1., son las que se pretenden eliminar con la implementación de este proyecto.

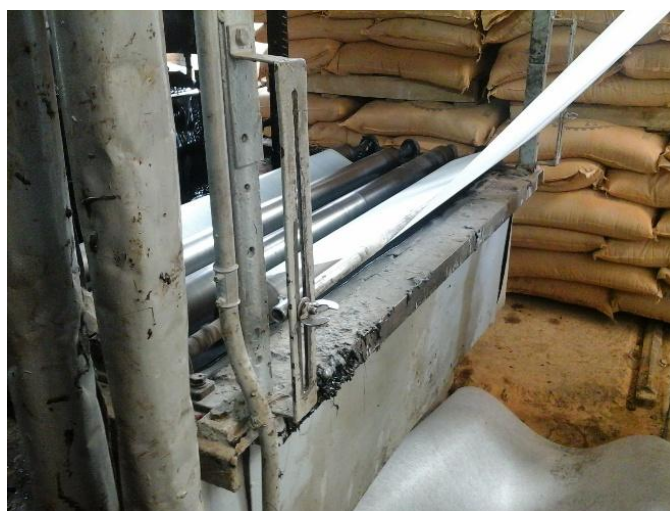


Figura 1. Alineador manual actual.

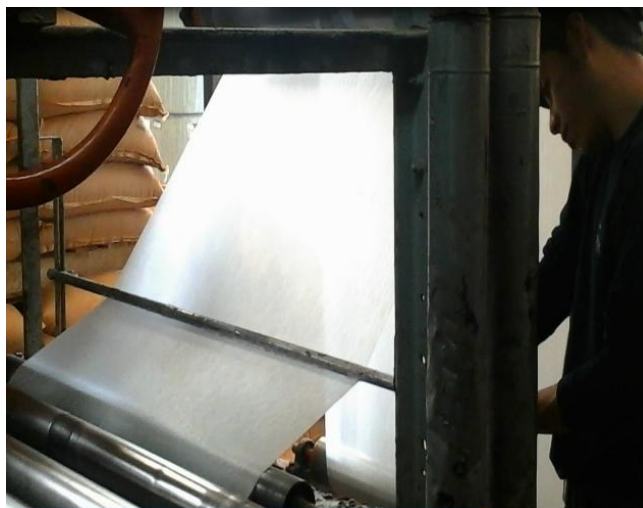


Figura 2. Alineación de la lámina realizada por un operador.

A fin de determinar la influencia real de la desviación en las láminas posterior al desenrollado de la armadura y previo al ingreso en la impregnación. Las mediciones fueron tomadas en un día de producción en el área de laminación. Tomando en cuenta la jornada laboral de 8 horas, el universo de datos bajo una frecuencia de muestreo de un minuto es 480 datos. Los datos que constan en la tabla 1.2 corresponden a una muestra aceptable con un 90% de nivel de confianza y fueron tomados durante un periodo de 2 horas, en intervalos de aproximadamente 2 minutos, para el material de armadura: fibra de vidrio. Estas mediciones permitieron establecer la desviación de la lámina con respecto a una línea base (previamente marcada en los rodillos), que se observa a la fecha, de manera que se logra estipular la magnitud máxima de corrección con la que debe aportar el mecanismo alineador.

Tabla 2.

Datos desviaciones de armadura.

Línea Base	10.4	cm
Medida	Desplazamiento Lateral [cm]	Desviación [cm]
1	10.1	0.3
2	10.4	0.0
3	10.4	0.0
4	10.5	-0.1
5	10.1	0.3
6	10.6	-0.2
7	10.2	0.2
8	10.3	0.1
9	10.7	-0.3
10	10.8	-0.4
11	11.1	-0.7
12	13.0	-2.6
13	10.2	0.2
14	10.1	0.3
15	10.6	-0.2
16	10.4	0.0
17	10.1	0.3
18	10.9	-0.5
19	10.9	-0.5
20	10.8	-0.4
21	10.5	-0.1
22	11.0	-0.6
23	10.3	0.1
24	10.2	0.2
25	10.4	0.0
26	10.5	-0.1
27	9.0	1.4
28	10.2	0.2
29	10.2	0.2
30	10.4	0.0
31	10.2	0.2
32	10.6	-0.2
33	10.3	0.1
34	10.9	-0.5
35	10.3	0.1
36	10.2	0.2
37	10.6	-0.2
38	10.2	0.2
39	10.7	-0.3
40	10.3	0.1
41	10.1	0.3
42	11.0	-0.6
43	10.4	0.0
44	10.1	0.3
45	10.4	0.0
46	10.8	-0.4
47	10.2	0.2
48	10.9	-0.5
49	10.5	-0.1
50	11.0	-0.6
PROMEDIO DESVIACIÓN		-0,092
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		0,504

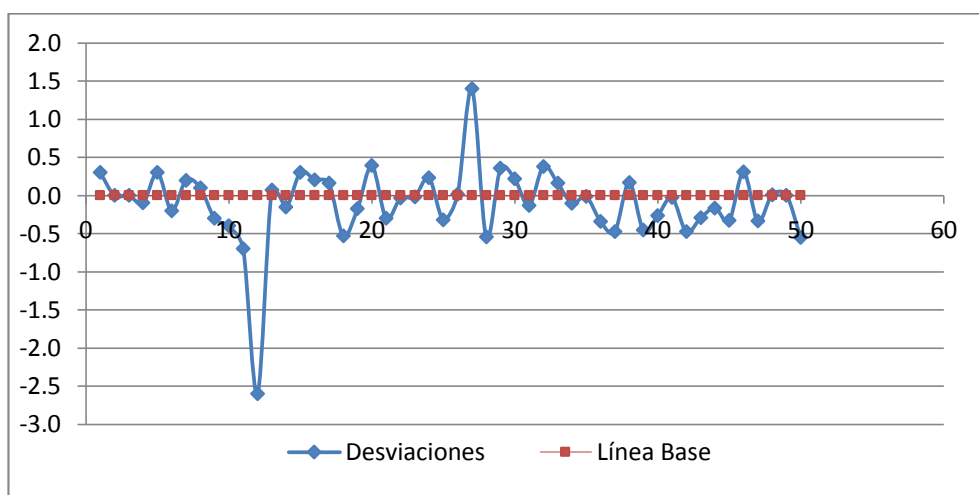


Gráfico 2. Desviación de la lámina con respecto a la línea base.

Como se puede apreciar en el gráfico, el desplazamiento lateral máximo corresponde a 2.5 cm, que es lo que se pretende corregir y reducir con el uso del sistema de alineación automática. Actualmente, esta corrección la realizan operadores que deben estar al pendiente de los desplazamientos de la lámina antes de que entre al baño de impregnación. Los principales problemas que se pudieron observar son los desplazamientos laterales de la lámina y la formación de arrugas, corresponden al momento de realizar el empalme de dos rollos de lámina armadura diferente, ya que la desviación y la diferencia de bordes es considerable, por lo que el mecanismo alineador tomará en cuenta este tipo de errores que se presentan de manera aleatoria.

Equipos y sistemas parecidos han sido cotizados y para su adquisición, requieren de un presupuesto elevado, además, el proceso de producción de láminas impermeabilizantes asfálticas es único en el país y existen pocos competidores a nivel mundial. Para solucionar este inconveniente, por medio de este proyecto, se pretende llevar a cabo un diseño particular que considere las características esenciales del producto y que además permita a la empresa economizar en la implementación de este sistema y posterior reducción de desperdicios en los productos.

1.5. ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto comprende el diseño y construcción de un sistema automático que garantice la flexibilidad y eficiencia en el control del alineamiento angular de las armaduras tanto de poliéster como de fibra de vidrio, para la producción de láminas asfálticas, que aporte con la automatización de la línea de laminación y permita eliminar la generación de desperdicios o producto no conforme.

1.6. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El sistema de alineamiento angular de armadura comprende un sistema automático capaz de controlar las variaciones en los desplazamientos laterales y la generación de arrugas en la lámina en su paso a través de los rodillos previo a la impregnación.

Para el alineador automático se ha planteado como solución un sistema de control ON-OFF en lazo cerrado, formado por los elementos que se detallan a continuación:

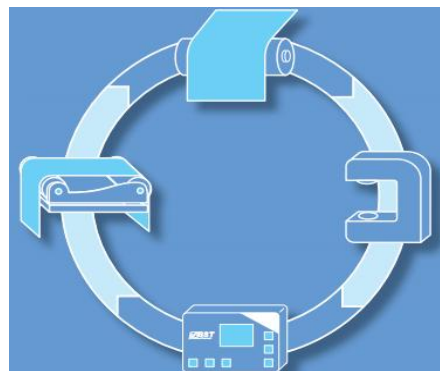
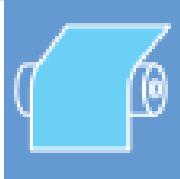



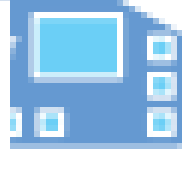


Figura 3. Elementos del Sistema de Alineación.

Fuente: Maxcess International (<http://maxcessu.com/library/articles>)

Tabla 3.

Descripción de los elementos del Sistema de Alineación.

SEÑAL DE ENTRADA	ELEMENTO DE MEDICIÓN	ELEMENTO DE CONTROL	DISPOSITIVO DE AJUSTE	ELEMENTOS DE VISUALIZACIÓN
El punto de origen es la posición instantánea de la lámina de material.	Dos sensores de tipo óptico detectan la posición real de la lámina y transmiten la información al controlador.	Compara la posición REAL con la posición DESEADA que es predeterminada. Si existe una desviación se enviará la señal correspondiente al dispositivo de ajuste o actuador.	Este dispositivo corrige la posición de la lámina proveyendo una adecuada velocidad de corrección y movimiento en dirección contraria al error.	La habilitación del sistema y respectivas señales de funcionamiento podrán ser visualizadas y manipuladas en el panel de control del área de Laminación.
				

Estos elementos permitirán que se cumplan los requerimientos generales de funcionamiento de la línea de laminación que se citan a continuación:

Tabla 4.

Parámetros de Funcionamiento del Sistema de Alineación.

Ancho	1000 mm
Espesor	1.5 a 5 mm
Refuerzo o Armadura	Poliéster Fibra de Vidrio Polietileno
Superficie Superior	Gránulos Arena Film
Superficie Inferior	Arena Film
Longitud de la Lámina	De 5 a 20 m
Diámetro del rodillo	153 mm (mínimo) 355 mm (máximo)
Peso del Rodillo	50 kg (máximo)
Velocidad Lineal	50m/min (máximo)

1.6.1. COMPONENTES MECÁNICOS

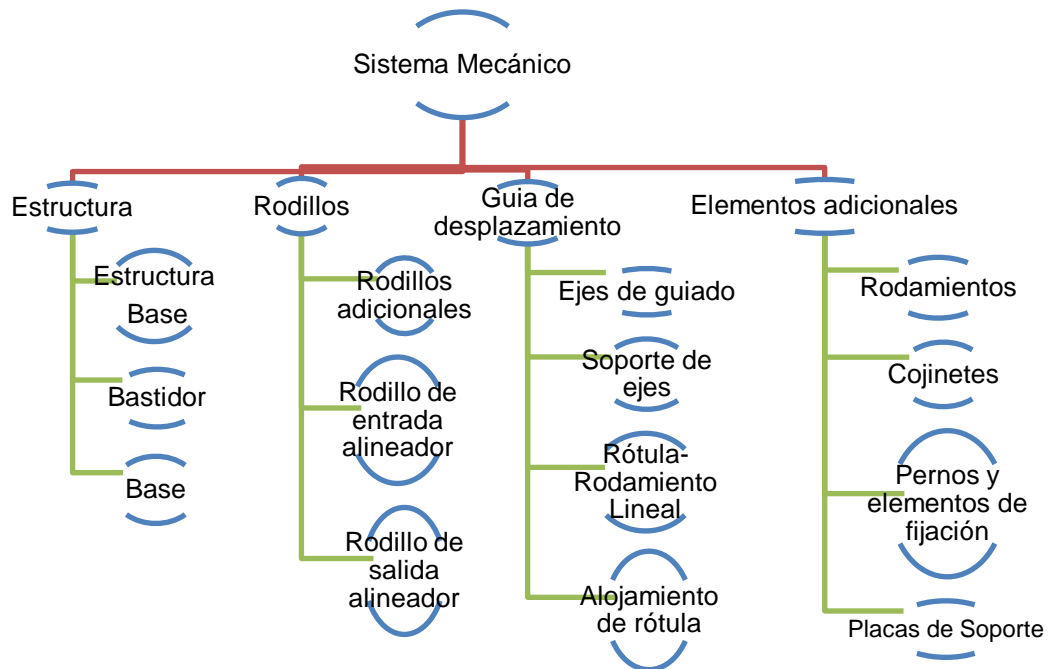


Gráfico 3. Cuadro Esquemático del Sistema Mecánico.

El sistema mecánico estará básicamente compuesto por 4 rodillos: dos rodillos para el sistema de corrección montados directamente sobre el bastidor y dos rodillos (uno antes y otro después del sistema de alineación) para permitir que la lámina ingrese perpendicularmente al sistema de alineación y facilite el correcto funcionamiento del mismo.

El bastidor o bancada de desplazamiento, de tipo OPG (Offset Pivoting Guide) o Compensador de Guía Pivoteante, ha sido seleccionado debido a que es comúnmente aplicado en el alineamiento de láminas donde la longitud para producir el cambio o alineación es corta, es decir, un tramo libre y largo de cambio no es permisible.

La bancada de desplazamiento rota en base a un punto fijo imaginario, denominado punto pivote, que es idealmente colocado en el plano de entrada. El ángulo de rotación de este tipo de mecanismos está limitado dentro de un rango de $\pm 7^\circ$ aproximadamente. El desplazamiento del bastidor

será guiado por los ejes y el conjunto rótula-rodamiento lineal en un movimiento que combina el deslizamiento (otorgado por el rodamiento lineal) con la rotación angular (otorgado por la rótula).

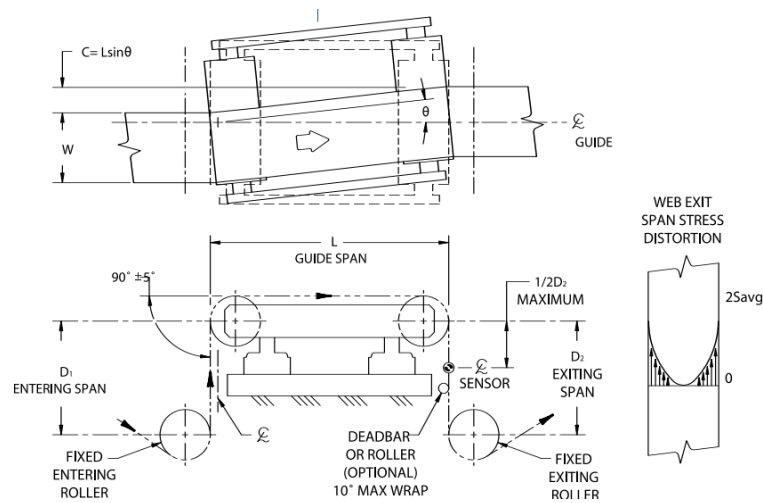


Figura 4. Bancada con sistema OPG.

Fuente: Maxcess International.

1.6.2. COMPONENTES ELECTRÓNICOS/ELÉCTRICOS

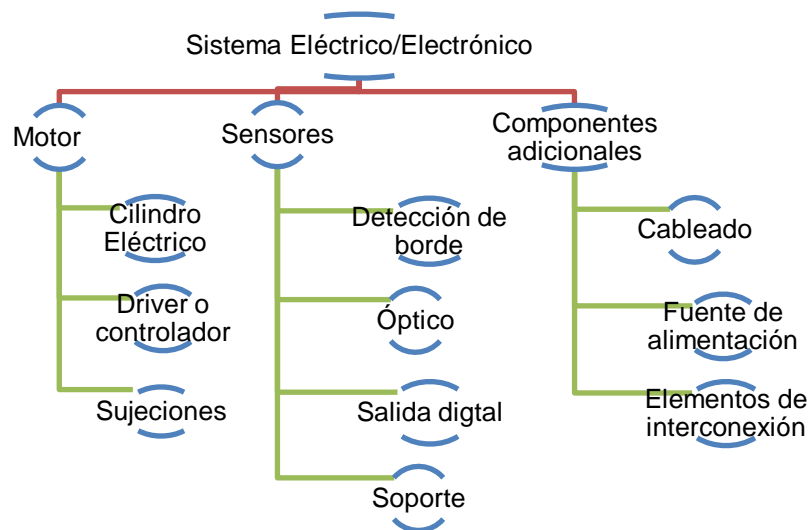


Gráfico 4. Cuadro Esquemático del Sistema Eléctrico/Electrónico.

El sistema eléctrico/electrónico estará básicamente compuesto por un motor lineal eléctrico, dos sensores ópticos para la detección de borde y los

elementos adicionales como fuentes de alimentación, cableado y elementos de interconexión.

El motor es el elemento que aporta el movimiento al bastidor, por lo que debe ser capaz de entregar la fuerza necesaria a la apropiada velocidad relativa del movimiento de la lámina. La fuerza y la velocidad son los factores críticos para determinar el correcto actuador en un sistema de guiado.

Para la detección se plantea utilizar un sensor óptico debido a su idoneidad para todas las clases de materiales. El sensor deberá cumplir requerimientos para materiales no tejidos (NONWOVEN), ser inmune a la iluminación de trabajo e inmune a los cambios de plano.

Debido a que el ancho de las diferentes láminas impermeabilizantes fabricadas se mantiene constante (1000mm), basta con colocar dos elementos de detección puntuales en los bordes de la lámina.

1.6.3. COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL

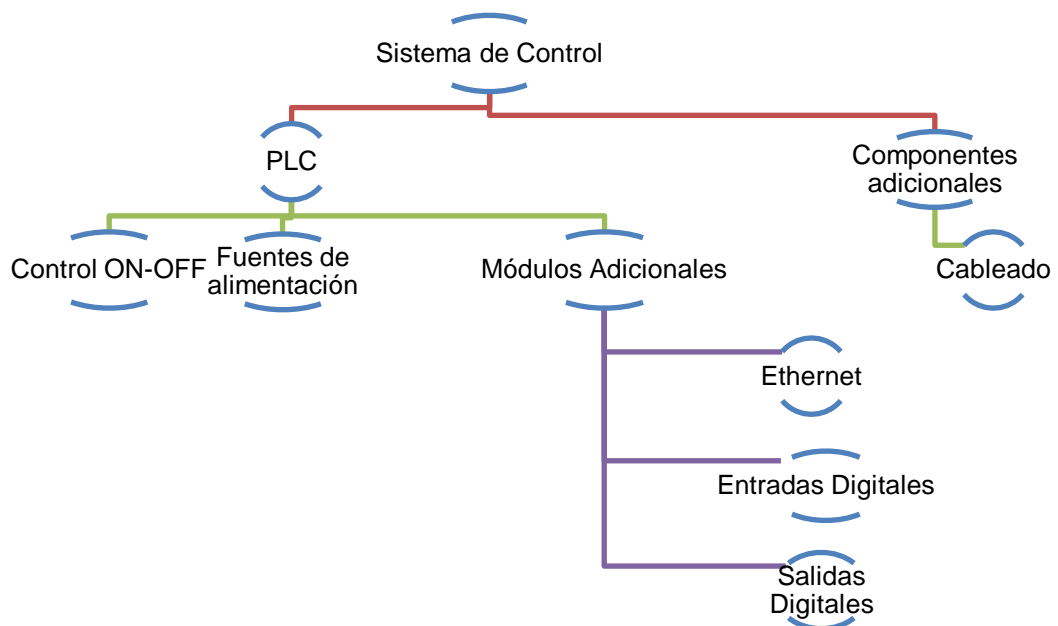


Gráfico 5. Esquema del Sistema de Control.

Realizando un análisis de los elementos que intervienen en el sistema se ha podido establecer que un control ON-OFF de lazo cerrado podría ser adecuado para el sistema propuesto, que calcule la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener y se aplique acción correctora que ajuste el proceso.

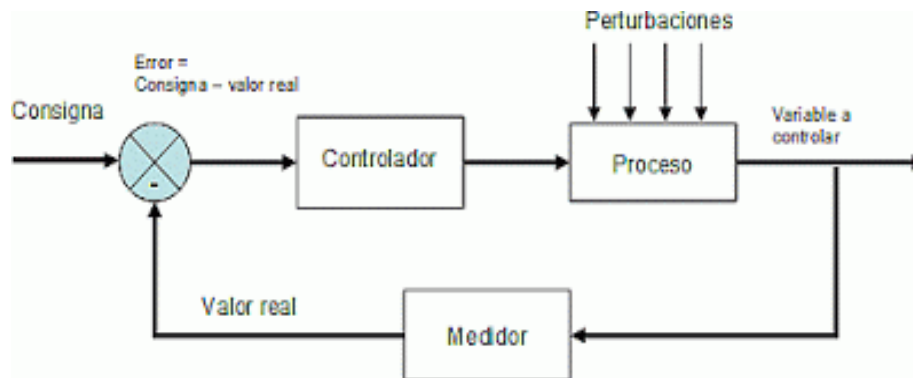


Figura 5. Diagrama de Control en ON-OFF en lazo cerrado.

El control será implementado en un PLC donde se programará la lógica de control, el mismo recibirá las señales de los sensores ópticos y después de compararla, permita controlar la salida para el desplazamiento del cilindro eléctrico en la dirección requerida.

1.7. METODOLOGÍA DE DISEÑO

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos en el proyecto se empleará como base la metodología científica apoyada en el análisis, diseño e implementación y la metodología experimental que hace uso de las pruebas para demostrar la validez del proyecto.

Dentro de la metodología científica se debe cumplir tres fases:

- Fase de análisis donde se estudiarán las posibles alternativas para la alineación, así como configuraciones, componentes y limitaciones de cada una.
- Fase de Diseño donde se determinarán las interacciones apropiadas y forma de los distintos componentes para alcanzar los objetivos planteados.
- Fase de implementación donde se ensamblará la máquina para que así esta misma pueda entrar en funcionamiento y posteriormente someterle a diferentes pruebas.

La metodología experimental entra en la fase de evaluación donde se analizarán datos y resultados obtenidos en las diferentes pruebas donde se determinara las condiciones apropiadas para el funcionamiento de la máquina.

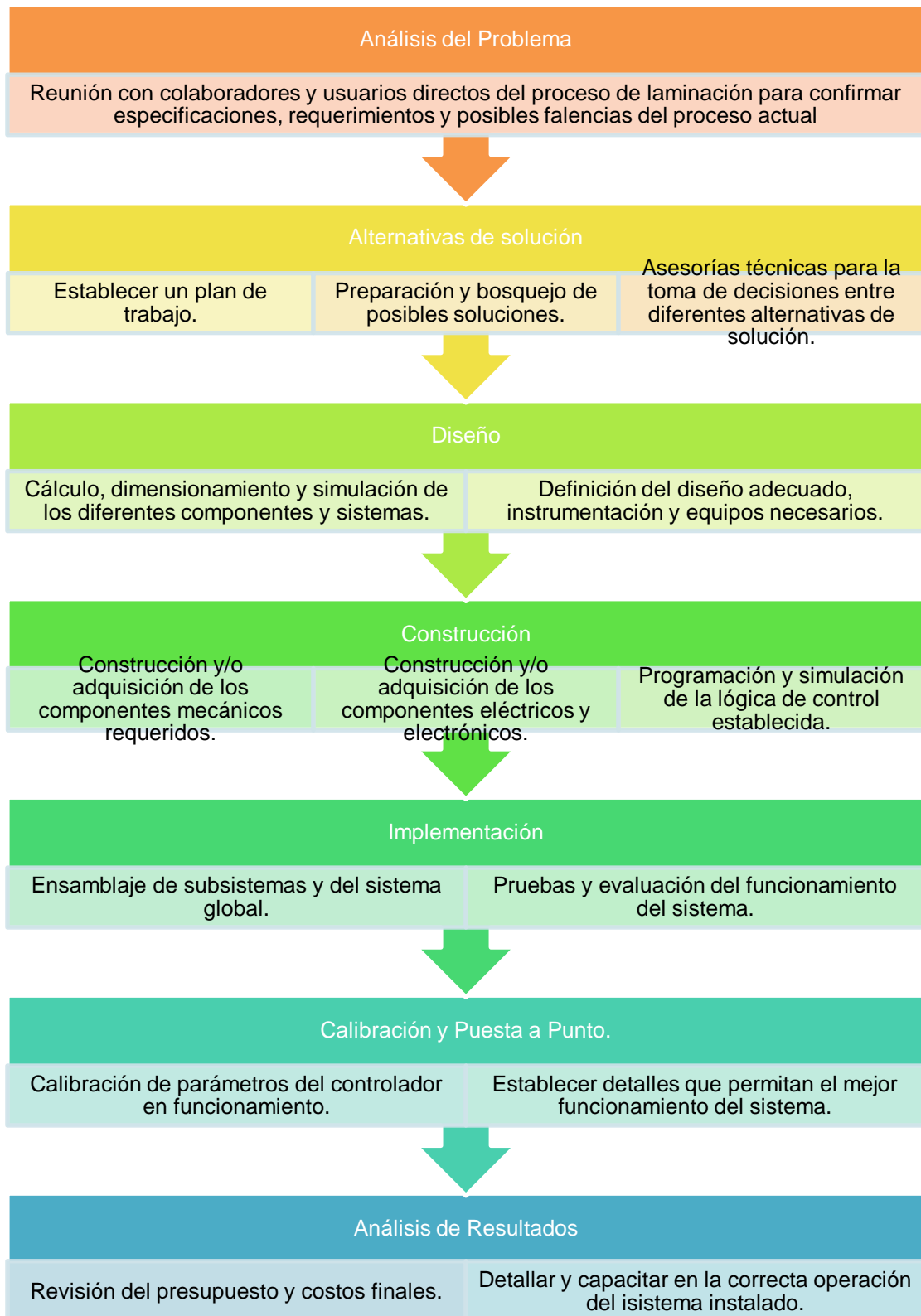


Gráfico 6. Diagrama del Proceso Metodológico a seguir.

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En el presente capítulo se describe las partes que conforman el sistema de alineamiento automático, la caracterización de las mismas, estableciendo los requisitos bajo los que va a operar dentro de la línea de Laminación y los principales conceptos y definiciones dentro de los que están enmarcados.

2.1. INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE LAMINACIÓN EN LA EMPRESA CHOVA DEL ECUADOR S.A.

Las láminas son elementos de impermeabilización, compuestos de mástico bituminoso, una armadura y materiales de terminación que se utilizan para la impermeabilización de cubiertas, muros enterrados, etc.

Las láminas asfálticas se clasifican en base a su terminación (arena, film de polietileno, gránulo mineral o aluminio), así como por su mástico bituminoso (oxiasfalto o betún modificado con elastómeros SBS) y armadura (fibra de vidrio, fieltro de poliéster, etc.).

El proceso generalizado de fabricación de láminas impermeabilizantes asfálticas en Chova del Ecuador se detalla en el siguiente diagrama (presentando ligeras variaciones de acuerdo al tipo o presentación del producto):

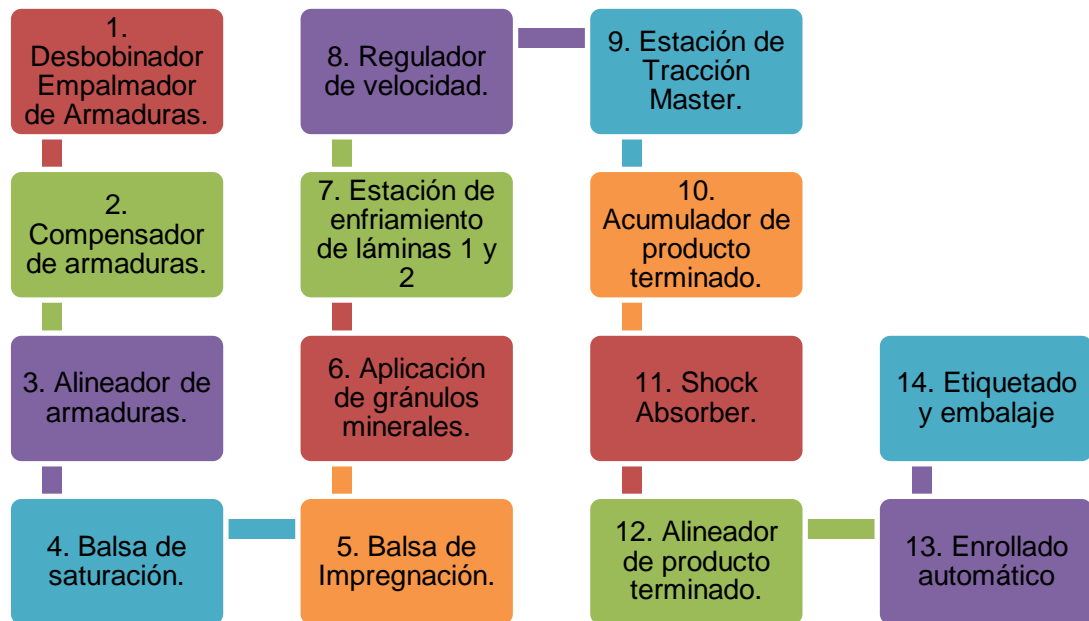


Gráfico 7. Flujo de la nueva línea de producción- Laminación.

2.1.1. DESBOBINADOR EMPALMADOR DE ARMADURAS.

El banco está formado por un marco equipado con rodillos que constituyen los ejes que soportan la bobina, los mismos que cuentan con sistema de regulación de tensión, la misma que va incrementando o disminuyendo conforme la cantidad de material de armadura restante en la bobina.

Posteriormente se localiza el empalmador para realizar las uniones entre dos diferentes rollos de armadura mediante la aplicación de pegamento y calor.

2.1.2. COMPENSADOR DE ARMADURAS

Como consecuencia del proceso de empalmado, se realiza una retención de armadura o lámina base, lo que resultaría perjudicial para la línea de laminación que elabora producto de forma continua, por lo que se dispone de un compensador, que es un elemento acumulador de armaduras con una capacidad de almacenar alrededor de 65 metros de material de armadura. Está formado por un sistema rodillos que funcionan como contrapesos y se unen mediante cadenas a los principales ejes de transmisión.

2.1.3. ALINEAMIENTO ANGULAR DE ARMADURAS.

Esta parte del proceso es requerida para mantener la línea central de la armadura alineada con respecto al eje central de la línea de producción, corrigiendo el desplazamiento lateral de la lámina mediante un desplazamiento angular del sistema alineador. Esto elimina defectos como la incorrecta impregnación del mástico o la malformación de bordes o arrugas en el producto, así como excesivo film de polietileno requerido para envolver el producto debido a las variaciones laterales de la lámina. El sistema de alineamiento requiere un control de lazo cerrado que continuamente alimente al controlador con las lecturas que él o los sensores realizan del borde de la lámina y permita tomar una acción correctiva determinada.

2.1.4. Balsa de saturación

En este proceso la lámina de armadura circula libremente a través de una serie de rodillos sumergidos en un tanque, lo que le permite saturar una capa previa de mástico para asegurar la calidad posterior de impregnación.

2.1.5. Balsa de Impregnación

El tanque de impregnación está formado por soportes tubulares de acero, con un rodillo de paso inicial, que es utilizado para que la armadura entre en el tanque.

La armadura se sumerge a continuación en el compuesto (mástico) por medio de un rodillo de movimiento vertical que se ajusta de forma manual. Posteriormente la armadura pasa por un par de calandras de giro motorizado que son calentadas mediante elementos eléctricos y son posicionadas en el centro del tanque para asegurar una perfecta impregnación.

El ajuste de espacio entre las calandras se lleva a cabo por un sistema de control de espesores.

2.1.6. Aplicación de Gránulos Minerales.

Está formada por un bastidor que soporta una tolva de alimentación para la dosificación de gránulos. La cantidad de gránulo aplicada será regulada y proporcional a la velocidad de la línea de producción.

El material sobrante se recoge mediante bandas transportadoras y se deposita en una taza de elevación con un transportador de tornillo, que recicla el gránulo, retornándolo a la tolva de alimentación.

2.1.7. Estación de Enfriamiento de Láminas 1 y 2

La unidad de enfriamiento debe considerar las dos condiciones de las láminas, cuando los gránulos han sido aplicados y cuando no han sido aplicados. Para el primer caso consta de un sistema de rodillos que permiten la inmersión de la lámina en el agua para posteriormente trasladar el

producto a la sección de secado por medio de un conjunto de rodillos locos. Por el contrario si se aplicaron los gránulos, las láminas deben ser enfriadas únicamente por convección por lo que pasarían directamente a la sección de secado.

La sección de secado consta de dos torres de enfriamiento con tres y cuatro rodillos de diámetro considerable para realizar el proceso de secado mediante convección.

2.1.8. REGULADOR DE VELOCIDAD.

El regulador de velocidad corresponde a un sistema de tipo dancer que incorporan rodillos locos cargados en una dirección, mientras que la lámina se mueve en la dirección opuesta. Un encoder detecta la posición del dancer y le indica a la unidad variadora el incremento o decremento de la velocidad o el par que se debe añadir o retirar del dancer.

El sistema dancer no sólo el control de par y/o la velocidad para mantener constante la tensión, también absorbe las fluctuaciones de tensión, por lo que la tensión de la lámina posterior al dancer se mantiene suave.

2.1.9. ESTACIÓN DE TRACCIÓN MASTER.

El propósito de la estación de Tracción Master es implementar un conjunto de rodillos de tracción que transporten la lámina dentro del proceso de laminación, tanto para los productos que circulan por la bandeja de enfriamiento como para los productos granulados. Por lo tanto estos rodillos tienen que ser conducidos y el torque de los rodillos tiene que ser transmitido con mínima pérdida de fricción (deslizamiento) entre la superficie del rodillo y la lámina.

2.1.10. ACUMULADOR DE PRODUCTO TERMINADO.

Sirve para mantener un proceso de producción continua, evitando la necesidad de para frente al para por cualquier problema suscitado línea abajo en procesos como enrollamiento o paletizado. Tiene una capacidad de alrededor de 60 m. El bastidor móvil es equipado con un freno de seguridad que detiene el descenso del marco en caso de que se produzca una rotura de la lámina.

2.1.11. ESTACIÓN DE ABSORCIÓN DE IMPACTO.

La estación se encarga de absorber el fuerte choque inercial que se produciría en el acumulador debido al arranque y paro por parte de la enrolladora.

Un rodillo de accionamiento va acoplado a un motor que alimenta de material a los rodillos de absorción de choques cuando sea requerido (ciclo de bobinado). La unidad de absorción está completa con un sensor que otorga continuamente su posición vertical hacia el control del rodillo de accionamiento motorizado.

2.1.12. ALINEADOR DE PRODUCTO TERMINADO.

De la misma manera, se requiere que el producto terminado (láminas) sean alineadas con respecto al bastidor de la máquina enrolladora (eje central de la línea de producción). Esto elimina la conicidad de los rollos, debido al desplazamiento variable de $\pm 7^\circ$ con respecto al eje transversal del rodillo.

2.1.13. ENROLLADO AUTOMÁTICO

La unidad de accionamiento se compone de dos cilindros de tracción, uno del tipo inactivo y el otro motorizado. La lámina es enrollada gracias al torque controlado en un eje con un embrague para establecer tensión de enrollamiento. La enrolladora puede funcionar en ambos sentidos. El contador de metros membrana es electrónico, calibrado en pasos de 1 cm.

El corte es transversal por medio de una cuchilla controlada neumáticamente. El eyector es también neumático y actúa a través de un carro de guía. El ciclo de bobinado es automático, pero puede ser parcialmente cambiado a operación manual mediante el accionamiento de los interruptores correspondientes.

2.1.14. ETIQUETADO Y EMBALAJE

Mediante cintas de embalaje y de acuerdo a un código de colores y posición se identifica el producto terminado como conforme o no conforme. Se etiqueta el rollo posterior a su expulsión y está listo para su almacenamiento y distribución.

En el anexo A se muestra un esquema de la línea de producción de láminas impermeabilizantes asfálticas, elaborado por la Empresa Chova del Ecuador para el montaje y disposición de máquinas en la nueva nave industrial.

2.2. CONCEPTOS BÁSICOS DE MANIPULACIÓN DE LÁMINAS

En procesos de manipulación de láminas se experimenta diferentes problemas durante la transportación de éstas sobre las diferentes etapas, a saber, desplazamiento lateral, arrugas o roturas.

La manipulación de láminas es ampliamente difundida en diferentes industrias: impresión, textil, electrónica, papelera, entre otras. La industria a la que se enfoca este proyecto es la de la construcción, principalmente centrado en el tema de impermeabilización.

2.2.1. ARMADURA O LÁMINA PRIMA

La armadura es la materia prima o base para el ensamblaje de las láminas asfálticas, ésta determina el ancho y el tipo de lámina asfáltica a ser producida, dependiendo del material.

El tipo de armadura es no-tejido o non-woven, generalmente son una hoja o red de fibras o filamentos artificiales o naturales, que no son tejidos, donde las fibras están adheridas entre sí, usando alguno de los siguientes métodos (QuimiNet, 2009):

- Agregando un adhesivo.
- Fusionando las fibras con calor.
- Fusionando las fibras, disolviendo y resolidificando su superficie.
- Creando “marañas” o “mechones” en las fibras.
- Usando puntadas para poner las fibras en su lugar.

El sentido de las fibras es multi-direccional, dirección longitudinal o dirección de la máquina MD (Machine Direction) y dirección transversal o CD (Cross Direction). (Shanthi, 2013)

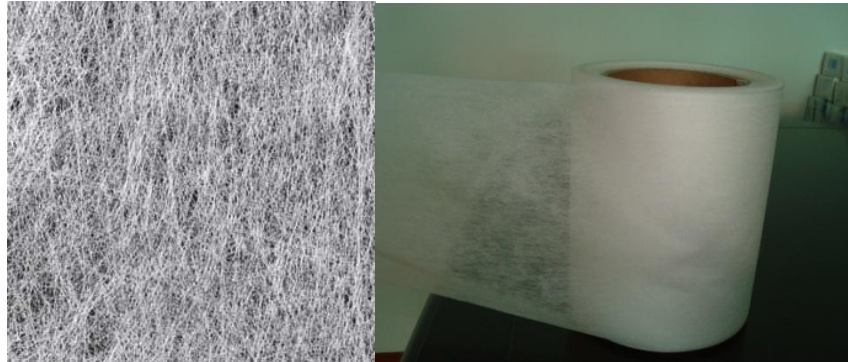


Figura 6. Muestras de tejidos Non-Woven

Fuente: ATEX Technologies Inc

(<http://www.atextechnologies.com/medical-textile-what-we-do/medical-fabric-and-technologies/nonwoven-material/>)

Los materiales no-tejidos se producen principalmente de fibras artificiales. Los principales polímeros sintéticos que actualmente dominan el mercado son el polipropileno (spubond), poliéster (comúnmente conocido como “curamex”) y fibra de vidrio.

Están diseñados para tener un número de beneficios funcionales, tales como resistencia a la permeabilidad y a la temperatura. Pueden también ofrecer características de protección viral y bacteriana, reducción de la contaminación y propiedades de neutralización de olor en ambientes domésticos y automotores, y además de ser ligeros y reciclables. (QuimiNet, 2009)

2.3. GENERALIDADES PARA EL TRANSPORTE DE LÁMINAS

El requerimiento general es el transporte de una lámina de forma recta y plana, a través de los procesos, sin generar defectos como arrugas. Para cumplir con esto, la lámina necesita ser sometida a una cierta cantidad de fuerza comúnmente referida como tensión de la lámina.

La cantidad de tensión requerida es afectada por varios parámetros que incluyen: características de la lámina, diseño de los rodillos transportadores y variables de procesos como velocidad, ancho y condiciones ambientales.

2.3.1. TENSIÓN DE LA LÁMINA

La cantidad de fuerza aplicada a una lámina para producir el estiramiento deseado de modo que ésta pueda ser transportada adecuadamente a través de su formación, procesamiento o conversión, se le conoce como tensión de la lámina. La cantidad de tensión aplicada es función del área seccional de la lámina, que a su vez es función del ancho y espesor de la misma. Generalmente es referida en términos de fuerza por unidad de ancho. Las unidades más utilizadas son kilogramos fuerza por centímetro (kgf/cm), Newton por centímetro (N/cm) o libras fuerza por pulgada (lbf/in) (Walker, *Tensioning Webs : Introduction to Tensioning*, 2008).

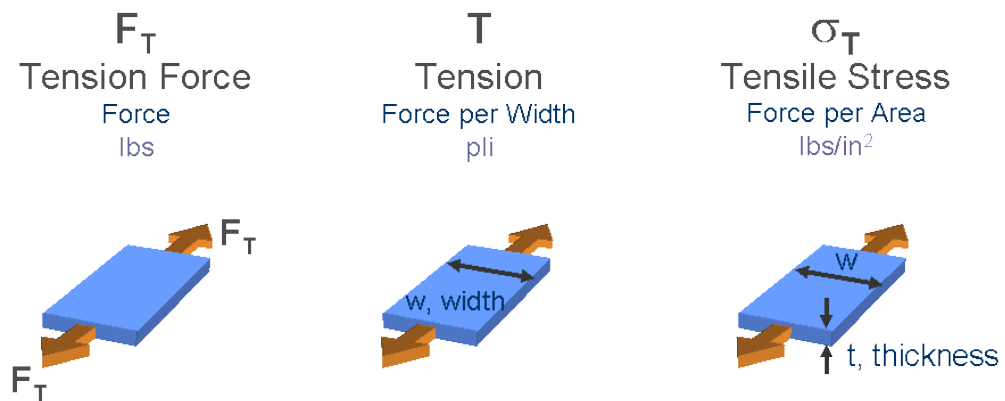


Figura 7. Fuerza, tensión y esfuerzos en las láminas.
Fuente: Web Handling TJWalker+Associates, Inc
(<http://www.webhandling.com/TensionIntro>)

Al tensionar una lámina se aumenta rigidez a la misma, incrementado así la resistencia a la deformación o pandeo.

A mayor tensión se mejora la rectitud de cualquier lámina que tiende a inclinarse hacia la izquierda o la derecha, se reduce el desplazamiento lateral, la catenaria de caída inducida por la gravedad y aumenta la tensión crítica de pandeo de una lámina, haciendo una lámina más resistente a las arrugas.

La cantidad sugerida de tensión típicamente oscila entre 10% y 25% del límite elástico del material (tensión a la rotura para materiales no elásticos), pero la tensión de la banda puede variar a través de su ancho, sobre la longitud de una zona de tensión, y con el tiempo (Smith , Foederer , Frey, & Lush, 2011).

Una zona de tensión es una sección de la lámina, entre dos torques o equipos de control de velocidad, donde la tensión es fijada por diseño o por el control. Las variaciones de tensión en el tiempo son bastante normales y pueden variar tanto como 50 o 100 por ciento durante la aceleración o dentro de zonas de tensión.

Tabla 5.

Rangos de tensiones de láminas por milímetro de espesor.

Material	Rangos de Tensión (métrico)	Rangos de Tensión (inglés)
Poliéster	35 – 105 N/cm/mm	0.5 – 1.5 lb/in/mil
Polipropileno	14 – 35 N/cm/mm	0.2 – 0.5 lb/in/mil
BOPP	21 – 70 N/cm/mm	0.3 – 1.0 lb/in/mil
Polietileno	7 – 21 N/cm/mm	0.1 – 0.3 lb/in/mil
Poliestireno	35 – 70 N/cm/mm	0.5 – 1.0 lb/in/mil
Vinilo	3.5 – 14 N/cm/mm	0.05 – 0.2 lb/in/mil
Láminas de Aluminio	35 – 105 N/cm/mm	0.5 – 1.5 lb/in/mil
Celofán	35 – 70 N/cm/mm	0.5 – 1.0 lb/in/mil
Nylon	7 – 21 N/cm/mm	0.1 – 0.3 lb/in/mil

Fuente: Guideline for web conveyance and winding tension levels, TIP 0200-01, TAPPI 2011, R. Duane Smith, Beth Foederer, Kelly Frey, Jim Lush.

2.4. FUERZA REQUERIDA PARA DESPLAZAMIENTO DE LÁMINAS

En casos como los sistemas de guiado Steering Guide o guía de dirección, es un requerimiento el doblar la lámina para ubicarla en la posición correcta.

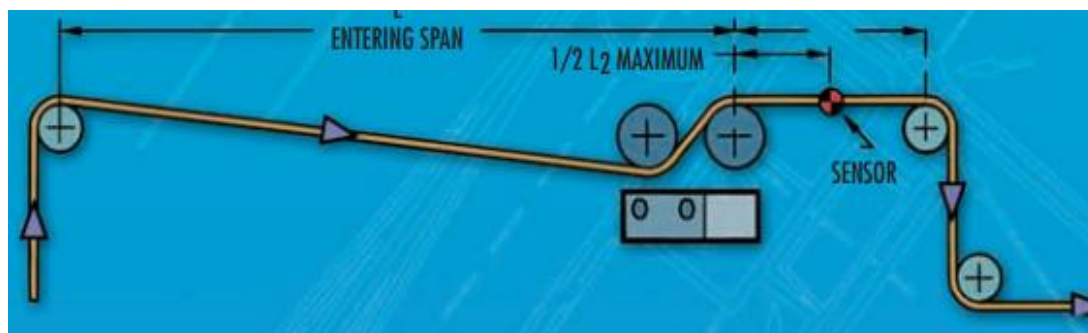


Figura 8. Esquema de una guía lateral de direccionamiento (steering guide).

Fuente: Fife Guiding Solutions, 2008
(http://www.letec.se/docs/Binder_Guiding-Solutions.pdf)

En otros casos se requiere restringir el doblado de la lámina para evitar una de las principales respuestas ante este movimiento, el apareamiento de arrugas, debido a la generación de fuerzas de flexión que originan cizalla interna y tensiones de compresión.

Lo que nunca se desea es que la insuficiente tracción origine una lámina errante, es decir que ésta se encuentre en entre la adherencia y el deslizamiento.

Si se requiere doblar una lámina, se necesita un impulso de tracción entregado por los rodillos. Si éste no es suficientemente fuerte o la lámina es demasiado rígida, no existirá posibilidad de doblar la lámina.

Al realizar la consideración de las láminas como vigas, un mayor módulo de elasticidad requiere mayor cantidad de fuerza para realizar el movimiento. De la misma manera, una lámina de mayor espesor requiere mayor fuerza para realizar el movimiento. La mayor consideración es la relación ancho-longitud ya que a fuerza requerida para mover la lámina aumenta de acuerdo a ésta relación a la tercera potencia. Por ejemplo, si se dobla el ancho de la lámina la fuerza para moverlo aumenta ocho veces. Si se duplica la longitud de la lámina que se está intentando doblar, la fuerza al contrario, se reduce ocho veces (Walker, Force is needed to shift a web, 2010).

2.5. CAUSAS DE DESPLAZAMIENTO LATERAL DE LAS LÁMINAS

Durante el transporte, la lámina experimenta fuerzas que promueven que ésta se desplace de forma centrada. La primera, la tensión que intenta mantener la lámina totalmente estirada y lineal, y la segunda, la regla de seguimiento de la lámina que promueve la conservación de la dirección de la lámina con respecto a la línea central en los rodillos bien alineados. A parte de estos dos efectos, la lámina es afectada por un desplazamiento perpendicular a la dirección por la que es transportada. Este movimiento es

conocido como Desplazamiento Lateral (Walker, Web Guiding: Lateral Motion Causes, 2010).

El desplazamiento lateral puede afectar a la aplicación de los gránulos y de la lámina protectora de polietileno en las láminas, así como ayudar a la formación de arrugas, grietas, agujeros o calvas.

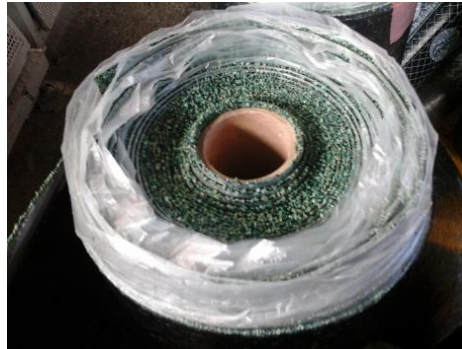


Figura 9. Producto no conforme, mal enrollamiento del plástico protector.

Agrupando las causas posibles que originan el desplazamiento lateral, se pueden citar:

- **Errores laterales en posiciones iniciales.** Muchas láminas inician mal posicionadas en los trenes de laminación debido al desenrollado: lámina desalineada del core (bobina donde se enrollada la lámina), core no centrado en la desbobinadora o desbobinadora que no cumple la línea central de las máquinas dentro del tren de laminación (Walker, Web Guiding: Lateral Motion Causes, 2010).
- **Errores laterales en transporte.** Las 5 grandes causas para el desplazamiento de la lámina son: desalineación, variación de diámetro, flacidez de la lámina, presión no uniforme y la interacción de la lámina con el aire o fluido de flujo. Todos estos problemas pueden ser corregidos mediante una adecuada alineación de los rodillos (menos de 200 microradianes), rechazando láminas demasiado

flácidas o curvadas y usando la tensión para corregir las que sea posible, asegurando una distribución uniforme de presión de lado a lado mediante la utilización de rodillos de presión de baja deflexión y asegurar que el flujo del fluido es perpendicular al flujo de la lámina y el flujo de retorno se distribuye uniformemente.

- **Errores laterales en el guiado automático.** Los sistemas de guiado automático tienen el propósito de reducir los errores laterales, sin embargo, pueden llegar a convertirse en la causa. Se debe asegurar que estos sistemas tengan el rango, la ganancia, la rigidez y la tasa de corrección apropiada. Además verificar si el instrumento de sensado sea de borde, centro o línea, detecta la lámina y está cerca de la guía con la que trabaja (Walker, Web Guiding: Lateral Motion Causes, 2010).
- **Errores Laterales en el Enrollado.** Previamente se debe comprobar si los errores no provienen de otra fuente previa en el proceso de laminación. El enrollado es susceptible a los problemas anteriormente mencionados, además de: desplazamiento del core por desalineación del equipo, deflexión y pérdida de adherencia entre los núcleos de la bobina y los ejes.

2.6. REGISTRO LATERAL DE LAS LÁMINAS

Es la posición relativa de izquierda a derecha (sentido transversal) de dos o más partes de la lámina o equipos dentro de la línea. De manera más común es utilizado en la impresión y el empaquetamiento para alinear el impreso o el patrón de troquelado. En este caso, el registro tiene tanto componentes CD (cross direction) como MD (machine direction).

Mientras que la impresión y troquelado puede tener tolerancias de $\pm 3-10$ mils (milésimas de pulgada), otros procesos tienen necesidades de registro laterales con una tolerancia mucho menor (Walker, Web Lines: Your Guide to Web Guiding 1, 2010).

Las necesidades y rangos más comunes de registro lateral son:

- Rodillos

La lámina debe mantenerse sobre la superficie de los rodillos y evitar deslizarse hacia sus extremos. Para la mayoría de rodillos de paso, la tolerancia es generalmente ± 2 pulgadas desplazamiento lateral, suponiendo que los rodillos están centrados con respecto a la línea central de la máquina.

- Ranuras en los equipos

Las entradas y las salidas de la mayoría de hornos, procesos de curado, tanques de inmersión o procesos de vacío requieren que la lámina pase a través de una ranura diseñada para minimizar las fugas de gas, calor o radiación.

- Recubrimiento y laminación

La mayoría de procesos de recubrimiento dejan un pequeño margen de lámina no revestida en el borde. Si la lámina se tracciona más allá de este margen de error, usualmente definido entre $1/10$ y $1/2$ pulgada, el recubrimiento se impregnará en el rodillo de respaldo o en algún lugar donde no debería estar y a menudo conduce a roturas de la lámina y daño en los rodillos. Los procesos de laminación de la misma manera cuentan con una tolerancia de desalineación, más allá de la cual se crea residuos (Walker, Web Lines: Your Guide to Web Guiding 1, 2010).

- Enrollado

El enrollado debe ser centrado en el core o por lo menos no encontrarse cercano al borde del mismo. En procesos donde el ancho de la lámina y el del core es el mismo, siempre existirá un ligero error en la posición lateral. Se puede considerar que si la desviación es de menos de 50 milésimas de pulgada, se encuentra bien alineado.

2.7. SISTEMAS DE GUIADO DE LÁMINAS

Las láminas en las líneas de laminación no siempre se ubican en una posición consistente. El desenrollamiento de láminas, puede ocasionar un desplazamiento lateral (dirección transversal) variable. Sin embargo, incluso si una lámina inicia en la posición correcta, puede tomar caminos diferentes a través de las máquinas en función de diversos factores.

Las holguras en la lámina originarán un movimiento lateral variable con más fuerza, las variabilidades en la tracción de rodillos o arrastre pueden causar una dirección equivocada en la lámina y los cambios en la tensión provocarán cambios en cuan recta se desplaza la lámina a través de la línea de producción (Roisum, s.f.).

Las guías se utilizan para llevar el borde de la lámina o el centro de la lámina a una posición transversal CD (cross direction) específica. La ubicación de la guía puede ser posterior al desenrollado para que la lámina inicie su tránsito con una posición consistente, en una posición intermedia, o en la bobinadora para mejorar la calidad del enrollado.

Las exigencias de precisión para la guía pueden variar de simplemente mantener la lámina sobre los rodillos hasta minimizar la pérdida de calidad en el producto.

Existen dos tipos principales de guías laterales, las guías activas y pasivas.

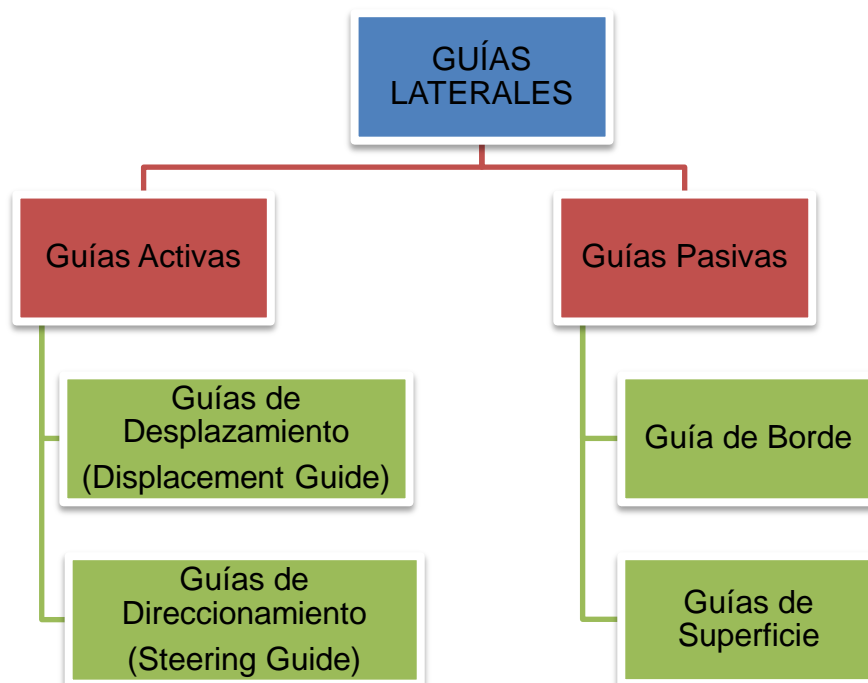


Gráfico 8. Organigrama de clasificación de guías laterales.

2.7.1. GUÍAS PASIVAS

Las guías pasivas, controlan el movimiento lateral por aislamiento mecánico, estas incluyen el uso de guías de borde y de superficie, que restringen la trayectoria lateral de la lámina.

Para guías de borde puede ser utilizada una brida rígida o flexible para aplicar fuerza al borde de la lámina logrando así restringir el movimiento

lateral, sin embargo el borde de la lámina puede ser dañado y a su vez introducir movimiento lateral debido al contacto entre el borde y la brida.

Por otro lado las guías de superficie pueden aplicar fuerzas laterales distribuidas a una superficie de la lámina más amplia, estas incluyen rodillos estriados o rugosos, rodillos cilíndricos no rotativos, y de acuerdo a la geometría del rodillo: coronados o cóncavos.

La ventaja de usar guías por superficie es la eliminación de posibles daños al borde de la lámina y también reducir la alta frecuencia del movimiento lateral, pero este método es altamente dependiente de la presión de contacto, y de la fricción entre la lámina y la guía por superficie (Roism, s.f.).



Figura 10. Rodillo cóncavo, ejemplo de guía pasiva.

Fuente: JRC Web Accessories
(http://www.jrcweb.com/Roller_Cantilevered_Dead_Shaft_Concave_p/q-1775.htm)

2.7.2. GUÍAS ACTIVAS

Las guías activas, se componen de un sensor, un actuador y un controlador. El sensor puede ser cualquier detector que pueda recoger de forma fiable la posición de los bordes de la lámina. Para mejorar la detección la lámina debe ser plana y estable, por lo que el sensor se coloca en la proximidad de un rodillo. La lámina puede ser guiada por el borde delantero, posterior o por el centro.

La salida del sensor va a un controlador que envía la orden de movimiento al actuador. El actuador que mueve el mecanismo de guía puede ser un motor paso a paso o servomotor para conjuntos más pequeños o un cilindro hidráulico para grandes ensambles. El actuador y el marco deben ser rígidos para un funcionamiento fiable.

Las guías activas deben tener 3 tramos de láminas, como es el tramo de Entrada, el tramo de Salida, y el tramo de Guiado. Existen dos principales tipos de sistemas de guiados activos, guía de desplazamiento, en áreas donde la distancia entre procesos es corta, y guía de direccionamiento, para distancia entre procesos largas (Roisum, s.f.).



Figura 11. Guía de direccionamiento, ejemplo de guía activa.

Fuente: Coast Controls (<http://www.coastcontrols.com/web-guides/steering-guide/>)

2.7.2.1. STEERING GUIDE (Guía de direccionamiento)

La guía de direccionamiento, como se muestra en la figura 2.7. , consta de un rodillo que cuyos extremos están montados en un par de cojinetes lineales en ángulo. A medida que el actuador empuja al rodillo hacia los lados, las pistas de rodadura hacen que el rodillo guía pivote alrededor de un punto imaginario conocido como centro instantáneo.

Las guías de dirección son comunes cuando las longitudes de entrada al mecanismo de guiado pueden ser extensas. De hecho, este tipo de guías

requieren una longitud de entrada de 3 a 5 veces el ancho de la lámina para reducir al mínimo los esfuerzos de flexión a la salida del mecanismo. Del mismo modo, la longitud de salida debe ser de al menos la mitad del ancho de la lámina para minimizar las tensiones en los bordes de la lámina debido a la torsión referente a la línea central (Roisum, s.f.).

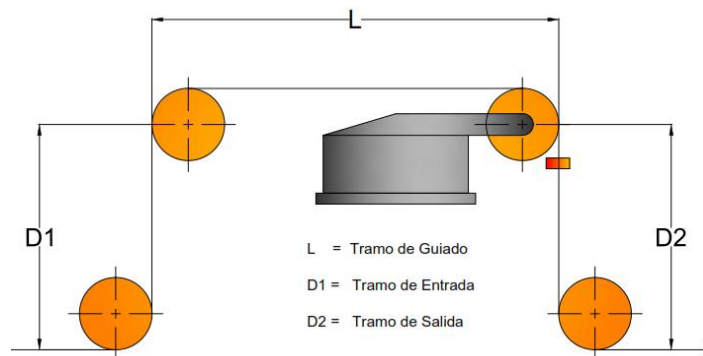


Figura 12. Esquema de guía de direccionamiento.

Hay dos tipos básicos de movimiento guía. Lo más fácil es simplemente hacer que el rodillo pivote en un extremo. Una mejor respuesta se puede lograr mediante la localización del centro instantáneo a $\frac{1}{2}$ o $\frac{2}{3}$ de la longitud de entrada de la lámina. Esta disposición hace que el rodillo se mueva también hacia los lados, llevando consigo la lámina. La ubicación del centro instantáneo se determina mediante el ajuste de los ángulos de los cojinetes lineales sobre los que se asientan los extremos del rodillo guía. La ubicación generalmente corresponde al cruce de las perpendiculares de las correderas.

2.7.2.2. DISPLACEMENT GUIDE (Guía de desplazamiento)

Cuando una longitud de entrada suficientemente prolongada no está disponible, una guía de desplazamiento puede ser la mejor opción. La guía

de desplazamiento, es un sistema de cuatro rodillos en el que los rodillos centrales giran sobre un bastidor común (Roikum, s.f.).

El sensor de la lámina debe estar situado muy cerca del tercer rodillo, es recomendado alrededor de 1/3 del tramo de salida. Si bien la representación más común del diseño es la forma de U, el sistema puede estar dispuesto de 16 formas diferentes, cada una con cuatro orientaciones. Estas numerosas posibilidades permiten a la máquina gran flexibilidad de diseño.

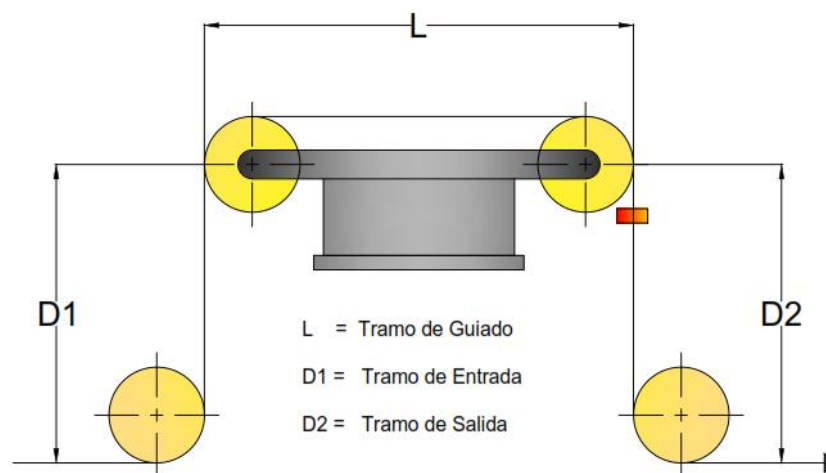


Figura 13. Esquema de guía de desplazamiento.

Las únicas limitaciones de diseño con las que cuenta es que los tramos de entrada y salida de la mesa basculante deben ser al menos de la mitad del ancho de la lámina, pero pueden ser de diferente longitud. La longitud entre los rodillos determina la efectividad de registro de desplazamiento lateral de la lámina (Roikum, s.f.).

Existe una importante diferencia en el comportamiento de la guía de desplazamiento y la guía de dirección. Mientras que la guía de dirección desplazará el borde de la lámina hacia arriba y hacia abajo del mecanismo, la guía de desplazamiento solo desplazará la lámina después del mecanismo, por lo que el proceso anterior debe ser tolerante a la posición lateral no controlada de la lámina.

Dentro de las guías de desplazamiento se encuentra un subgrupo, en el que la corrección se da desde el desenrollamiento o el enrollamiento, este tipo de mecanismos incluyen el movimiento lateral de la base soporte de los rodillos.

2.7.2.3. GUÍA EN EL DESENRROLLADO

En algunas ocasiones, es importante que la lámina inicie alineada dentro del proceso. Las desalineaciones iniciales pueden aparecer por la mala calidad de borde de los rodillos de alimentación (rodillos de material base o armadura), variaciones en el ancho de las láminas o mala colocación de los rodillos, en estos casos se utiliza este tipo de guía.

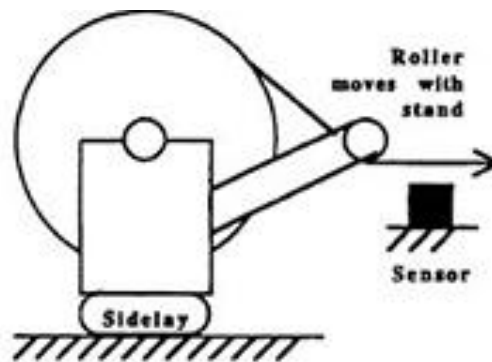


Figura 14. Esquema de guías en el desenrollado.

Fuente: Faustel, David R. Roisum, Ph.D.
(<http://www.faustel.com/technical-library/web-guiding/>)

2.7.2.4. GUÍA EN EL ENROLLADO

En muchas ocasiones, el proceso de enrollamiento requiere bordes rectos y alineados, por lo que se coloca este tipo de guiado. Para montar el sensor, lo adecuado es pueda ser colocado fuera de la enrolladora, caso contrario, debe ser esclavo de los movimientos de la misma, a fin de obtener precisión en su señal.

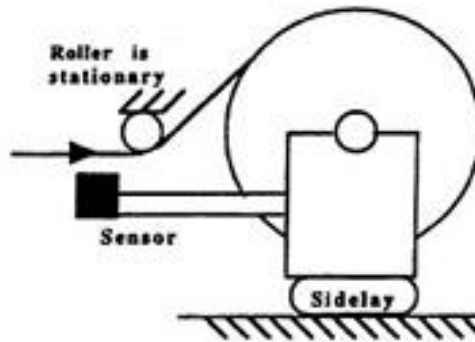


Figura 15. Esquema de guías en el enrollado.

Fuente: Faustel, David R. Roisum, Ph.D.
 (<http://www.faustel.com/technical-library/web-guiding/>)

2.7.3. PRECISIÓN Y RESPUESTA DEL GUIADO

En el diseño de un sistema de guiado, una característica indispensable del mismo es que la guía cuente con la capacidad de mover el borde de la lámina hacia un punto de ajuste con gran precisión y repetitividad. De hecho algunas aplicaciones requieren que la guía se establezca lo más rápido con tolerancias de borde de menos de 5mm. La combinación entre precisión y velocidad de respuesta mejorará la apariencia final del producto y reducirá los residuos de corte, lo que contribuye en un ahorro considerable en el proceso de producción.

Entre algunas consideraciones básicas se debe evitar flexibilidad estructural y el juego. La flexibilidad en el actuador o del marco estructural requerirá la desintonización de la respuesta de la guía a fin de evitar la oscilación y otras inestabilidades. Además, el montaje del actuador puede decrementar innecesariamente la rigidez del sistema dinámico. Si bien la disminución del peso de las estructuras de guiado puede mejorar la respuesta, es difícil de lograr ganancias significativas a través de eso (Roisum, Guide Accuracy and Response in Roll Winding Systems, s.f.).

2.7.4. LIMITACIONES EN SISTEMAS DE GUIADO

Existen algunos procesos que no requieren por sus características la utilización de sistemas de guiado. A continuación se detallan sus propiedades:

- Posicionamiento de corte

La posición absoluta del borde de una lámina no puede ser determinada con mayor exactitud que después de haber realizado un corte, por lo que no se requiere un sistema de guiado si el producto de entrada es suficientemente amplio en comparación al producto final en este tipo de proceso.

Si los rodillos de entrada tienen una buena alineación, poca desviación con respecto a las tolerancias permitidas y considerando la anchura de corte mínima (a ambos lados), se puede calcular visualmente la posición en la que debe colocarse el rodillo de entrada y mantener la sencillez en el proceso.

Sin embargo, si el enfoque es el rendimiento mediante la reducción de anchos de acabado, se requerirá la instalación de un sistema de guiado de lámina automático, puesto que manualmente, se pueden perder los ajustes (Walker, Web Lines: Do You Need an Auto Web Guide, 2010).

- Dificultad de guiado

Si la lámina es rígida, es decir, una combinación de espesor, ancho, alto módulo y longitud de entrada cortos, entonces resulta difícil doblarla o torcerla. Además de no poder aportar con la fuerza de fricción requerida para desplazar la lámina, el guiado puede dañarla, arrugarla o romperla.

- Facilidad de guiado

Si el número de láminas producidas es reducido, no compensan el costo de un sistema de guiado automático. Además esa cantidad de producto resulta generalmente fácil de guiar.

Al contrario, si se cuenta con una lámina de fácil guiado: estrecha, flexible y con grandes longitudes de entrada y salida, puede ser guiada aplicando métodos pasivos como: rodillo coronado, guiado por bridas duales, peines o mediante restricciones físicas (Walker, Web Lines: Do You Need an Auto Web Guide, 2010).

2.8. COMPONENTES DEL SISTEMA DE GUIADO

2.8.1. RODILLO

El rodillo es uno de los componentes más importantes en los procesos involucrados con la manipulación de láminas, se encuentran en todas las fases del proceso, desde el desenrollador a la enrolladora, estos procesos junto con la lámina proveen a la línea de producción, la tensión, la fricción y el torque necesarios para producir un rollo del material final, siendo el principal objetivo de la línea de producción.

Así como ayudan al transporte de la lámina, los rodillos pueden afectar al rendimiento de la maquinaria, cambiando la ruta, generando desplazamiento lateral, zonas de tensión y arrugas (Damour, s.f.).

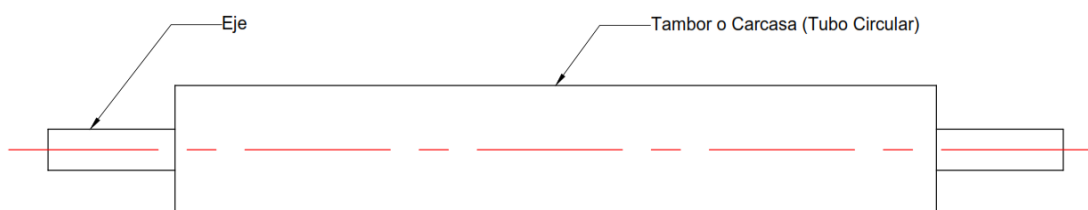


Figura 16. Esquema de un rodillo general con sus partes principales.

La carcasa es el cuerpo del rodillo normalmente fabricado mediante tubo estructural redondo. Su principal función es minimizar el peso del rodillo.

El número de rodillos requerido es usualmente subjetivo, normalmente se debe tener en cuenta el espacio necesario entre rodillos, si el espacio es demasiado amplio, la lámina tiende a pandearse, o a vibrar y esto puede afectar la tensión de la lámina. Este espacio depende del ancho y el espesor de la lámina.

La forma de un rodillo puede variar de acuerdo a la aplicación y al tipo de material que se va a transportar. Se puede clasificar los rodillos según su forma geométrica, como son, cilíndrico recto, cilíndrico convexo o coronado, y cilíndrico cóncavo (Damour, s.f.).

2.8.1.1. TIPOS DE RODILLOS

RODILLOS CORONADOS

Una corona es una forma o perfil que adopta cierto diámetro necesario para compensar la deflexión, de manera que se obtenga una presión uniformemente distribuida en la lámina. Un rodillo coronado está diseñado para asegurar la alineación de la lámina mediante la eliminación de los efectos de la deflexión, que en líneas de contacto simple (rodillos cilíndricos) es una de las principales razones para las variaciones de presión. Cuando los rodillos se comprimen o traccionan ocasionan arrugas en los extremos de las láminas.

Principalmente las reglas generales comprenden que a mayor diámetro, menor la varianza y a mayor longitud del rodillo, mayor la varianza. Las diferencias extremas podrán corresponder a 0.001" para un gran diámetro y un rodillo corto o 0.100" para un pequeño diámetro y una gran longitud de rodillo (Figura 2.12). Generalmente el perfil mayormente usado es la curva de coseno de un ángulo de 70° (Damour, s.f.).

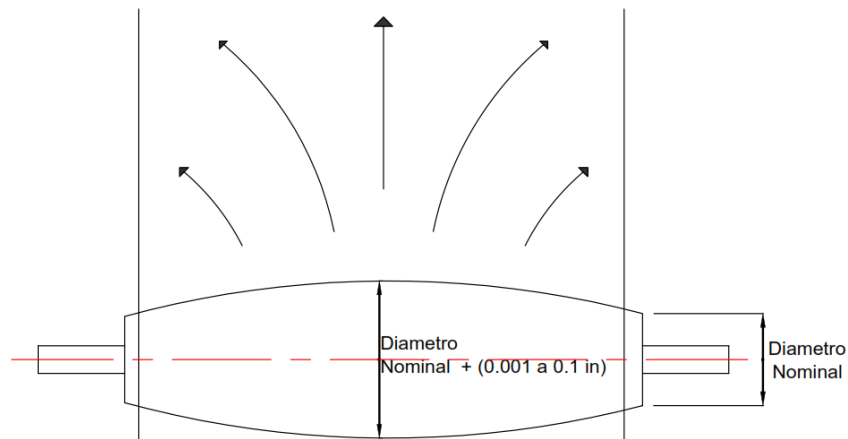


Figura 17. Esquema de rodillo convexo o coronado.

Ventajas

- Cuenta con una superficie totalmente lisa para que no se marquen estrías en la lámina.
- Apto para todo tipo de materiales. La cantidad de elevación depende directamente del tipo del material de la lámina. Materiales más flexibles como el polietileno necesitan menor cantidad de elevación.

Desventajas

- La teoría para este tipo de alineador no está completamente desarrollada. Mientras que el diámetro variable aporta una tensión variable, la teoría de la difusión de esta tensión a través de la lámina no se encuentra completamente fundada. Por ejemplo puede ayudar con las arrugas producidas en el centro de la lámina, debido a la tensión originada, puede agravar la situación de las arrugas en los bordes que no están completamente tensionados (Damour, s.f.).
- Velocidad variable a través de la superficie. En las esquinas de los rodillos, debido al menor diámetro existirá una velocidad menor que al tratar de ser compensada podrá originar arrugas en el centro de la lámina, lo que es contraproducente a la función que este tipo de rodillo debería cumplir.

- Debido a que este rodillo no guarda una forma lineal en la cara (mientras que la lámina sí), puede ocasionar que el producto se estire, distorsione o rasgue.
- Una altura del coronado excesivo podría provocar una pérdida en el efecto de guiado, ya que la cinta no se adapta de forma suficiente a los extremos cónicos (especialmente con láminas de elevada rigidez transversal), lo que provoca el plegado longitudinal de la lámina y, en casos extremos, el solape de la lámina cuando son delgadas y lateralmente muy flexibles (Hosch, 2013).
- Este tipo de rodillo no va a rectificar un mal diseño o mala alineación de las máquinas.
- Si aparecen fuerzas laterales debidas al producto/material es necesario colocar mecanismos de guiado.
- Excesivo desplazamiento lateral, alrededor de ½ pulgada (esperado en este tipo de guiado), hace que se incremente la longitud del rodillo con lo que se puede ocupar un espacio importante e innecesario.
- En el caso de láminas o productos pesados, el rodillo puede causar inestabilidad.
- Para rodillos de mayor diámetro, se incrementa la velocidad lineal de transferencia.

RODILLOS CÓNCAVOS

Un rodillo cóncavo puede fabricarse de diversos materiales y puede estar cubierto de goma. En este tipo de rodillo, al contrario del coronado, los extremos del mismo son de mayor diámetro, mientras que el diámetro de la bobina disminuyen a incrementos iguales a través de su cara. La varianza depende de la aplicación. Mientras más largo el rodillo mayor la varianza (Damour, s.f.).

Las variaciones extremas pueden ser 0,001 "para un diámetro grande y longitud corta y una varianza 0,100" para un diámetro pequeño y longitud larga. El incremento de la velocidad lineal, permitirá que las arrugas se difundan hacia los extremos del rodillo.

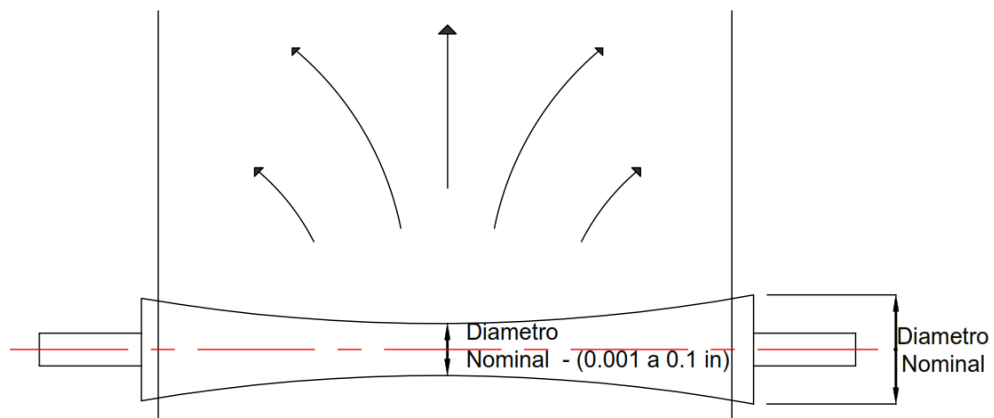


Figura 18. Esquema de rodillo convexo.

Ventajas

- Tiene una superficie lisa por lo que no realizará marcas en la lámina
- Pueden ser utilizados con todo tipo de material.
- Baja resistencia e inercia.
- Pueden trabajar a altas velocidades.

Desventajas

- Puede trabajar bien para arrugas en el exterior de la lámina, pero concentrar arrugas en el interior.
- Debido a que este rodillo no guarda una forma lineal en la cara (mientras que la lámina sí), puede ocasionar que el producto se estire, distorsione o rasgue (Damour, s.f.).

- No existe una fórmula establecida para la cantidad de concavidad que debe ser colocada en cada aplicación, por lo que solo puede ser determinada a través de ensayo y medición.
- Su perfil es difícil de diseñar y varía de acuerdo a la aplicación.
- Si la lámina se resbala, originará arrugas.
- Debe ser texturizada para mejorar la adherencia lo que puede originar excesiva fricción entre el rodillo y la lámina (Roisum D. , s.f.).

RODILLOS CILÍNDRICOS RECTOS

Los rodillos rectos son los que más comúnmente se usan en toda industria para el transporte de la lámina, debido a su simplicidad de diseño y fabricación, así como su menor costo en mantenimiento, como su nombre indica el rodillo mantiene su diámetro uniforme a lo largo de la longitud del tambor.

La longitud del tambor se limita al ancho de la lámina más un porcentaje de error que oscila entre una a dos pulgadas por lado, estos rodillos no necesitan de un recubrimiento, pueden simplemente tener un acabado superficial liso para no causar rasgaduras en la lámina (Damour, s.f.).

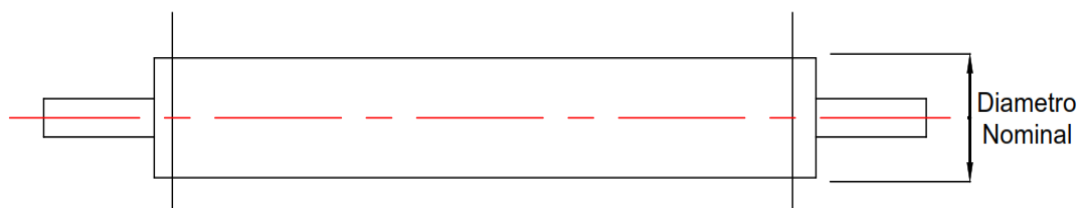


Figura 19. Esquema de rodillo recto.

Ventajas

- Facilidad de diseño y fabricación.
- La tensión de la lámina es uniforme a lo largo de toda la cara del rodillo.
- Mantiene una velocidad constante.
- Capaz de trabajar a altas velocidades si el rodillo tiene un balanceo dinámico correcto.

Desventajas

- No tiene un control de fuerzas externas en la lámina.
- Al tener una deflexión causada por la tensión de la lámina este tipo de rodillos es muy susceptible a formar arrugas, tanto en el interior como en los bordes.
- No controla desviaciones leves de láminas.

Aparte de la clasificación según la forma geométrica, los rodillos también varían su diseño según el tipo de montaje, estos se clasifican de tres formas, eje vivo, eje muerto (o rodillo loco) y eje en voladizo (Roism D. , Dead or Live Shaft Rollers, 2014).

2.8.1.2. RODILLO CON EJE VIVO

Son rodillos montados en un rodamiento externo donde el eje del rodillo rota junto a la carcasa, debido a que éstos se encuentran unidos. Al poder ser montados en rodamientos o chumaceras son capaces de manejar cargas altas.

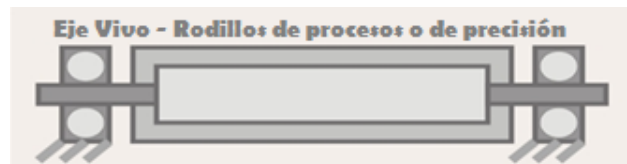


Figura 20. Esquema de montaje de rodillo con eje vivo.

Fuente: Maxcess Webex

Este tipo de rodillos se utiliza generalmente donde el ambiente de trabajo es pesado, como en hornos de alta temperatura o con productos químicos fuertes, y los mismos puedan afectar la integridad del rollo.

Algunas características de estos rodillos son:

- Carcasa del rodillo fija al eje.
- Utilizado en aplicaciones con rodillos de alta precisión o rodillos de procesamiento, por ejemplo, rodillos laminadores.
- La posición distante de rodamientos, añade deflexión.
- Con la adición de una polea de accionamiento o un engrane, un rodillo con eje vivo puede ser conducido.
- Reemplazo de rodamiento más rápido y fácil.

2.8.1.3. RODILLO CON EJE MUERTO

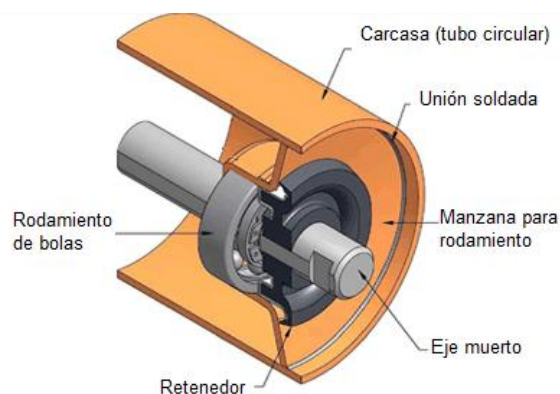


Figura 21. Esquema de partes de un rodillo con eje muerto.

Fuente: Lorbrand

Los rodillos con eje muerto son rodillos que tienen el eje fijo, es decir que no rota ni se mueve, y un rodamiento interno lo une con la carcasa, permitiendo así la rotación de la misma alrededor del eje muerto.

Puesto que sólo la carcasa del rodillo está rotando, el rodillo de eje muerto instalado con rodamientos de baja fricción tiene una inercia de rotación inferior, los rodillos con eje muerto son generalmente la mejor solución cuando se necesita un rodillo giratorio libre (Roisum D. , Dead or Live Shaft Rollers, 2014).

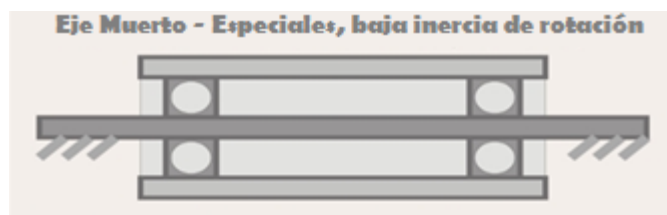


Figura 22. Esquema de montaje de rodillo con eje muerto.

Fuente: Maxcess Webex

Algunas características de estos rodillos son:

- Fijados a la estructura de soporte.
- La carcasa del rodillo gira sobre el eje.
- Menos deflexión en la carcasa.
- Pueden resultar menos costosos, puesto que se ahorra considerablemente en el maquinado de los rodillos.
- Aplicaciones especiales como Control de Deflexión multipunto y control de tensión.
- Reduce la vibración.

2.8.1.4. RODILLO CON EJE MUERTO EN VOLADIZO

Este tipo de rodillos son de la misma forma que los de tipo de eje muerto, pero un extremo del eje muerto es apoyado o empotrado a una pared, tienen la ventaja de ser capaz de conducir los rodillos y, posiblemente, alinearlos.

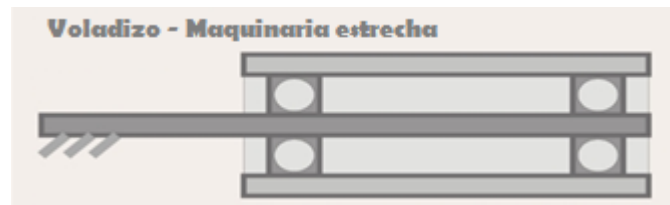


Figura 23. Esquema de montaje de rodillo en voladizo.

Fuente: Maxcess Webex

En la maquinaria que contiene rodillos en voladizo es más fácil el acceso del operador para el mantenimiento. Este tipo de montaje se utiliza en procesos donde el ancho de la lámina es inferior a 20 pulgadas de ancho, ayuda en problemas de holgura de la lámina pero la deflexión causada en estos rodillos es significativa (Maxcess Webex, s.f.).

2.8.1.5. CONSIDERACIONES PARA EL MONTAJE DE RODILLOS

Para conectar los rodillos con eje vivo a cualquier superficie horizontal o vertical se utiliza soportes de brida (donde los pernos del soporte del eje son paralelos al eje del rodillo) y cojinetes (donde el soporte de eje se atornilla hacia abajo en una dirección perpendicular al eje del rodillo). Para rodillos de eje muerto se tomará en cuenta la superficie y la conexión, puede ser mediante un perno de sujeción, destaje en el final del eje para apoyarlo en alguna superficie, soldado, o mediante piezas mecánicas de agarre (Walker, Support your Rollers, 2007).

Los puntos más importantes que deben ser tomados en cuenta al momento de montar los rodillos en las diferentes máquinas son:

- Alineación. Los rodillos del sistema de guiado deben ser paralelos entre sí. Cada rodillo debe ser instalado de modo que sea nivelado (perpendicular a la gravedad) y alineado (perpendicular a línea de centro de la dirección de la máquina), usualmente el error debe ser menor a 2 mils/ft. Las láminas más estrechas, delgadas y angostas son menos sensibles a desalineamiento. Incluso los rodillos que intencionalmente estarán desalineados deben montarse con una referencia paralela de posición (Walker, Support your Rollers, 2007).
- Rigidez. Los rodillos deben mantener su posición y alineamiento a través de los cambios de tensión inherentes al proceso durante la vida útil del equipo.
- Utilidad. Los rodillos deben ser diseñados de modo que puedan ser removidos para el mantenimiento y reinstalación en su posición de alineamiento, con relativa facilidad.

Para montar una serie de rodillos entre dos bastidores laterales, se sujeta las dos placas y se perfora todos los agujeros de posicionamiento en conjunto.

Cuando se separan los bastidores laterales distanciándolos por los rodillos, teóricamente, los rodillos deben quedar automáticamente paralelos debido a que los agujeros estaban espaciados de forma idéntica.

Los agujeros suelen ser muy precisos para el posicionamiento, pero en todos los casos de bastidores laterales, debe existir un componente que ejerza presión en los agujeros y permita sostener el eje.

Entre las opciones de retención del eje se pueden mencionar:

- Rodamientos
- Pernos de tope o tapones
- Tapones de ingeniería que funcionan como pernos de tope.

Cuando no se cuenta con bastidores laterales, existe otra opción para conectar los rodillos a cualquier superficie horizontal o vertical: soportes de brida (donde los pernos del soporte del eje son paralelos al eje del rodillo) y cojinetes (donde el soporte de eje se atornilla hacia abajo en una dirección perpendicular al eje del rodillo) (Walker, Support your Rollers, 2007).

2.8.1.6. LONGITUD DE TRAMOS DE ENTRADA Y/O SALIDA

Existen alrededor de doce puntos que deben ser tomados en consideración al momento de determinar la distancia de separación entre los rodillos en una línea de producción, todo dependerá principalmente del material del que está constituida la lámina y del ancho que presenta.

- Costo. Cuando se requiere transportar la lámina centenas de pies, se origina un debate considerable en materia económica con respecto a su distancia de colocación, ya que afectarán directamente en el costo final del proyecto. Los rodillos cuestan como cualquier pieza o equipo. Deben ser alineados, sus rodamientos mantenidos además de su limpieza continua.
- Ergonomía y seguridad. Cuando los rodillos se colocan muy cerca uno de otro debe ser considerado como un peligro para la seguridad. Un punto de presión puede originarse cuando los rodillos se separan tan solo 6 pulgadas.
- Gravedad. La mayoría de gráficos representan a la lámina y los rodillos como una línea tangencial a un círculo. En la realidad, las láminas se hundirán y rebotarán por la gravedad, flacidez de las mismas o desalineamiento de los rodillos (Walker, The Great Span Length, 2009).

La gravedad es más evidente y significativa en tramos horizontales, originando una curva catenaria. El hundimiento incrementará

directamente con la longitud del tramo al cuadrado e inversamente con la tensión. Si se añade cargas a la lámina, como la masa de un revestimiento húmedo o la fuerza de impacto del aire, entonces las desviaciones aumentarán proporcionalmente. En tramos verticales, los efectos de la gravedad son a menudo insignificantes.

- Flacidez y Desalineamiento. Se debe tomar especial precaución si cualquiera de estas dos imperfecciones se presentan. Por ejemplo, en un tramo de 50 pulgadas, se recomienda por pulgada un máximo de desviación de 0.040 pulgadas. Es decir menos del 0.1% de error. Una estrecha separación de rodillos es requerida cuando la lámina circula o entra en contacto con ranuras, túneles u otros elementos no móviles.
- Tracción. La longitud del tramo no tiene efecto significativo sobre la tracción del rodillo. Tramos más largos no incrementan el coeficiente de fricción, tensión, ángulo de envoltura, lubricación o aspereza. Si rodillos secuenciales están envueltos en forma de S, más rodillos crearán ángulos de envoltura más grandes por rodillo. En secadores arqueados o planos, donde una serie de rodillos están todos a un lado de la lámina, el incremento de rodillos representa menor ángulo de envoltura por rodillo. Para rodillos con menos de dos grados de envoltura, un cambio de un grado puede ser la diferencia entre la adherencia y el deslizamiento (Walker, *The Great Span Length*, 2009).
- Corrientes de aire. Una lámina puede fácilmente envolverse de manera helicoidal en una corriente de aire o cambiar de un lado a otro con violencia. Esto se puede prevenir con un rodillo lo más cercano posible a la entrada de aire y con un buen sistema de acondicionamiento y distribución de aire.
- Control de la tensión. Generalmente, la longitud del tramo no es un factor en el control de tensión. Un incremento de la longitud del tramo aumenta el tiempo de respuesta del sistema, y más rodillos aumentarán la tensión MD dentro de la zona. Longitudes de tramo

corto a la entrada o a la salida del dancer o celdas de carga incrementarán la frecuencia armónica del sistema masa-resorte y reduce la aparición de problemas en velocidades menores a 1000 fpm (Walker, The Great Span Length, 2009).

- **Guiado.** Los sistemas de guiado se favorecen con grandes longitudes puesto que permiten mayor corrección para un ángulo determinado y reducen las variaciones de tensión inherentes a la flexión y torsión.
- **Arrugas.** Tramos más largos son menos sensibles a la producción de arrugas por desalineación o variaciones de diámetro. Los tramos cortos son menos sensibles arrastrando arrugas producidas por deflexión, flacidez en el centro de la lámina o enrollamiento en rodillos coronados. Generalmente la recomendación se inclina por los tramos cortos, principalmente en láminas poco sensibles a la formación de arrugas, ya que un buen diseño del equipo puede prevenir la desalineación y las variaciones de diámetros pero no puede solucionar la flacidez en las láminas.

2.8.2. SENSOR

El sensor es el elemento de detección del sistema de guiado automático. Aparentemente la detección de la posición de un material no parece una tarea difícil, sin embargo, encontrar el sensor adecuado es una combinación de determinar los requerimientos y conocer las limitaciones del sensor.

2.8.2.1. REQUERIMIENTOS PARA LA DETECCIÓN

- **Propiedades del material de la lámina:** Procesos de transformación implican materiales diferentes de láminas, incluyendo papel, foil, woven o non woven e inclusive materiales revestidos. Las propiedades principales adicionales a las mecánicas que se deben considerar son: capacidad de reflexión o bloqueo de la luz, bloqueo de energía ultrasónica propagada en el aire o que la densidad de la lámina restringe el flujo de aire a través de la misma (Plumb, s.f.).

- Detección de borde, centro, línea o cualquier otra característica adicional en la superficie de la lámina:** La mayoría de los sistemas de guiado de láminas trabajan con la transición de borde. Esto es suficiente en muchas aplicaciones, especialmente cuando la lámina es consistente y los operadores desplazan conscientemente el sensor de acuerdo a los cambios de ancho del producto. Si existen muchas variaciones en cuanto al ancho de la lámina, si se requiere guiarla con respecto a la línea de centro o medir los cambios de ancho, se necesita que el sistema de guiado detecte ambos bordes utilizando un par de sensores o en su defecto un sensor que recorra toda la amplitud del sistema.

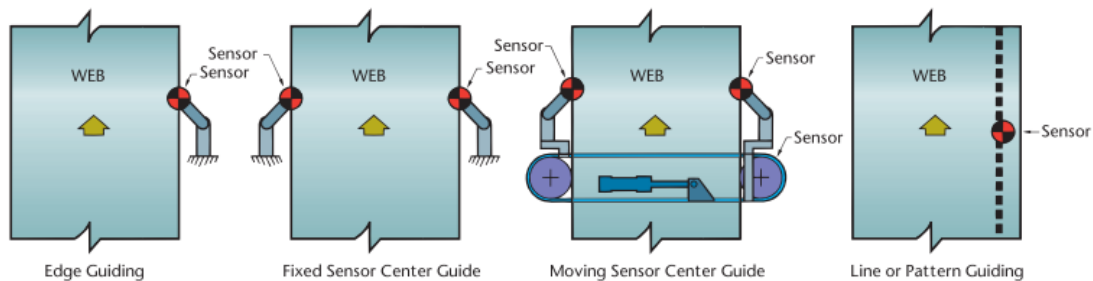


Figura 24. Configuración de sensores para sistemas de guiado de láminas.

Fuente: Fife, Finding the right sensor, John Plumb.

- Calidad del borde o de la línea:** Se deben controlar características como bordes afilados o irregulares, distinción de cualidades de la superficie de la lámina, línea de guiado continua o intermitente o si el sistema cuenta con cambios que puedan generar errores de tipo escalón como por ejemplo empalmes o variaciones de ancho.

Bordes irregulares de láminas pueden causar ruidos en la señal del sensor, lo que origina movimientos bruscos del actuador y un desempeño pobre del sistema. A altas velocidades, las variaciones en

la línea o en el borde de la lámina pueden pasar tan rápido que el sistema de guiado no responderá a las mismas (Plumb, s.f.).

- **Limitaciones Físicas:** Por ejemplo la localización o tamaño del sensor, la longitud sea para guías de dirección o guías de desplazamiento que origine torceduras en la salida de la lámina o la protección con la que debe contar el sensor si lo toca la lámina y ésta es de carácter abrasivo, pegajoso o mojado o por el contrario si la lámina es tan sensible que el contacto con el sensor la puede rasgar.
- **Medio Ambiente:** Considerar si la lámina se desplaza en ambientes extremos como hornos, atmósferas contaminantes (solventes), procesos de vaciado (sin capacidad de enfriamiento por convección para componentes electrónicos) o lugares polvorientos.
- **Rango y resolución:** Para determinar estos dos parámetros se requiere conocer el rango de variación en la posición lateral que se requiere detectar así como las variaciones de ancho de la lámina. Además si el posicionamiento de los sensores debido a las variaciones será automático o realizado por operadores. En lo que respecta a la resolución, en el caso de los sensores analógicos, un amplio rango de sensado disminuye la resolución, por lo que se debe buscar el equilibrio entre ambos aspectos.

2.8.2.2. CARACTERÍSTICAS A CONSIDERAR EN LA SELECCIÓN DE SENSORES PARA SISTEMAS DE GUIADO

A continuación se detallan las principales diferencias de sensores estándar y personalizados disponibles para satisfacer los requerimientos de guiado.

- **Análogo vs Digital:** La mayoría de los sensores son analógicos y proveen una señal proporcional al porcentaje de reflexión del emisor en el receptor. Si la lámina es parcialmente transparente en el medio, algo del medio pasará a través de la lámina y se añadirá a la señal. Si la transparencia de la lámina varía de producto en producto, el sistema debe ser recalibrado para alcanzar la misma línea meta en el sensor.

Entre los sensores digitales se puede encontrar a los ópticos de tipo puntual y a otros más específicos como cámaras o sensores de matriz óptica, los mismos que detectan el ancho de la lámina con una fila de pequeños elementos receptores o píxeles distribuidos en líneas discretas sobre el rango de sensado. Algoritmos avanzados de procesamiento de imágenes identifican las transiciones laterales de la lámina, por lo que con un fuerte contraste, el sistema puede guiar el borde de la lámina o una línea impresa o un patrón en la lámina (Plumb, s.f.).

- **Desempeño del sensor:** Depende de varias características:
 - Insensible a las señales del ambiente cercanas como corrientes de aire u otras fuentes de luz o ultrasonido.
 - Insensibilidad o autocompensación en el tiempo a los cambios de temperatura. Los límites máximos de temperatura de operación están limitados por los componentes electrónicos dentro del sensor.
 - Resistencia a la contaminación inherente a la aplicación. Sensores digitales deben incluir una lógica interna que discrimine pequeñas cantidades de contaminación.
 - Capacidad para minimizar los efectos de los cambios de plano de la lámina.
- **Geometría del sensor:** El funcionamiento de la mayoría de los sensores está basado en la detección de la lámina por comparación de una señal transmitida (aire, luz, sonido) a través de una lámina vs el ambiente.

El sensor en forma de U o de horquilla es la forma más común de sensores en sistemas de guiado de láminas. El diseño de doble lado es utilizado para obtener diferentes beneficios ya que permite que cada mandíbula albergue los elementos del emisor y el receptor. La forma de U permite además mediciones de ambos lados o incluir un espejo en uno de los lados con el fin de duplicar la intensidad de la señal de medición.

El sensor con forma de U también presenta ciertas limitaciones. La luz (gap) es la distancia de apertura entre los dos lados, limita a la lámina en sus desviaciones entre diferentes planos. La garganta (throat) es la distancia desde el centro de la línea de sensado a la base de la U y determina el máximo desplazamiento lateral sin contacto. La garganta del sensor debe ser lo suficientemente profunda para prevenir que el borde de la lámina golpee la parte posterior del sensor.

Con sensores analógicos, rangos de sensado pequeños resultan más adecuados. Rangos de sensado amplios son recomendados si la estructura es demasiado flexible (Plumb, s.f.).

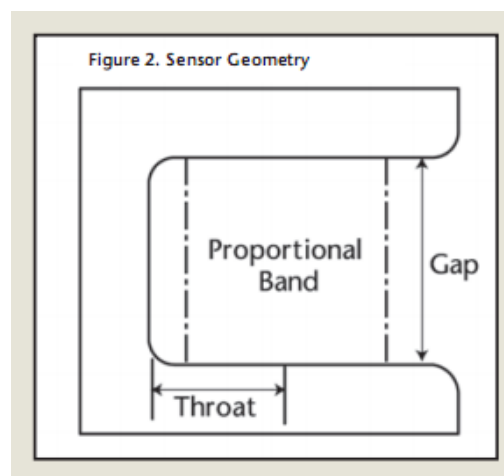


Figura 25. Esquema de la geometría de un sensor horquilla o forma de u, para sistemas de guiado de láminas.

Fuente: Fife, Finding the right sensor, John Plumb.

Existen otro tipo de sensores que no requieren reflector, puesto que el emisor y el reflector están contenidos en un mismo componente electrónico, lo que permite reducir el tamaño del sensor, para aplicaciones donde la limitación de espacio es importante. La falta de reflector elimina las interferencias del polvo u otro tipo de agentes que pueden acumularse en la geometría tipo U.



Figura 26. Sensor óptico (fotoeléctrico) para detección de proximidad.

Fuente: SICK (http://www.sick-automation.ru/images/File/pdf/VTF_VTE18.pdf)

- **Modo de detección:** Pueden ser neumáticos, ópticos y ultrasónicos.
 - NEUMÁTICOS. Corresponden a la tecnología más antigua, generalmente acompañados de un actuador hidráulico y un controlador lógico neumohidráulico. Son los escogidos para sistemas de seguridad intrínseca o procesos en caliente (Plumb, s.f.). Sensa materiales opacos y transparentes.
 - ÓPTICOS: Utilizan la interrupción de la señal de luz (insensible frente a influjos ajenos) (BST, s.f.).
 - Infrarrojos de tipo analógico pueden ser afectados por el polvo u otro tipo de contaminación, que puede ser reducida con toberas de aire para limpieza (Plumb, s.f.). Sin alteración de los valores de medición debido a las oscilaciones de la altura de la lámina en el rayo de luz

de la medición. Mejor solución costo- beneficio para cualquier aplicación.

- Aplicación: Materiales transparentes y no transparentes, materiales gruesos. Son mejores para láminas opacas.
- ULTRASÓNICOS: Son mejores para láminas claras o transparentes, pero pueden presentar problemas en detección de materiales no tejidos o láminas malladas (Plumb, s.f.).
 - Insensible frente a la suciedad y el cambio de transparencia del material.
 - Sin modificación del valor de medición debido a oscilaciones de la altura en la zona de medición de los sensores.
 - Generalmente requieren compensación de fallos provocados por fuentes de sonido externas u otros influjos del entorno.
 - Aplicación: Materiales con polvo o pelusas, film con niveles variables de transparencia, materiales fotosensibles (BST, s.f.)

2.8.3. ACTUADOR

La fuerza de movimiento en cualquier sistema de guiado está definida por el actuador, el mismo que necesita generar una fuerza para mover la lámina y el sistema de guiado, a una apropiada velocidad relativa a la velocidad de la lámina. Así como el torque y el número de revoluciones son utilizados para seleccionar el motor, la fuerza de empuje y la velocidad determinarán el adecuado dimensionamiento del actuador para el sistema de guiado.

La mayoría de sistemas de laminación en la actualidad son conducidos por actuadores electromecánicos (EMAs). Un EMA es un motor que comprime los elementos mecánicos a fin de convertir el torque del motor y

su desplazamiento angular en una fuerza y un desplazamiento lineal. Todos los elementos de conversión (engranes, cadenas, bandas, tornillos y rodamientos) deben ser dimensionados para obtener una buena confiabilidad y ciclo de vida (Hopcus, s.f.).

El actuador debe moverse a una razón igual o mayor a la velocidad del error lateral de la lámina. A continuación se muestra una tabla de las velocidades típicas requeridas en base a la velocidad de las láminas:

Tabla 6.

Velocidades laterales según la velocidad de línea.

Velocidad de línea de las láminas [fpm]	Máxima Velocidad Lateral [* /sec]
300	0.38
500	0.50
1000	0.80
1400	0.96
3300	1.56

Fuente: Fife, Sizing web guide actuators, Ken Hopcus

El empuje es la fuerza que el actuador debe ejercer para desplazar el sistema de guiado. El empuje que requiere un actuador se encuentre mediante la adición de las fuerzas demandantes incluida la fricción, la inercia y la gravedad:

$$F(\text{empuje}) = F(\text{inercia}) + F(\text{fricción}) + F(\text{gravedad})$$

2.8.3.1. INERCIA

La inercia es una componente de gran importancia en el dimensionamiento del actuador puesto que los sistemas de guiado están en constante movimiento en ambas direcciones. Cuando la señal de entrada de error cambia rápidamente, el sistema de guiado requerirá hacer un giro de dirección en 180 grados, pasando de la máxima velocidad en una dirección a la máxima velocidad en la dirección contraria (Hopcus, s.f.).

La fuerza para superar la inercia, F (inercia), es determinada por la ecuación $F=ma$. El lado de la aceleración “ a ” en esta ecuación es determinado por la máxima velocidad requerida y el tiempo de respuesta deseado, especificado como el tiempo en que se desea que la masa alcance las dos terceras partes de su máxima velocidad. Un sistema de respuesta estándar puede alcanzar las dos terceras partes de la máxima velocidad en 150 ms. Un sistema de alta velocidad de respuesta lo hará en 80 ms, por lo que requerirá aproximadamente el doble de la fuerza para superar la inercia.

Para convertir la aceleración en una fuerza es necesario determinar la masa del objeto que se va a desplazar. Otra manera de obtener la fuerza inercial será igualándola al peso del sistema por la relación de la aceleración del actuador frente a la gravedad.

$$F(\text{inercia}) = ma = \left(\frac{\text{peso}}{\text{gravedad}} \right) * \text{aceleración}$$

Un criterio conservador que toma en cuenta un factor por cargas desconocidas, asegura la vida útil del sistema de guiado por más de 4 o 5 años.

Además de la inercia lineal, existe una inercial rotacional asociada a partes como engranes, cadenas, bandas y tornillos en un EMA. Si estas inercias rotacionales son considerables en relación a la inercia lineal, deben ser calculadas, sin embargo, en la mayoría de los casos son lo suficientemente pequeñas como para ser consideradas dentro del factor conservativo (Hopcus, s.f.).

2.8.3.2. FRICCIÓN

Es la fuerza requerida para superar todas las pérdidas en el movimiento debido a los roces en los mecanismos del sistema de guiado. Estas pérdidas de fricción incluyen el arrastre en los cojinetes u otros factores como sellos, desalineación, lubricación y contaminación.

Es el resultado de la masa del objeto por el coeficiente de fricción, que es una función del tipo de rodamiento del mecanismo, sean de elementos rodantes o deslizantes. Coeficientes de fricción conservadores van de 0.075 a 0.1 para rodamientos anti-fricción y de 0.25 a 0.3 para superficies deslizantes, como acero con superficie lubricada en contacto con bujes de bronce o teflón (Hopcus, s.f.).

$$F(\text{fricción}) = \text{peso} * \cos \theta * \text{coeficiente de fricción}$$

2.8.3.3. GRAVEDAD

Se la debe considerar si la lámina se desplaza en un plano horizontal. La componente gravitacional del empuje es común en sistemas de guía de dirección o de guía de desplazamiento, que generalmente no son instalados con componentes horizontales a su movimiento. Un sistema de guiado no horizontal raramente trabaja en contra de la gravedad, tendiendo a moverse gradualmente un ángulo fuera de la horizontal. La fuerza requerida para superar esta carga gravitacional será el peso del sistema de guiado por el seno del ángulo que se forma entre la línea de guiado y el plano horizontal (Hopcus, s.f.).

$$F(\text{gravedad}) = \text{peso} * \sin \theta$$

Con la máxima velocidad y empuje calculado, el diseñador del sistema de guiado puede empezar el proceso de selección del motor y la forma de transmisión, basado en criterios de costo y confiabilidad, tomando en consideración que en algunos casos la selección de componentes económicos puede afectar el tiempo de vida útil, las horas de trabajo y el mantenimiento.

2.8.3.4. TIPOS DE ACTUADORES UTILIZADOS PARA SISTEMAS DE GUIADO

- **NEUMÁTICOS:** Son utilizados en sistemas donde los aspectos referentes al cuidado de contaminación de las láminas son importantes. Para utilizar este tipo de actuadores generalmente se conecta un sistema completamente neumático, es decir, tanto los sensores como el controlador son de tipo electroneumático.
- **HIDRÁULICOS:** Gracias a su construcción robusta, los actuadores hidráulicos se adecúan particularmente para fuerzas de ajuste de medianas a altas. También pueden utilizarse en zonas con peligro de explosión y se utilizan preferentemente para el ajuste de masas pesadas. Los actuadores hidráulicos constan de una unidad de alimentación y un cilindro de potencia.
 - Concebido para movimientos de ajuste en forma de arco y lineales.
 - Adaptación del diámetro y la carrera del cilindro a la fuerza y velocidad de ajuste necesaria
- **ELÉCTRICOS:** Son utilizados donde se necesitan reacciones rápidas a cambios de posición de la lámina. Proveen precisión y simplicidad a través de su operación, eliminando la necesidad continua de mantenimiento requerida por los cilindros hidráulicos (Hopcus, s.f.). La conexión del actuador puede realizarse tanto directamente en el comando de control como a través de un módulo (para fuerzas de ajuste elevadas). Permiten un montaje rápido y económico, además existen diseños para condiciones de montaje con poco espacio. Presentan las siguientes características:
 - Motores de corriente continua de poco desgaste para fuerzas de ajuste leves a medianas.
 - Motores trifásicos para fuerzas de ajuste elevadas.
 - Concebido para movimientos de ajuste en forma de arco y lineales.

- Es posible realizar el ajuste tanto de fuerza como de velocidad.
- Disponibles con y sin retroalimentación de la posición (registro precisa de la posición actual del actuador).

ACTUADOR ELÉCTRICO LINEAL

Existe una gran clasificación de actuadores eléctricos para distintos tipos de movimientos como son los rotarios y lineales, así como también una variedad según el tipo de montaje y sus acoples mecánicos. En los sistemas de guiado de láminas, el actuador eléctrico de tipo lineal es el más utilizado, debido al montaje, la precisión, y el costo.

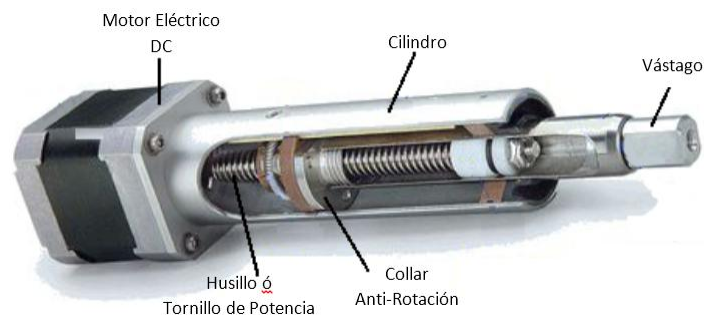


Figura 27. Esquema de un motor eléctrico lineal.

Fuente: Ultramotion (<http://www.ultramotion.com/products/digit.php>)

Un actuador lineal eléctrico es un dispositivo que convierte el movimiento de rotación de un motor de corriente continua de baja tensión en movimiento lineal, es decir, los movimientos de empuje y tiro.

El actuador lineal es un equipo electromecánico, es decir que tiene partes eléctricas y mecánicas, como partes eléctricas se tiene el motor rotatorio, este es el encargado de dar el movimiento a un husillo que en combinación con una tuerca o un orificio roscado, se emplea para convertir un movimiento giratorio en uno longitudinal, este se encuentra dentro del cilindro, y a su vez acoplado al vástago del cilindro. Al girar el husillo el vástago se moverá linealmente avanzando o retrayéndose de acuerdo al

sentido del giro del motor, estos motores poseen la característica de retroalimentación mediante un sensor, ya sea un encoder, un potenciómetro lineal, o cualquier tipo de sensor que entregue una señal analógica de la posición relativa del vástago del actuador (Ultramotion, s.f.).

2.9. CONTROL EN EL SISTEMA DE GUIADO

2.9.1. DETERMINACIÓN DE LA PRECISIÓN EN EL SISTEMA DE GUIADO

La precisión es la máxima cantidad de error que se puede tolerar en el paso de la lámina después de haber realizado las maniobras de corrección (Maxcess, 2011).

La precisión en el guiado de láminas es dependiente de tres aspectos: la lámina, el tipo de guía y la instalación del sistema de guiado. El comportamiento de la lámina y velocidad de su desplazamiento lateral son también factores críticos para determinar la precisión del posicionamiento de la lámina (Hopcus, Understanding web guide accuracy, s.f.).

Las láminas pueden desviarse por cambios en las condiciones de los procesos como tensión, velocidad, lubricación o temperatura. Dentro de los componentes que pueden causar desviación de la lámina se deben incluir a los sistemas de guiado debido a:

- Una baja sintonización del sistema de control
- Una zona o banda muerta en el sensor
- O una pérdida de movimiento o reacción no deseada en el mecanismo actuador, que pueden ser consecuencia de:
 - Holguras mecánicas en el montaje del actuador.
 - Juego axial de los rodamientos en los rodillos
 - Deflexión mecánica de las estructuras de guiado.

Cada tipo de sistema de guiado tiene sus reglas de instalación dentro de las que se incluyen: longitud de tramos de entrada y salida, ángulos de contacto y localización y orientación del pivote, que deben ser tomadas en cuenta para alcanzar un control estable.

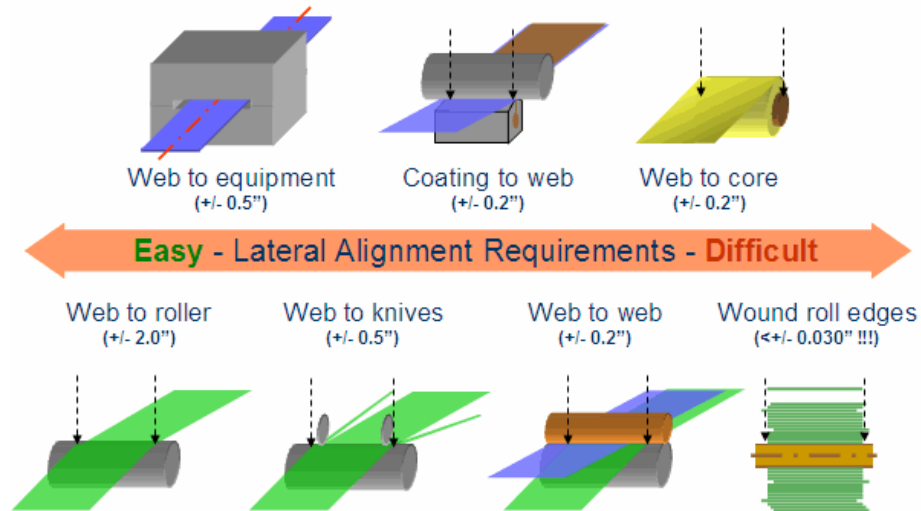


Figura 28. Rangos de corrección lateral según la aplicación.

Fuente: Web Handling (<http://www.webhandling.com/GuideIntro>)

2.9.2. LÍMITES DE CONTROL EN EL SISTEMA DE GUIADO

Todos los sistemas de guiado están diseñados para corregir el desplazamiento de la lámina hacia ambos lados dentro de su rango de actuación. Sin embargo, independiente de la correcta instalación, todo sistema de guiado posee un límite en su habilidad de corrección del desplazamiento lateral. Estos límites existen tanto en tiempo como en espacio. Un sistema de guiado solo puede desplazar un material una distancia máxima determinada, además, cualquier desplazamiento necesita una cantidad de tiempo para ocurrir (Maxcess, 2011).

2.9.3. DEFINICIÓN DEL ERROR

El error es definido como cualquier desplazamiento lateral de la lámina que no es deseado.

Determinar el impacto de la velocidad lateral de desplazamiento de la lámina es un poco complicado, debido a que presenta tres componentes: la magnitud del desplazamiento, el ancho de la lámina que se ha desplazado y la velocidad del proceso al que está sometida la lámina. El desafío de corrección incrementa cuando incrementa también la velocidad del error lateral (Hopcus, Understanding web guide accuracy, s.f.).

2.9.3.1. TIPOS DE ERRORES

- Error de offset o error en estado estacionario. La lámina o el error de posición es siempre solo de un lado (pudiendo presentarse a cualquiera de los dos lados), asumiendo una cantidad fija de cambio durante el proceso. Se presenta comúnmente en el desenrollado, cuando la lámina está fuera de centro debido al desplazamiento de la misma respecto al core o del core respecto al eje. En el transporte, un error de offset puede ser causado por el desalineamiento de un rodillo, una variación de diámetro en un rodillo, flacidez de la lámina o fuerzas externas como aire. Los errores de offset tienen velocidad lateral cero, así que mientras el rango de corrección sea mayor que el error de offset, este no afectará a la precisión del sistema de guiado (Hopcus, Understanding web guide accuracy, s.f.).
- Error Transitorio. Aparecen en intervalos pequeños, debido a una combinación entre longitudes pequeñas y grandes velocidades de láminas, lo que desplaza la lámina de un lado hacia otro. Estos errores pueden ser causados por el material, el equipo o variaciones dentro del proceso.

- Error de cambio al escalón. El error sucede en el tiempo cero, como un desplazamiento lateral debido a un empalme de lámina mal realizado. Tiene una velocidad lateral infinita, por lo que es difícil de controlar. No existe ningún sistema de guiado que trabaje a una velocidad infinita por lo que siempre existirá un retraso en la corrección de este tipo de errores.

2.9.4. ALTERNATIVAS DE CONTROL PARA SISTEMAS DE GUIADO

Debido a las características inherentes al proceso de alineación de láminas, al sistema de guiado se lo puede definir como un sistema de control de lazo cerrado, debe contar con un sensor que medirá la desviación de la lámina, un controlador que comparará esta medida con un setpoint establecido y luego de resolver el algoritmo de control enviará una señal al actuador para que este dirija la bancada de desplazamiento.

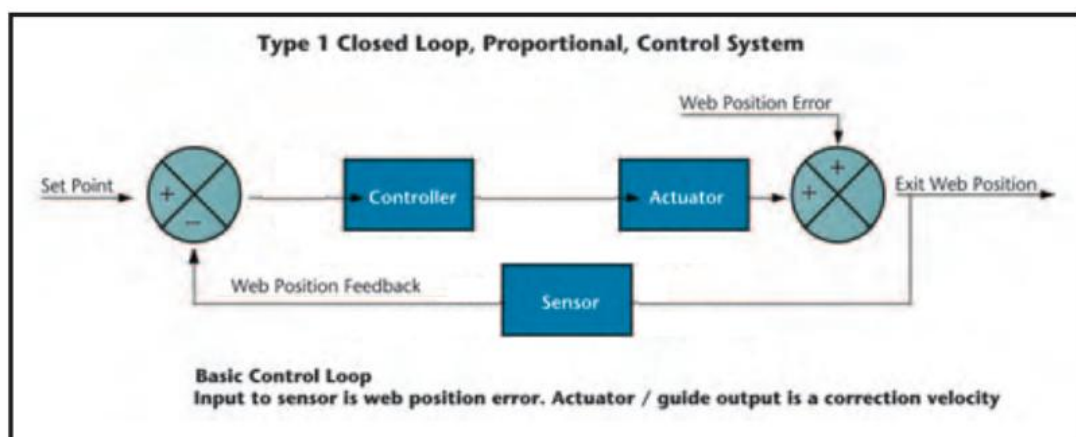


Figura 29. Diagrama de Control en lazo cerrado.

Fuente: FIFE, Understanding web guide accuracy, Ken Hopcus.

Dentro de las acciones básicas de control se encuentran los controladores de tipo ON-OFF o SI-NO. Como opción adicional se puede analizar la utilización de lógica difusa en el control de este sistema.

La correcta selección de un sistema de control, o un diseño apropiado, se basa en emplear la solución más simple en cuanto a hardware, es decir, la más barata y confiable, que cumpla el desempeño especificado. Por esta razón se debe pasar de un modelo sencillo a uno complejo únicamente si el más simple no otorga un adecuado control.

2.9.4.1. CONTROL ON-OFF

Este tipo de control puede estar representado simplemente como un switch que es activado por la señal de error y únicamente proporciona una señal de corrección que se activa o desactiva, por lo que solo puede tomar éstos dos posibles valores.

Debido a la discontinuidad de la acción de control y a los retardos en el sistema, las oscilaciones de la variable controlada ocurren dentro de valores aproximados a la condición solicitada.

El término zona muerta o histéresis comprende a los valores que se encuentran dentro del intervalo ON-OFF (Bolton, 2006).

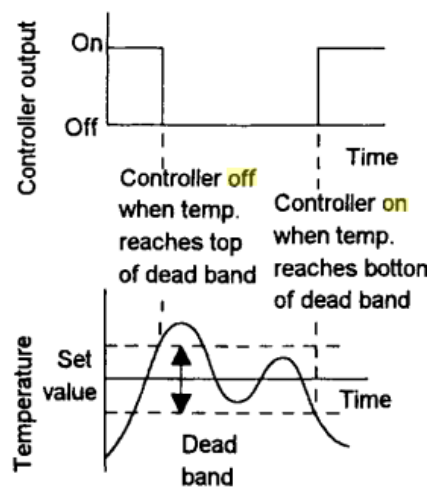


Figura 30. Controlador ON-OFF con histéresis.

Fuente: Control Systems, W. Bolton

Presenta las siguientes características:

- El controlador no tiene la capacidad para producir un valor exacto en la variable controlada para un valor de referencia pues produce una desviación continua del valor de referencia.
- Funcionamiento óptimo en procesos con tiempo de retardo mínimo.
- Es de fácil construcción e implementación por lo que es de amplio uso dentro del ámbito industrial.
- Bajo precio de instalación.

2.9.4.1. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL DEL ALINEADOR DE LÁMINAS EN BASE AL CONTROL ON-OFF

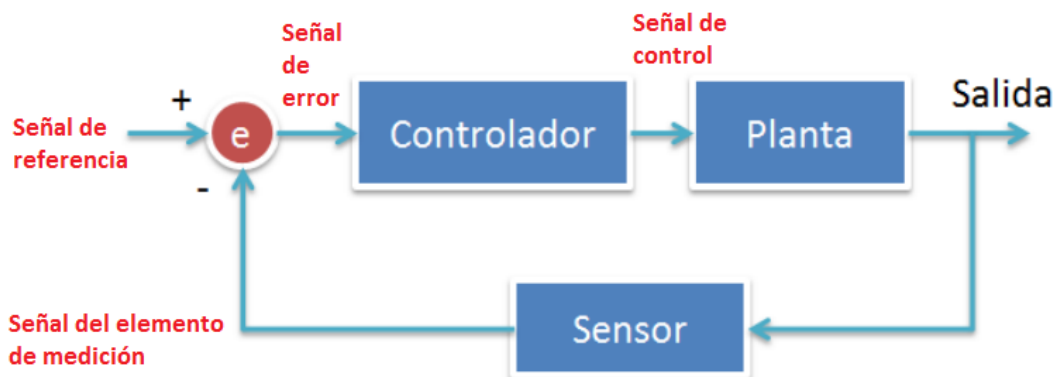


Figura 31. Diagrama de control PID general.

- Señal de referencia: Posición o ubicación permisible de las láminas (unidades de longitud).
- Señal del elemento de medición: Lectura de la posición de la lámina con desviación hacia la izquierda o derecha.
- Señal de error: Si el alineador no ha alcanzado el punto especificado.
- Señal de control: Se activa para dar paso al movimiento del bastidor mientras el alineador no alcanza la posición deseada.

2.9.4.2. CONTROL DIFUSO

El control difuso está basado en la lógica difusa, la misma que permite tratar a los sistemas con información inexacta, es decir, dicha información contiene un grado de imprecisión, contrario a la lógica tradicional que mediante el desarrollo matemático adquiere información definida y precisa.

La teoría de conjuntos difusos parte de que los elementos tienen una función de pertenencia de 0 a 1 en un conjunto difuso, el cual se encuentra asociado con un determinado valor lingüístico que está definido por una etiqueta, palabra o adjetivo. Para definir la función de pertenencia de una variable, se indica el grado en que se encuentra incluida dentro del concepto representado por la etiqueta. De esta manera los conjuntos difusos agrupan objetos por el valor de una cierta magnitud (Bello & Ochoa, 2004).

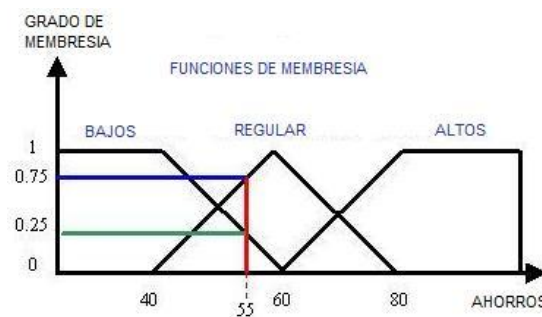


Figura 32. Ejemplo de conjuntos difusos

Además puede observarse que la transición del valor de las variables en un conjunto es gradual entre el cero y el uno y no cambia instantáneamente.

Como la lógica difusa sugiere un grado de pertenencia para un dato, permite al controlador difuso tomar diferentes grados de acción en un sistema. Por esta razón, para la realización de la base de conocimientos sobre la cual se tomará las decisiones, se debe contar con el conocimiento experto de una o varias personas acerca del sistema.

Puede aplicarse en gran cantidad de sistemas en los cuales los modelos matemáticos son muy complejos de obtener, por lo que empleando técnicas

de razonamiento aproximado es posible controlar sistemas superiores con un desconocimiento preciso del entorno, lo que le da mayor flexibilidad que otro tipo de control en el que intervenga el cálculo matemático (Bello & Ochoa, 2004).

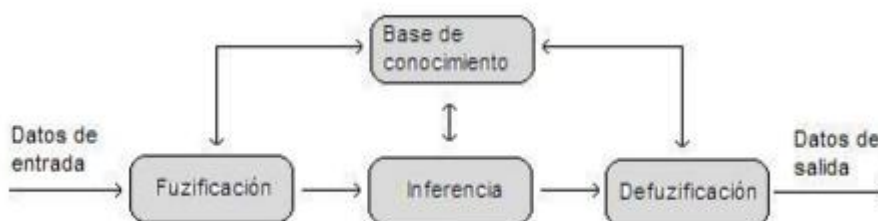


Figura 33. Estructura de un controlador difuso.

Fuente:

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/hernandez_b_ii/capitulo4.pdf

La estructura que conforma un controlador difuso cuenta con el primer bloque llamado Fuzificador, en el que los datos de entrada son procesados para calcular el grado de membresía dentro del controlador.

Posteriormente cuenta con el dispositivo de inferencia en el que mediante la base de conocimientos se toma las decisiones que dictarán las acciones del sistema. El método de inferencia se basa en el grado de pertenencia de los datos de entrada en los conjuntos difusos correspondientes, para tomar una decisión en el espacio de salida.

Las reglas son de tipo antecedente- consecuente: si... entonces..., y existen diversos métodos para llevarla a cabo (mínimo- máximo, máximo-producto, etc.).

La última etapa es el *defuzificador*, que realiza el proceso final adaptando los valores difusos de la inferencia en valores no difusos útiles para el proceso a controlar con métodos como el centro de área, la máxima pertenencia, etc (Bello & Ochoa, 2004).

2.9.5. ESTRUCTURAS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIALES

Dentro de los esquemas de control implementados generalmente en la industria pueden destacarse dos áreas bien definidas:

Parte Operativa. Cuenta con los dispositivos de hardware y software que brindan la información necesaria para llevar a cabo las operaciones de planta necesarias, amigables y entendibles por el operador.

Parte de Control. Se encuentran los dispositivos de control PLC, DCP o PC industriales, que permiten llevar a cabo las acciones de control en conjunto con los actuadores (Ferrari, 2005).

Entre todos los dispositivos anteriormente mencionados puede darse dos tipos de comunicación: vertical, desde la parte de control hacia la operativa y viceversa, y horizontal, entre distintos dispositivos de control del mismo nivel.

A continuación se describen las principales arquitecturas de control, sin embargo, muchas soluciones de automatización se basan en la mezcla o adaptación de las mismas.

2.9.5.1. CONTROL CENTRALIZADO

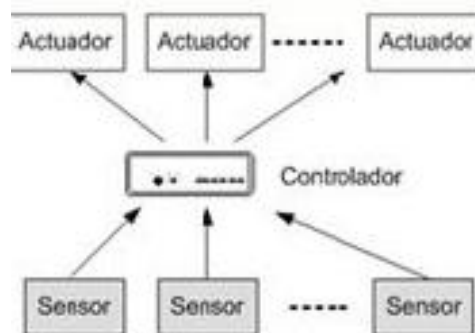


Figura 34. Esquema de Arquitectura Centralizada.

Fuente: www.casadomo.com

Está constituido por un computador, una interfaz de proceso y una interfaz de operación. Dentro de las ventajas principales se puede destacar que facilita el flujo de información y la optimización global del proceso. Como

desventaja se cita su dependencia a la fiabilidad de la capacidad de procesamiento del computador. Una forma de solución es la redundancia de servicios críticos (Ferrari, 2005).

2.9.5.2. CONTROL DISTRIBUIDO

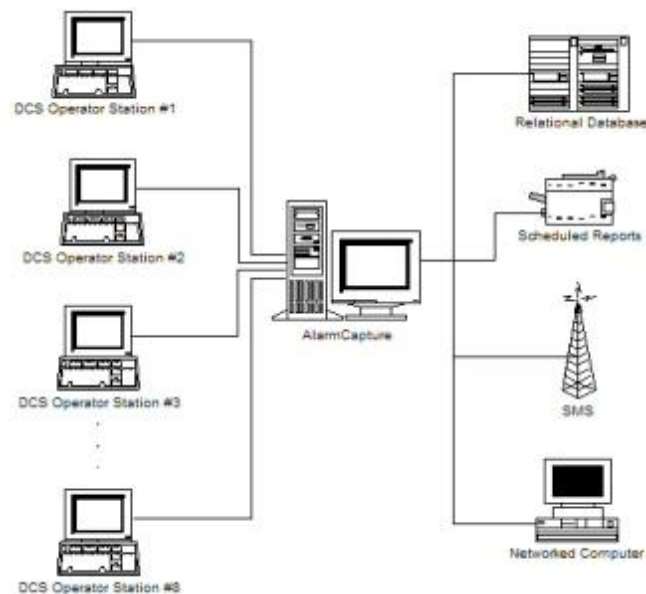


Figura 35. Esquema arquitectura distribuida.

Fuente: <http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/automatizacion/curso-redes-industriales/item/287-introducci%C3%B3n-a-los-sistemas-de-control-distribuido-dcs.html>

En esta arquitectura coexisten varias unidades de control que llevan a cabo las tareas. En caso de avería o sobrecarga de trabajo, es posible transferir todo o parte de las tareas a otras unidades, lo que permite evitar los bloqueos innecesarios del sistema o paradas de planta. Sin embargo, requiere que los diferentes controladores cuenten con una asignación dinámica de tareas y una gran capacidad de acceso y tratamiento de la información.

La desventaja de esta arquitectura es la disminución de la velocidad de comunicación, debido a retardos, posibles desbordamientos en el procesamiento de datos y falta de flujo de información directa entre los controladores (Ferrari, 2005).

CAPÍTULO 3

3. ALTERNATIVAS

En el presente capítulo se detallan las alternativas para el diseño de un sistema de guiado de láminas, examinando cada una de las opciones para todos los componentes del sistema de guiado: partes mecánicas, eléctricas y/o electrónicas, y el sistema de control. El análisis, se realiza mediante el uso de matrices morfológicas, y matrices de evaluación, a cada propiedad de la parte analizada se le otorga una variable, la misma que después de ser que caracterizada es valorada según el grado de importancia o el grado de cumplimiento en función del elemento a diseñar, esto dará como resultado la selección del tipo de mecanismo, de los componentes mecánicos, eléctricos/electrónicos, y del control a implementarse.

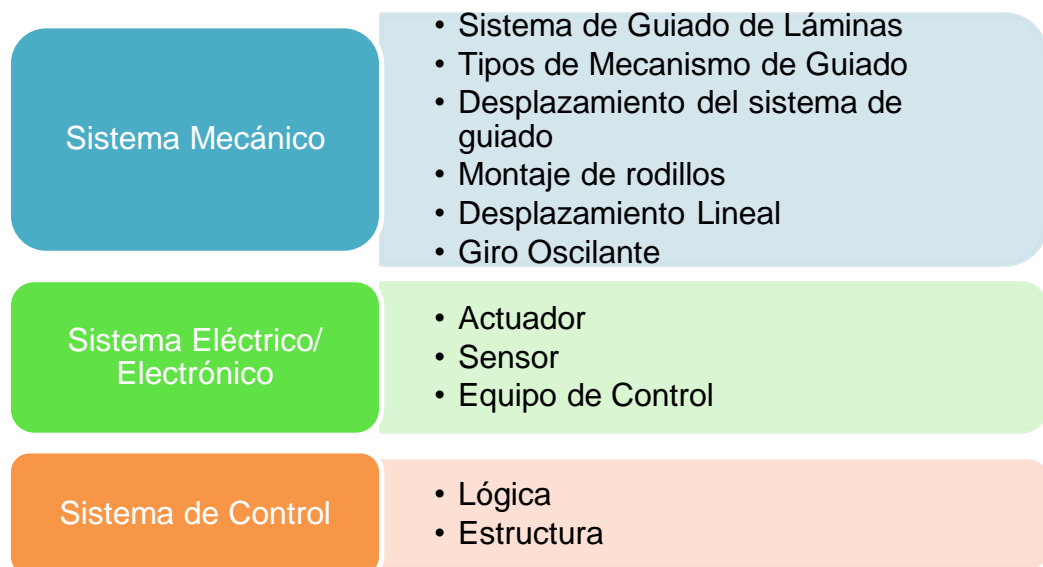


Gráfico 9. Propiedad y/o parte componente del Alineador Automático de Láminas.

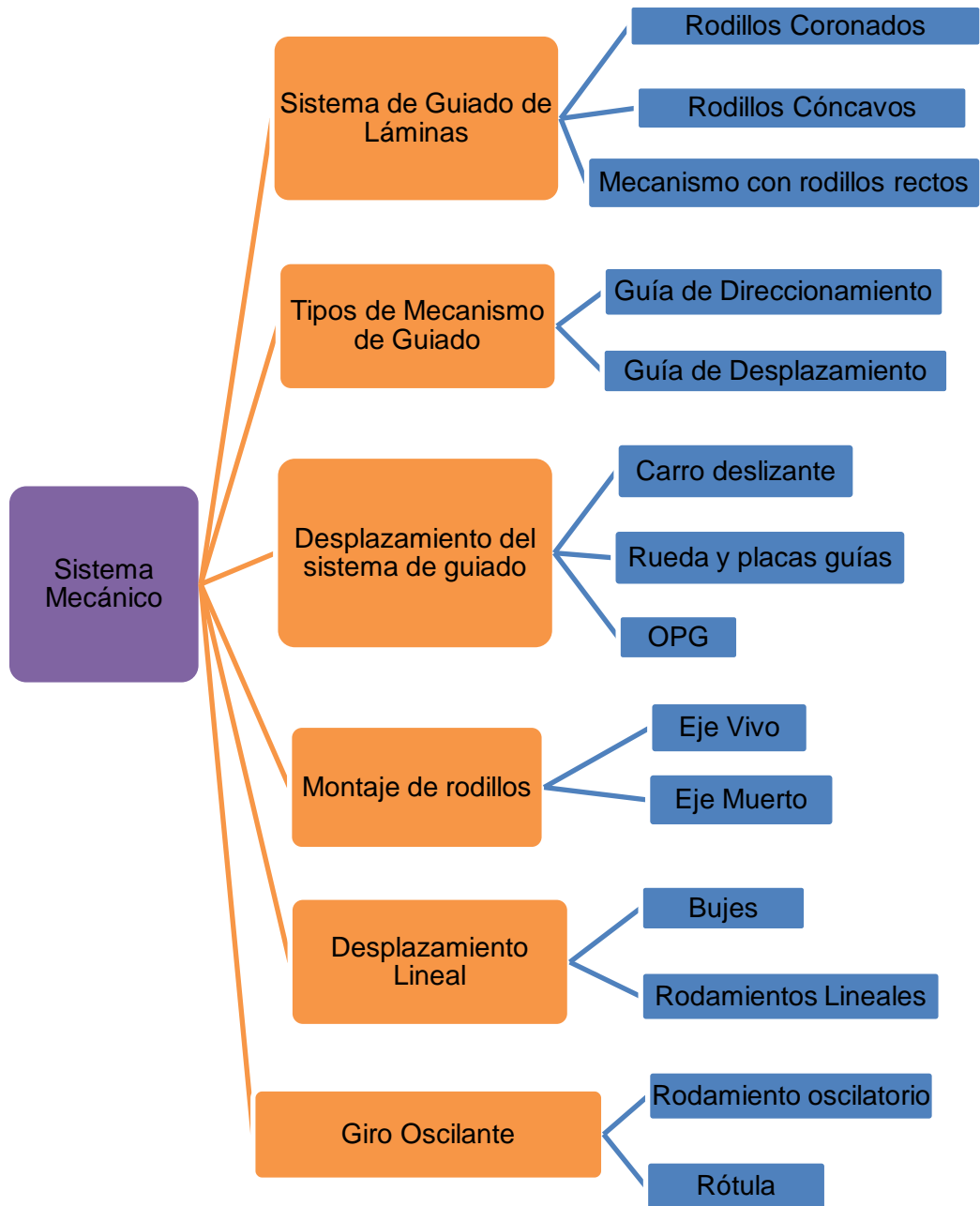


Gráfico 10. Alternativas para el Sistema Mecánico

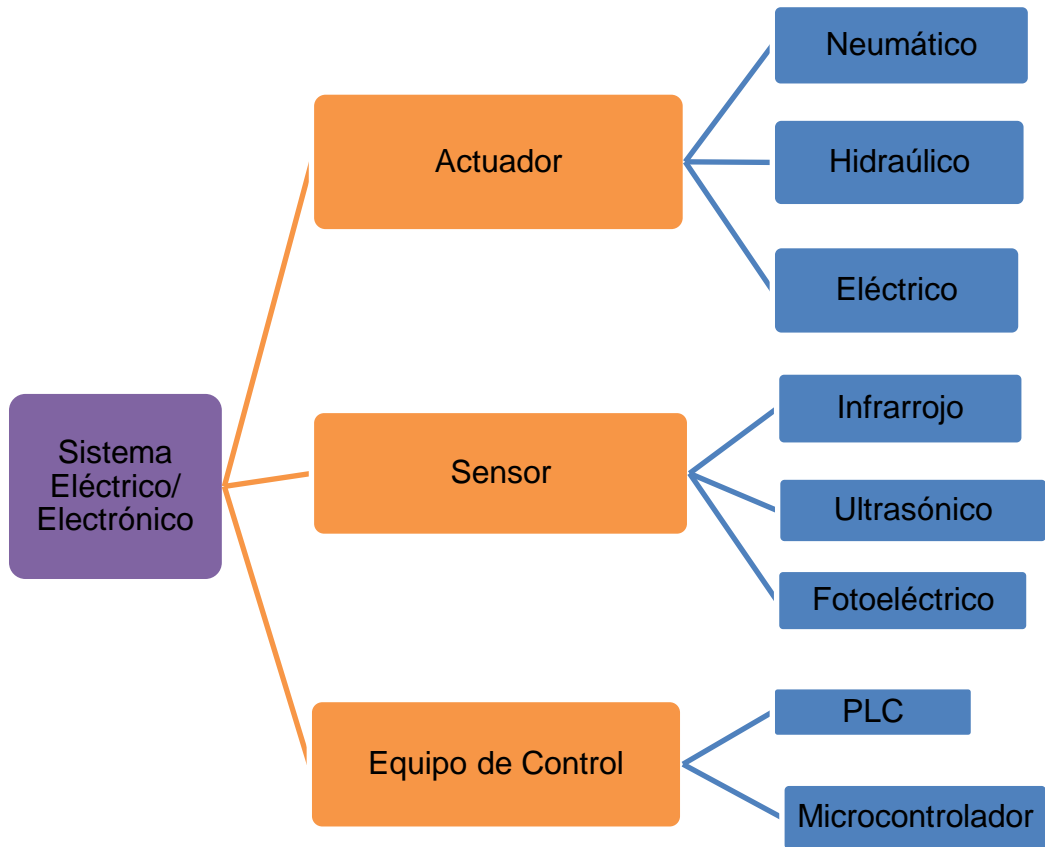


Gráfico 11. Alternativas para el Sistema Eléctrico/Electrónico

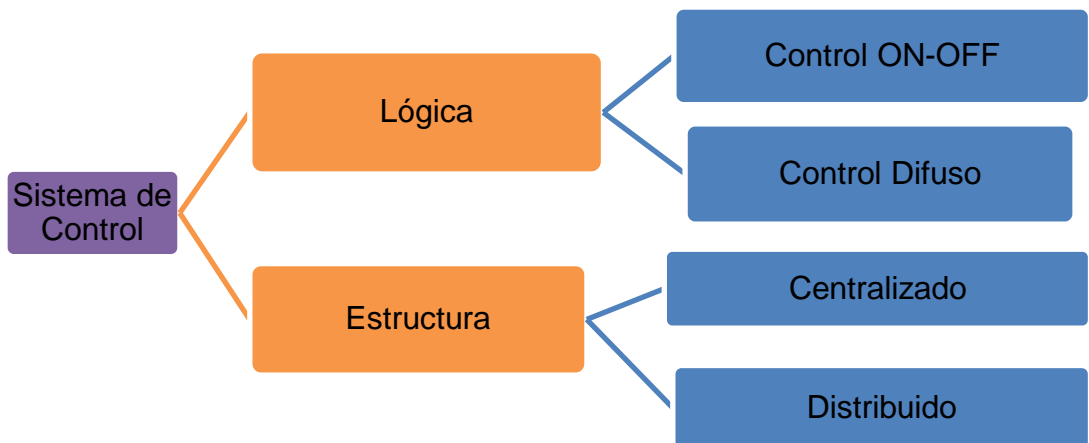


Gráfico 12. Alternativas para el Sistema de Control

3.1. SELECCIÓN DE SISTEMA DE GUIADO DE LÁMINAS

En el capítulo anterior correspondiente a los Fundamentos Teóricos, en la sección 2.7. Sistemas de guiado de láminas, se detalla dos tipos de guiado lateral de láminas, guías activas y pasivas, siendo éstas las únicas alternativas para lograr definir la necesidad de que un dispositivo alineador sea controlado o no. Dentro de las guías pasivas se tiene dos tipos de rodillos que según su geometría o superficie tienen la capacidad de guiado de láminas, y en guías activas el conjunto de un mecanismo mecatrónico con rodillos rectos, se definirán las características o requerimientos de cada sistema, para posteriormente evaluar la mejor opción.

Tabla 7.

Matriz morfológica de sistemas de guiado lateral de láminas.

CARACTERÍSTICAS	Guía Pasivas		Guías Activas
	RODILLOS CORONADOS	RODILLOS CÓNCAVOS	MECANISMOS CON RODILLOS RECTOS
Forma de trabajo para alineación	Alinea mediante la eliminación de la deflexión y el desplazamiento	Permite que las arrugas se difundan hacia los extremos del rodillo.	Mecanismo sensor-controlador- actuador.
Diferencias de diámetro a lo largo del rodillo	0.001"- 0.100"	0.001"- 0.100"	Diámetro Constante
Control de perturbaciones adicionales	Nulo. No corrige un mal diseño ni mala alineación de las máquinas.	Nulo, control de alineación lento.	Corrige perturbaciones propias del sistema (construcción y fallas de alineación) y externas como falta de alineación en la línea de laminación.
Superficie	Totalmente lisa.	Lisa o texturizada para mejorar la adherencia.	Lisa o texturizada.
Materiales con los que trabaja	Todo tipo, a excepción de materiales Non-Woven.	Todo tipo, a excepción de materiales Non-Woven o materiales sensibles a roturas.	Todo tipo, incluyendo material Non-Woven.

CONTINUA 

Diferencias de esfuerzos de la lámina a través de la superficie.	Variaciones en el diámetro a lo largo del rodillo originan diferencias cuantitativas en los esfuerzos de la lámina a través de la superficie sometida al rodillo.	Ver Figura 3.1	Nula debido a la inexistente variación de diámetro a lo largo del rodillo. Figura 3.1
Velocidad a través de la superficie del rodillo (a una misma velocidad angular aplicada al eje del rodillo).	Variable debido a las diferencias de diámetro existentes en varios puntos dadas por su geometría.	Variable debido a las diferencias de diámetro existentes en varios puntos dadas por su geometría.	Constante, no existen diferencias de diámetro en su geometría.
Producción de distorsiones y arrugas.	<ul style="list-style-type: none"> - Ayuda con arrugas producidas en el centro de la lámina, debido a la tensión originada. - Agrava la producción de arrugas en los bordes que no están completamente tensionados. - Debido a su forma no lineal puede ocasionar que el producto se estire, distorsione o rasgue. 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede concentrar arrugas en el centro de la superficie del rodillo. - Debido a su forma no lineal puede ocasionar que el producto se estire, distorsione o rasgue. 	<ul style="list-style-type: none"> - El solapamiento por excesivo desplazamiento lateral puede ser compensado. - La generación de arrugas dependerá de la incorrecta cantidad de tensión aplicada a la lámina.
Ángulos de envoltura del rodillo.	30°-180°	30°-180°	90°-180°
Longitud del rodillo.	Incrementa la longitud original: L=doble ancho de la lámina+ tolerancia de desplazamiento.	Incrementa la longitud original: L=doble ancho de la lámina+ tolerancia de desplazamiento.	Conserva longitud estándar. L=ancho de la lámina+ tolerancia de desplazamiento.
Diseño	A través de ensayos para determinar el incremento necesario, de acuerdo a la aplicación.	A través de ensayos para determinar el decremento necesario, de acuerdo a la aplicación.	Sencillo, considerando las cargas que soporta, la velocidad de funcionamiento y la deflexión.
Fabricación y Costo.	Se requieren talleres especializados. Entre \$2300 a \$2500 en un diámetro de 4".	Se requieren talleres especializados. Entre \$1500 a \$1800 en un diámetro de 4".	Entre \$1000 a \$1500 en un diámetro de 4". Para el mecanismo total se debe considerar un costo de \$7000 a \$10000 con rodillos de diámetro 4".

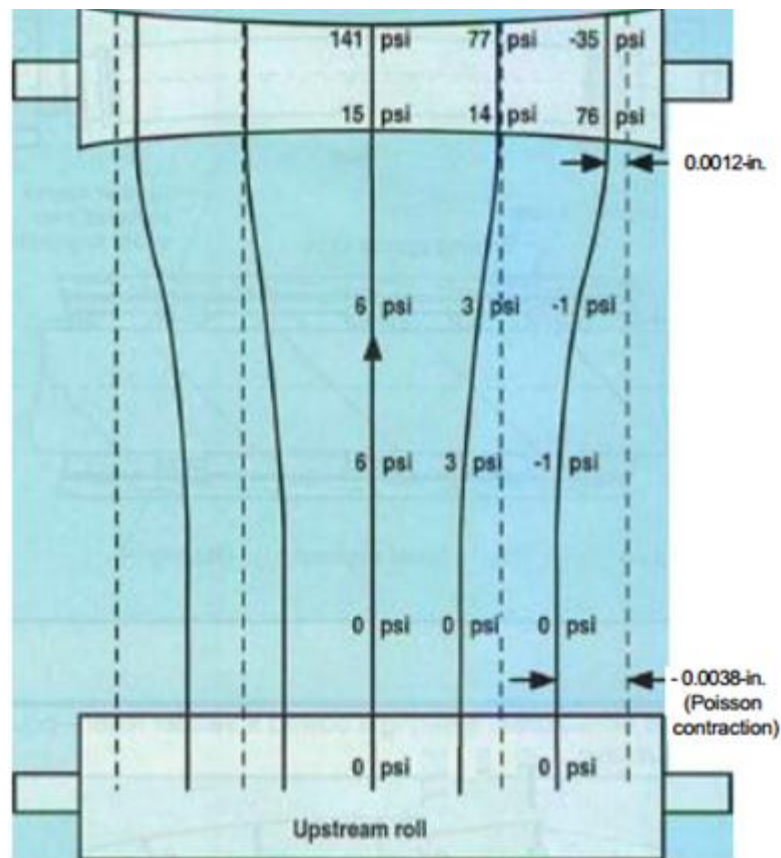


Figura 36. Diferencias de presión a través de un rodillo cóncavo.
Fuente: David Roisum, “The Mechanics of web spreading- Part 1”.

Tabla 8.

Ponderación de características de sistemas de guiado lateral de láminas.

CARACTERISTICAS	IDENTIFICADOR	PUNTAJE
Control de perturbaciones adicionales	CP	10
Materiales con lo que trabaja	M	15
Diferencias de esfuerzos de la lámina a través de la superficie.	VP	10
Velocidad a través de la superficie del rodillo (a una misma velocidad angular aplicada al eje del rodillo).	VS	10
Producción de distorsiones y arrugas.	DA	15
Ángulos de envoltura.	AE	5
Longitud del rodillo.	L	5
Diseño	D	10
Fabricación y Costo.	FC	20
		100

Tabla 9.

Valoración de alternativas de sistemas de guiado lateral de láminas.

TIPO DE RODILLOS	CP	M	V P	V S	DA	A E	L	D	F C	TOTAL
Rodillos Coronados	0	10	5	5	8	2	2	5	10	47
Rodillos Cóncavos	0	10	5	5	8	2	2	5	15	52
Mecanismo con rodillos rectos	10	15	10	10	12	5	5	10	3	80

De acuerdo a la matriz de puntuación, Tabla 3.3. , la alternativa con más valor por ende la más viable es la de realizar un sistema de guiado con rodillos cilíndricos, destacando el control de perturbaciones, la facilidad de diseño, la sencillez de fabricación y el bajo costo de la misma.

3.2. SELECCIÓN DE SISTEMAS MECÁNICOS

Una vez determinado el tipo de sistema de guiado de láminas, se procede a examinar el sistema mecánico y sus componentes, según los requerimientos de diseño propios del sistema de guiado a implementarse.

Tabla 10.

Requerimientos técnicos mecánicos para el sistema de guiado.

SISTEMA MECÁNICO	VARIABLES DEL SISTEMA	ALTERNATIVAS
	Tipos de Mecanismo de Guiado	Guía de Direccionamiento Guía de Desplazamiento
	Desplazamiento del Sistema de Guiado	Carro deslizante Rueda y placas guías OPG
	Montaje de Rodillos	Rodillos eje vivo Rodillos eje muerto
	Desplazamiento Lineal	Bujes Rodamientos Lineales
	Giro Oscilante	Rodamiento Oscilatorio Rodamiento Rótula

3.2.1. TIPOS DE MECANISMOS DE GUIADO

En el capítulo de fundamentos teóricos en la Sección 2.7.2. Guías Activas, se explica los dos tipos de mecanismos posibles, guía de direccionamiento y la guía de desplazamiento, siendo las dos opciones más comunes en la industria que desarrolla el manejo o transporte de láminas.

Tabla 11.

Matriz morfológica de los tipos de mecanismos de guiado.

Características	Steering Guide (Guía de Direccionamiento)	Displacement Guide (Guía de Desplazamiento)
	 <p>Fuente: http://www.namfg.com/g-index/wp-steerguides-index.htm</p>	 <p>Fuente: http://www.aldus.com.au/offset.htm</p>
Espacio	Necesita grandes longitudes para realizar correcciones. Longitud de entrada de 3 a 5 veces el ancho de la lámina.	Bueno para lugares estrechos y tramos cortos. Longitud de entrada mínima igual a la mitad del ancho de la lámina.
Tracción	Necesitan tracción para vencer la fricción y pérdidas de inercia. También tracción lateral para mover la lámina de izquierda a derecha. Cuando no hay suficiente tracción, se pierde el control.	La facilidad en la torsión de la lámina mediante este tipo de guía aporta también en la tracción.
Producción de arrugas en la lámina	La deflexión crea arrugas en ángulos menores que la torsión. Solo corregibles con amplios tramos de entrada.	Incluso teniendo en cuenta el efecto de multiplicación, las guías de desplazamiento crearán menos arrugas en la lámina.
Facilidad de configuración	Es un sistema de 1 ó 2 rodillos en total, ajustando ángulos de envoltura y longitudes de recorrido entre rodillos. Debe sintonizarse su longitud de entrada y evitar geometrías inestables.	Sistema de cuatro rodillos ajustando ángulos de envoltura y longitudes de recorrido entre rodillos.
Velocidad de la línea de trabajo	10 a 150 m/min.	10 a 150 m/min.
Límites de funcionamiento	Ángulos de corrección de máximo 20 grados.	Ángulos de corrección de máximo 7.5 grados.

Tabla 12.

Ponderación de características de tipos de mecanismos de guiado.

CARACTERISTICAS	IDENTIFICADOR	PUNTAJE
Espacio	E	25
Tracción	T	15
Producción de arrugas en la lámina	A	20
Facilidad de Configuración	C	20
Velocidad	V	5
Límites de funcionamiento	LF	15
		100

Tabla 13

Puntuación de alternativas de tipos de mecanismos de guiado.

TIPO DE GUÍA	E	T	A	C	V	LF	TOTAL
Guía de Direccionamiento	10	7	10	10	5	15	57
Guía de Desplazamiento	20	15	20	15	5	10	85

Luego de la valoración respectiva de los dos tipos de mecanismos propuestos, se encuentra que el mecanismo con mejores características es la guía de desplazamiento destacando que el espacio necesario para la implementación del mismo es menor y que esto se considera una limitante importante debido a la distribución de la línea de laminación en la nave industrial.

3.2.2. MECANISMO DE DESPLAZAMIENTO PARA GUIADO

A partir de los resultados anteriores se define el tipo de mecanismo, luego se plantea tres alternativas al mecanismo propuesto que cumplen el principio de una guía de desplazamiento, estas tres alternativas se basan tanto en ideas desarrolladas por los autores como en mecanismos propuestos por empresas fabricantes de sistemas de guiado.

Descripción Alternativa Mecanismo 1

Esta alternativa está compuesta en un extremo por un pivote, y en el otro por dos mecanismos de carro deslizante. El centro de la circunferencia descrita por este mecanismo se encuentra en el pivote.

El carro deslizante consta de un riel guía de radio constante, unido a la base del mecanismo, y una estructura con ruedas curvas, conectado a la mesa superior o bastidor, como se observa en la figura 3.2. Este mecanismo sirve de apoyo a un extremo del bastidor y a su vez para mantener el desplazamiento circular del sistema de guiado.

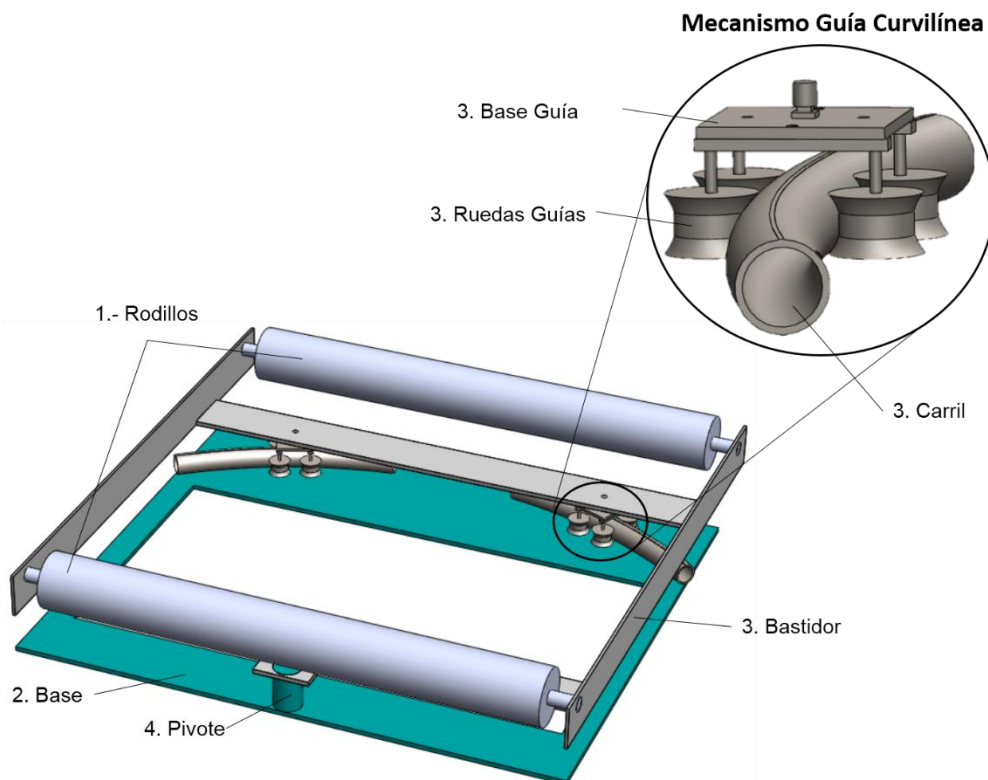


Figura 37. Alternativa 1: mecanismo con carro deslizante.

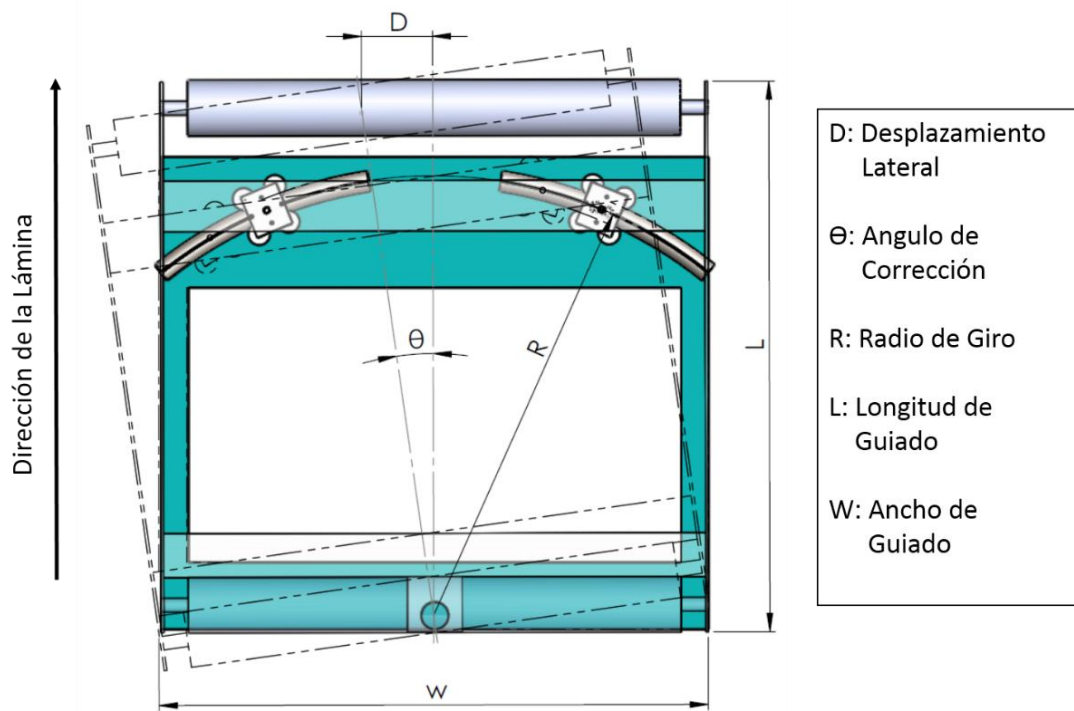


Figura 38. Movimiento de Mecanismo de Alternativa 1.

Descripción Alternativa Mecanismo 2

La siguiente opción, parecida a la anterior consta de un pivote y dos mecanismos de rueda de bola con placas guías, como se observa en la figura 3.4. El centro de la circunferencia igual que la anterior alternativa se encuentra en el pivote.

La pieza rueda de bola se encuentra unida al bastidor y las placas con destaje a la base, con la curvatura guía que tienen las placas, las ruedas de bola seguirán el trayecto circular asegurando estabilidad en el movimiento.

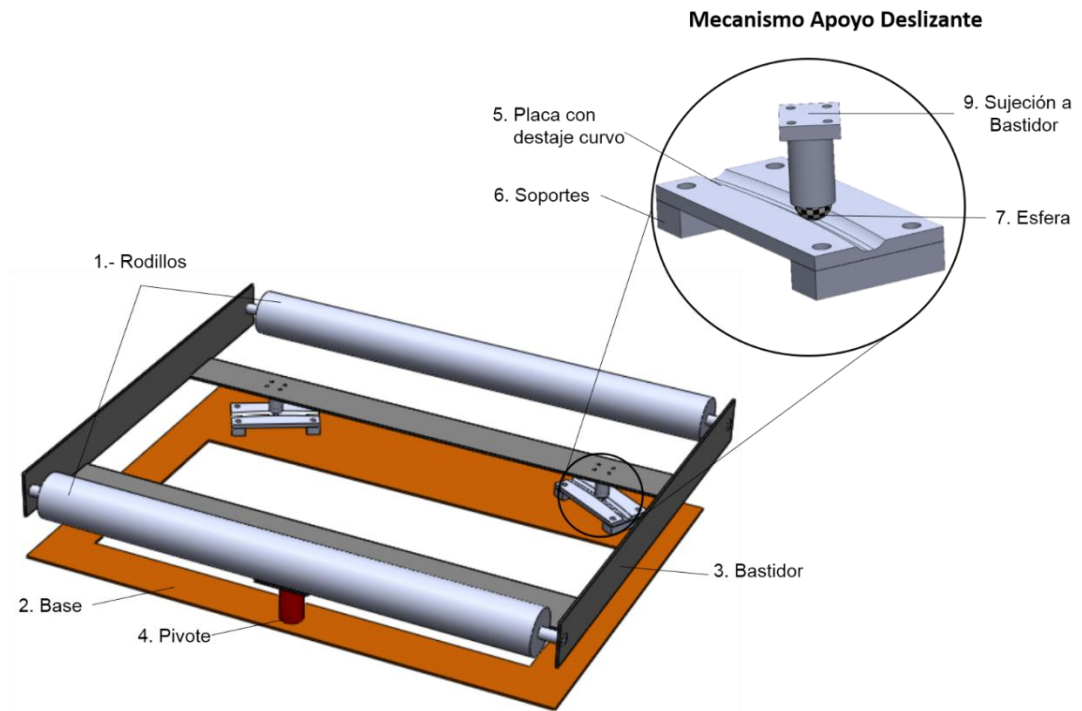


Figura 39. Alternativa 2: mecanismo con ruedas de bola y placas guías.

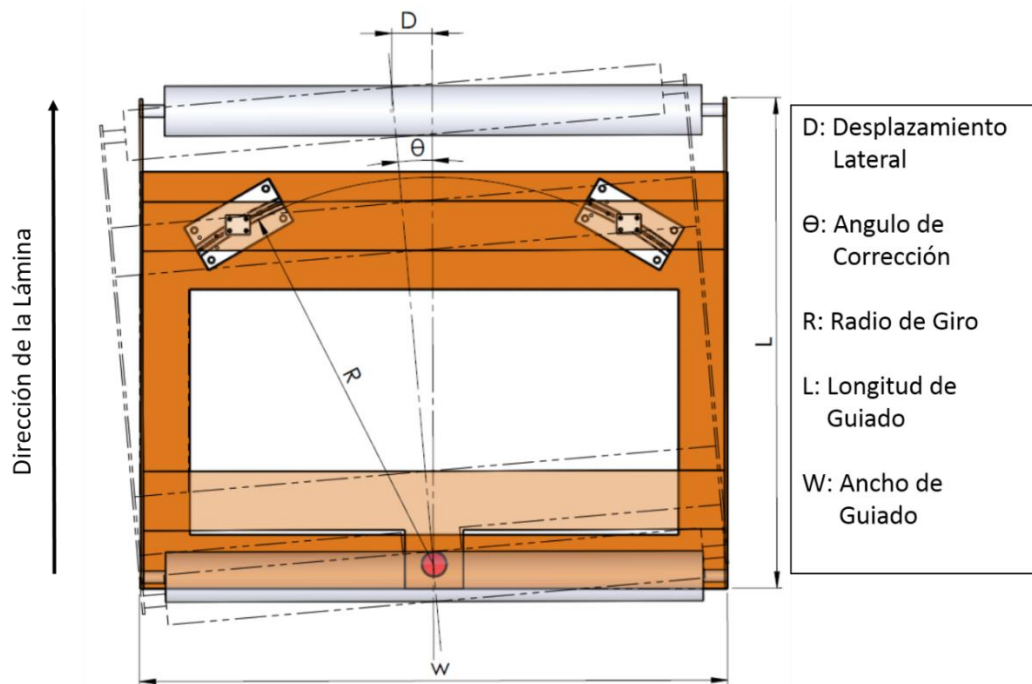


Figura 40. Movimiento de Mecanismo de Alternativa 1.

Descripción Alternativa Mecanismo 3

Como última alternativa se encuentra el mecanismo desplazamiento de pivote, que para su diseño se ha tomado como referencia los sistemas de guiado OPG (offset pivot guide), fabricados por la empresa FIFE.

El mecanismo consta de cuatro ejes de apoyo, que estos mediante soportes se encuentran conectados a la base, y un sistema de rodamientos lineales y rotulas radiales, unidos al bastidor, como se observa en la figura 3.6.

La principal característica de este sistema es que no consta de un pivote, ya que este es imaginario, al moverse hacia alguna dirección el pivote se desplaza fuera del punto inicial debido a que este mecanismo no sigue una trayectoria completamente circular, el movimiento circular está dado por el ángulo de los ejes de apoyo y una rotula que otorgará la compensación angular necesaria para que el bastidor pueda desplazarse hacia alguna dirección.

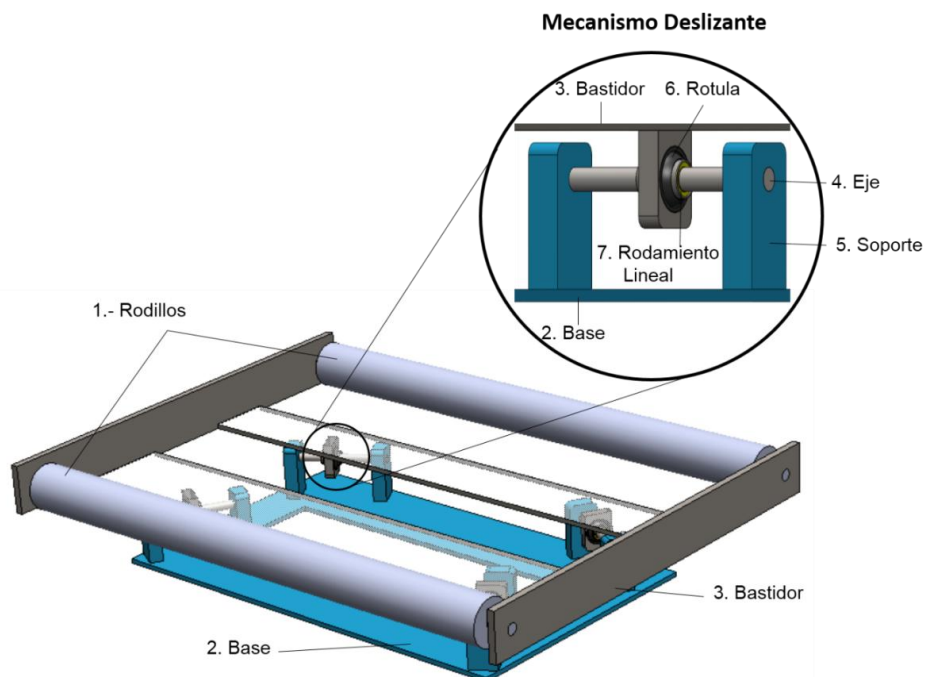


Figura 41. Alternativa 3 mecanismo OPG.

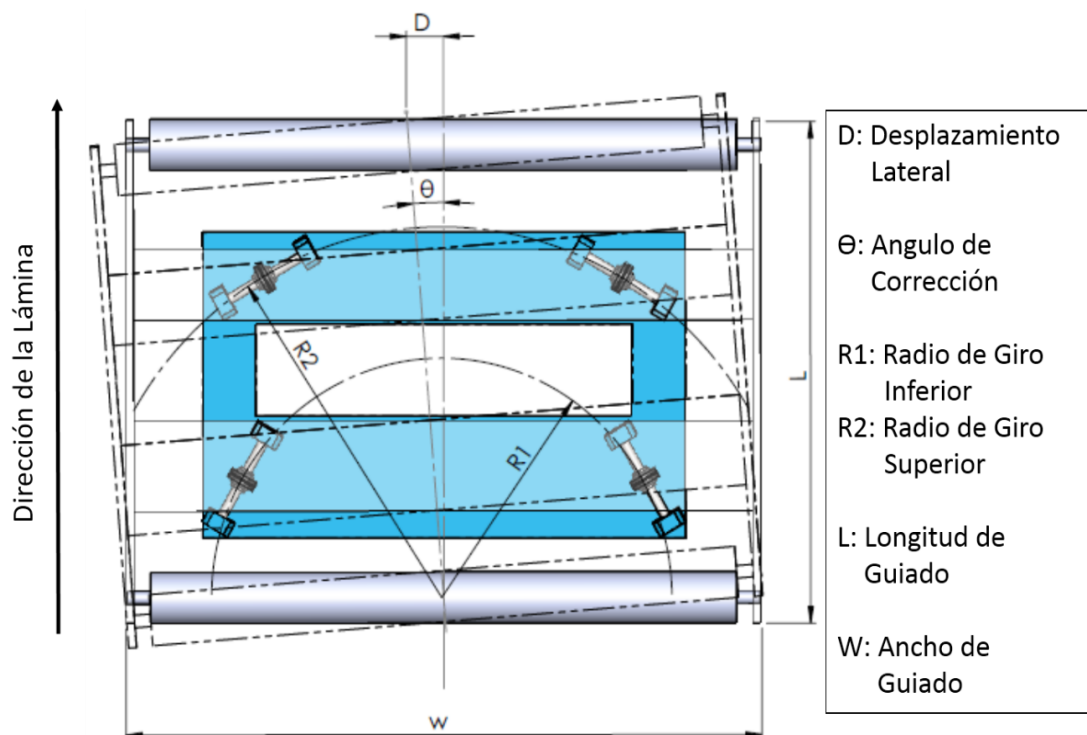


Figura 42. Movimiento de Mecanismo de Alternativa 1.

Tabla 14.

Matriz morfológica de mecanismo de desplazamiento para guiado.

Características	Alternativa 1 Carro Deslizante	Alternativa 2 Ruedas de bola y placas guías	Alternativa 3 OPG
Espacio	El pivot, centro de la trayectoria circular debe ser colocado dentro de mecanismo, por lo que su longitud total se incrementa.	El pivot, centro de la trayectoria circular debe ser colocado dentro de mecanismo, por lo que su longitud total se incrementa.	Al ser el pivot imaginario, se lo puede ubicar fuera del mecanismo por lo que no se considera un incremento en longitud total.
Fabricación	Dificultad de fabricación en componentes. El mecanismo debe ser maquinado en centros de mecanizado especializados o en su defecto importarlo ya ensamblado.	Las ruedas de bola deben ser fabricadas de un material tanto resistente a la fricción como al peso de todo el mecanismo de alineación. El mecanizado de las ruedas debe realizarse en centros CNC.	El sistema es ensamblado en base a rodamientos que se pueden adquirir fácilmente en el mercado.

CONTINUA



Capacidad de carga	De 400 a 1100 N en dirección axial y de 550 a 1600 N en dirección radial.	Para diámetros de bola entre media y una pulgada, capacidades de carga de 360 a 2200 N. A mayor carga, originará mayor fricción.	Ideal para cargas altas: de 100 a 4000 N, por presentar cuatro puntos de apoyo. Al estar conformado por elementos deslizantes la fricción no es un factor determinante.
Frecuencia de Mantenimiento	Mantenimiento frecuente debido a la facilidad de acumulación de polvo y suciedades que desestabilicen el deslizamiento de las ruedas guía a través de la guía curvilínea.	Mantenimiento frecuente debido a la facilidad de acumulación de polvo y suciedades en las guías ranuradas del mecanismo.	Rótulas libres de mantenimiento y rodamientos intercambiables de acuerdo al plan de mantenimiento de la empresa. Facilidad de ensamble y desmontaje.
Costo	Alto costo debido a la fabricación y/o necesidad de importación del mecanismo y componentes. 360 a 500 dólares por mecanismo de guía curvilínea.	Costo moderado. De 200 a 250 dólares por mecanismo.	Bajo costo, los componentes son de fácil adquisición. De 300 a 400 dólares por lado, es decir, de 150 a 200 dólares por mecanismo.

Tabla 15.

Ponderación de características para el mecanismo de desplazamiento para guiado.

CARACTERISTICAS	IDENTIFICADOR	PUNTAJE
Espacio	E	15
Fabricación	F	20
Capacidad de Carga	CC	25
Frecuencia de mantenimiento	M	20
Costo	C	20
		100

Tabla 16.

Valoración de alternativas para el mecanismo de desplazamiento para guiado.

TIPO DE GUÍA	E	F	CC	M	C	TOTAL
Alternativa 1	8	6	10	10	8	42
Alternativa 2	8	14	16	10	18	66
Alternativa 3	12	18	22	18	12	82

Una vez puntuadas las tres alternativas se determinó que la opción de mecanismo que mejor se adapta a los requerimientos mecánicos y de funcionamiento es la número tres, el sistema OPG (offset pivot guide), sobresaliendo como factores determinantes la fabricación y el costo del sistema.

3.2.3. MONTAJE DE RODILLOS EN MECANISMOS DE GUIADO

El montaje de rodillos en estructuras es elemental debido a diversos factores, como velocidades de trabajo, tiempos de vida útil, deflexiones y la inercia rotacional según el tipo. Dentro del capítulo previo en la Sección 2.8.1.1 Tipos de Rodillos se detalla los distintos tipos de montaje de rodillos, así como sus características principales, de los tres tipos se eligen dos alternativas, debido a que el montaje en voladizo no es válido o aplicable para la infraestructura de la línea de producción, ni para las alternativas del sistema de guiado anteriormente elegidas.

Tabla 17.

Matriz morfológica de tipos de montaje de rodillos.

Características	Eje Vivo	Eje Muerto
Capacidad de Cargas	El tamaño del rodamiento no se limita al tamaño del cuerpo o carcasa del rodillo, por lo tanto, se pueden utilizar cojinetes más grandes con capacidades de carga superiores. De 500 a 5000 lbf.	La carga será distribuida en el eje y el apoyo o empotramiento, por lo que se debe tomar consideraciones especiales de factores cortantes en el diseño. De 500 a 2500 lbf.
Aplicación	Rodillos de alta precisión, o de procesamiento, ambientes de trabajo pesado, como hornos de alta temperatura o productos químicos fuertes	Controles de deflexión multipunto, controles de tensión. Sistemas de guiado.
Peso	Para cualquier diámetro de carcasa, el peso es reducido por no contar con eje pasante.	Para cualquier diámetro de carcasa, el peso depende del diámetro y largo del eje pasante.
Deflexión	La posición distante de rodamientos hacia el centro del rodillo hace que los puntos de apoyo estén más alejados y por lo tanto la carcasa presente mayores deflexiones.	Los rodamientos más cercanos a la carcasa traducen los esfuerzos al eje y como resultado se producen menores deflexiones a lo largo de la misma.
Inercia Rotacional	Mayor, al ser la masa de todo el rodillo (considerando la carcasa y el eje).	Menor, al ser la masa solo de la carcasa.
Mantenimiento	Reemplazo y desmontaje de rodamientos presenta dificultad baja. Se requiere rectificaciones cilíndricas de la carcasa por el desgaste. Fácil recalibración de balanceo estático y dinámico.	La dificultad en el reemplazo, montaje y desmontaje de rodamientos depende del diseño de la manzana o elemento contenedor de rodamiento. Se requiere rectificaciones cilíndricas de la carcasa por el desgaste. Dificultad media en el balanceo dinámico y estático.
Costo	Menor costo, debido a la cantidad de material necesario para su fabricación. Entre \$600 a \$900 en un diámetro de carcasa de 4".	Costo moderado, se refleja en la cantidad de material al necesitar para la manzana y el eje pasante completo. Entre \$1000 a \$1300 en un diámetro de carcasa de 4".

Tabla 18.

Ponderación de características para montaje de rodillos.

CARACTERISTICAS	IDENTIFICADOR	PUNTAJE
Manejo de Cargas	CC	8
Aplicación	A	17
Peso	P	8
Deflexión	D	15
Inercia Rotacional	IR	20
Mantenibilidad	M	18
Costo	C	14
		100

Tabla 19.

Valoración de alternativas para montaje de rodillos

TIPO DE GUÍA	CC	A	P	D	IR	M	C	TOTAL
Eje Vivo	8	10	7	8	10	15	12	70
Eje Muerto	5	17	5	15	20	8	8	78

El tipo de rodillo más conveniente para el sistema de guiado según el análisis previo, es el de eje muerto, presentando grandes ventajas en cuanto a inercia rotacional y deflexión de la carcasa.

3.2.4. COMPONENTES PARA DESPLAZAMIENTO LINEAL

De acuerdo a la alternativa escogida para el tipo de mecanismo, como se muestra en la figura 3.6., se procede a examinar las principales partes del mismo, entre esas se encuentra el mecanismo de deslizamiento lineal, compuesto por un eje fijo y un componente que tenga la capacidad de deslizarse sobre el eje, que sea apto para soportar cargas altas y tenga bajos índices de fricción, dentro de las alternativas se plantea dos elementos, el buje o bocín y el rodamiento lineal, en la siguiente matriz morfológica se plantea las principales características de cada uno para el trabajo necesario.

Tabla 20.

Matriz morfológica de componentes para desplazamiento lineal.



Características	Buje/Bocín	Rodamiento Lineal
	 <p data-bbox="644 660 970 779">Fuente: http://www.guiadelaindustria.com/producto/buje-de-bronce-con-pestana/56489</p>	 <p data-bbox="1002 667 1369 846">Fuente: http://www.skf.com/ar/products/linear-motion/linear-guides-and-tables/linear-ball-bearings/linear-ball-bearing-lbc/index.html</p>
Cargas que soportan	Cargas no muy elevadas, depende del espesor del anillo. Para un espesor de 5 mm, cargas dinámicas de 22000 N.	Trabaja bien para cargas altas y bajas, dependiendo del tipo de rodamiento. Para diámetro en entre 5 a 80 mm, cargas dinámicas de 37500 N.
Aplicación	Gran cantidad de aplicaciones desde roldanas en excavadoras, mecanismos robóticos, CNC's, cadenas, etc. No recomendado para trabajos continuos y de altas velocidades de desplazamiento. Velocidad lineal máxima de 0.5 m/s.	Aplicaciones de elevadas cargas, y de bajo índice de rozamiento. Buenos para la compensación en errores de alineación, Trabajan para altas velocidades y aceleraciones. Velocidad lineal máxima de 5 m/s.
Tiempo de Vida útil	Bajo debido al desgaste excesivo por fricción.	Al existir bajo rozamiento y al ser constituido por bolas, el tiempo de vida aumenta, dependiendo del fabricante.
Mantenibilidad	No es apta para mantenimiento, cuando ha existido desgaste se necesita cambio total. Desgasta excesivo al eje, por ende necesidad de rectificación al mismo.	Fácil mantenimiento, reducen el desgaste del eje hasta un 50%. Con buen tratamiento superficial del eje, junto con el rodamiento reducen la necesidad de mantenimientos continuos.
Costo	Bajo, sin embargo la necesidad de reposición continua de la parte podría incrementar el costo a largo plazo. De 10 a 30 dólares, dependiendo del diámetro y el espesor (puede ser maquinado).	Costo moderado, de 30 a 100 dólares dependiendo del diámetro.

Tabla 21.

Ponderación de características para componentes de desplazamiento lineal.

CARACTERISTICAS	IDENTIFICADOR	PUNTAJE
Capacidad que soportan	CC	17
Aplicación	A	13
Tiempo Vida útil	V	22
Mantenibilidad	M	30
Costo	C	18
		100

Tabla 22.

Valoración de alternativas para componentes de desplazamiento lineal.

TIPO DE GUÍA	CC	A	V	M	C	TOTAL
Buje/Bocín	8	10	9	11	10	48
Rodamiento Lineal	15	12	20	24	15	86

El análisis de la tabla, señaló como el componente de mejores características al rodamiento lineal por su elevado tiempo de vida útil, la capacidad de carga y su bajo mantenimiento requerido, siendo estas características imprescindibles para el correcto funcionamiento del sistema.

3.2.5. RODAMIENTOS PARA GIRO OSCILANTE O COMPENSACIÓN DE ÁNGULO.

Una vez determinado el componente para el deslizamiento lineal, se procede a examinar las alternativas del componente que brindará la compensación angular necesaria para que el mecanismo logre una trayectoria curva. Entre los componentes investigados, se encuentran dos principales como son los rodamientos oscilatorios y el rodamiento rótula.

Tabla 23.
Matriz morfológica de componentes para giro oscilante.



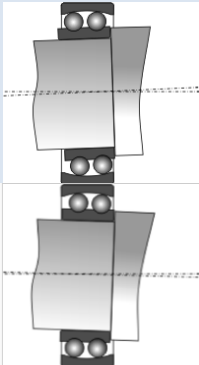

Características	Rodamiento Oscilatorio	Rótula
	 <p data-bbox="643 618 994 824">Fuente: http://www.skf.com/cl/industria-soluciones/pulp-paper/processes/paper-making/finishing/supercalenders/skf-self-aligning-ball-bearings.html</p>	 <p data-bbox="1023 618 1390 768">Fuente: http://www.elrodamiento.com/v_portal/informacion/informacionver.asp?cod=5280&te=1515&idage=6122&vap=0</p>
Capacidad de Cargas	Medias y bajas, depende del diámetro de las bolas internas que lo componen, por ende varía el diámetro externo del rodamiento.	Bueno para cargas altas, debido a su geometría, con diámetro menor al de un rodamiento oscilatorio.
Aplicación	Para auto alineación de ejes, son insensibles a flexiones de ejes. Funcionan a altas velocidades.	Mecanismos especiales y de precisión. Se manejan bien en bajas velocidades de deslizamiento.
Espacio	El espacio necesario para el montaje es amplio, debido al diámetro exterior.	Diámetro exterior reducido para cualquier tipo de cargas en relación al oscilante, por ende ocupa menor espacio en el alojamiento.
Grados de libertad	<p data-bbox="643 1290 994 1469">Dos grados de libertad, correspondientes al giro del aro interior respecto a los dos ejes geométricos perpendiculares al eje del aro exterior.</p> 	<p data-bbox="1023 1290 1374 1323">Tres grados de libertad.</p> 
Mantenibilidad	Mantenimiento para el cambio de rodamiento.	Se encuentran en el mercado rótulas libres de mantenimiento.
Costo	De 50 a 250 dólares dependiendo del diámetro y la capacidad de carga dinámica.	De 50 a 350 dólares dependiendo del diámetro y la capacidad de carga dinámica.

Tabla 24.

Ponderación de características de componentes para giro oscilante.

CARACTERÍSTICAS	IDENTIFICADOR	PUNTAJE
Capacidad de Cargas	CC	16
Aplicación	A	10
Espacio	E	25
Grados de Libertad	GL	12
Mantenibilidad	M	20
Costo	C	17
		100

Tabla 25.

Valoración de alternativas para componentes para giro oscilante.

TIPO DE GUÍA	CC	A	E	GL	M	C	TOTAL
Rodamiento Oscilatorio	10	6	10	7	10	13	56
Rótula	16	8	20	10	20	9	83

Dentro de las alternativas para el giro oscilante, las dos opciones son válidas pero de acuerdo a los requerimientos del sistema y siendo el espacio el más importante, seguido por la capacidad de carga, la rótula es seleccionada como la mejor opción para ayudar a la compensación del ángulo para la trayectoria de la máquina.

3.3. SISTEMA ELÉCTRICO- ELECTRÓNICO

Habiendo analizado y seleccionado las alternativas adecuadas para solucionar las particularidades en cuanto al sistema mecánico, se procede a detallar y analizar las alternativas eléctrico- electrónicas que complementarán la solución global del sistema de guiado.

Tabla 26.

Requerimientos técnicos eléctrico- electrónicos para el sistema de guiado.

	VARIABLES DEL SISTEMA	ALTERNATIVAS
SISTEMA ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO	Actuador	Neumático
		Hidráulico
		Eléctrico
	Sensor	Infrarrojo
		Ultrasónico
		Fotoeléctrico
	Equipo de Control	PLC
		Microcontrolador

3.3.1. ACTUADOR

En el capítulo de fundamentos teóricos en la sección Actuador, principalmente en la parte dedicada a Tipos de Actuadores utilizados para Sistemas de Guiado, se describen las principales características de los actuadores que se pueden utilizar en esta clase de sistema con sus ventajas y desventajas, por lo que simplemente se procederá a analizar esta información y en base a la valoración se seleccionará el componente adecuado.

Tabla 27.

Matriz Morfológica de actuadores para el sistema de guiado.




Características	NEUMÁTICO	HIDRÁULICO	ELÉCTRICO
	 <p>Fuente: http://www.automationdirect.com/adc/Overview/Catalog/Pneumatic_Components/Pneumatic_Air_Cylinders/Round_Body_Air_Cylinders_(A-Series)</p>	 <p>Fuente: http://www.tougu.com.tw/en/products_2_detail_dd.php?ulD=5&cID=19&Key=43</p>	 <p>Fuente: www.tougu.com.tw/en/products_2_detail_dd.php?ulD=5&cID=19&Key=43</p>
Precisión	Media	Media	Alta precisión debido al movimiento de sus componentes mecánicos. Con y sin retroalimentación de la posición.
Velocidad	Media	Baja	Gran control y ajuste de velocidad.
Confiabilidad	Media	Media	Alta
Repetibilidad	Poca	Poca	Alta
Fuerza de empuje	Baja- media.	Media- alta.	Baja- media. Posibilidad de realizar ajuste.
Control a altas frecuencias	Ninguno	Ninguno	Adecuado.
Ambiente	Adecuado para ambientes donde la contaminación es un tema crítico.	Utilizados en zonas con peligro de explosión.	Adecuado para ambientes limpios.
Mantenimiento.	Requerido: limpieza y cambio de partes.	Requerido: limpieza, cambio de fluido hidráulico y cambio de partes.	No requiere mantenimiento.
Requerimientos adicionales	Sensor y sistema de control electroneumático.	Unidad de alimentación.	Fuente de poder.
Costo	Medio.	Elevado.	Medio.

Tabla 28.

Ponderación de actuadores para el sistema de guiado.

CARACTERISTICAS	IDENTIFICADOR	PUNTAJE
Precisión	P	15
Velocidad	V	15
Confiabilidad	CF	10
Repetibilidad	R	10
Fuerza de Empuje	FE	10
Control a altas frecuencias	CAF	5
Ambiente	A	5
Mantenimiento	M	10
Requerimientos adicionales	RA	5
Costo	C	15
TOTAL		100

Tabla 29.

Valoración de actuadores para el sistema de guiado.

ACTUADOR	P	V	CF	R	FE	CAF	A	M	RA	C	TOTAL
NEUMÁTICO	10	9	7	6	4	1	4	5	2	8	56
HIDRÁULICO	8	5	6	4	9	1	2	3	2	10	50
ELÉCTRICO	14	14	8	8	6	4	3	8	4	8	77

Como resultado de la valoración, claramente se puede apreciar que el actuador eléctrico cumple de mejor manera los requerimientos inherentes al sistema de guiado en los que se ha establecido como puntos focales la precisión, velocidad y costo, siendo el actuador eléctrico el más destacado en estos aspectos.

3.3.2. SENSOR

En el capítulo de fundamentos teóricos en la sección Sensor, principalmente en la parte dedicada a Características a considerar en la selección de Sensores para Sistemas de Guiado, se describen los aspectos

importantes dentro de la selección, referente a su modo de selección se procederá a valorarlos para escoger el componente adecuado.

Tabla 30.

Matriz Morfológica de sensores para el sistema de guiado.




CARÁCTER- ISTICAS	INFRARROJO	ULTRASÓNICO	FOTOELÉCTRICO
	 <p>Fuente: http://www.directindustry.es/prod/balluff/sensores-distancia-infrarrojos-7415-927211.html</p>	 <p>Fuente: http://www.tme.eu/es/katalog/sensores-de-ultrasonido_100438/</p>	 <p>Fuente: http://www.tme.eu/es/details/vte18-4p4212/sensores-fotoopticos-estandar/sick/</p>
Materiales que detecta	Transparentes y no transparentes, materiales gruesos. Son mejores para láminas opacas	Láminas claras o transparentes, fotosensibles. Presentan problemas con materiales non woven o láminas malladas.	Todo tipo de material, principalmente opaco.
Ambiente	Afectados por polvo u otros contaminantes.	No afectada por la contaminación o cambio de transparencia del material.	No afectado por contaminación.
Compensación de temperatura	No	Si. Altamente lineal e insensible a las variaciones del material.	No
Precisión	Alta	Alta	Máxima ganancia en un rango proporcional.
Banda de detección	Media	Amplia	Amplia.
Costo	Medio	Medio	Elevado

Tabla 31.

Ponderación de sensores para el sistema de guiado.

CARACTERISTICAS	IDENTIFICADOR	PUNTAJE
Materiales que detecta	M	30
Ambiente	A	20
Compensación de temperatura	CT	5
Precisión	P	20
Banda de detección	BD	10
Costo	C	15
TOTAL		100

Tabla 32.

Valoración de sensores para el sistema de guiado.

SENSOR	M	A	CT	P	BD	C	TOTAL
INFRARROJO	20	5	1	15	4	10	55
ULTRASÓNICO	10	18	5	15	8	10	66
FOTOELÉCTRICO	28	12	1	18	8	7	74



Como resultado de la valoración, se puede determinar que el sensor fotoeléctrico obtiene la mayor valoración al satisfacer sobresalientemente los requerimientos inherentes al sistema de guiado. Se ha establecido como puntos claves los materiales que puede detectar el sensor, el ambiente de trabajo en que se puede instalar, la precisión y el costo.

3.3.3. EQUIPO DE CONTROL

En el capítulo de fundamentos teóricos en la sección Equipos para el Control del Sistema de Guiado se describen los componentes físicos y características del PLC, sin embargo, se puede establecer como alternativa adicional a esta un sistema compuesto por un microcontrolador y accionamientos de potencia. Por esta razón se procederá a analizar estas dos alternativas en cuanto a equipos de control para el sistema de guiado.

Tabla 33.

Matriz Morfológica de equipos de control para sistemas de guiado.

CARÁCTER- ÍSTICAS	PLC	MICROCONTROLADOR
	 <p data-bbox="512 1279 978 1406">http://global.wago.com/en/products/product-catalog/components-automation/modular-io-system-series-750-753/overview/index.jsp</p>	 <p data-bbox="1011 1279 1390 1375">http://www.electronica-basica.com/microcontroladores.html</p>
Velocidad de Procesamiento	PLC de gama baja y media relativamente lentos.	Mayor poder de procesamiento que PLC de gama baja y media.
Partes constitutiva	<ul style="list-style-type: none"> - Tiene una estructura modular. - CPU: cerebro (microcontrolador). - MEMORIA: Externa al microcontrolador. - Fuente de alimentación. - Reloj en Tiempo Real. - Entradas y Salidas. Análogas o Digitales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Emplean arquitectura Harvard y o Neuman. - Requiere varios diseños y desarrollos de hardware específicos. - unidad central de procesamiento, memoria y unidades de E/S (entrada/salida).

CONTINUA



Lenguaje de Programación / Software	- Diagrama de Funciones - Ladder - GRAFCET	- Assembler - Código C - Basic
Comunicaciones	- Interfaz con el humano mediante RS232 o Ethernet. - Bus de campo o de terreno dedicado.	Generalmente solo soporta comunicaciones de tipo serial, sincrónicas o asincrónicas.
Tareas asignadas	Básicas del sector industrial, que requieran de bajo procesamiento.	Complicadas que requieran de un alto procesamiento.
Flexibilidad	Adecuado para futuras expansiones, sin limitación.	Se lo puede reprogramar sin embargo se lo debe adaptar físicamente si los requerimientos sobrepasan los limitantes.
Soporte Técnico	Gran disponibilidad en poco tiempo.	Poca disponibilidad en largo tiempo.
Costo	Elevado.	Bajo

Tabla 34.

Ponderación de equipos de control para el sistema de guiado.

CARACTERISTICAS	IDENTIFICADOR	PUNTAJE
Velocidad de Procesamiento	VP	10
Partes Constitutivas	PC	10
Lenguajes de Programación/ Software	LP	5
Comunicaciones	CM	10
Tareas Asignadas	TA	15
Flexibilidad	F	20
Soporte Técnico	ST	10
Costo	C	20
TOTAL		100

Tabla 35.

Valoración de equipos de control para el sistema de guiado.

EQUIPO	VP	PC	LP	CM	TA	F	ST	C	TOTAL
PLC	4	8	4	8	10	17	9	10	70
MICROCONTROLADOR	8	5	3	5	12	10	5	15	63

Como resultado de la valoración, se puede establecer que el equipo de control adecuado para cumplir los requerimientos del sistema de guiado en los que se ha establecido como puntos focales las tareas asignadas, la flexibilidad y el costo, es el PLC.

3.4. SISTEMA DE CONTROL

Una vez determinados todos los componentes físicos que formarán parte del sistema de guiado, se requiere analizar y establecer el sistema de control a implementar a fin de obtener la salida deseada del proceso ante cualquier variación.

Tabla 36.

Requerimientos técnico- electrónico para el sistema de guiado

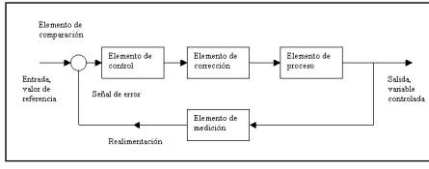
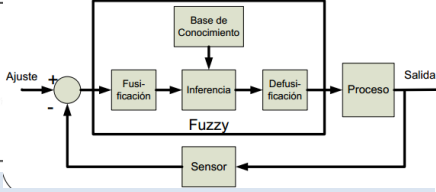
	VARIABLES DEL SISTEMA	ALTERNATIVAS
SISTEMA DE CONTROL	Lógica de Control	PID
		FUZZY
	Estructura del Sistema de Control Industrial	Centralizado
		Distribuido

3.4.1. LÓGICA DE CONTROL

En el capítulo de fundamentos teóricos en la sección Alternativas de Control para Sistemas de Guiado se detalla los componentes adecuados para el sistema de control del mecanismo alineador y se explica a detalle el controlador ON- OFF que es uno de los ampliamente utilizados en este tipo de sistema. Aparte del control ON-OFF también existen autores que implementan el control mediante lógica difusa. Por esta razón se procederá a analizar estas dos alternativas de control para el sistema de guiado.

Tabla 37.

Matriz Morfológica de la lógica de control sugerida.

Características	ON- OFF	FUZZY
	 <p>Fuente: http://real2electronics.blogspot.com/2011/07/maqueta-de-control-pid-con-arduino.html</p>	 <p>Fuente: http://academijournals.com/downloads/Lorandi2011IE.pdf</p>
Modelo Matemático	<ul style="list-style-type: none"> - Puede ser requerido pero en la mayoría de casos no es necesario. 	<ul style="list-style-type: none"> - No requiere.
Sintonización o Seteo	<ul style="list-style-type: none"> - Relativamente sencilla. - Ajuste se complica cuando se requiere mayor precisión, el controlador no tiene la capacidad de producir un valor exacto en la variable controlada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Relativamente compleja. - Requiere determinación del número de membresías y de los miembros de cada membresía. - Requiere revisión profunda de las reglas a implementarse.
Adaptabilidad	Cuando los procesos a controlar son no lineales el control compensa pobremente esas no linealidades.	Tienen la ventaja de poder tratar con sistemas no lineales y aprovechar el conocimiento del operador. Ofrece un comportamiento de control altamente flexible, logrando que los sistemas puedan ajustarse a condiciones cambiantes en ocasiones imposibles de predecir, dentro de ciertos rangos.
Tiempo de Respuesta	El sistema de control tipo encendido/apagado será adecuado en situaciones donde el sistema en general tiene un tiempo de respuesta relativamente largo, pero dará lugar a un comportamiento inestable si el sistema que está siendo controlado tiene un tiempo de respuesta breve.	<ul style="list-style-type: none"> - En general, menores que el ON-OFF. - Puede resultar largo, cuando el sistema es de alta complejidad debido a las operaciones de fusificación y defusificación.
Precisión	No aplicable para sistemas que se requiera extrema precisión en la variable de salida.	Buena, reduce el error en estado estacionario a prácticamente cero.
Sobrepaso máximo	Nulo, lo que asegura que nunca excede la referencia.	En pequeña magnitud y controlado rápidamente.

CONTINUA 

Dificultad técnica de implementación	<ul style="list-style-type: none"> - Determinación de parámetros de funcionamiento del sistema. - Implementación sencilla. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gran cantidad de parámetros. - Selección de regla base y parámetros para las funciones de membresía. - Implementación sencilla.
Respuesta ante sistemas con rápido cambio de variables	Requiere cambio de sus variables de control si los parámetros de funcionamiento del sistema son modificados.	Aceptable.
Respuesta a perturbaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilidad a señales externas o ruido. - Oscilaciones presentes por retardos en el sistema. 	Tolerancia al ruido y excelente respuesta ante perturbaciones.
Costo	Económico.	Relativamente elevado por el adicional de la máquina de inferencia.

Tabla 38.

Ponderación de la lógica de control sugerida.

CARACTERISTICAS	IDENTIFICADOR	PUNTAJE
Modelo Matemático	MM	5
Sintonización o Seteo	S	10
Adaptabilidad	A	5
Precisión	P	10
Sobrepaso máximo	SM	15
Dificultad técnica de implementación.	DTI	15
Respuesta ante sistemas con rápido cambio de variables	RCV	10
Respuesta a perturbaciones	RP	10
Costo	C	20
TOTAL		100

Tabla 39.

Valoración de la lógica de control sugerida.

LÓGICA DE CONTROL	MM	S	A	P	SM	DTI	RCV	RP	C	TOTAL
ON-OFF	3	8	2	6	13	12	4	3	15	66
FUZZY	4	5	4	8	8	8	8	8	7	60

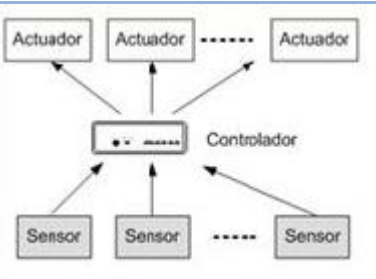
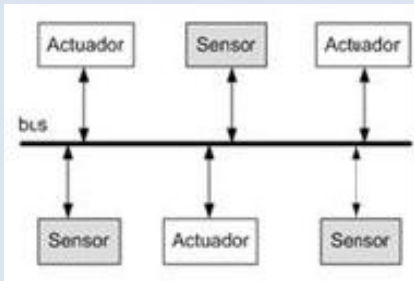
Como resultado de la valoración, se ha establecido que basándose en los puntos principales determinados para cumplir requerimientos del sistema de guiado como son: la dificultad técnica de implementación y el costo, la lógica de control ON-OFF se ha destacado en estos aspectos.

3.4.2. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE CONTROL INDUSTRIAL

A continuación se proceden a describir las dos arquitecturas más conocidas de control industrial: centralizado y distribuido. Cabe aclarar que no son las únicas y que muchas soluciones de automatización constituyen una mezcla que se adapta a las necesidades específicas de la situación. Para los requerimientos de este sistema y analizando su funcionamiento dentro de la línea de laminación se ha establecido que son las alternativas principales a considerar.

Tabla 40.

Matriz Morfológica de la estructura del sistema de control.

Características	CENTRALIZADO	DISTRIBUIDO
	 <p>Fuente: www.casadomo.com</p>	 <p>Fuente: www.casadomo.com</p>
Tipo de control predominante	SUPERVISORIO: Lazos de control cerrados por el operador. Adicional control secuencial y regulatorio.	REGULATORIO: Lazos de control cerrado por el sistema. Adicional control secuencial, batch, algoritmos avanzados.

CONTINUA 

Manejo de Procesos de Sistema basado en un computador central que recibe todas las variables del proceso, ejecuta los cálculos y produce las salidas a los actuadores. Generalmente se realiza con un computador que puede manejar un elevado número de lazos, ofrezca respuesta en tiempo real y capacidad de almacenamiento.

Instala pequeños sistemas de control o unidades funcionales para cada subproceso, conectados hacia un supervisor en la sala de Mando, generalmente PC.

Tipo de variables	Variables acopladas.	Variables desacopladas.
Área de acción	Áreas geográficamente distribuidas.	Toda la planta.
Tipos de Comunicación	Radio, satélite, línea telefónica, conexión directa, LAN, WAN.	Redes de área local, conexión directa.
Velocidad de comunicación	Alta, facilita el flujo de información y hace posible la optimización global del proceso.	Baja, disminuida debido a los retardos, posibles desbordamientos en el procesamiento de datos en cada nivel y falta de flujo de información directa entre controladores.
Redundancia	Requerida en caso de fallo.	No requerida. El fallo en otras unidades de control no implica el paro de otros subprocesos en la planta.
Flexibilidad	Ampliación resulta costosa por lo que se implementa un equipo sobredimensionado, requerimiento de cableado adicional y reescribir el software con las modificaciones.	Buena, cada unidad funcional trata un proceso sencillo, reduciendo la posibilidad de errores en la programación y permitiendo la implementación de un número ilimitado de unidades de control.
Costo	Relativamente bajo, sin considerar el equipo de redundancia y las modificaciones.	Relativamente elevado, sin embargo la disminución de la complejidad permite implementar unidades más sencillas.

Tabla 41.

Ponderación de la estructura del sistema de control.

CARACTERÍSTICAS	IDENTIFICADOR	PUNTAJE
Tipo de control predominante	CP	10
Manejo de Procesos	MP	20
Área de acción	AA	10
Tipos de comunicación	CM	5
Velocidad de comunicación	VC	10
Redundancia	R	10
Flexibilidad	F	15
Costo	C	20
TOTAL		100

Tabla 42.

Valoración de la estructura del sistema de control.

EQUIPO	CP	MP	AA	CM	VC	R	F	C	TOTAL
CENTRALIZADO	8	10	5	3	8	4	7	18	63
DISTRIBUIDO	6	15	8	3	3	8	12	5	60

El resultado de la valoración no es en este caso determinante para establecer el tipo de estructura de control a utilizar, sin embargo, se ha seleccionado la estructura centralizada por un criterio o requerimiento de la empresa de unificar en un solo PLC varios procesos de control a fin de eliminar el sobredimensionamiento de equipos y reducir los costos.

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO MECATRÓNICO

En el presente capítulo se desarrollará el diseño del sistema automático de alineación de láminas en base a los requisitos establecidos por la empresa y a las alternativas de solución previamente seleccionadas para satisfacer estos requerimientos. Posteriormente se describe los elementos que componen el sistema (mecánicos, eléctricos/ electrónicos y de control) y se describen los cálculos, métodos, dimensionamiento y/o selección.

Buscando facilitar el proceso interactivo de diseño, se utilizó software de diseño Solidworks® y Autocad® de manera que se pueda bosquejar y posteriormente determinar las dimensiones, formas y perfiles más adecuados y analizar su movimiento, a fin de que se garantice un funcionamiento satisfactorio.

4.1. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS

Rodillos	<ul style="list-style-type: none"> • Entrada/ Salida • Alineador
Rodamientos	<ul style="list-style-type: none"> • Rodillos de entrada/salida • Rodillos alineador
Mecanismo de Guiado	<ul style="list-style-type: none"> • Bastidor • Base • Ejes de guiado • Rodamiento lineal • Rótula • Sujeciones
Estructura Base	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis Estático

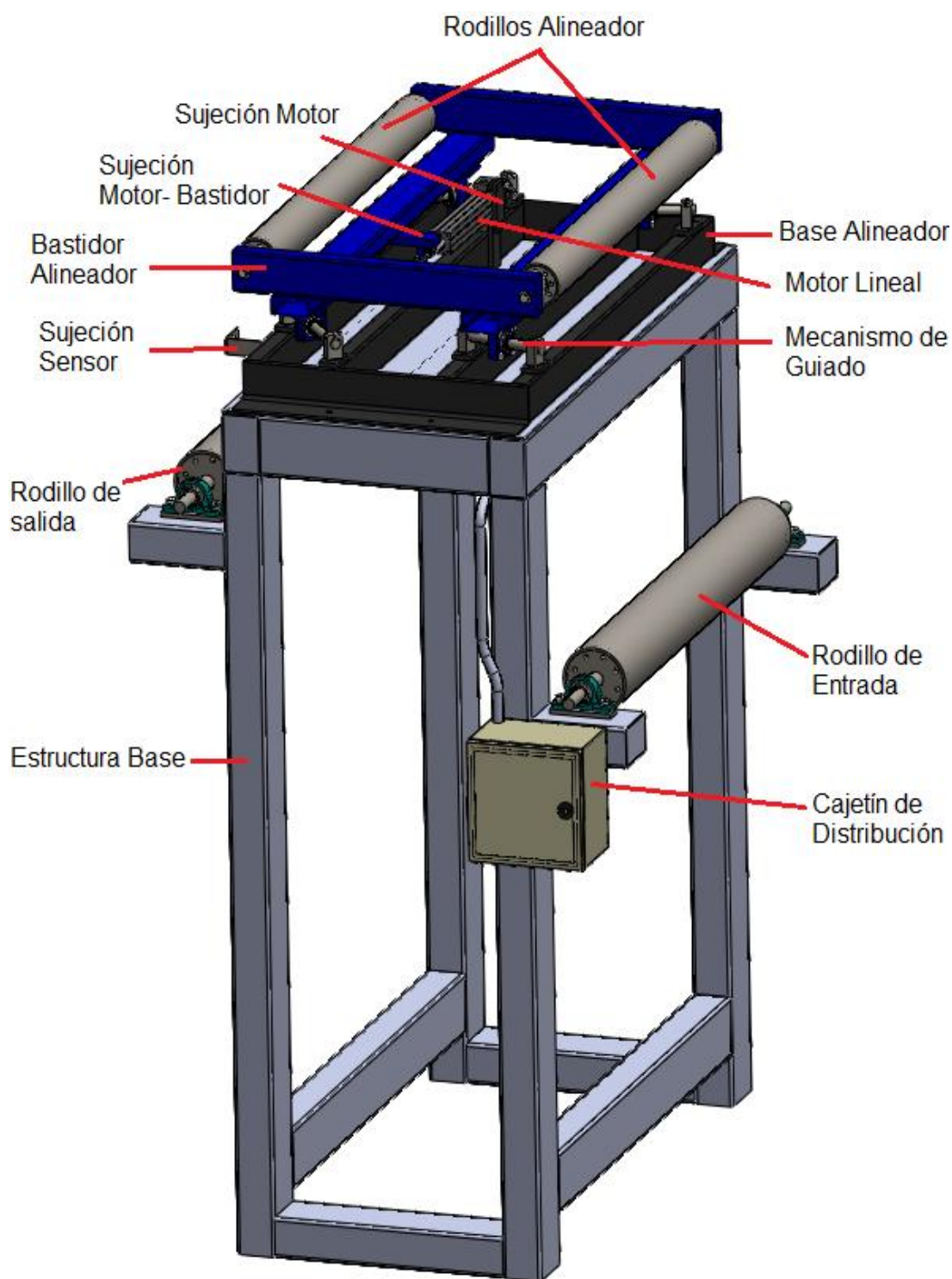


Figura 43. Elementos del sistema automático de alineación.

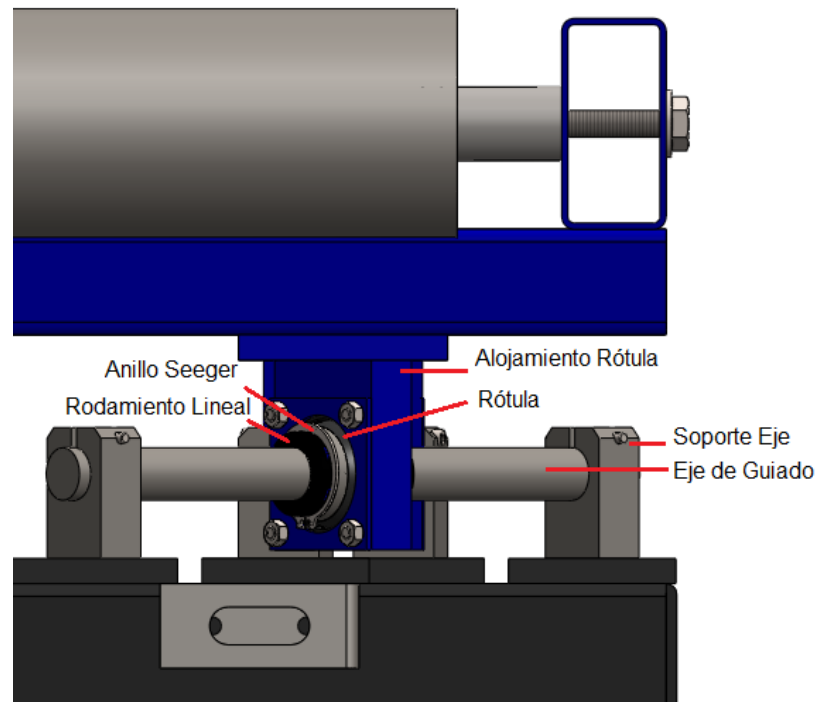


Figura 44. Elementos del mecanismo de guiado del sistema automático de alineación.

4.1.1. TENSIÓN DE ROTURA DE LA LÁMINA

Fibra de Vidrio Texbond R50

Los datos han sido tomados de las especificaciones de producto de la empresa fabricante del material de armadura POLITEX. Se encuentran detallados en el Anexo B.

La tensión máxima a utilizarse corresponde a la que se aplica a la rotura, se toma el dato de la tensión en dirección MD (machine direction) o dirección en la que circula la lámina:

$$T_{max} \text{ por unidad de longitud} = 4.8 \frac{N}{mm}$$

$$T_{max} = T * w = 4.8 \frac{N}{mm} * (1000 \text{ mm}) = 4800N$$

Poliéster Texbond R120

Los datos han sido tomados de las especificaciones de producto de la empresa fabricante del material de armadura POLITEX. Se encuentran detallados en el Anexo C.

$$T_{max} \text{ por unidad de longitud} = 6 \frac{N}{mm}$$

$$T_{max} = T * w = 6 \frac{N}{mm} * (1000 \text{ mm}) = 6000N$$

Poliéster Texbond R180

Los datos han sido tomados de las especificaciones de producto de la empresa fabricante del material de armadura POLITEX. Se encuentran detallados en el Anexo D.

$$T_{max} = 7 \frac{N}{mm}$$

$$T_{max} = T * w = 7 \frac{N}{mm} * (1000 \text{ mm}) = 7000N$$

Por lo tanto la máxima tensión que ejercerá la lámina sobre los rodillos corresponde al caso del poliéster 180 que es de 7000 N.

4.1.2. DISEÑO DE RODILLOS DE ENTRADA Y SALIDA

A fin de realizar el diseño de los rodillos de entrada y salida, se toma como dato base para los cálculos la consideración el diámetro nominal de 6 pulgadas que deben cumplir los rodillos y las longitudes, requerimientos

determinados por la empresa de manera que se mantenga concordancia con la dimensión de todos los rodillos de paso existentes en la línea de laminación.

Se procede a comprobar si el diámetro establecido de seis pulgadas puede soportar la tensión de la armadura tanto de fibra de vidrio como de poliéster.

De acuerdo a la disposición de la lámina en los rodillos de entrada salida, se puede apreciar que la reacción que se originará en estos rodillos corresponde al doble de la tensión de la lámina, lo que debe ser considerado en los cálculos de diseño.

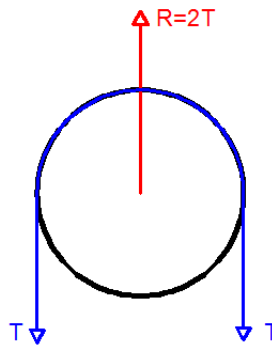


Figura 45. DCL rodillo y lámina.

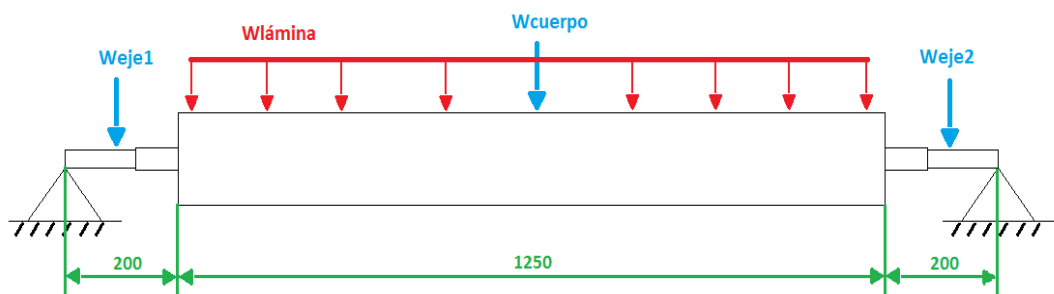


Figura 46. Esquemas de Fuerzas de rodillo general.

FUERZAS

Los datos del volumen de los elementos que componen a los rodillos de entrada y salida han sido tomados del software de simulación SOLIDWORKS para una mejor aproximación en base a sus geometrías.

$$\rho_{eje} = \rho_{rodillo} = \rho_{placa} = \rho_{Acero} = 7860 \frac{kg}{m^3}$$

$$W_{eje} = V_{eje} * \rho_{eje} * g = 1.68 * 10^{-4} m^3 * 7860 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} = 12.94 N$$

$$W_{rodillo} = V_{rodillo} * \rho_{rodillo} * g = 2.39 * 10^{-3} m^3 * 7860 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} = 184.1 N$$

$$W_{placa} = V_{placa} * \rho_{placa} * g = 1.49 * 10^{-4} m^3 * 7860 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} = 11.48 N$$

$$W_{cuerpo} = W_{rodillo} + 2 W_{placa} = 207.06 N$$

$$W_{lámina} = 2 * 7000 N = 14000 N$$

La tensión que origina la lámina se considera una carga distribuida que actúa sobre el rodillo, tomando en consideración que al desplazarse lateralmente (sin alineación) actúa dentro de todo el largo del rodillo se distribuye la carga para 1250 mm.

$$W_{lámina \text{ por } mm} = \frac{14000 N}{1250 mm} = 11.2 \frac{N}{mm}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$R_1 - W_{eje1} - W_{cuerpo} - W_{lámina} - W_{eje2} + R_2 = 0$$

$$R_1 - 12.94 N - 207.06 N - 14000 N - 12.94 + R_2 = 0$$

$$R_1 + R_2 = 14232.94 N$$

$$\sum M1 = 0$$

$$W_{eje1} * d_{eje1} + W_{cuerpo} * d_{cuerpo} + W_{lámina} * d_{lámina} + W_{eje2} * d_{eje2} - R_2 * d_{R2} = 0$$

$$12.94 N * 100 mm + 207.06 * 825 mm + \left(11.2 \frac{N}{mm} * 1250 mm\right) * 825 mm + 12.94 N * 1550 mm = R_2 * 1650 mm$$

$$R_2 = 7116.47 N$$

$$R_1 = 7116.47 N$$

CORTANTES

$$0 \leq x < 100$$

$$V_1 = R_1 = 7116.47 N$$

$$100 \leq x < 200$$

$$V_2 = R_1 - W_{eje1} = 7116.47 N - 12.94 N = 7103.53 N$$

$$200 \leq x < 825$$

$$V_3 = R_1 - W_{eje1} - W_{lámina} \left(\frac{x}{2}\right) = 7116.47 N - 12.94 N - 11.2 \frac{N}{mm} * 625 mm = 103.53 N$$

$$V_3' = 103.53 N - W_{cuerpo} = 103.53 N - 207.06 N = -103.53 N$$

$$825 \leq x < 1450$$

$$\begin{aligned} V_4 &= R_1 - W_{eje1} - W_{lámina}(x) - W_{cuerpo} \\ &= 7116.47 N - 12.94 N - 11.2 \frac{N}{mm} * 1250 mm - 207.06 N \\ &= -7103.53 N \end{aligned}$$

$$1450 \leq x < 1550$$

$$\begin{aligned} V_5 &= R_1 - W_{eje1} - W_{lámina}(x) - W_{cuerpo} - W_{eje2} \\ &= 7116.47 N - 12.94 N - 11.2 \frac{N}{mm} * 1250 mm - 207.06 N - 12.94 N \\ &= -7116.47 N \end{aligned}$$

$$1450 \leq x < 1650$$

$$\begin{aligned} V_6 &= R_1 - W_{eje1} - W_{lamina}(x) - W_{cuerpo} - W_{eje2} + R_2 = \\ &= 7116.47 N - 12.94N - 11.2 \frac{N}{mm} * 1250 mm - 207.06 N \\ &\quad - 12.94N + 7116.47N = 0 N \end{aligned}$$

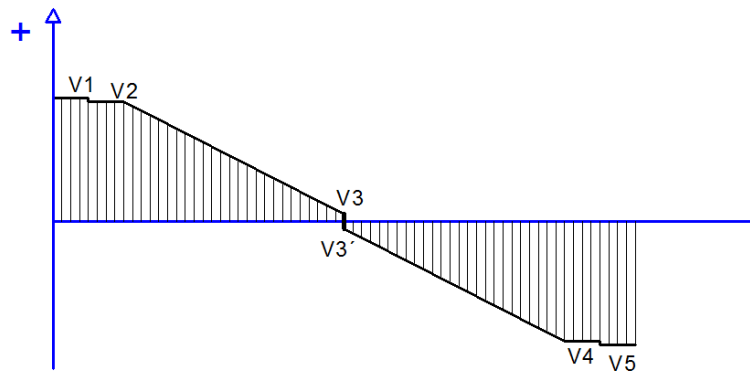


Figura 47. Gráfica de cortante rodillo de entrada/salida

MOMENTOS FLECTORES

$$0 \leq x < 100$$

$$M_1 = R_1 * d_1 = 7116.47N * 100 mm = 711647 N * mm$$

$$100 \leq x < 200$$

$$\begin{aligned} M_2 &= R_1 * d_1 - W_{eje1} * d_2 = 7116.47N * 200 mm - 12.94N * 100 mm \\ &= 1422000 N * mm \end{aligned}$$

$$200 \leq x < 825$$

$$\begin{aligned} M_3 &= R_1 * d_1 - W_{eje1} * d_2 - W_{lamina} \left(\frac{x}{2} \right) * d_3 \\ &= 7116.47 N * 825mm - 12.94N * 725mm - 11.2 \frac{N}{mm} * 625 mm \\ &\quad * 312.5mm = 3674206.25 N * mm \end{aligned}$$

$$825 \leq x < 1450$$

$$\begin{aligned} M_4 &= R_1 * d_1 - W_{eje1} * d_2 - W_{lamina}(x) * d_3 - W_{cuerpo} * d_4 \\ &= 7116.47 \text{ N} * 1450 \text{ mm} - 12.94 \text{ N} * 1350 \text{ mm} - 11.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \\ &\quad * 1250 \text{ mm} * 625 \text{ mm} - 207.06 \text{ N} * 625 \text{ mm} = 1422000 \text{ N} * \text{mm} \end{aligned}$$

$$1450 \leq x < 1550$$

$$\begin{aligned} M_5 &= R_1 * d_1 - W_{eje1} * d_2 - W_{lamina}(x) * d_3 - W_{cuerpo} * d_4 \\ &= 7116.47 \text{ N} * 1550 \text{ mm} - 12.94 \text{ N} * 1450 \text{ mm} - 11.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \\ &\quad * 1250 \text{ mm} * 725 \text{ mm} - 207.06 \text{ N} * 725 \text{ mm} = 711647 \text{ N} * \text{mm} \end{aligned}$$

$$1550 \leq x < 1650$$

$$\begin{aligned} M_6 &= R_1 * d_1 - W_{eje1} * d_2 - W_{lamina}(x) * d_3 - W_{cuerpo} * d_4 - W_{eje2} * d_5 \\ &= 7116.47 \text{ N} * 1650 \text{ mm} - 12.94 \text{ N} * 1550 \text{ mm} - 11.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \\ &\quad * 1250 \text{ mm} * 825 \text{ mm} - 207.06 \text{ N} * 825 \text{ mm} - 12.94 \text{ N} * 100 \text{ mm} \\ &= 0 \end{aligned}$$

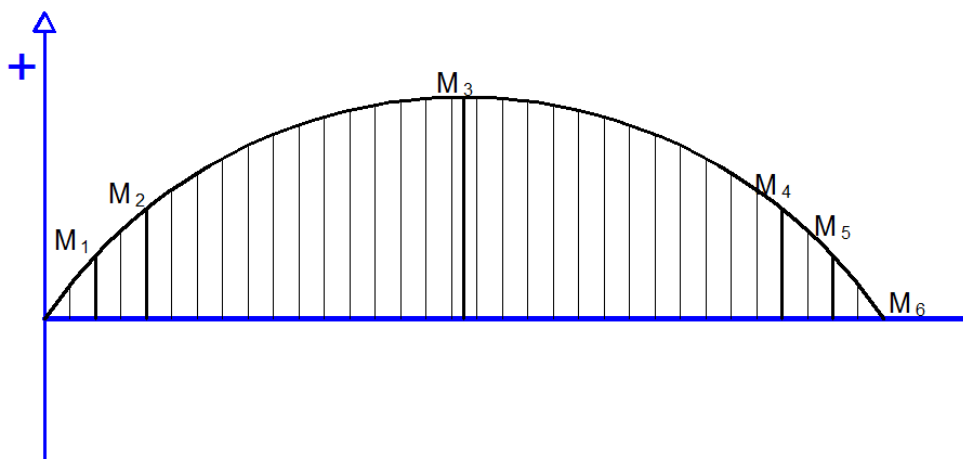


Figura 48. Gráfica de momentos flectores rodillo de entrada/salida

DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS Y FACTOR DE SEGURIDAD

ESFUERZO NORMAL MÁXIMO

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO

$$\tau_{max} = \frac{2V}{A}$$

Corresponde a una viga circular hueca con pared delgada.

LÍMITE DE FLUENCIA DEL MATERIAL

Acero ASTM A53 $S_y = 205 \text{ MPa}$

DIMENSIONES DEL MATERIAL

La carcasa del rodillo fue fabricada con tubería sin costura cédula 80 ASTM A-53. Las dimensiones aproximadas se pueden encontrar en el catálogo del proveedor:

Tabla 43.

Dimensiones de tubería.

NOMINAL	DIAMETRO		ESPESOR		PRESION/PRUEBA		PESO
	EXTERIOR		e	pulg	kg/cm2	lb/pulg2	kg/m
	mm	pulg	mm				
1/4"	13.70	0.54	3.02	0.11	60	850	0.80
3/8"	17.10	0.37	3.20	0.12	60	850	1.10
1/2"	21.30	0.84	3.73	0.14	60	850	1.62
3/4"	26.70	1.05	3.91	0.15	60	850	2.19
1"	33.40	1.31	4.55	0.17	60	850	3.23
1 1/4"	42.20	1.66	4.85	0.19	134	1900	4.47
1 1/2"	48.30	1.90	5.08	0.20	134	1900	5.41
2"	60.30	2.37	5.54	0.21	176	2500	7.48
2 1/2"	73.00	2.87	7.01	0.27	176	2500	11.41
3"	88.90	3.50	7.62	0.30	176	2500	15.27
4"	114.30	4.50	8.56	0.33	197	2800	22.31
6"	168.30	6.62	10.97	0.43	193	2740	42.56

Fuente: DIPAC

(http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=3802)

INERCIA:

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$$

$$I = \frac{\pi}{64} ((166\text{mm})^4 - (152.4\text{mm})^4)$$

$$I = 1.08 * 10^7 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I} = \frac{(3674206.25 \text{ N} * \text{mm}) \left(\frac{166}{2} \text{ mm}\right)}{1.08 * 10^7 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = 28.5 \text{ MPa} = \sigma_x$$

$$\tau_{max} = \frac{2V}{A} = \frac{2(7116.47)}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)}$$

$$\tau_{max} = \frac{2(7116.47)}{\frac{\pi}{4}(166^2 - 152.4^2)} = 4.18 \text{ MPa} = \tau_{xy}$$

Empleando la teoría de la energía de distorsión para materiales dúctiles:

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

Calculando el esfuerzo de Von Mises para el estado plano mediante:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x * \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma' = (28.5^2 + 4.18^2)^{\frac{1}{2}} = 28.80 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{205 \text{ MPa}}{28.80 \text{ MPa}} = 7.12$$

SELECCIÓN DE RODAMIENTOS**TIEMPO DE VIDA ÚTIL DE LOS RODAMIENTOS**

Para el siguiente análisis se considera que la jornada laboral es de 8 horas diarias. En la mayoría de ocasiones debido a los requerimientos de producción en la empresa se labora en dos turnos por lo que se extiende a

16 horas de trabajo al día. Tomando en cuenta una selección para un tiempo de vida útil de los rodamientos de 2 años, considerando que la frecuencia de cambio promedio actual de rodamientos en el área de laminación de la empresa corresponde a 18 meses, se tiene:

Días laborables al año= 250 días

$$250 \text{ días laborables} * 2 \text{ años de vida útil} = 500 \text{ días de vida útil}$$

$$500 \text{ días de vida útil} * 16 \text{ horas trabajo diarias} = 8000 \text{ horas de trabajo}$$

NÚMERO DE CICLOS DEL RODAMIENTO

V= Velocidad lineal de producción= 50 m/min

r= radio nominal de los cilindros=76.2 mm

$$\omega = \frac{V}{r}$$

$$\omega = \frac{50 \frac{m}{min}}{0.0762 m}$$

$$\omega = 656.17 \frac{rad}{min} * \frac{1 rev}{2\pi rad} = 104.43 rpm = n_d$$

Fórmula tomada del capítulo 11.3 “Efecto carga vida del cojinete a confiabilidad nominal” (Budynas & Nisbett, 2012):

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

$L_R n_R 60 =$ Vida nominal de catálogo confiabilidad del 90%,
método ISO (281) = 10^6

$C_{10} =$ Capacidad de carga de catálogo

$F_D =$ Carga radial deseada

$L_D =$ vida deseada en horas

$n_D = \text{velocidad deseada en rpm}$

$a = \text{constante de valor 3 para rodamiento de bolas}$

La carga radial es tomada de la reacción que genera tanto el peso como la tensión de la lámina en los cojinetes, sin embargo, se debe tomar en consideración que en condiciones normales de operación la tensión de la lámina en el transporte rodea el 50% de la tensión máxima (Smith, Foederer, Frey, & Lush, 2011), por lo que la reacción se puede reducir a la mitad a fin de establecer un cálculo más real.

$$C_{10} = \left(\frac{7116.47}{2} N \right) \left(\frac{8000 * 104.43 \text{ rpm} * 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 13119.7 N = 13.1 kN$$

De acuerdo al diámetro correspondiente del eje de 30 mm y con el dato obtenido de carga dinámica, se procede a seleccionar el rodamiento y respectivo alojamiento (cojinete) SY 30 TF, código correspondiente al fabricante SKF.

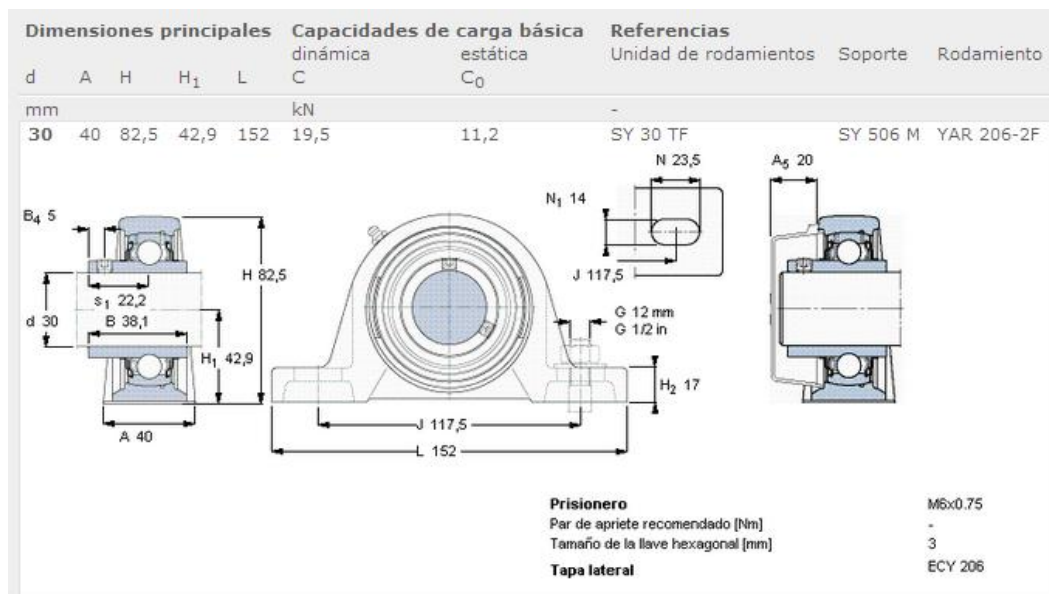


Figura 49. Especificaciones chumacera SKF.

Fuente: SKF (<http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/bearing-units/ball-bearing-units/y-bearing-plummer-block-units/cast-housing-grub-screw-locking/index.html?prodid=211101030&imperial=false>)

4.1.3. DISEÑO DE RODILLOS DEL ALINEADOR

A fin de realizar el diseño de los rodillos que corresponden al mecanismo alineador, se toma como dato base para los cálculos la consideración del diámetro nominal de 4 pulgadas, recomendado para este tipo de alineadores OPG, que además son de fácil adquisición, reducen el peso del sistema alineador y modifican minoritariamente la velocidad de paso de la lámina.

Se procede a comprobar si el diámetro establecido de cuatro pulgadas puede soportar la tensión de la armadura tanto de fibra de vidrio como de poliéster.

LONGITUD DE LA CARA DEL RODILLO

Longitud de la cara del rodillo

$$\begin{aligned} &: \text{ancho de la lámina} + 2(\text{error de la lámina}) + 1 \text{ in} \\ &= 1000\text{mm} + 2 * 2 * 25.4\text{mm} + 25.4 \text{ mm} = 1127\text{mm} \\ &\cong 1200 \text{ mm} \end{aligned}$$

ANÁLISIS ESTÁTICO

- EJE MUERTO

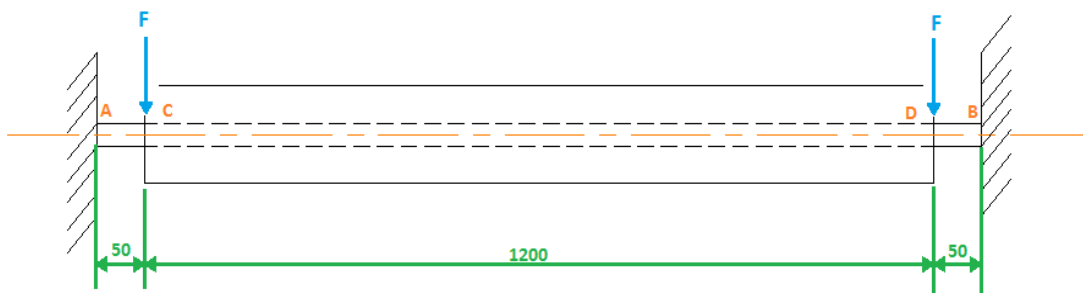


Figura 50. DCL del eje muerto de rodillo alineador

El dato de la masa aproximada del rodillo alineador ensamblado ha sido tomado del software de simulación SOLIDWORKS para una mejor aproximación en base a su geometría.

$$T = \text{tensión máxima de la lámina} = 7000 \text{ N}$$

$$M_r = \text{Masa aproximada del rodillo alineador ensamblado totalmente} \\ = 33 \text{ kg}$$

$$P_r = \text{peso del rodillo alineador} = 323.4 \text{ N}$$

$$F = \frac{T}{2} + \frac{P}{2} = 3500 \text{ N} + 161.7 \text{ N} = 3661.7 \text{ N}$$

REACCIONES

$$R_A = R_B = F = 3661.7 \text{ N}$$

CORTANTES

$$V_{AC} = R_A = 3661.7 \text{ N}$$

$$V_{CD} = V_{AC} - P = 0 \text{ N}$$

$$V_{DB} = -P = -3661.7 \text{ N}$$

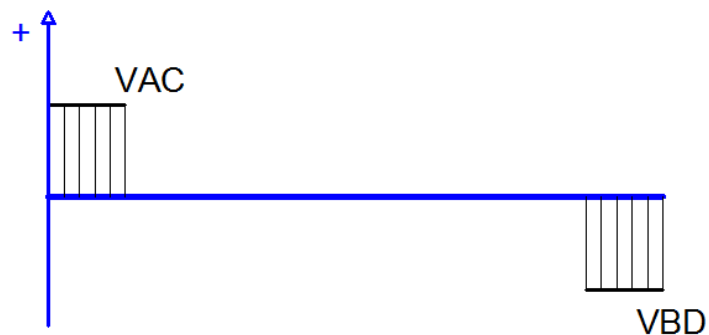


Figura 51. Diagrama de cortantes del eje muerto.

MOMENTOS FLECTORES

$$M_{AC} = \frac{F}{L}(Lx - aL + a^2)$$

$$M_{AC} = \frac{3661.7}{1300}(1300 * x - 50 * 1300 + 2500) = 3661.7x - 176043.27$$

$$M_A = -176043.27 \text{ Nmm} \quad x = 0 \text{ mm}$$

$$M = 0 \quad 3661.7x - 176043.27 = 0 \quad x = 48.077 \text{ mm}$$

$$M_{CD} = \frac{Fa^2}{L}$$

$$M_{CD} = \frac{(3661.7 \text{ N})(2500\text{mm}^2)}{1300 \text{ mm}} = 7041.73 \text{ Nmm}$$

$$M_{DB} = \frac{F}{L}(L^2 - Lx - La + a^2)$$

$$M_{DB} = \frac{(3661.7)}{1300}(1690000 - 1300\text{mm} * x - 1300 * 50 + 2500)$$

$$= 4584166.73 - 3661.7x$$

$$M_B = -176043.27 \text{ Nmm} \quad x = 1300\text{mm}$$

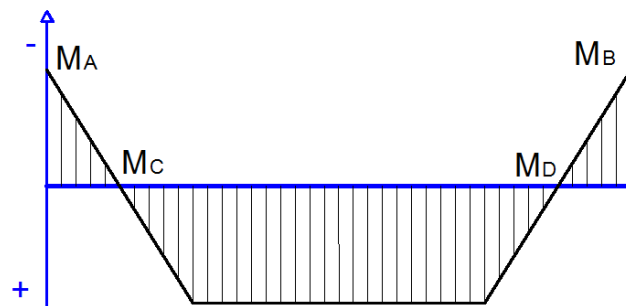


Figura 52. Diagrama de momentos del eje muerto.

DEFLEXIÓN ELÁSTICA

$$E_{SAE 1018} = 205000 \text{ MPa} = 205000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$I = \frac{1}{64}(\pi * d^4) = \frac{1}{64}(\pi * (40\text{mm})^4) = 125663.71 \text{ mm}^4$$

$$Y_{AC} = \frac{-Fx^2}{6EIL} (3aL - 3a^2 - Lx)$$

$$Y_{AC} = \frac{-3661.7x^2}{6 * 205000 * 125663.71 * 1300} (3 * 50 * 1300 - 3 * 2500 - 1300x)$$

$$Y_{AC} = -3.417 * 10^{-6}x^2 + 2.369 * 10^{-8}x^3$$

$$Y_A = 0 \quad x = 0$$

$$Y_C = -0.0056 \text{ mm} \quad x = 50 \text{ mm}$$

$$Y_{CD} = \frac{-Fa^2}{6EIL} (-aL - 3x^2 + 3Lx)$$

$$Y_{CD} = \frac{-3661.7 * 2500}{6 * 205000 * 125663.71 * 1300} (-50 * 1300 - 3x^2 + 3 * 1300 * x)$$

$$Y_{CD} = 1.367 * 10^{-7}x^2 - 1.777 * 10^{-4}x + 0.0030$$

$$Y_D = -0.0056 \text{ mm} \quad x = 1250 \text{ mm}$$

$$Y_{DB} = \frac{-F(L-x)^2}{6EIL} [3aL - 3a^2 - L(L-x)]$$

$$Y_{DB} = \frac{-3661.7(1300-x)^2}{6 * 205000 * 125663.71 * 1300} [3 * 50 * 1300 - 3 * 2500 - 1300(1300-x)]$$

$$Y_{DB} = -2.369 * 10^{-8}x^3 + 8.897 * 10^{-5}x^2 - 0.111x + 46.273$$

$$Y_B = 0 \quad x = 1300 \text{ mm}$$

FLECHA MAXIMA

$$Y_{max} = \frac{Fa^2}{24EI} (3L - 4a) \quad \text{para } x = \frac{L}{2}$$

$$Y_{max} = \frac{3661.7 * 2500}{24 * 205000 * 125663.71} (3 * 1300 - 4 * 50) = 0.055 \text{ mm}$$

DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS Y FACTOR DE SEGURIDAD

ESFUERZO NORMAL MÁXIMO

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO

$$\tau_{max} = \frac{4V}{3A}$$

Corresponde a una viga circular.

LÍMITE DE FLUENCIA DEL MATERIAL

Acero SAE 1018 $S_y = 370 \text{ MPa}$

DIMENSIONES DEL MATERIAL

El diámetro mínimo del eje que conforma el rodillo del alineador ha sido propuesto en 35mm. Las secciones críticas, donde se ubican las cortantes y momentos máximos corresponden a ese diámetro.

INERCIA:

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4)$$

$$I = \frac{\pi}{64} ((35\text{mm})^4)$$

$$I = 73661.8 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I} = \frac{(176043.27 \text{ N} * \text{mm}) \left(\frac{35}{2} \text{ mm}\right)}{73661.8 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = 41.82 \text{ MPa} = \sigma_x$$

$$\tau_{max} = \frac{4V}{3A} = \frac{4(3661.7)}{\frac{3\pi}{4} (D^2)}$$

$$\tau_{max} = \frac{4(3661.7)}{\frac{\pi}{4}(35^2)} = 5.07 \text{ MPa} = \tau_{xy}$$

Empleando la teoría de la energía de distorsión para materiales dúctiles:

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

Calculando el esfuerzo de Von Mises para el estado plano mediante:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x * \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma' = (41.82^2 + 5.07^2)^{\frac{1}{2}} = 42.13 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{370 \text{ MPa}}{42.13 \text{ MPa}} = 8.78$$

- **CARCASA DEL RODILLO**

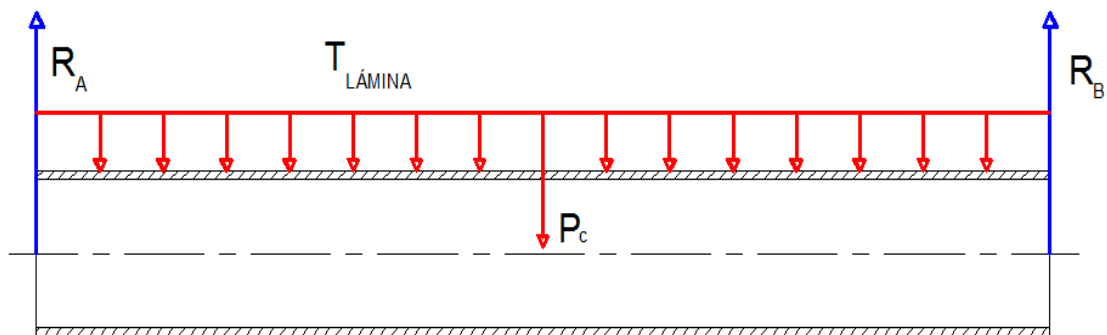


Figura 53. DCL carcasa del rodillo del alineador.

$$T = \text{tensión máxima de la lámina} = 7000 \text{ N}$$

$$\text{longitud del rodillo} = 1200 \text{ mm}$$

$$\text{Tensión distribuida de la lámina} = 5.83 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$P_c = \text{peso de la carcasa del rodillo alineador} = 179.24 \text{ N}$$

El dato del peso de la carcasa del rodillo alineador ha sido tomado del software de simulación SOLIDWORKS para una mejor aproximación en base a su geometría.

FUERZAS

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A - P_c - T_{\text{lámina}} + R_B = 0$$

$$R_A + R_B = 7179.24 \text{ N}$$

$$\sum MA = 0$$

$$P_c * d_{Pc} + T_{\text{lámina}} * \text{longitud rodillo} * d_{\text{lámina}} - R_B * d_{RB} = 0$$

$$P_c * d_{Pc} + T_{\text{lámina}} * \text{longitud rodillo} * d_{\text{lámina}} - R_B * d_{RB} = 0$$

$$179.24 \text{ N} * 600\text{mm} + 5.83 \frac{\text{N}}{\text{mm}} * 1200\text{mm} * 600\text{mm} - R_B * 1200\text{mm} = 0$$

$$R_B = 3589.62 \text{ N}$$

$$R_A = 3589.62 \text{ N}$$

CORTANTES

$$V_A = R_A = 3589.62 \text{ N}$$

$$V'_A = R_A - T_{\text{lámina}} * \frac{\text{longitud rodillo}}{2} = 3589.62 \text{ N} - 3500 \text{ N} = 89.62 \text{ N}$$

$$V'_B = R_A - T_{\text{lámina}} * \frac{\text{longitud rodillo}}{2} - P_c = 3589.62 \text{ N} - 3500 \text{ N} - 179.24 \text{ N} \\ = -89.62 \text{ N}$$

$$V_B = R_A - T_{\text{lámina}} * \text{longitud rodillo} - P_c = 3589.62 \text{ N} - 7000 \text{ N} - 179.24 \text{ N} \\ = -3589.62 \text{ N}$$

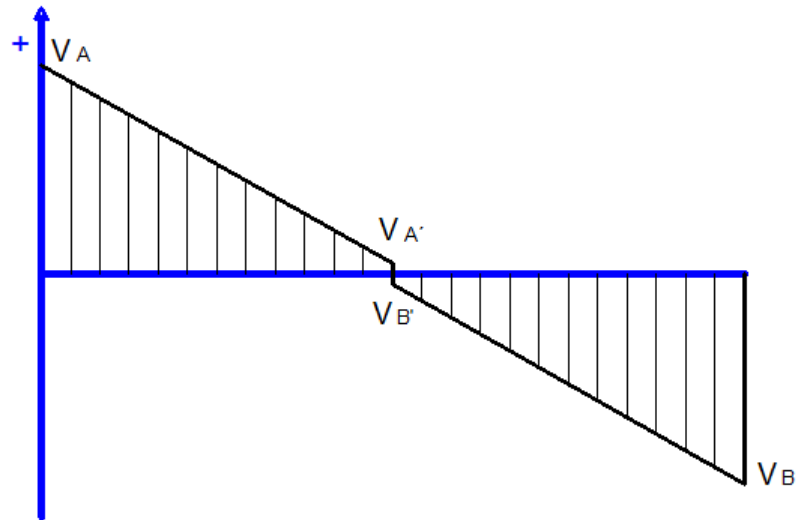


Figura 54. Diagrama de cortantes de la carcasa del rodillo del alienador.

MOMENTOS FLECTORES

$$0 \leq x < 600$$

$$M_A = 0$$

$$M = R_A * x - T_{lámina} * x * \frac{x}{2} = 3589.62 x - 2.915 x^2$$

$$\begin{aligned} M_{\frac{L}{2}} &= 3589.62 N * 600mm - 5.83 \frac{N}{mm} * 600mm * 300mm \\ &= 1.104 * 10^6 N * mm \end{aligned}$$

$$600 \leq x < 1200$$

$$\begin{aligned} M &= R_A * x - T_{lámina} * x * \frac{x}{2} - P_c * \frac{x}{2} = 3589.62 x - 2.915 x^2 - 89.62 x \\ &= 3500x - 2.915 x^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_B &= 3589.62 N * 1200mm - 5.83 \frac{N}{mm} * 1200mm * 600mm - 179.24 N \\ &\quad * 600mm = 0 \end{aligned}$$

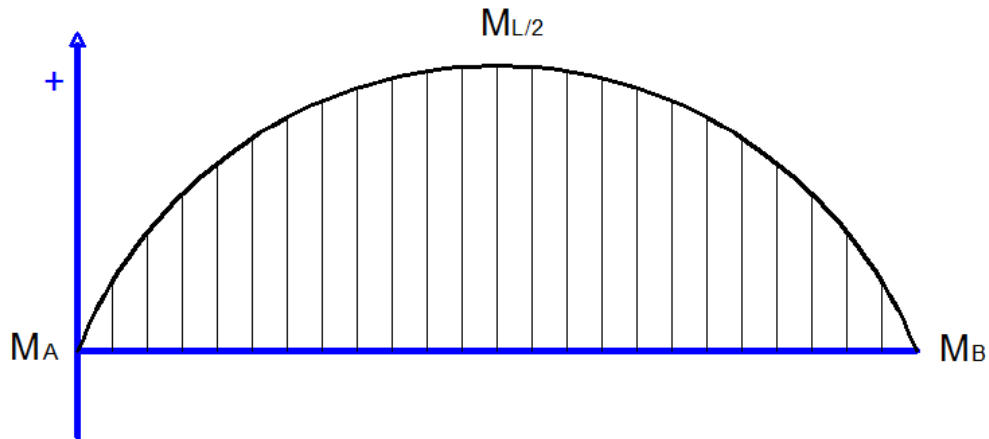


Figura 55. Diagrama de momentos de la carcasa del rodillo del alienador.

DEFLEXIÓN ELÁSTICA

$$E_{ASTM A53} = 200000 \text{ MPa} = 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} ((109\text{mm})^4 - (97\text{mm})^4)$$

$$I = 2.58 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Con la ayuda del software de análisis de vigas MDSolid 3.5 se obtiene la ecuación de la deflexión para el tipo de cargas analizadas:

$$E * I * Y = \frac{3589.62}{6} x^3 + \frac{3589.62}{6} (x - 1200)^3 - 435891600x - \frac{5.83}{24} x^4 + \frac{5.83}{24} (x - 1200)^4 - \frac{179.24}{6} (x - 600)^3$$

$$Y = \frac{1}{5.16 * 10^{11}} \left(\frac{3589.62}{6} x^3 + \frac{3589.62}{6} (x - 1200)^3 - 435891600x - \frac{5.83}{24} x^4 + \frac{5.83}{24} (x - 1200)^4 - \frac{179.24}{6} (x - 600)^3 \right)$$

La deflexión máxima se presenta en la mitad de la longitud de la carcasa, es decir cuando x toma el valor de 600 mm.

$$Y_{max} = \frac{1}{5.16 * 10^{11}} \left(\frac{3589.62}{6} x^3 + \frac{3589.62}{6} (x - 1200)^3 - 435891600x - \frac{5.83}{24} x^4 + \frac{5.83}{24} (x - 1200)^4 - \frac{179.24}{6} (x - 600)^3 \right)$$

$$Y_{max} = -0.507 \text{ mm}$$

DEFLEXIÓN MÁXIMA RECOMENDADA EN RODILLOS

La deflexión máxima recomendada para los rodillos que forman parte de un alineador sigue la Regla del Pulgar (Smith, 2010):

Generalmente 0.01" por cada 100" de longitud de la cara del rodillo.

- Menos de 0.01" si el tipo de lámina que se transporta es foil.
- Más de 0.01" si el material de la lámina es de tipo extensible.

Considerando la longitud de la cara del rodillo en pulgadas se obtiene un valor de 47.24 pulgadas y efectuando la relación a la longitud del rodillo diseñado la deflexión permitida es 0.047 pulgadas lo que equivale a 1.19 mm, por lo que el valor de deflexión máxima calculado de 0.507 mm se encuentra dentro del límite permisible.

DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS Y FACTOR DE SEGURIDAD

ESFUERZO NORMAL MÁXIMO

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO

$$\tau_{max} = \frac{2V}{A}$$

Corresponde a una viga circular hueca con pared delgada.

LÍMITE DE FLUENCIA DEL MATERIAL

Acero ASTM A53 $S_y = 205 \text{ MPa}$

DIMENSIONES DEL MATERIAL

$D = 109 \text{ mm}$

$d = 97 \text{ mm}$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I} = \frac{(1.104 * 10^6 \text{ N} * \text{mm}) \left(\frac{109}{2} \text{ mm}\right)}{2.58 * 10^6 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = 23.32 \text{ MPa} = \sigma_x$$

$$\tau_{max} = \frac{2V}{A} = \frac{4(3589.62)}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)}$$

$$\tau_{max} = \frac{4(3589.62)}{\frac{\pi}{4}(109^2 - 97^2)} = 7.4 \text{ MPa} = \tau_{xy}$$

Empleando la teoría de la energía de distorsión para materiales dúctiles:

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

Calculando el esfuerzo de Von Mises para el estado plano mediante:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x * \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma' = (23.32^2 + 7.4^2)^{\frac{1}{2}} = 24.47 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{205 \text{ MPa}}{24.47 \text{ MPa}} = 8.38$$

ANÁLISIS DINÁMICO

La resistencia última media a la tensión para el material ASTM A53 (tubería) del que están fabricadas las carcasas de los rodillos corresponde a:

$S_{ut} \text{ ASTM A53} = 415 \text{ MPa}$

Por lo que el límite de resistencia a la fatiga de la probeta de viga rotatoria es:

$$S_e' = 0.5 S_{ut} = 0.5 * 415 \text{ MPa} = 207.5 \text{ MPa}$$

DETERMINACIÓN DE FACTORES QUE MODIFICAN EL LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA

Del libro “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley”, capítulo 6, sección Fallas por Fatiga resultante por cargas variables, se ha tomado el criterio de Marin el mismo que identificó factores que cuantifican los efectos de la condición superficial, el tamaño, la carga, la temperatura y otros efectos varios (corrosión, recubrimiento, etc.).

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S_e'$$

Donde:

k_a = factor de modificación de la condición superficial

k_b = factor de modificación del tamaño

k_c = factor de modificación de la carga

k_d = factor de modificación de la temperatura

k_e = factor de modificación de confiabilidad

k_f = factor de modificación de efectos varios

S_e = límite resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de la máquina en la geometría y condición de uso

FACTOR DE SUPERFICIE

$$k_a = a S_{ut}^b$$

Los valores de a y b para la tubería estructural laminada en caliente son 57.7 y -0.718 respectivamente.

$$k_a = 57.7 * (415)^{-0.718} = 0.76$$

FACTOR DE TAMAÑO

$$k_b = 1.51 d^{-0.157}$$

En el caso de una sección redonda hueca rotatoria es necesario encontrar un diámetro equivalente mediante la siguiente expresión:

$$A = 0.0766 * de^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} (109^2 - 97^2) = 1941.5 \text{ mm}^2$$

$$1941.5 \text{ mm}^2 = 0.0766 * de^2$$

$$de = 158.09 \text{ mm}$$

$$k_b = 1.51 de^{-0.157}$$

$$k_b = 1.51 (158.09)^{-0.157} = 0.68$$

FACTOR DE CARGA

El rodillo está sometido únicamente a cargas de flexión por lo que el valor de la constante corresponde a:

$$k_c = 1$$

FACTOR DE TEMPERATURA

Cuando se desconoce el límite de resistencia a la fatiga de una viga rotativa, se toma en consideración el caso más crítico, en este caso el valor de 1 al coeficiente.

$$k_d = 1$$

FACTOR DE CONFIABILIDAD

Esto se encuentra íntimamente ligado al porcentaje de confiabilidad en el que enmarcamos nuestro diseño. Para un 90% de confiabilidad, el valor de la constante tomado de la tabla 6-5 "Factores de confiabilidad

correspondientes a un porcentaje de desviación del límite de endurecimiento” (Budynas & Nisbett, 2012), corresponde a:

$$k_e = 0.897$$

FACTOR DE EFECTOS VARIOS

Al no existir características como corrosión, recubrimiento electrolítico, metalizado por aspersion, entre otros, el factor de efectos varios es:

$$k_f = 1$$

$$S_e = 0.76 * 0.68 * 1 * 1 * 0.897 * 1 * 207.5 = 96.19 \text{ MPa}$$

DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO MEDIO Y ALTERNANTE

A fin de emplear el criterio de Goodman modificado para la obtención del factor de seguridad a la fatiga, se requiere determinar previamente los esfuerzos medio y alternante de acuerdo al tipo de esfuerzo aplicado que corresponde a un sinusoidal completamente invertido. Por lo que:

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right|$$

$$\sigma_a = \sigma_{max} = 23.32 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_m = 0$$

FACTOR DE SEGURIDAD A LA FATIGA

Aplicando el criterio de Goodman modificado se puede establecer:

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$$

$$n_f = \frac{1}{\frac{23.32}{96.19}} = 4.12$$

SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

TIEMPO VIDA ÚTIL DE LOS RODAMIENTOS

Como se explicó anteriormente en la selección de rodamientos de los rodillos de entrada y salida, se considera 16 horas diarias de trabajo y un tiempo de vida útil de 2 años:

Días laborables al año= 250 días

*250 días laborables * 2 años de vida útil = 500 días de vida útil*

*500 días de vida útil * 16 horas trabajo diarias = 8000 horas de trabajo*

NÚMERO DE CICLOS DEL RODAMIENTO

V= Velocidad lineal de producción= 50 m/min

r= radio nominal de los cilindros=50.8 mm

$$\omega = \frac{V}{r}$$

$$\omega = \frac{50 \frac{m}{min}}{0.0508 m}$$

$$\omega = 984.25 \frac{rad}{min} * \frac{1 rev}{2\pi rad} = 156.65 rpm = n_d$$

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

$L_R n_R 60 =$ Vida nominal de catálogo confiabilidad del 90%,
método ISO (281) = 10^6

$C_{10} =$ Capacidad de carga de catálogo

$F_D =$ Carga radial deseada

$L_D =$ vida deseada en horas

$n_D =$ velocidad deseada en rpm

$a = \text{constante de valor } 3 \text{ para rodamiento de bolas}$

Para la fuerza de carga radial en el rodamiento se considera que la tensión de la lámina normalmente estará funcionando para condiciones de transporte dentro del 50% de su tensión máxima (Smith, 2010) por lo que se tiene:

$$F_D = \frac{P_c}{2} + \frac{T}{2} = \frac{179.24}{2} N + \frac{3500}{2} N = 1839.62 N$$

$$C_{10} = (1839.62 N) \left(\frac{12000 * 156.65 \text{ rpm} * 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 8888.24 N = 8.9 \text{ kN}$$

De acuerdo al diámetro correspondiente del eje de 35 mm y con la limitación de encontrar un rodamiento cuyo diámetro exterior quepa dentro con su respectivo alojamiento en el interior del rodillo, y con el dato obtenido de carga dinámica, se procede a seleccionar el rodamiento 61907 2RZ, código correspondiente al fabricante SKF.

Dimensiones principales			Capacidad de carga		Velocidades nominales		Designación
d	D	B	C	C ₀	Velocidad de referencia	Límite de velocidad	
mm			kN		rpm		* rodamiento SKF Explorer
35	55	10	9,56	6,8	26000	13000	-
							61907-2RZ

Factores de cálculo
 k_r 0,02
 f_0 14

Figura 56. Especificaciones rodamiento para rodillo alineador, SKF.

Fuente: SKF (<http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row/index.html?prodid=1010171907&imperial=false>)

4.1.4. MECANISMO DE GUIADO

Tomando como base para determinar los requerimientos de corrección del sistema alineador a diseñar, en base a la tabla 1.2 correspondiente a “Datos de desviaciones de armadura”, la misma que permitirá establecer cuál es el valor máximo de desviación que se requiere corregir con el nuevo sistema automático a implementar.

El valor absoluto correspondiente a la mayor desviación es 2.6 [cm], mayor a una pulgada, por lo que se procede de acuerdo a recomendaciones de los fabricantes (FIFE, BST) a seleccionar un valor mayor en pulgadas (dato requerido de acuerdo a las ecuaciones a aplicar), en este caso 2 pulgadas.

Las fórmulas a ser utilizadas en el diseño del bastidor corresponden a criterios previamente establecidos para sistemas OPG que permiten determinar parámetros generales en cuanto a dimensiones para la magnitud de corrección requerida, teniendo en cuenta el tipo de material que se pretende alinear. Las fórmulas han sido tomadas del Catálogo “Offset Pivot Guides- Product Comparison” de la empresa FIFE.

DATOS GENERALES

Ancho máximo de la lámina : $w = 1000 \text{ mm}$

Error de la lámina: $e = 2 \text{ in} = 50.8 \text{ mm}$

Longitud de la cara del rodillo : 1200 mm

Span de guiado: $L = 850 \text{ mm}$

Los fabricantes de alineadores recomiendan que el espacio entre rodillos debe ser mayor de 2/3 del ancho de la lámina (Smith, 2010).

DETERMINACIÓN DE LAS CAPACIDADES DE CORRECCIÓN DEL OPG

El ángulo necesario para corregir dos pulgadas de error en la desviación de la lámina, está determinado con la fórmula:

$$e = L \sin u$$

$u = \text{ángulo de rotación en grados}$

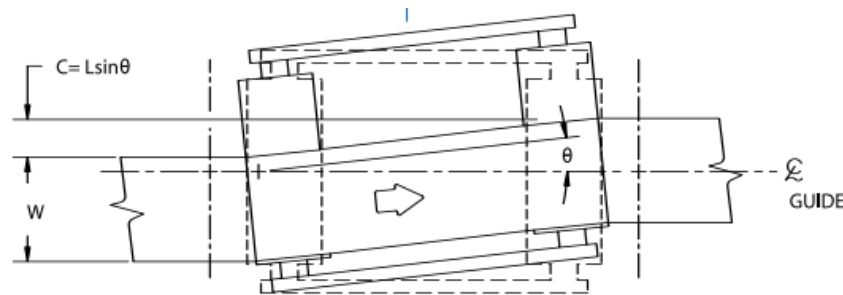


Figura 57. Esquema movimiento sistema de alineación angular.

Fuente: FIFE, Offset Pivot Guides- Product Comparison

ÁNGULO DE CORRECCIÓN DEL OPG

$$u = \sin^{-1} \frac{2 * e}{L} = \sin^{-1} \frac{2 * 2 * 25.4mm}{850mm} = 6.86^\circ \text{ (por lado)}$$

DETERMINACIÓN DEL SPAN DE ENTRADA Y SALIDA DE LA ARMADURA

- Para Fibra de Vidrio Texbond R50

Módulo de elasticidad: $E = 1700 \text{ MPa}$.

Espesor de la lámina: $t = 0.6 \text{ mm}$

Tensión máxima: $T = 4800 \text{ N}$

Diámetro del rodillo : $d \text{ (nominal 4")} = 109mm$

$$D_1 \text{ o } D_2 \text{ (mínimo)} = 0.00357 W * u * \left(\frac{E}{S_{avg}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

La fórmula requiere que el valor de W se encuentre en pulgadas.

$$W = 1000 \text{ mm} * \frac{1 \text{ in}}{25.4 \text{ mm}} = 39.37 \text{ in}$$

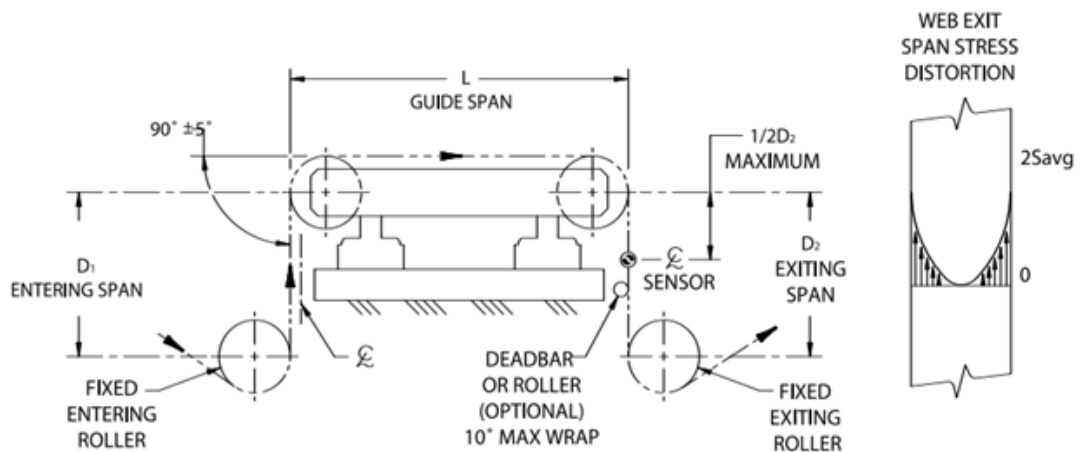


Figura 58. Esquema de montaje de sistema de alineación.

Fuente: FIFE, Offset Pivot Guides- Product Comparison

SPAN DE ENTRADA Y SALIDA

S_{avg} : Esfuerzo promedio de la lámina

$$S_{avg} = \frac{T}{W t} = \frac{4800 \text{ N}}{1000 \text{ mm} * 0.6 \text{ mm}} = 8 \text{ MPa}$$

$$D_1 \text{ o } D_2 \text{ (mínimo)} = 0.00357 * 39.37 \text{ in} * 3.5 * \left(\frac{1700 \text{ MPa}}{8 \text{ MPa}} \right)^{\frac{1}{2}} = 7.17 \text{ in}$$

$$= 182.14 \text{ mm}$$

- Para Poliéster Texbond R120

Módulo de elasticidad: $E = 3450 \text{ MPa}$

Espesor de la lámina: $t = 0.9 \text{ mm}$

Tensión máxima: $T = 6000 \text{ N}$

Diámetro del rodillo : d (nominal 4") = 109mm

$$S_{avg} = \frac{T}{W t} = \frac{6000N}{0.9mm * 1000mm} = 6.67 \text{ MPa}$$

$$D_1 \text{ o } D_2 \text{ (mínimo)} = 0.00357 * 39.37 \text{ in} * 3.5 * \left(\frac{3450 \text{ MPa}}{6.67 \text{ MPa}} \right)^{\frac{1}{2}} = 11.19 \text{ in}$$

$$= 284.17 \text{ mm}$$

- **Para Poliéster Texbond R180**

Módulo de elasticidad: $E = 3450 \text{ MPa}$

Espesor de la lámina: $t = 1.1 \text{ mm}$

Tensión máxima: $T = 7000 \text{ N}$

Diámetro del rodillo : d (nominal 4") = 109mm

$$S_{avg} = \frac{T}{W t} = \frac{7000N}{1.1mm * 1000mm} = 6.36 \text{ MPa}$$

$$D_1 \text{ o } D_2 \text{ (mínimo)} = 0.00357 * 39.37 \text{ in} * 3.5 * \left(\frac{3450 \text{ MPa}}{6.36 \text{ MPa}} \right)^{\frac{1}{2}} = 11.46 \text{ in}$$

$$= 291.02 \text{ mm}$$

Debido a que el span de entrada/salida es menor que la mitad del ancho de la lámina (aproximadamente 300 mm), es recomendable que este span se amplifique al menos a la mitad del ancho de la lámina o más, por lo que la distancia mínima quedará contemplada como 500 mm, para prevenir que el OPG induzca arrugas en el proceso.

BASTIDOR

Del capítulo de alternativas se analizó los tipos de mecanismo para el sistema de guiado, siendo el tipo OPG (Offset Pivot Guide), el elegido.

El mecanismo es situado horizontalmente. Partiendo del diseño de los rodillos del alineador, y definiendo el tramo de alineación, se dimensionará la estructura para el bastidor, como se muestra en la figura:

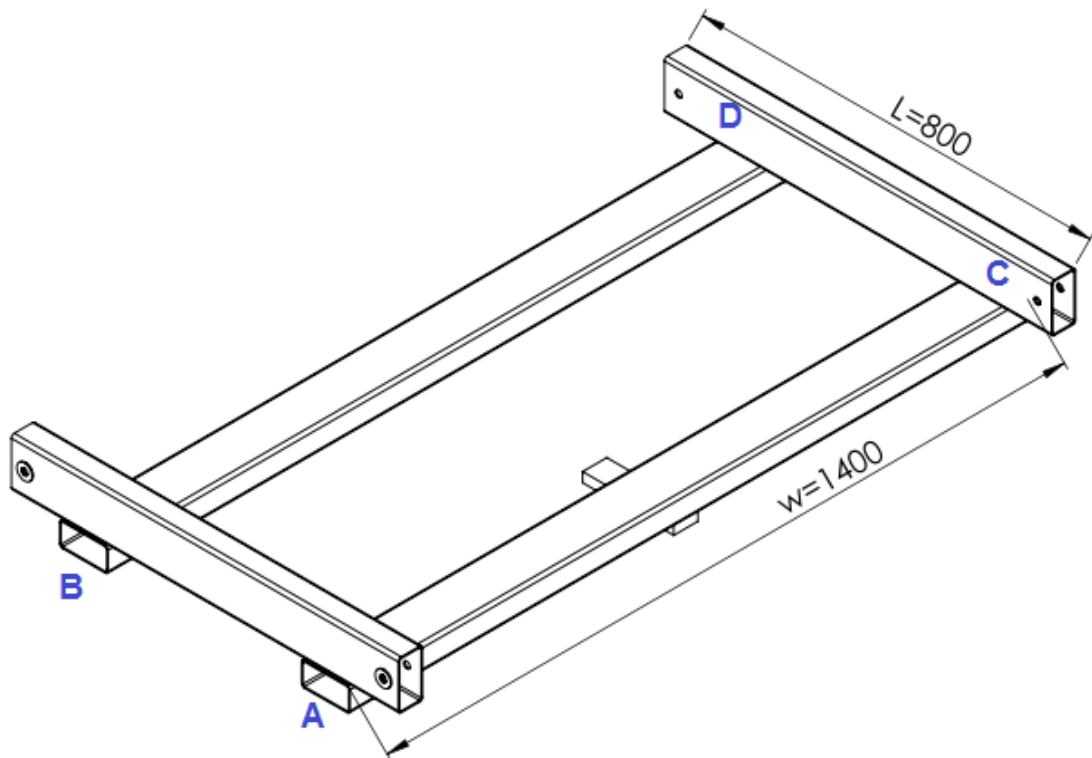


Figura 59. Esquema bastidor del sistema de guiado.

Para el diseño del bastidor, es necesario un método gráfico a fin de determinar sus dimensiones, ubicación del centro y los puntos de giro o apoyo.

Las dimensiones son definidas basándose en el criterio de que los puntos de apoyo deben estar simétricos, para así dividir la fuerza que actúa en el bastidor en partes iguales sobre los apoyos.

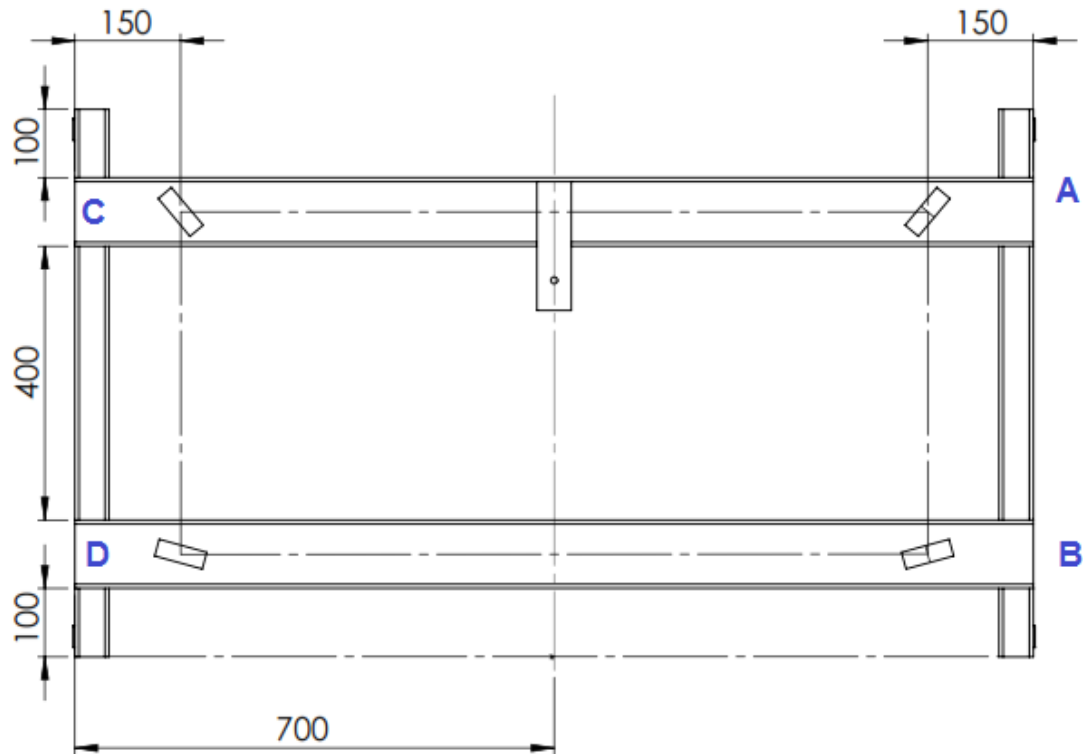


Figura 60. Esquema de ubicación de vigas y de puntos de apoyo del bastidor.

Luego se ubica el centro imaginario del bastidor, en el extremo inferior del mecanismo, posteriormente se gráfica dos círculos, que pasen por los puntos de giro o de apoyo. Una vez determinados los círculos y sus radios respectivos se procede a graficar la línea tangente al círculo, en la intersección con el apoyo, este es la dirección a la que se ubicará los ejes de guiado.

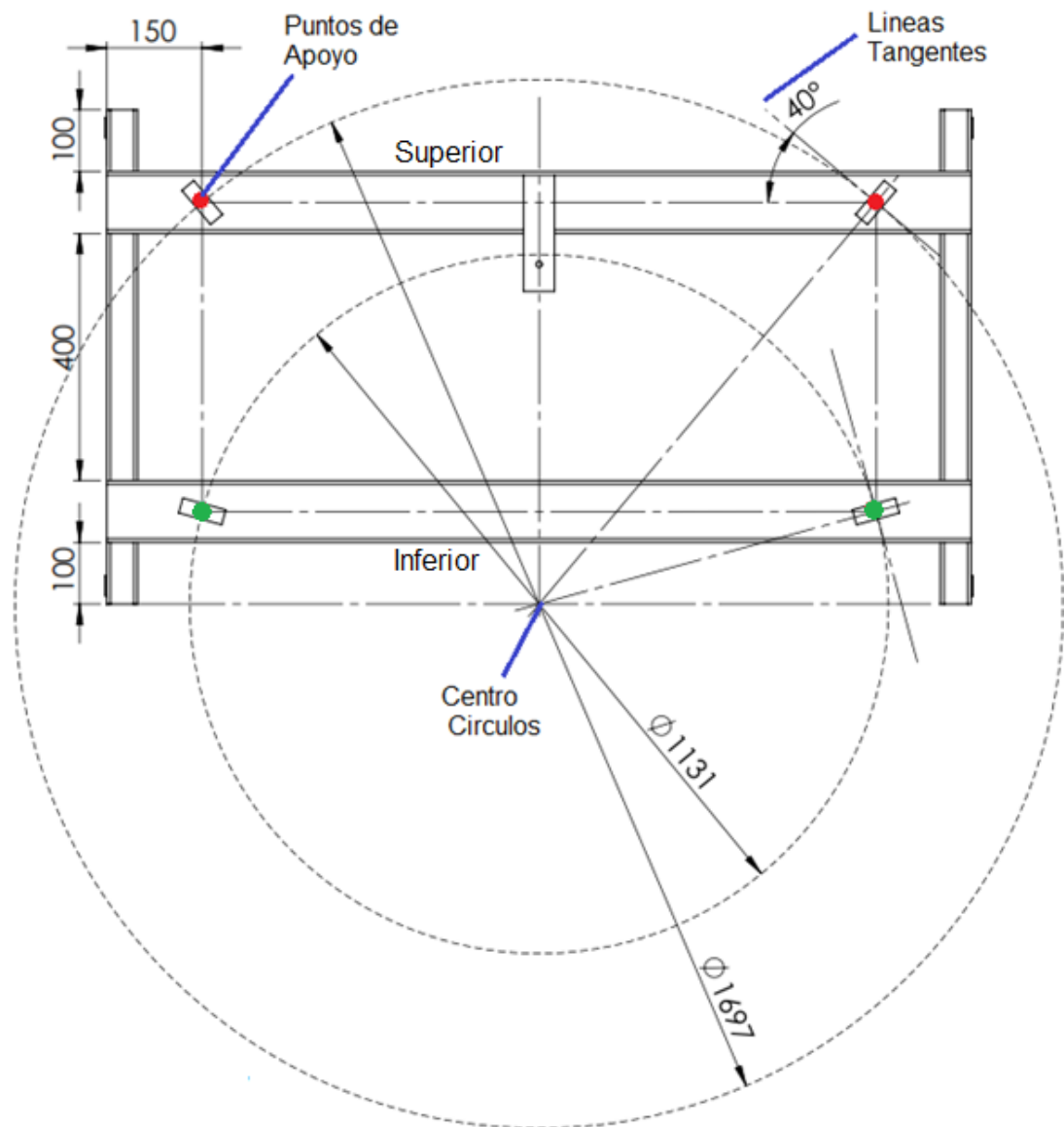


Figura 61. Esquema desarrollo de circunferencias descritas y centro de rotación.

ANÁLISIS ESTÁTICO DEL BASTIDOR

Del análisis del rodillo del alineador se toma la fuerza cortante en los apoyos, siendo esta la fuerza que actúa en el elemento AB, del bastidor. Un tubo estructural rectangular de 50mmx100mmx3mm, es utilizado debido a que en la empresa se lo encuentra como material de reciclaje.

DISEÑO ESTÁTICO ELEMENTO AB Y CD

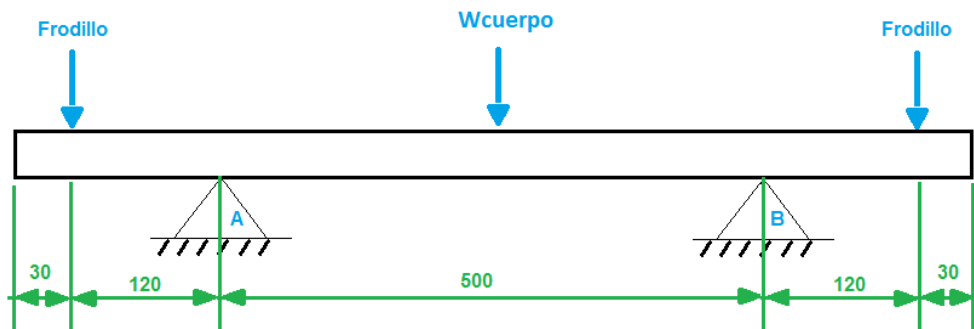


Figura 62. DCL del elemento AB del bastidor.

FUERZAS

$$\sum Fy = 0$$

$$R_A - P_c - 2 * F_{rodillo} + R_B = 0$$

$$R_A + R_B = 7375.1 [N]$$

Por simetría las reacciones en los apoyos son iguales:

$$R_A = R_B = 3687.55 [N]$$

CORTANTES

$$V_A = -F_r = -3661.7 [N]$$

$$V'_A = -F_r + R_A = -3661.7 [N] + 3687.55 [N] = 25.85 [N]$$

$$V'_B = -F_r + R_A - P_c = -3661.7 [N] + 3687.55 [N] - 51.7 [N] = -25.85 [N]$$

$$V_B = -F_r + R_A - P_c + R_B$$

$$= -3661.7 [N] + 3687.55 [N] - 51.7 [N] + 3687.55 [N]$$

$$= 3661.7 [N]$$

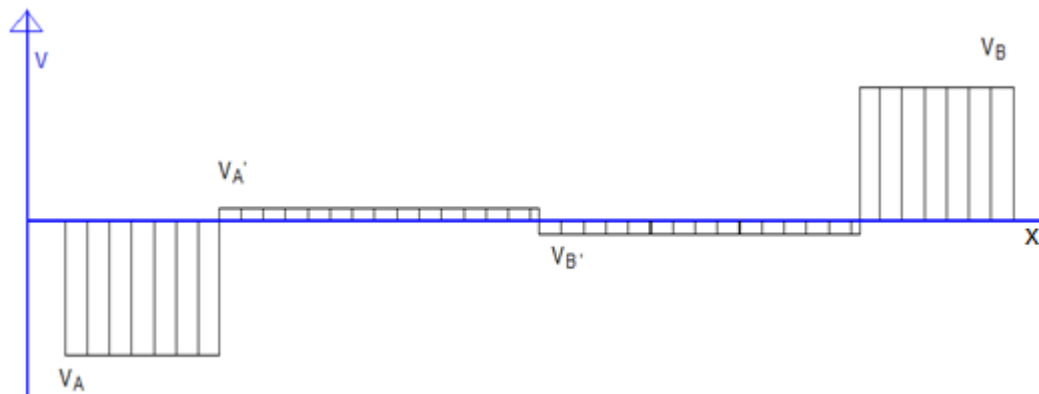


Figura 63. Diagrama de cortantes elemento AB del bastidor.

MOMENTOS

$$0 \leq x < 29.5 \text{ [mm]}$$

$$M = 0$$

$$29.5 \leq x < 150 \text{ [mm]}$$

$$M = F_r * (x - 29.5)$$

$$150 \leq x < 400$$

$$M = F_r * (x - 29.5) - R_{Ay} * (x - 150)$$

$$400 \leq x < 650 \text{ [mm]}$$

$$M = F_r * (x - 29.5) - R_{Ay} * (x - 150) + P_c * (x - 400)$$

$$650 \leq x < 770.5 \text{ [mm]}$$

$$M = F_r * (x - 29.5) - R_{Ay} * (x - 150) + P_c * (x - 400) - R_{By} * (x - 650)$$

$$770.5 \leq x < 800 \text{ [mm]}$$

$$M = F_r * (x - 29.5) - R_{Ay} * (x - 150) + P_c * (x - 400) - R_{By} * (x - 650) + F_r * (x - 770.5)$$

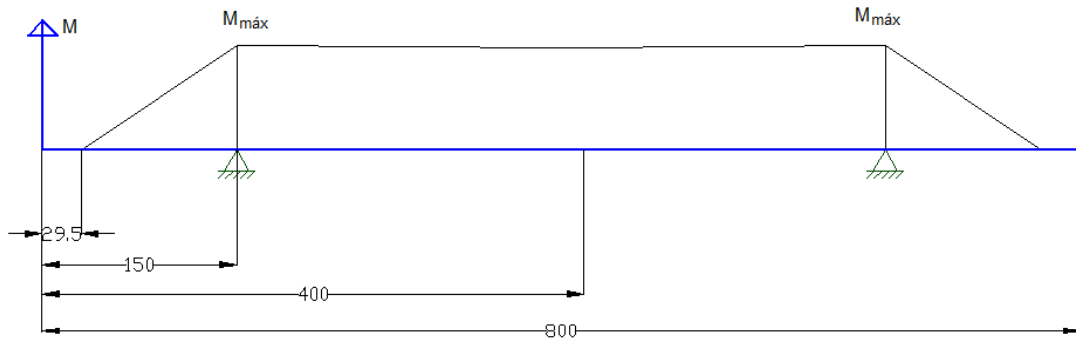


Figura 64. Diagrama de momentos elemento AB del bastidor.

El momento máximo se halla en los puntos de apoyo, cuando $x = 150 [mm]$ ó $x = 650 [mm]$.

$$M_{m\acute{a}x} = -F_r * (150 - 29.5) + R_{A_y} * (150 - 150)$$

$$M_{m\acute{a}x} = 441234.85 [N mm] = 441.23 [N m]$$

ESFUERZO NORMAL

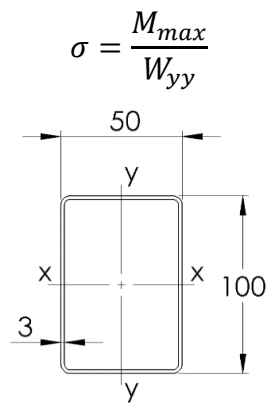


Figura 65. Esquema tubo estructural del sistema de alineación.

Tabla 44.

Especificaciones tubería estructural rectangular.

Base	Altura	Esp.	Área	Peso	Eje X-X			Eje Y-Y		
					Moment o de inercia	Módulo de sección	Radio de giro	Moment o de inercia	Módulo de sección	Radi o de giro
B [mm]	H [mm]	e [mm]	A [cm ²]	Pe [kg/m]	I [cm ⁴]	W [cm ³]	i [cm]	I [cm ⁴]	W [cm ³]	i [cm]
100	150	3	8.41	6.60	113.6	22.29	3.61	38.40	15.08	2.10

Fuente: IPAC

$$\sigma = \frac{441.23 [N m]}{22.29 [cm^3]} = \frac{441.23 [N m]}{\frac{22.29 cm^3}{100^3 cm^3} * 1m^3} = 19.79 [Mpa]$$

$$\sigma < \sigma_{perm}$$

$$19.79 [MPa] < 250 [MPa]$$

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma} = \frac{250}{19.79} = 12.6$$

DISEÑO ESTÁTICO ELEMENTO AC Y BD

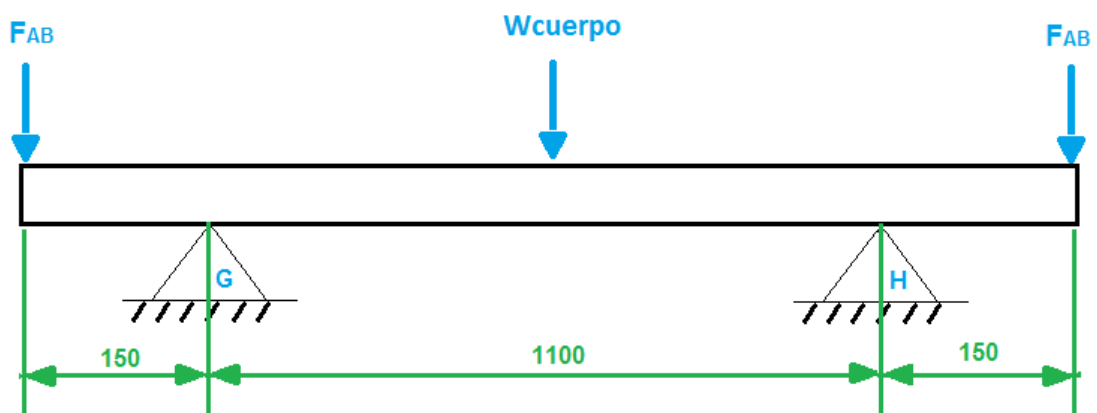


Figura 66. DCL del elemento GH del bastidor.

FUERZAS

$$\sum F_y = 0$$

$$R_G - P_c - 2 * F_{AB} + R_H = 0$$

$$R_G + R_H = 7465.1 [N]$$

Por simetría las reacciones en los apoyos son iguales:

$$R_G = R_H = 3732.55 [N]$$

CORTANTES

$$V_A = -F_{AB} = -3687.55 \text{ [N]}$$

$$V'_A = -F_{AB} + R_A = -3687.55 \text{ [N]} + 3732.55 \text{ [N]} = 45 \text{ [N]}$$

$$V'_B = -F_{AB} + R_A - P_c = -3687.55 \text{ [N]} + 3732.55 \text{ [N]} - 90 \text{ [N]} = -45 \text{ N}$$

$$V_B = -F_{AB} + R_A - P_c + R_B$$

$$= -3687.55 \text{ [N]} + 3732.55 \text{ [N]} - 90 \text{ [N]} + 3732.55 \text{ [N]}$$

$$= 3687.55 \text{ [N]}$$

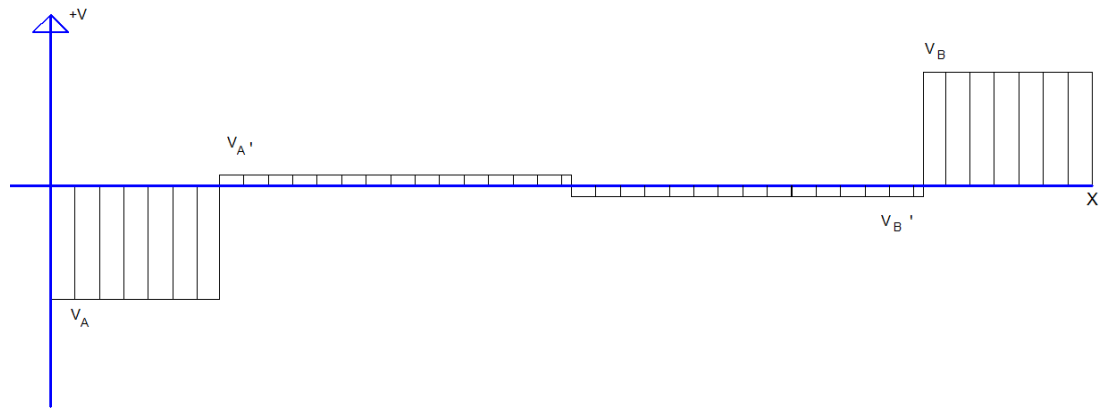


Figura 67. Diagrama de cortantes elemento GH del bastidor.

MOMENTOS

$$0 \leq x < 155 \text{ [mm]}$$

$$M = F_{AB} * (x)$$

$$155 \leq x < 700$$

$$M = F_{AB} * (x) - R_{G_y} * (x - 155)$$

$$700 \leq x < 1250 \text{ [mm]}$$

$$M = F_{AB} * (x) - R_{G_y} * (x - 155) + P_c * (x - 700)$$

$$1250 \leq x < 1400 \text{ [mm]}$$

$$M = F_{AB} * (x) - R_{G_y} * (x - 155) + P_c * (x - 700) - R_{H_y} * (x - 1250)$$

Ecuación:

$$M(x) = F_{AB} * (x) - R_{G_y} * (x - 155) + P_c * (x - 700) - R_{H_y} * (x - 1250) + F_r * (x - 1400)$$

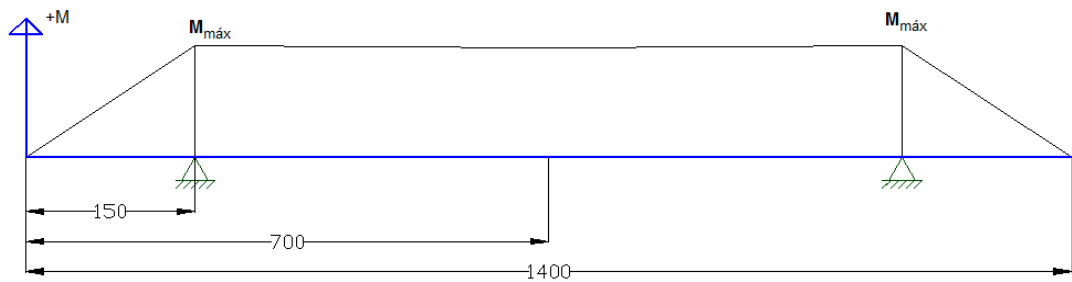


Figura 68. Diagrama de momentos elemento GH del bastidor.

El momento máximo se halla en los puntos de apoyo, cuando $x = 150 [mm]$ ó $x = 650 [mm]$.

$$M_{máx} = F_r * (155) - R_{Ay} * (150 - 150)$$

$$M_{máx} = 553132.5 [N mm] = \mathbf{571.6 [N m]}$$

ESFUERZO NORMAL

$$\sigma = \frac{571.6 [N m]}{15.08 [cm^3]} = \frac{571.6 [N m]}{\frac{15.08 cm^3}{100^3 cm^3} * 1 m^3} = 37.9 [MPa]$$

$$\sigma < \sigma_{perm}$$

$$37.9 [MPa] < 250 [MPa]$$

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma} = \frac{250}{37.9} = 6.6 \approx 7$$

MECANISMO DESLIZANTE

Uno de los factores fundamentales para determinar el diámetro del eje, es que el conjunto rodamiento lineal-rótula coincidan en su diámetro exterior e interior, respectivamente, y sean capaces de soportar las cargas.

En base a los catálogos del fabricante SKF, se determina que la opción de menor tamaño, es la relación entre un rodamiento lineal de diámetro exterior de 40 mm con una rótula de diámetro interior 40 mm.

ANÁLISIS DE VELOCIDADES

Para el análisis de la velocidad lineal de los rodamientos lineales, se realizará mediante el uso del método gráfico de centro instantáneo de rotación.

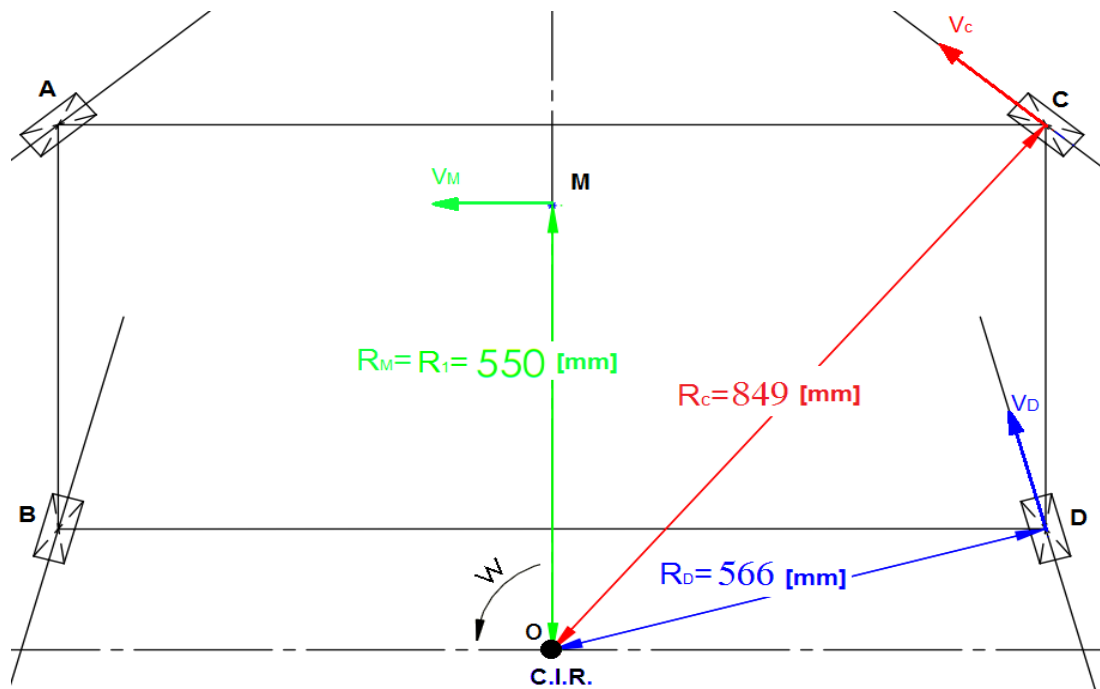


Figura 69. Centro instantáneo de rotación del bastidor.

Se obtiene el centro instantáneo de rotación, siendo este la intersección entre las perpendiculares a la dirección del movimiento de los puntos M, C y D.

VELOCIDAD ANGULAR ω

$$\omega = \frac{V}{R}$$

Para la velocidad angular en el punto O, se tiene en cuenta que según fabricantes una velocidad promedio de corrección del motor, puede ser $V_M =$

$90 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$, debido a que los sistemas de alineación no es encuentra siempre trabajando a la máxima velocidad.

$$\omega_{OM} = \frac{V_M}{R_M} = \frac{90}{550} = 0.164 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

Debido a que el centro instantáneo es común para todos los puntos, la velocidad angular $\omega_{OM} = \omega_{OC} = \omega_{OD} = \omega_{OA} = \omega_{OB}$.

Además por simetría se conoce que $V_A = V_C$, y $V_B = V_D$

La velocidad tangencial de los puntos A, B, C y D, va a ser igual a la magnitud de la velocidad de los rodamientos lineales respectivamente, debido a que los ejes de guiado limitan la dirección.

VELOCIDAD RODAMIENTOS SUPERIORES A Y C.

$$V_C = \omega_{OM} * R_C$$

$$V_C = 0.164 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] * 849[\text{mm}]$$

$$V_C = V_A = 139.24 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$$

VELOCIDAD RODAMIENTOS INFERIORES B Y D.

$$V_D = \omega_{OM} * R_D$$

$$V_D = 0.164 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] * 566[\text{mm}]$$

$$V_D = V_B = 92.8 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$$

EJES DE GUIADO

De la selección del mecanismo deslizante previamente visto se conoce que el diámetro interior del rodamiento lineal es de 25 mm, por lo que este será considerado como el diámetro del eje.

El largo de los ejes de guiado dependerá del ángulo de corrección necesaria para la aplicación.

Se determina la distancia mínima requerida como el doble de la distancia para un sentido más el ancho del rodamiento lineal, y el ancho de los dos soportes de ejes de guiado.

$$L_{eje-superior} = 2 * L + w_{rod} + 2 * w_{soportes}$$

Con ayuda del software AutoCAD, se halla las distancias mínimas de los ejes de guiado. Tomando en cuenta que el ángulo de corrección va a ser el doble del necesario para asegurar desviaciones mayores.

La figura a continuación muestra la longitud hacia un sentido de corrección, para el caso de los ejes de guiado superiores.

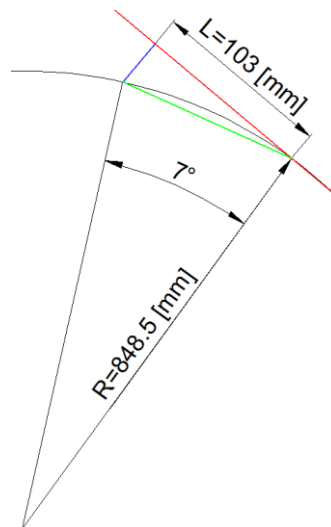


Figura 70. Diagrama geométrico del punto de apoyo superior.

$$L_{eje-superior} = 2 * L + w_{rod} + 2 * w_{soportes}$$

$$L_{eje-superior} = 2 * 103 + 58 + 2 * 25$$

$$L_{eje-superior} = 314 [mm] \cong 350[mm]$$

La siguiente figura muestra la longitud hacia un sentido de corrección, para el caso de los ejes de guiado inferiores.

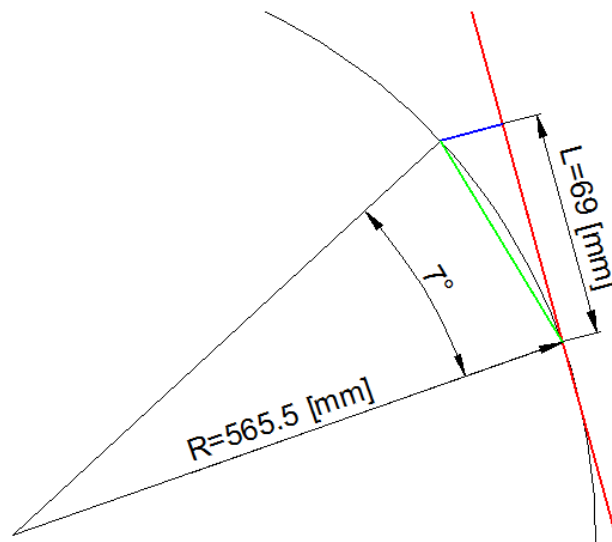


Figura 71. Diagrama geométrico del punto de apoyo inferior.

$$L_{eje-inferior} = 2 * L + w_{rod} + 2 * w_{soportes}$$

$$L_{eje-inferior} = 2 * 69 + 58 + 2 * 25$$

$$L_{eje-inferior} = 246 [mm] \cong 250[mm]$$

Los ejes de guiado forman parte del mecanismo deslizante, debido al contacto que estos tienen con los rodamientos lineales, se debe tomar en cuenta la dureza superficial.

Para los rodamientos lineales de bola SKF, según el manual técnico, se define que la dureza debe ser al menos de 58 HRC (Dureza Rockwell).

Luego de un tratamiento térmico de distensionado, cementación, temple y revenido, realizado a los ejes de guiado, acero E410, se obtiene una dureza de 61 HRC, como se indica en el Anexo E.

RIGIDEZ DE LOS EJES DE GUIADO

Tabla 45.

Propiedades mecánicas del acero E410.

Propiedades Mecánicas E410	Rangos
Densidad($\times 1000$ kg/m³)	7.7-8.03
Coefficiente de Poisson	0.27-0.30
Módulo de Elasticidad (GPa)	190-210
Resistencia a la tracción (Mpa)	1158
Limite Elástico (Mpa)	1034
Elongación (%)	15
Reducción en Área (%)	53
Dureza (HB)	335

Fuente: <http://www.steelss.com/Carbon-steel/e410.html>

EJES DE GUIADO SUPERIORES

Para el diseño de los ejes de guiado se definirá según la deflexión y desalineamiento de los ejes, tomando en cuenta que son fijados por medio de soportes.

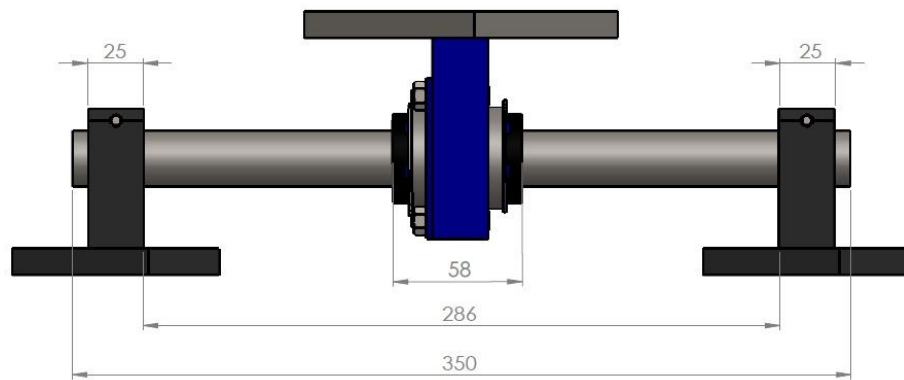


Figura 72. Esquema ubicación de eje de guiado superior y mecanismo deslizante.

Para un eje sujetado se debe considerar las cargas bajo el peso propio del eje y bajo dos cargas simétricas, basándose en las formulas propuestas por el fabricante SKF en el manual técnico de rodamientos lineales, se analiza el eje por el método de superposición.



Figura 73. DCL eje de guiado superior, bajo carga por su propio peso.

$$\delta a_1 = 2.49 * 10^{-7} * \frac{[a * (l - a)]^2}{(D^2 - d^2)}$$

$$\delta a_{m\acute{a}x} = 1.56 * 10^{-8} * \frac{l^4}{(D^2 - d^2)}$$

$$\theta a_{\frac{L}{2}} = 1.71 * 10^{-6} * a * \frac{l^2 + 2a^2 - 3al}{D^2 - d^2}$$

De acuerdo al manual técnico de rodamientos lineales del fabricante SKF, la carga aplicada en el rodamiento debe ser transformada para un mejor análisis en dos cargas de igual magnitud, debido a que el rodamiento es de forma cilíndrica. La fuerza que actúa en el rodamiento es igual a la reacción en el apoyo del elemento AC o BD, siendo $P=3732.55$ [N], $P_1=P_2=1866.3$ [N].

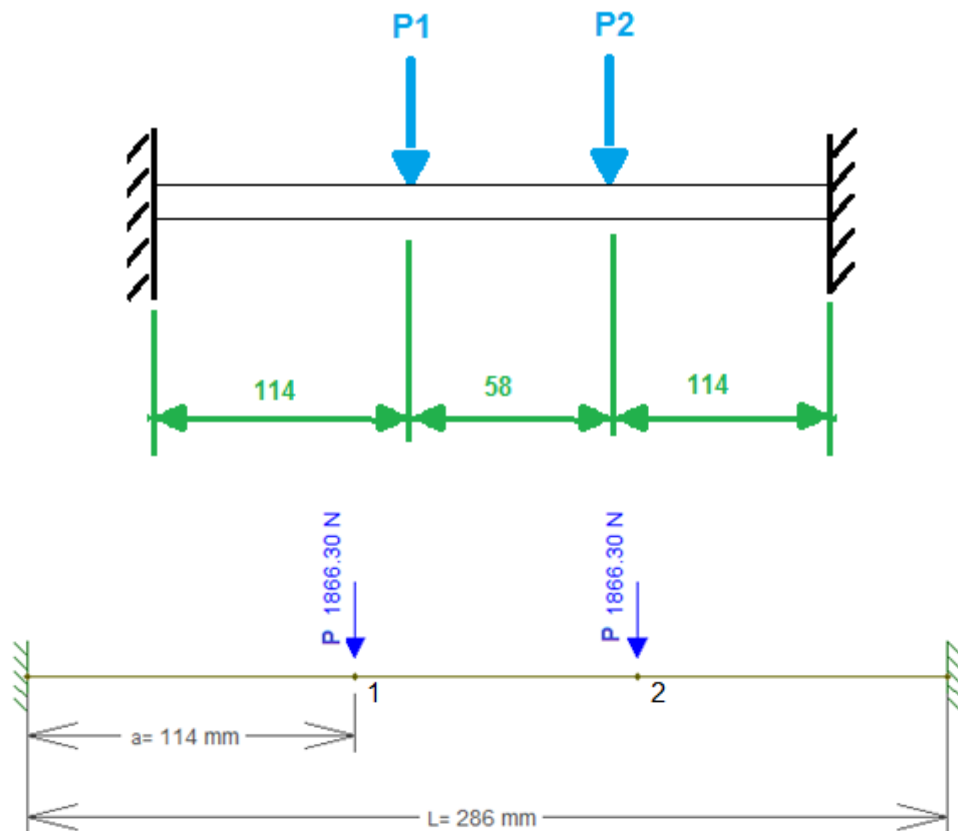


Figura 74. DCL eje de guiado superior, bajo dos carga puntuales y simétricas.

$$\delta b_1 = 0.0165 * P * a^3 * \frac{\left(2 - \frac{3a}{l}\right)}{D^4 - d^4}$$

$$\delta b_{m\acute{a}x} = 0.00412 * P * a^2 * \frac{(3l - 4a)}{(D^4 - d^4)}$$

$$\theta b_{\frac{l}{2}} = 0.17 * P * a^2 * \frac{\left(1 - \frac{2a}{l}\right)}{D^4 - d^4}$$

EJE DE GUIADO BAJO SU PROPIO PESO.

$$\delta a_1 = 2.49 * 10^{-7} * \frac{[114 * (286 - 114)]^2}{(25^2)}$$

$$\delta a_1 = 0.15[\mu m]$$

$$\delta a_{m\acute{a}x} = 1.56 * 10^{-8} * \frac{286^4}{25^2}$$

$$\delta a_{m\acute{a}x} = 0.17[\mu m]$$

$$\theta a_{\frac{l}{2}} = 1.71 * 10^{-6} * 114 * \frac{286^2 + 2 * 114^2 - 3(114)(286)}{25^2}$$

$$\theta a_{\frac{l}{2}} = 0.0031['] \text{ (minutos de arco)}$$

EJE DE GUIADO BAJO CARGA DOS CARGAS SIMÉTRICAS INDIVIDUALES.

$$\delta b_1 = 0.0165 * 1866.3 * 114^3 * \frac{\left(2 - \frac{3(114)}{286}\right)}{25^4}$$

$$\delta b_1 = 93.9 [\mu m]$$

$$\delta b_{m\acute{a}x} = 0.00412 * 1866.3 * 114^2 * \frac{(3(286) - 4(114))}{(25^4)}$$

$$\delta b_{m\acute{a}x} = 102.84[\mu m]$$

$$\theta b_{\frac{L}{2}} = 0.17 * 1866.3 * 114^2 * \frac{\left(1 - \frac{2(114)}{286}\right)}{25^4}$$

$$\theta b_{\frac{L}{2}} = 2.14['] \text{ (minutos de arco)}$$

DEFLEXIÓN Y PENDIENTE TOTALES

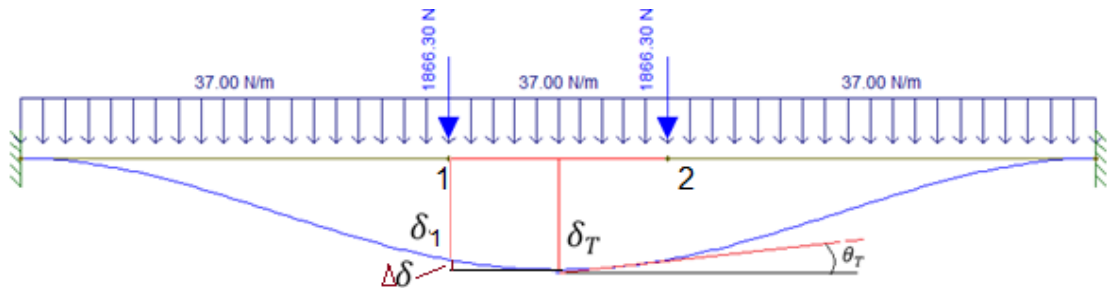


Figura 75. Deflexión y pendiente del eje de guiado superior.

$$\delta_1 = \delta a_1 + \delta b_1$$

$$\delta_1 = 93.9 + 0.15 = 94[\mu m]$$

$$\delta_T = \delta a_{m\acute{a}x} + \delta b_{m\acute{a}x}$$

$$\delta_T = 0.17 + 102.84 = 103[\mu m]$$

$$\theta_T = \theta 1_{\frac{L}{2}} + \theta 2_{\frac{L}{2}}$$

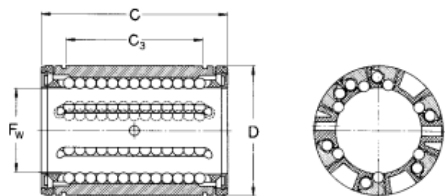
$$\theta_T = 0.0031 + 2.14 = 2.1431['] \text{ (minutos de arco)}$$

Para determinar que la holgura del rodamiento no va a ser afectada ante la deflexión del eje de guiado se determina la diferencia entre la deflexión máxima y la deflexión en el extremo del rodamiento.

$$\Delta\delta = 103 - 94 = 9 [\mu m]$$

Se comprueba que la holgura del rodamiento lineal sea menor a la deformación elástica permisible en la zona de contacto, mediante la gráfica del fabricante SKF, figura 4.33, para el rodamiento lineal LBCR25.

De la figura 4.32, especificaciones del fabricante, se obtiene el valor de la capacidad de carga estática C_o .



LBCR .. A linear ball bearing with 2 shields

LBCR .. A design

Dimensions				No. of ball rows	Basic load ratings		Mass	Designations	
F_w	D	C	C_3		dyn. C	stat. C_o		Linear ball bearing with 2 shields 2 double lip seals	
mm				—	N		kg		
5	12	22	12	4	280	210	0,005	LBCR 5 A	LBCR 5 A-2LS
8	16	25	14	4	490	355	0,010	LBCR 8 A	LBCR 8 A-2LS
12	22	32	20	6	1 160	980	0,023	LBCR 12 A	LBCR 12 A-2LS
16	26	36	22	6	1 500	1 290	0,030	LBCR 16 A	LBCR 16 A-2LS
20	32	45	28	7	2 240	2 040	0,059	LBCR 20 A	LBCR 20 A-2LS
25	40	58	40	7	3 350	3 350	0,11	LBCR 25 A	LBCR 25 A-2LS
30	47	68	48	7	5 600	5 700	0,18	LBCR 30 A	LBCR 30 A-2LS
40	62	80	56	7	9 000	8 150	0,35	LBCR 40 A	LBCR 40 A-2LS
50	75	100	72	7	13 400	12 200	0,60	LBCR 50 A	LBCR 50 A-2LS
60	90	125	95	7	20 400	18 000	1,25	LBCR 60 A	LBCR 60 A-2LS
80	120	165	125	7	37 500	32 000	3,0	LBCR 80 A	LBCR 80 A-2LS

Figura 76. Especificaciones rodamiento lineal LBCR25 de SKF.

Fuente: Manual Técnico de rodamientos lineales SKF

Para utilizar la gráfica de Deformación elástica permisible en la zona de contacto se debe hallar el factor P/C_o .

Donde:

P = Carga estática equivalente

C_o = Capacidad de carga estática del rodamiento, según el fabricante

$$\frac{P}{C_o} = \frac{1866.3[N]}{3350[N]} = 0.55$$

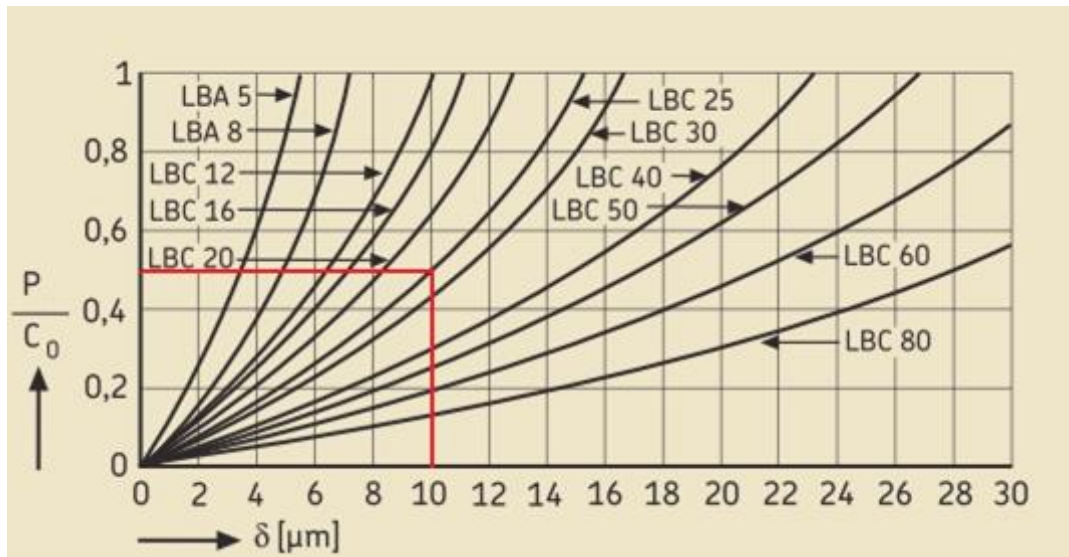


Figura 77. Deformación elástica permisible en la zona de contacto para rodamientos lineales.

Fuente: Manual Técnico de rodamientos lineales SKF

El valor máximo de la variación de la deflexión permitida entre un extremo del rodamiento lineal y el centro es alrededor de $\Delta\delta_{skf} = 10 [\mu m]$.

Por lo tanto.

$$\Delta\delta < \Delta\delta_{skf}$$

$$9 [\mu m] < 10 [\mu m]$$

Por último se determina la rigidez del eje de guiado.

$$k = \frac{F}{\delta_{m\acute{a}x}} = \frac{1866.3}{103} = 18.12 \frac{N}{\mu m}$$

El límite de la pendiente para rodamientos lineales de bola no autoalineables, según el fabricante SKF es de 5' (minutos de arco).

$$\theta_T < \theta$$

$$2.1431' < 5'$$

En la figura 4.34 se puede observar el valor de des-alineamiento de acuerdo a la pendiente del eje.

α (°)	f_m
5,0	1,00
7,5	0,93
10,0	0,82
12,5	0,68
15,0	0,50

Figura 78. Influencia por des-alineamiento.

Fuente: Manual Técnico de rodamientos lineales SKF

Donde:

α (°) = *Pendiente en el punto central del eje*

f_m = *Factor por desalineamiento*

El límite de pendiente para rodamientos lineales no auto alineables, como lo es el elegido, es de 5°.

El manual técnico de rodamientos lineales de SKF recomienda que para valores menores de pendiente de 5°, el factor por des-alineamiento es igual a uno.

$f_m = 1.$

EJES DE GUIADO INFERIORES

De la misma manera se realiza el análisis para los ejes de guiado inferiores del sistema.

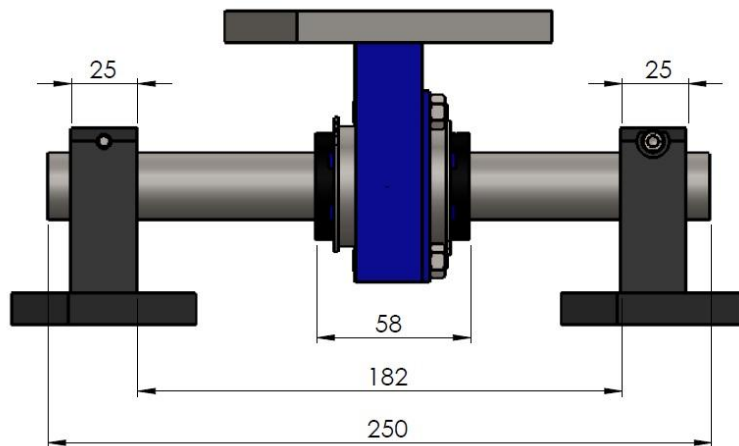


Figura 79. Esquema ubicación de eje de guiado inferior y mecanismo deslizante.

EJE DE GUIADO BAJO SU PROPIO PESO.

$$\delta a_1 = 2.49 \cdot 10^{-7} * \frac{[62 * (182 - 62)]^2}{(25^2)}$$

$$\delta a_1 = 0.022 [\mu m]$$

$$\delta a_{m\acute{a}x} = 1.56 \cdot 10^{-8} * \frac{182^4}{25^2}$$

$$\delta a_{m\acute{a}x} = 0.027 [\mu m]$$

$$\theta_{a_L} = 1.71 \cdot 10^{-6} * 62 * \frac{182^2 + 2 * 62^2 - 3(62)(182)}{25^2}$$

$$\theta_{a_L} = 0.0012 ['] \text{ (minutos de arco)}$$

EJE DE GUIADO BAJO CARGA DOS CARGAS SIMÉTRICAS INDIVIDUALES.

$$\delta b_1 = 0.0165 * 1866.3 * 62^3 * \frac{\left(2 - \frac{3(62)}{182}\right)}{25^4}$$

$$\delta b_1 = 18.38 [\mu m]$$

$$\delta b_{m\acute{a}x} = 0.00412 * 1866.3 * 62^2 * \frac{(3(182) - 4(62))}{(25^4)}$$

$$\delta b_{m\acute{a}x} = 22.55 [\mu m]$$

$$\theta b_{\frac{L}{2}} = 0.17 * 1866.3 * 62^2 * \frac{\left(1 - \frac{2(62)}{182}\right)}{25^4}$$

$$\theta b_{\frac{L}{2}} = 0.995 \approx 1 ['] \text{ (minutos de arco)}$$

DEFLEXIÓN Y PENDIENTE TOTALES

$$\delta_1 = \delta a_1 + \delta b_1$$

$$\delta_1 = 0.022 + 18.38 = 18.402 [\mu m]$$

$$\delta_T = \delta a_{m\acute{a}x} + \delta b_{m\acute{a}x}$$

$$\delta_T = 0.027 + 22.55 = 22.577 [\mu m]$$

$$\theta_T = \theta 1_{\frac{L}{2}} + \theta 2_{\frac{L}{2}}$$

$$\theta_T = 0.0012 + 1 = 1.0012 ['] \text{ (minutos de arco)}$$

COMPROBACIÓN HOLGURA RODAMIENTO

$$\Delta\delta = 22.577 - 18.402 = 4.18 [\mu m]$$

$$\Delta\delta < \Delta\delta_{skf}$$

$$4.18 [\mu m] < 10 [\mu m]$$

RIGIDEZ DEL EJE DE GUIADO

$$k = \frac{F}{\delta_{m\acute{a}x}} = \frac{1866.3}{22.577} = 82.66 \frac{N}{\mu m}$$

VERIFICACIÓN PENDIENTE

$$\theta_T < \theta$$

$$2.1431' < 5'$$

Por lo tanto el factor por des-alineamiento es $f_m = 1$.

DETERMINACIÓN DEL TIEMPO VIDA ÚTIL DEL RODAMIENTO

Fórmulas tomadas del Manual Técnico de SKF "Linear Bearings and Units".

$$L_{nh} = \frac{c_1 * c_2 * 5 * 10^7 * f_s * \left(\frac{C_{eff}}{P}\right)^3}{s * n * 60}$$

Donde:

L_{nh} = tiempo de vida en horas de operación

c_1 = factor de confiabilidad

c_2 = factor de condiciones de operación

f_s = factor de influencia de la longitud de la carrera

C_{eff} = carga efectiva dinámica, N

P = carga dinámica equivalente, N

s = longitud de carrera simple, mm

n = frecuencia de la carrera (de ida y vuelta)

FACTOR DE CONFIABILIDAD c_1

Seleccionando un factor de confiabilidad común en el diseño de rodamientos se escoge el 90% con lo que el valor del factor es 1.

Table 2.9 Factor c_1 for reliability		
Reliability %	L_{rs}	c_1
50	L_{50s}	5,04
60	L_{40s}	3,83
70	L_{30s}	2,77
80	L_{20s}	1,82
90	L_{10s}	1
95	L_{5s}	0,62
96	L_{4s}	0,53
97	L_{3s}	0,44
98	L_{2s}	0,33
99	L_{1s}	0,21

Figura 80. Factores de Confiabilidad.

Fuente: Manual Técnico de rodamientos lineales SKF

LONGITUD DE CARRERA SIMPLE "S"

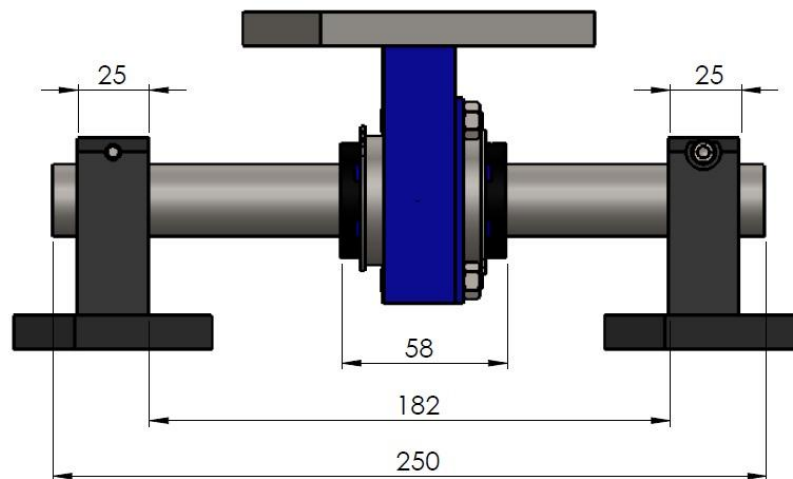


Figura 81. Esquema de mecanismo deslizante inferior.

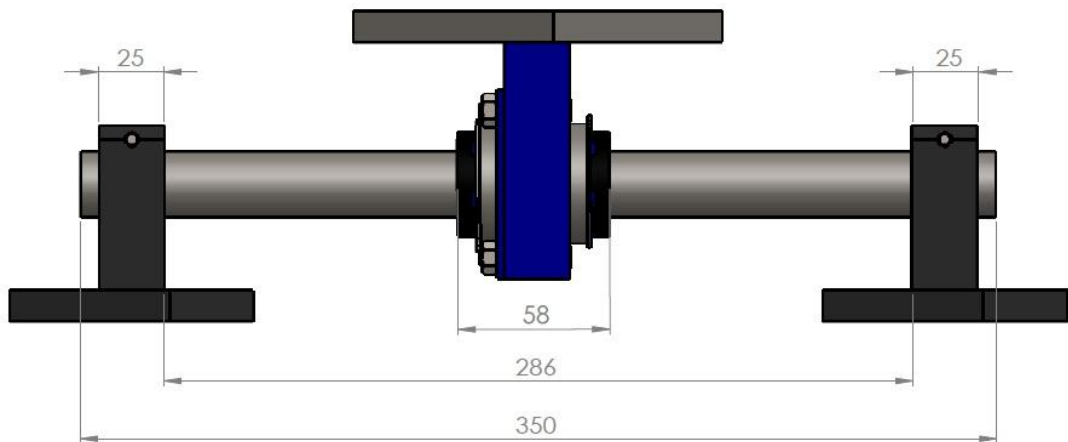


Figura 82. Esquema de mecanismo deslizante superior.

Para obtener la longitud de carrera real, es decir, el desplazamiento real del rodamiento lineal, se recurre al software de simulación SOLIDWORKS, el mismo que cuenta con la disposición de las piezas y ejes deslizantes.

$$s = \text{Longitud de carrera real} - \text{ancho del rodamiento} = 286 \text{ mm} - 58 \text{ mm} \\ = 228 \text{ mm}$$

FRECUENCIA DE LA CARRERA n

A fin de determinar la frecuencia de la carrera se recurre a los cálculos realizados previamente en los que se determina que la velocidad de operación de los rodamientos al deslizarse en los ejes corresponde a 139.24 mm/s.

$$t = \frac{d}{v} = \frac{228 \text{ mm}}{139.24 \frac{\text{mm}}{\text{s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}} = 0.027 \text{ min}$$

$$n = \frac{1}{2 * t} = \frac{1}{2 * 0.027} \text{ min}^{-1} = 18.51 \text{ min}^{-1}$$

FACTOR DE CONDICIONES DE OPERACIÓN c_2

De acuerdo a la longitud de carrera y la frecuencia de la carrera, la velocidad media es:

$$v = \frac{2 * s * n}{60} = \frac{2 * 228 * 18.51}{60} = 140.68 \frac{mm}{s} = 0.14 \frac{m}{s}$$

A fin de determinar el factor de condiciones de operación se requiere establecer previamente la razón de viscosidad k en base al establecimiento de la viscosidad mínima requerida para el tipo de rodamiento y de la viscosidad de la grasa empleada en su lubricación, para lo que se toma una temperatura máxima de funcionamiento de 40°C. Además es necesario conocer F_w el diámetro nominal inscrito dentro del juego de bolas del rodamiento lineal.

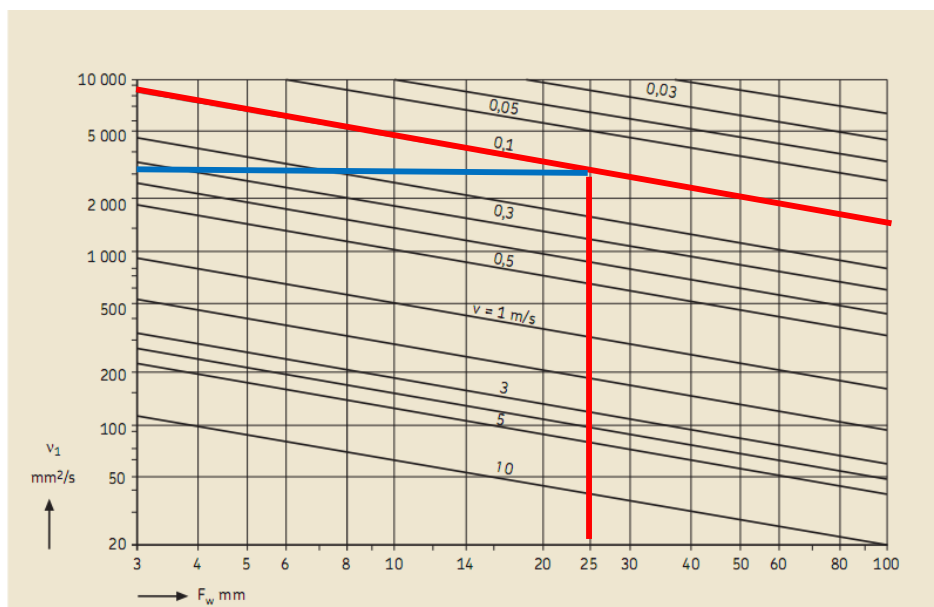


Figura 83. Requisito cinemático de viscosidad.

Fuente: Manual Técnico de rodamientos lineales SKF

Analizando las curvas en el gráfico de acuerdo a la velocidad de operación de 0.14 m/s y el diámetro nominal inscrito se obtiene una viscosidad mínima requerida de 3000 mm²/s. De la hoja de características técnicas de la grasa empleada en la empresa para la lubricación correspondiente a TOP 1 SYNTHETIC HI-TEMP GREASE, Anexo F, la viscosidad es 538 cSt o mm²/s.

$$k = \frac{v}{v_1} = \frac{538}{3000} = 0.18$$

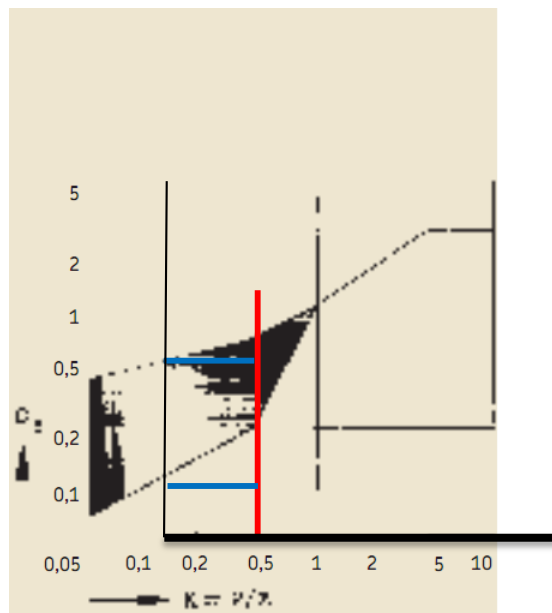


Figura 84. Factor C2 para condiciones de operación.

Fuente: Manual Técnico de rodamientos lineales SKF

Los valores de c2 oscilan entre 0.15 y 0.6. Debido a que las grasas generalmente son sometidas en su fabricación a un control de calidad constante se puede otorgar la máxima confiabilidad, obteniendo un factor de condiciones de operación de 0.6.

FACTOR DE INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE LA CARRERA f_s

La tabla que se detalla a continuación permiten obtener el factor f_s para rodamientos lineales a partir de la razón que se obtiene entre la longitud de la carrera simple y la longitud de soporte $l_t=C$.

$$\frac{l_s}{l_t} = \frac{238}{58} = 4.1$$

Tabla 46.

Factor F_s .

l_s/l_t	F_s
1.00	1.00
0.9	0.91
0.8	0.82
0.7	0.73
0.6	0.63
0.5	0.54
0.4	0.44
0.3	0.34
0.2	0.23
0.1	0.13

Fuente: Manual Técnico de rodamientos lineales SKF

Para razones con valores mayores a uno, el factor corresponde al valor de 1.

CARGA EFECTIVA DINPAMICA C_{eff}

$$C_{eff} = f_h * f_i * C$$

Donde:

f_h = factor de dureza superficial del eje

f_i = factor número de rodamientos cargados por unidad, rodamientos lineales SKF es 1.

C = capacidad de carga dinámica, tabla SKF, figura 4.34

De acuerdo a la dureza de los ejes obtenida posterior al tratamiento superficial, Anexo E, con el valor de 61 HRC, se procede a obtener el factor. Para valores mayores a 700 HV (59 HRC) este factor es 1.

$$C_{eff} = 1 * 1 * 3350 = 3350 N$$

CARGA DINÁMICA EQUIVALENTE P

$$P = f_l * f_m * F_m$$

Donde:

f_l = Factor por dirección de la carga

f_m = Factor por desalineamiento

F_m = Carga media constante

Si la carga F_m que actúa sobre rodamiento lineal corresponde a los requisitos para la capacidad de carga dinámica, es decir no se ve modificada por factores como dirección de la carga (la línea de carga actúa en la zona de mayor capacidad de carga del rodamiento lineal de acuerdo al montaje realizado, como indica la figura 4.43) o desalineamiento (factor cumple condición de pendiente menor a 5 minutos, establecido en el diseño de ejes, por lo que toma el valor de uno) dentro de su operación, entonces $P = F_m$ y la carga se puede insertar directamente en la ecuación de la vida útil.

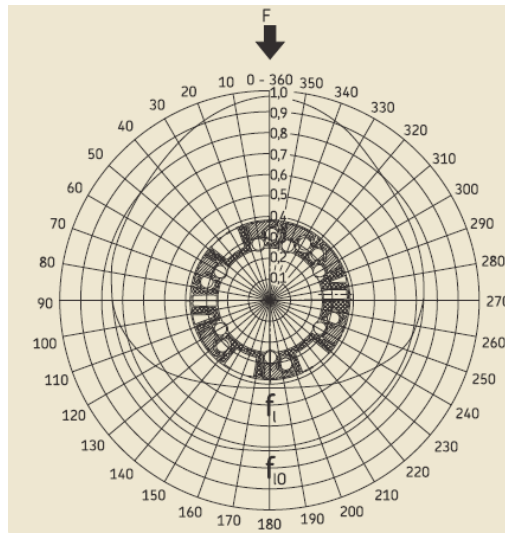


Figura 85. Factor FI y FIO, de la influencia de la dirección de la carga para rodamientos lineales de las series LBCR y LBCD.

Fuente: Manual Técnico de rodamientos lineales SKF

$$P = \frac{P_{\text{bastidor superior} + \text{rodillos alineador}} + T_{\text{lámina al 50\%}}}{4} = \frac{284 \text{ N} + 3500 \text{ N}}{4}$$

$$= 946 \text{ N}$$

$$L_{nh} = \frac{1 * 0.6 * 5 * 10^7 * 1 * \left(\frac{3350}{946}\right)^3}{228 * 18.51 * 60} = 5261.26 \text{ horas de trabajo}$$

*250 días laborables al año * 16 horas trabajo diarias*

= 4000 horas de trabajo al año

$$\text{tiempo de vida útil en años} = \frac{5261.26}{4000} = 1.32 \text{ años de vida útil}$$

SELECCIÓN DE LA RÓTULA

Una de las principales limitaciones de la rótula es que debe albergar el rodamiento lineal, por lo que su diámetro interior debe equipararse con el diámetro exterior del rodamiento lineal y soportar la carga estática del bastidor, los rodillos y la tensión de la lámina.

Debido a sus características de rendimiento mejorado, el método de cálculo de la vida nominal básica utilizado para rótulas TX tiene en cuenta las mejoras introducidas en la vida de los rodamientos.

$$G_h = b_1 * b_2 * b_4 * \frac{K_p}{p^n v}$$

Donde:

G_h = tiempo de vida útil en horas de operación

b_1 = factor de dirección de la carga

b_2 = factor de temperatura

b_4 = factor de velocidad

p = carga específica

K_p = constante de carga específica del rodamiento

n = exponente de carga específica del rodamiento

v = velocidad media de deslizamiento

CARGA DINÁMICA EQUIVALENTE P

Las rótulas radiales pueden soportar tanto cargas axiales F_a como radiales F_r , donde la carga dinámica equivalente puede ser obtenida de:

$$P = y * F_r$$

Donde:

P = carga dinámica equivalente

y = factor de carga axial

F_r = Componente radial de la carga

En este caso de cálculo el componente axial es nulo, por lo que el factor de carga axial es igual a 1.

$$P = 1 * 946 N = 946 N$$

CARGA ESPECÍFICA p

$$p = 300 * \frac{P}{C}$$

Donde:

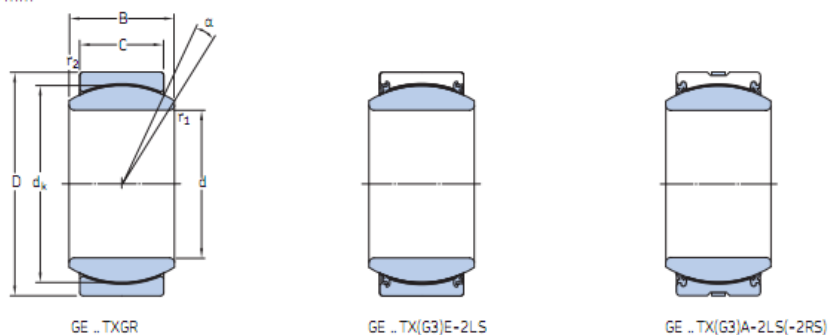
p = carga específica

P = carga equivalente dinámica

C = capacidad de carga dinámica, tomada del catálogo "Rótulas TX de alto rendimiento y cabezas de articulación" de SKF.

$$p = 300 * \frac{946 \text{ N}}{280000 \text{ N}} = 1.01 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Maintenance-free TX spherical plain bearings
d 12 – 300 mm



Principal dimensions				Angle of tilt ⁽¹⁾	Basic load ratings		Mass	Designations	
d	D	B	C		dynamic	static		Through-hardened steel bearing	Stainless steel bearing
mm				degrees	kN		kg	-	
12	22	10	7	10	30	50	0,017	-	GE 12 TXGR
15	26	12	9	8	47,5	80	0,032	-	GE 15 TXGR
17	30	14	10	10	60	100	0,050	-	GE 17 TXGR
20	35	16	12	9	83	140	0,065	GE 20 TXE-2RS	GE 20 TXG3E-2RS
25	42	20	16	7	137	228	0,12	GE 25 TXE-2LS	GE 25 TXG3E-2LS
30	47	22	18	6	176	290	0,16	GE 30 TXE-2LS	GE 30 TXG3E-2LS
35	55	25	20	6	224	375	0,23	GE 35 TXE-2LS	GE 35 TXG3E-2LS
40	62	28	22	6	280	465	0,32	GE 40 TXE-2LS	GE 40 TXG3E-2LS
45	68	32	25	7	360	600	0,46	GE 45 TXE-2LS	GE 45 TXG3E-2LS

Figura 86. Especificaciones de rótulas de SKF.

Fuente: Manual Técnico Rótulas de alto rendimiento TX y cabezas de articulación.

VELOCIDAD MEDIA DE DESLIZAMIENTO

$$v = 5.82 * 10^7 * d_k * \beta * f$$

Donde:

v = velocidad media de deslizamiento

d_k = diámetro de la esfera del anillo interior, figura 4.44

β = ángulo de oscilación en grados, figura 4.45

f = frecuencia de oscilación

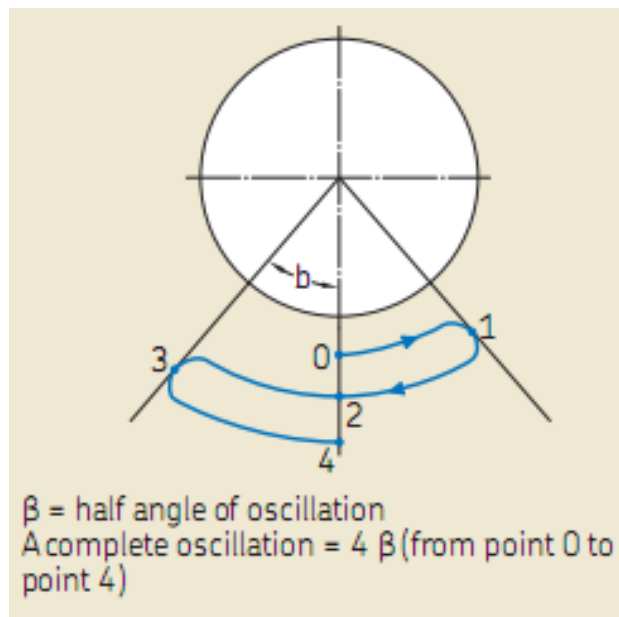


Figura 87. Esquema determinación de ciclo de trabajo.

Fuente: Manual Técnico Rótulas de alto rendimiento TX y cabezas de articulación.

Como se puede observar en el gráfico, una oscilación completa corresponde al recorrido total que realiza el rodamiento desde un punto origen hasta retornar al mismo. En su desplazamiento, el mecanismo realiza la oscilación completa de 4β en el mismo tiempo en el que se desplaza dos veces en la longitud de carrera del eje, por lo que la frecuencia de oscilación es la misma que la frecuencia de la carrera empleada en el cálculo de rodamientos lineales.

$$n = f = 18.51 \text{ min}^{-1}$$

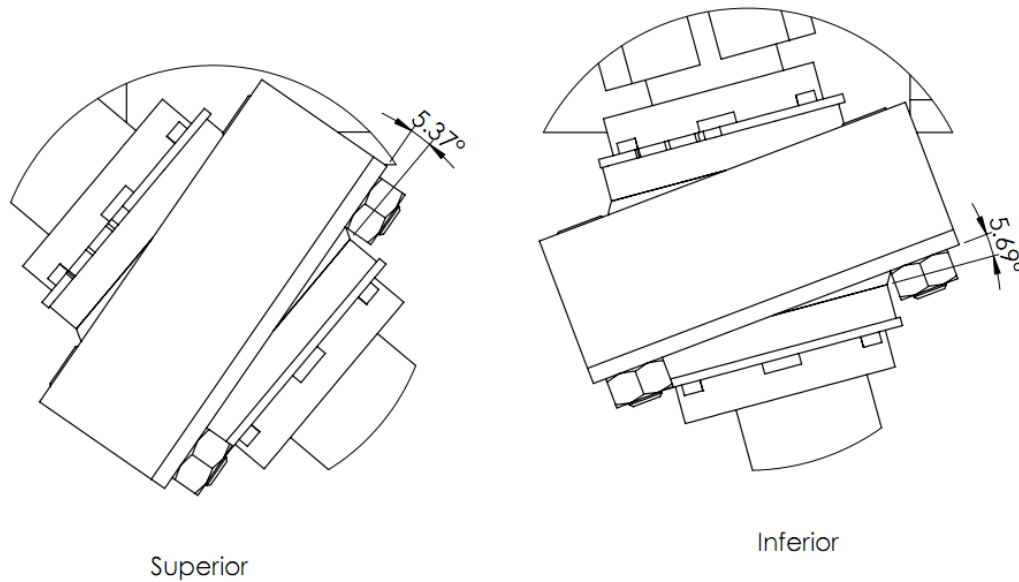


Figura 88. Movimiento angular de rótulas del sistema de alineación, Simulado en Solidworks.

En la figura se puede observar la rotación máxima de las rótulas en el recorrido del desplazamiento. El valor máximo corresponde a la disposición de los ejes inferiores del mecanismo 5.69°. Las gráficas han sido tomadas del software de simulación SOLIDWORKS.

$$v = 5.82 * 10^{-7} * 53 * 5.69 * 18.51 = 3.25 * 10^{-3} \frac{m}{s} = 0.00325 \frac{m}{s}$$

FACTOR DE DIRECCIÓN DE LA CARGA b1

Load direction factor b_1		
Type of load	Specific load (N/mm ²)	Factor b_1
Constant		
single direction	up to 300	1
Varying loads (alternating, pulsating) at load frequencies		
up to 0,5 Hz	up to 50	0,55
	50 to 100	0,4
over 0,5 to 1 Hz	up to 50	0,35
	50 to 100	0,15
over 1 to 5 Hz	up to 50	0,1

Figura 89. Tabla de factor b_1 dirección de carga para rótulas.

Fuente: Manual Técnico Rótulas de alto rendimiento TX y cabezas de articulación.

FACTOR DE TEMPERATURA b_2

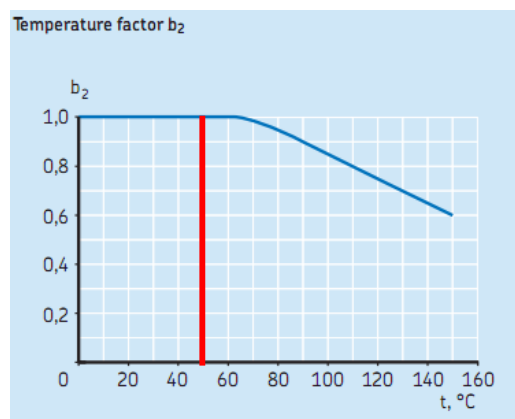


Figura 90. Gráfico de factor de temperatura b_2 para rótulas.

Fuente: Manual Técnico Rótulas de alto rendimiento TX y cabezas de articulación.

FACTOR DE VELOCIDAD b_4

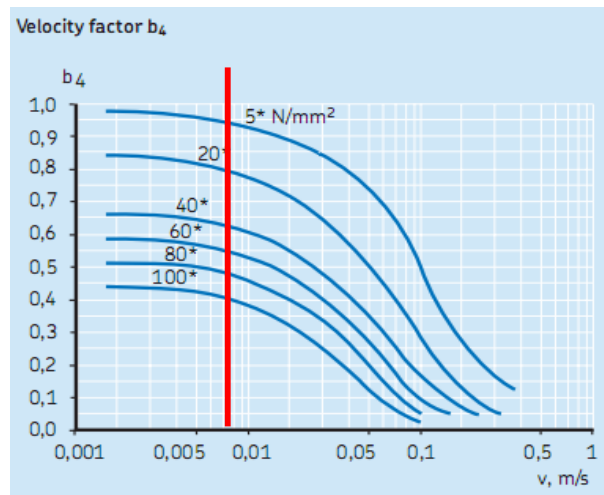


Figura 91. Gráfico de factor de velocidad b_4 para rótulas.

Fuente: Manual Técnico Rótulas de alto rendimiento TX y cabezas de articulación.

De la figura se puede deducir que para cargas específicas menores a 5 N/mm² el factor es igual a 1.

CONSTANTE DE CARGA ESPECÍFICA DEL RODAMIENTO K_p y
EXPONENTE DE CARGA ESPECÍFICA DEL RODAMIENTO n

Constant K_p and exponent n for the specific bearing load		
Specific bearing load over incl.	Constant K_p	Exponent n
N/mm ²	-	-
25	770	0,2
25 90	4 000	0,7
90 300	40 000	1,2

Figura 92. Tabla de constante de cara específica y exponente n .

Fuente: Manual Técnico Rótulas de alto rendimiento TX y cabezas de articulación.

$$G_h = 1 * 1 * 1 * \frac{770}{1.01^{0.2} * 0.00325} = 236452.05 \text{ horas de vida útil}$$

$$\begin{aligned} & 250 \text{ días laborables al año} * 16 \text{ horas trabajo diarias} \\ & = 4000 \text{ horas de trabajo al año} \end{aligned}$$

$$\text{tiempo de vida útil en años} = \frac{236452.05}{4000} = 59.11 \text{ años de vida útil}$$

Como se puede observar la rótula se encuentra sobredimensionada, por tratarse de un elemento diseñado para ser libre de mantenimiento. En lugar de la rótula, existía la opción de seleccionar un rodamiento de tipo oscilante, sin embargo, para esta condición de carga, el rodamiento oscilante presentaba diámetros externos y anchos superiores a las dimensiones que se podían incluir dentro de los bastidores superior e inferior del mecanismo alineador. Además la relación costo-beneficio resultó favorable.

ALOJAMIENTO DE RÓTULA

El alojamiento de la rótula se diseña bajo los parámetros del fabricante SKF, tomando en cuenta la tolerancia, el diámetro del contrafuerte y el radio de los filetes del mismo, estos parámetros se indican en la figura 4.52. Los planos del alojamiento se encuentran en el Anexo H.

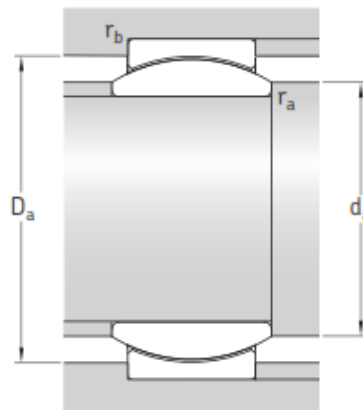


Figura 93. Esquema de alojamiento de rótula.

Dimensions				Abutment and fillet dimensions					
d	d _k	r ₁ min	r ₂ min	d _a min	d _a max	D _a min	D _a max	r _a max	r _b max
mm				mm					
12	18	0,3	0,3	13,8	15	17,1	20,4	0,3	0,3
15	22	0,3	0,3	16,9	18,4	20,9	24,3	0,3	0,3
17	25	0,3	0,3	19	20,7	23,7	28,3	0,3	0,3
20	29	0,3	0,3	22,1	24,2	27,6	33,2	0,3	0,3
25	35,5	0,6	0,6	28,2	29,3	36,9	39,2	0,6	0,6
30	40,7	0,6	0,6	33,3	34,2	41,3	44	0,6	0,6
35	47	0,6	1	38,5	39,8	48,5	51	0,6	1
40	53	0,6	1	43,5	45	54,5	57,5	0,6	1
45	60	0,6	1	49,5	50,8	61	63,5	0,6	1

Figura 94. Especificaciones para el diseño de alojamiento de la rótula.

Fuente: Manual Técnico Rótulas de alto rendimiento TX y cabezas de articulación.

La tolerancia escogida recomendada por el fabricante para Rótulas es K7, para la rótula escogida, se obtiene diámetro de contrafuerte $D_a=56$ [mm], y el radio de filete $r_a=1$ [mm].

BASE

La base del sistema de guiado ayuda a la robustez del sistema, y en esta se ubica los soportes de los ejes de guiado de acuerdo a los ángulos necesarios y a la longitud de los ejes de guiado.

Una vez obtenidas las longitudes de los ejes se halla las distancias a la se deben ubicar los soportes.

$$y = L_{ejes} * \text{sen}(\theta)$$

Para ejes de guiado superiores.

$$y = 350 * \text{sen}(40) = 225 \text{ [mm]}$$

Para ejes de guiado inferiores.

$$y = 250 * \text{sen}(74.6) = 241 \text{ [mm]}$$

Se determina una distancia de 250 [mm] tanto para los ejes de guiado superiores como inferiores, quedando las dimensiones de la base como se muestra en la figura.

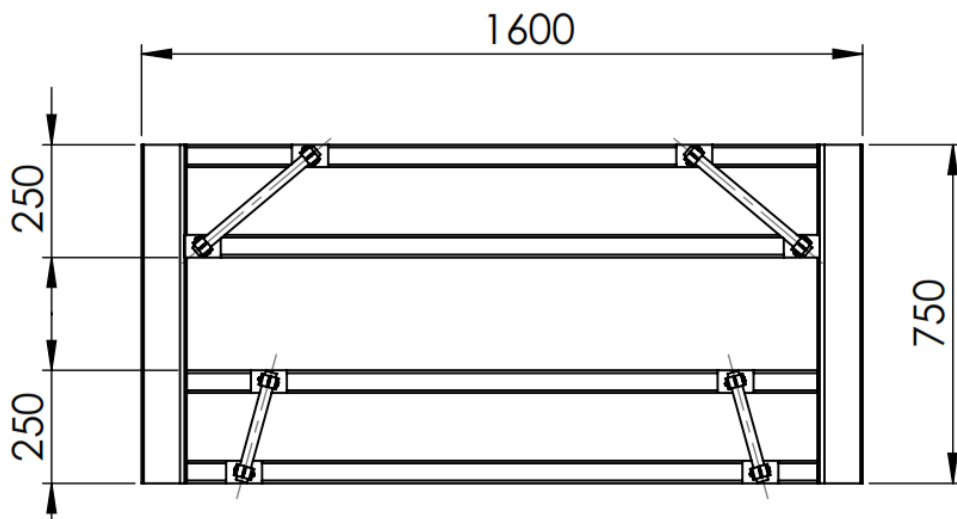


Figura 95. Esquema de base del sistema de guiado.

Se fija la distancia entre ejes de guiado y mediante el software SOLIDWORKS, se comprueba que el desplazamiento angular, obtenido a cierta distancia fijada de los ejes, está dentro del valor calculado.

SUJECIONES

Para la selección de los pernos que sujetarán los rodillos de eje muerto del sistema alineador se toman en cuenta las fuerzas cortantes y de aplastamiento máximas que soportará el bastidor superior de acuerdo a los materiales de los que están conformados tanto el bastidor como los pernos, además se considera un factor de seguridad previamente establecido (Guardiola, s.f.).

Las fórmulas han sido tomadas del apartado 8-12 “Uniones con pernos y remaches cargadas en cortante” del libro de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.

DATOS

Factor de diseño: $n_d=5$

PERNO: PERNO DE ACERO GRADO 5 DE $\frac{1}{4}$ a 1 pulgada de diámetro

Los datos son tomados de la tabla 8-9 del libro de Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley:

$S_p=85$ kpsi

$S_{ut}=120$ kpsi

PERFIL ESTRUCTURAL RECTANGULAR 100x50x3: ASTM A36

$S_y=36$ kpsi

$S_{ut}=58$ kpsi

COMPROBACIÓN DE PERNO A CORTANTE

$$\tau = \frac{F_v}{A} = 0.577 \frac{S_p}{n_d}$$

Considerando la distribución de la fuerza en el perno, de acuerdo a la posición del mismo en el bastidor, se puede determinar que son dos áreas del mismo las que intervienen en el esfuerzo cortante, por lo tanto:

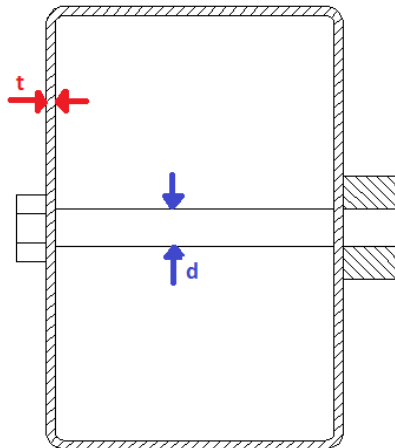


Figura 96. Esquema perno- bastidor.

$$\tau = \frac{F_v}{2A} = 0.577 \frac{S_p}{n_d}$$

$$\tau = \frac{F_v}{2 * \frac{\pi d^2}{4}} = 0.577 \frac{S_p}{n_d}$$

$$F_v = 0.577 * \frac{\pi d^2}{2} * \frac{S_p}{n_d}$$

Donde:

S_p = resistencia de prueba mínima

d = diámetro nominal del perno

n_d = coeficiente de diseño (2)

F_{max} = fuerza cortante, mitad del peso del rodillo alineador = 3661.7 N
= 823.18 lib

$$F_v = 0.577 * \frac{\pi(0.5 \text{ in})^2}{2} * \frac{85000 \frac{\text{lib}}{\text{in}^2}}{2} = 9629.96 \text{ lib}$$

COMPROBACIÓN DE ELEMENTO A CORTANTE DEL BORDE

$$\tau = \frac{F_v}{2A} = 0.577 \frac{S_{y \text{ elem}}}{n_d}$$

$$\tau = \frac{F_v}{2a * t} = 0.577 \frac{S_{y \text{ elem}}}{n_d}$$

$$F_v = 0.577 * a * t * \frac{S_{y \text{ elem}}}{n_d}$$

Donde:

a = distancia desde el borde del elemento al centro del perno

t = espesor del elemento

$S_{y \text{ elem}}$ = Límite de fluencia del elemento

$$F_v = 0.577 * 50\text{mm} * \frac{1 \text{ in}}{25.4 \text{ mm}} * 3\text{mm} * \frac{1 \text{ in}}{25.4 \text{ mm}} * \frac{36000 \frac{\text{lib}}{\text{in}^2}}{2} = 2414.75 \text{ lib}$$

APLASTAMIENTO DEL PERNO

$$\sigma_b = \frac{F_b}{t * d} = \frac{S_p}{n_d}$$

$$F_b = \frac{3\text{mm} * \frac{1 \text{ in}}{25.4 \text{ mm}} * 0.5 \text{ in} * 85000 \frac{\text{lib}}{\text{in}^2}}{2} = 2509.84 \text{ lib}$$

APLASTAMIENTO DEL ELEMENTO

$$\sigma_b = \frac{F_b}{t * d} = \frac{S_{y \text{ elem}}}{n_d}$$

$$F_b = \frac{3mm * \frac{1 \text{ in}}{25.4 \text{ mm}} * 0.5 \text{ in} * 36000 \frac{\text{lib}}{\text{in}^2}}{2} = 1062.99 \text{ lib}$$

$$F_b > F_{max}$$

Los valores obtenidos se puede determinar que la máxima carga a soportar por los pernos será dada bajo el criterio de aplastamiento del elemento. Como la fuerza obtenida es mayor a la fuerza máxima que se va a soportar debido a los rodillos del sistema alineador, se procede a realizar la comprobación de diseño para un diámetro menor 3/8”:

$$F_b = \frac{3mm * \frac{1 \text{ in}}{25.4 \text{ mm}} * 0.375 \text{ in} * 36000 \frac{\text{lib}}{\text{in}^2}}{2} = 797.244 \text{ lib}$$

$$F_b < F_{max}$$

Este valor se encuentra por debajo del permitido, por lo que se realiza una nueva comprobación con un diámetro de intermedio entre 7/16”:

$$F_b = \frac{3mm * \frac{1 \text{ in}}{25.4 \text{ mm}} * 0.4375 \text{ in} * 36000 \frac{\text{lib}}{\text{in}^2}}{2} = 930.118 \text{ lib}$$

$$F_b > F_{max}$$

Sin embargo, por facilidad de adquisición, disponibilidad y mantenimiento se selecciona un perno de ½ pulgada de diámetro UNC 13 Grado 5.

4.1.5. ESTRUCTURA BASE DIMENSIONAMIENTO

En la sección 2.1. Introducción al proceso de laminación del capítulo 2 se describe la ubicación ideal del alineador o sistema de guiado de armaduras, está se encuentra entre el compensador de armaduras y la balsa de saturación. Partiendo de este requerimiento se puede dimensionar la estructura, ya que se conoce la posición del rodillo de salida del compensador, del rodillo de entrada de la balsa de saturación, y las dimensiones del sistema automático de alineación angular.

Mediante el uso del software AUTOCAD se realiza un layout para identificar las medidas, como se muestra en la figura 4.55.

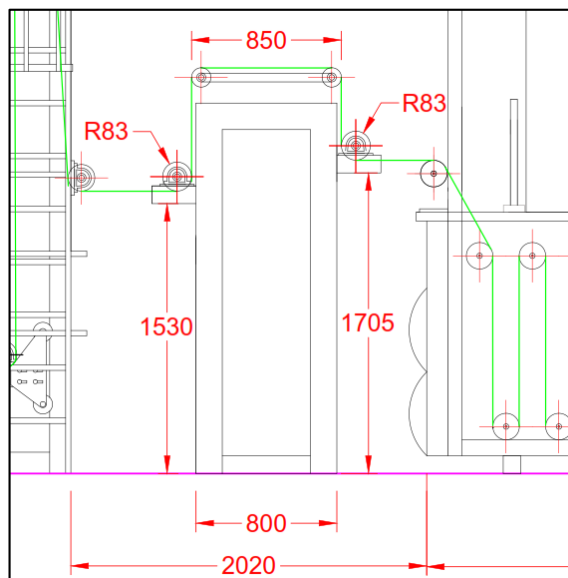


Figura 97. Layout planta de laminación, sector alineación.

Determinadas las distancias necesarias, se obtiene el esquema de la estructura, las dimensiones y el plano se encuentran en el Anexo H.

ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA

En esta sección se realiza los cálculos para validar el diseño de la estructura. El diseño de la misma se lo realizará mediante el análisis por elementos finitos mediante el uso del software SOLIDWORKS.

Un tubo estructural rectangular de 100mmx150mmx3mm, es utilizado debido a que en la empresa se lo encuentra como material de reciclaje. Para el análisis es necesario determinar los pesos de los elementos del sistema de guiado, en la tabla 4.5 se detalla cada uno de los componentes y su peso.

Tabla 47.

Pesos de elementos del sistema de guiado, sobre la estructura.

Cant.	Elemento	Peso U. (Kg)	Peso Total (Kg)
1	Base	60.3	60.3
1	Bastidor	30.5	30.5
1	Motor EPCO Carrera: 150 mm	3.595	3.595
2	Rodillos Muertos	32.7	65.4
1	Plancha	50.24	50.24
8	Soporte Ejes + Placa	0.75	6
1	Caballote LNZG	0.129	0.129
8	Alojamiento + Rotula + Rod. Lineal + Placa	1.84	14.72
1	Placa Sujeción Motor	1.95	1.95
2	Eje D25mm L250 mm	0.96	1.92
2	Eje D25mm L350 mm	1.34	2.68
TOTAL			237.4

Del valor obtenido la carga muerta P_a del alineador en la estructura es:

$$P_a = 237.4 [kg] * 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right] = 2328.9 [N]$$

CARGAS MUERTAS

$$P_m = P_a$$

$$P_m = 2328.9 [N]$$

CARGAS VIVAS

Para esta aplicación se debe tomar en cuenta la tensión a la rotura de la lámina, como una carga viva, debido a que esta es variable y actúa perpendicularmente a la estructura.

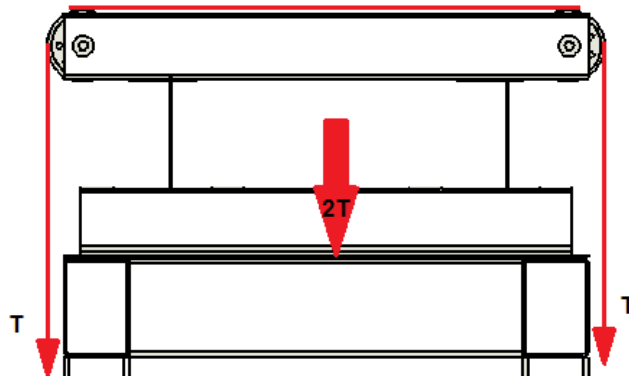


Figura 98. Diagrama cuerpo libre del sistema de guiado y la tensión de la lámina.

$$P_v = 2 * T = 14000 [N]$$

De la lámina con mayor tensión a la ruptura, T180.

Según el manual AISC, utilizando las bases de diseño por ASD (Diseño en base a resistencias admisibles), se utiliza la combinación de cargas vivas y muertas recomendada, para encontrar la carga total a la que la estructura va a estar sometida.

$$P = P_m + P_v$$

$$P = 2328.9 [N] + 14000 [N]$$

$$P = 16328.9 [N] \approx 16.33 [kN]$$

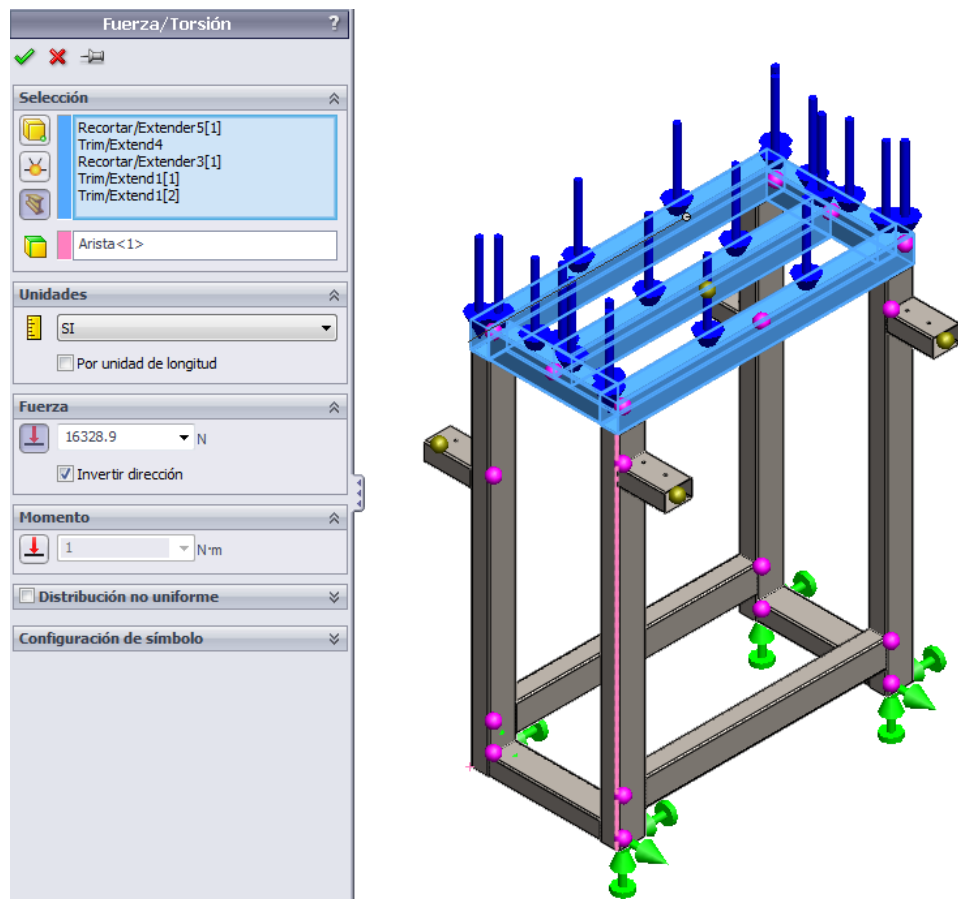


Figura 99. Configuración de la carga total, alineador y lámina, que se ejerce en la parte superior de la estructura.

En las vigas en voladizo se ubicarán los rodillos, por lo tanto éstas estarán sometidas a la reacción de los apoyos del análisis de los rodillos de entrada y salida, previamente vistos.

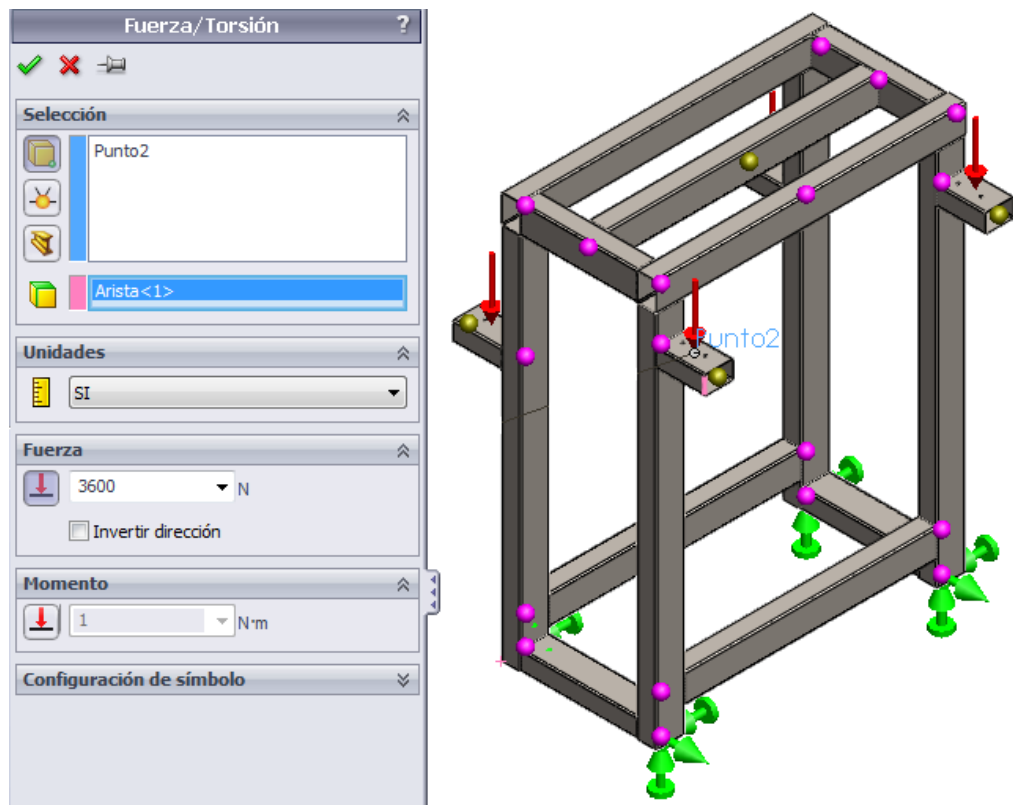


Figura 100. Configuración de fuerzas ejercida por los rodillos de entrada y salida en la estructura.

Posterior a la ubicación de las cargas que actuarán en la estructura se procede a realizar el mallado y el análisis de esfuerzos.

ANÁLISIS DE ESFUERZOS

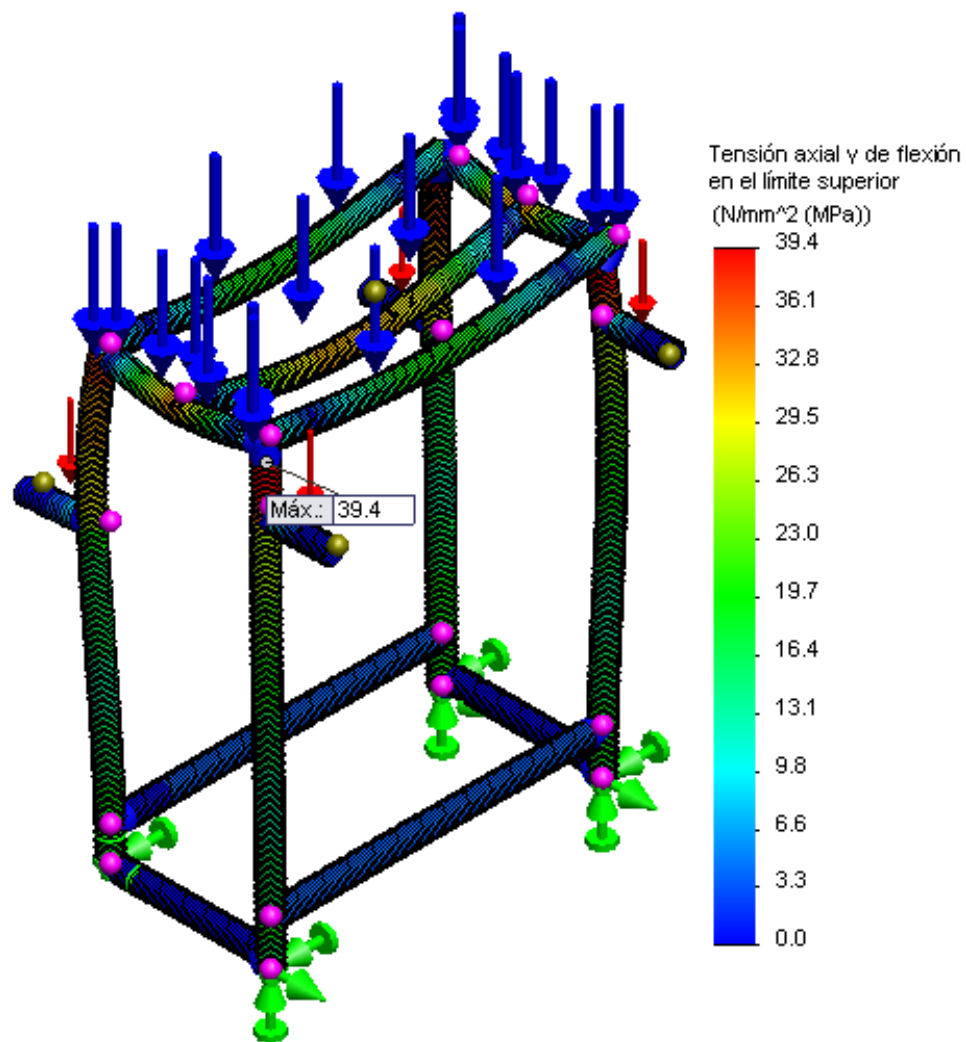


Figura 101. Resultado del análisis de esfuerzos de la estructura.

Del análisis se observa el valor máximo de esfuerzo a la que la estructura está sometida. $\sigma_{m\acute{a}x} = 39.4 [MPa]$.

Tomando en cuenta que el esfuerzo de fluencia del material al cual ha sido analizado para el acero ASTM A36 es de $S_y=250$ (Mpa), se determina el factor de diseño.

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{m\acute{a}x}}$$

$$n = \frac{250}{39.4} = 6.34$$

4.1.6. ELEMENTO DE SUJECIÓN BASTIDOR- MOTOR

El elemento de sujeción fue elaborado en base a un perno de acero SAE grado 8 de ½ pulgada con una sección de diámetro reducido a M10 a fin de que se acople a la cabeza de rótula del motor.

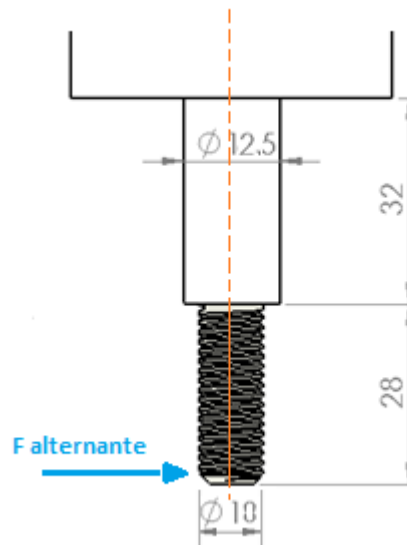


Figura 102. Esquema del elemento de sujeción bastidor-motor.

La resistencia última de este tipo de pernos corresponde a:

$$S_{ut} \text{ Acero de aleación de medio carbono grado 8} = 150 \text{ ksi} = 1034.2 \text{ MPa}$$

Por lo que el límite de resistencia a la fatiga es:

$$S'_e = 0.5 S_{ut} = 0.5 * 1034.2 \text{ MPa} = 517.1 \text{ MPa}$$

DETERMINACIÓN DE FACTORES QUE MODIFICAN EL LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * \frac{1}{K_f} * S_e'$$

FACTOR DE SUPERFICIE

$$k_a = a S_{ut}^b$$

Los valores de a y b para el perno en mención corresponde al maquinado que es su condición superficial final se obtienen de la figura 4.63., son 4.51 y -0.265 respectivamente.

Surface Finish	Factor a		Exponent b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Ground	1.34	1.58	-0.085
Machined or cold-drawn	2.70	4.51	-0.265
Hot-rolled	14.4	57.7	-0.718
As-forged	39.9	272.	-0.995

Figura 103. Parámetros del factor de superficie.

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley.

$$k_a = 4.51 * (1034.2)^{-0.265} = 0.72$$

FACTOR DE TAMAÑO

$$k_b = 1.24 * d^{-0.107}$$

En el caso de una sección redonda sólida o hueca no rotativa, el área de 95% de esfuerzo significa el doble del área fuera de las cuerdas paralelas que tienen un espaciamiento de 0.95d, donde d es el diámetro. De la tabla

6.1 “Áreas comunes de secciones no rotativas” (Budynas & Nisbett, 2012), empleando el diámetro equivalente:

$$k_b = 1.24 * (0.370d)^{-0.107}$$

$$k_b = 1.24 * (0.370 * 10)^{-0.107} = 1.08$$

FACTOR DE CARGA

El elemento de sujeción está sometido únicamente a cargas de flexión por lo que el valor de la constante corresponde a:

$$k_c = 1$$

FACTOR DE TEMPERATURA

$$k_d = 1$$

FACTOR DE CONFIABILIDAD

Esto se encuentra íntimamente ligado al porcentaje de confiabilidad en el que enmarcamos nuestro diseño. Para un 90% de confiabilidad, el valor de la constante tomado de la tabla 6-5 “Factores de confiabilidad correspondientes a un porcentaje de desviación del límite de endurecimiento” (Budynas & Nisbett, 2012), corresponde a:

$$k_e = 0.897$$

FACTOR DE EFECTOS VARIOS

Al no existir características como corrosión, recubrimiento electrolítico, metalizado por aspersion, entre otros, el factor de efectos varios es:

$$k_f = 1$$

CONCENTRADORES DE ESFUERZO

El elemento de sujeción consta de una reducción de diámetro por lo que debe analizarse:

$$K_f = 1 + \frac{(K_t - 1)}{\left(1 + \sqrt{\frac{a}{r}}\right)}$$

Donde:

K_f = factor de concentración del esfuerzo por fatiga

K_t = factor de concentración del esfuerzo

\sqrt{a} = constante de Neuber

r = radio de la muesca

$$K_f = 1 + \frac{(K_t - 1)}{\left(1 + \sqrt{\frac{a}{r}}\right)}$$

De la figura a continuación se obtiene K_t a partir de los siguientes valores:

$$\frac{r}{d} = \frac{1 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 0.1$$

$$\frac{D}{d} = \frac{12.5 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 1.25$$

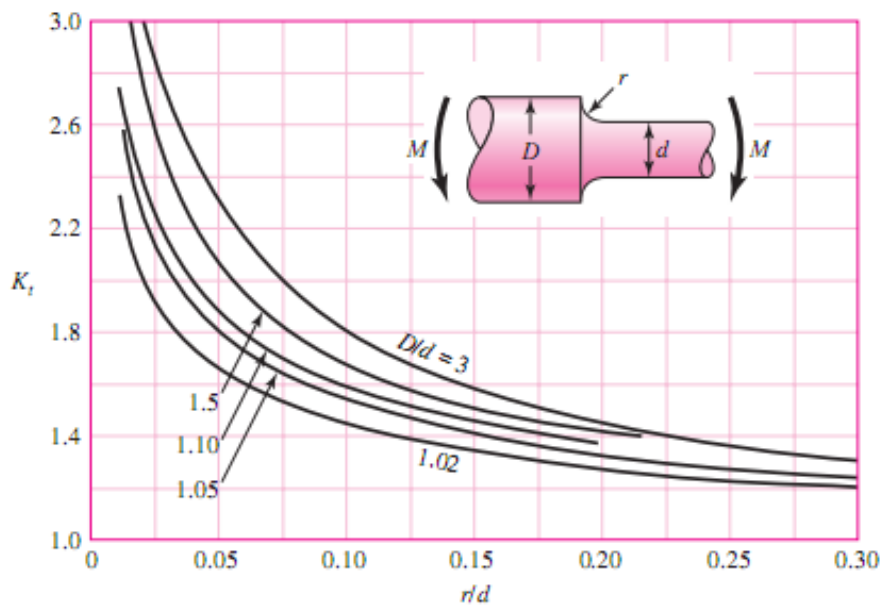


Figura 104. Eje con filete sometido a flexión.

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley.

$$K_t = 1.65$$

CONSTANTE DE NEUBER

$$\begin{aligned}\sqrt{a} &= 0.246 - 3.08 * 10^{-3} * S_{ut} + 1.51 * 10^{-5} * S_{ut}^2 - 2.67 * 10^{-8} * S_{ut}^3 \\ \sqrt{a} &= 0.246 - 3.08 * 10^{-3} * 150 + 1.51 * 10^{-5} * 150^2 - 2.67 * 10^{-8} * 150^3 \\ &= 0.246\end{aligned}$$

$$K_f = 1 + \frac{(1.65 - 1)}{(1 + 0.246)} = 1.52$$

$$S_e = 0.72 * 1.08 * 1 * 1 * 0.897 * 1 * \frac{1}{1.52} * 517.1 = 264.5 \text{ MPa}$$

DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO MEDIO Y ALTERNANTE

A fin de emplear el criterio de Goodman modificado para la obtención del factor de seguridad a la fatiga, se requiere determinar previamente los esfuerzos medio y alternante de acuerdo al tipo de esfuerzo aplicado que corresponde a un sinusoidal completamente invertido. Por lo que:

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4) = \frac{\pi}{64} (10^4) = 490.87 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I} = \frac{F * dist * c}{I} = \frac{300 \text{ N} * 60 \text{ mm} * 5 \text{ mm}}{490.87 \text{ mm}^4} = 183.35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right|$$

$$\sigma_a = \sigma_{max} = 183.35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_m = 0$$

FACTOR DE SEGURIDAD A LA FATIGA

Aplicando el criterio de Goodman modificado se puede establecer:

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$$

$$n_f = \frac{1}{\frac{183.35}{264.5}} = 1.44$$

4.2. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS Y/O ELECTRÓNICOS

4.2.1. SENSOR

El sensor seleccionado para esta aplicación es un interruptor fotoeléctrico de geometría cilíndrica VTE 18 – 4P4212, que es adecuado para la lámina no woven que se maneja en las etapas iniciales del tren de laminación.

Los sensores fotoeléctricos en carcasa cilíndrica permiten una instalación universal, extremadamente simple y sin limitaciones para el rendimiento del sensor. El sensor posee una rosca M18 con un orificio de instalación, compatible con una gran variedad de productos y aplicaciones.



Figura 105. Interruptor fotoeléctrico SICK.

Fuente: SICK (<http://www.sick.com>)

Este tipo de sensores presentan ventajas frente a los capacitivos e inductivos ya que presentan distancias más grandes de reflexión y permiten la identificación de objetos y colores de pequeño tamaño (décimas de milímetro), característica indispensable para el tipo de lámina non woven.

Características	
Principio del sensor/de detección:	Barrera fotoeléctrica réflex, Standard optics
Housing design (light emission):	Cylindrical, straight, Recto
Longitud de caja:	97,7 mm
Thread diameter (housing):	M18 x 1
Eje óptico:	Axial
Alcance de detección máx.:	0,1 m ... 35 m ¹⁾
Alcance:	0,1 m ... 30 m ²⁾
Tipo de luz:	Luz roja visible
Fuente de luz:	Láser ³⁾
Punto de luz (distancia):	9 mm (35 m)
Clase de láser:	1 (IEC 60825-1)
Longitud de onda:	650 nm
Ajuste de sensibilidad:	Electronic, via control input C (0 V) manual, via teach-in button
Ángulo de dispersión:	0,04 °
Mecánica/Electrónica	
Tensión de alimentación:	10 V DC ... 30 V DC ¹⁾
Ondulación:	≤ 10 % ²⁾
Consumo de corriente:	≤ 20 mA ³⁾
Salida de aviso:	PNP, Conmutación claro/oscuro, Selectable via control input C
Corriente de salida Imáx.:	≤ 100 mA
Tiempo de respuesta:	≤ 0,625 ms ⁴⁾
Frecuencia de conmutación:	800 Hz ⁵⁾
Tipo de conexión:	Conector M12 de 4 polos
Protección de circuito:::	A, B, C, D ^{6) 7) 8) 9)}
Clase de protección:	III
Peso:	60 g
Filtro de polarización:	✓
Material de la carcasa:	Nickel-plated brass/PC
Material de elementos ópticos:	PC with protective glass pane
Grado de protección:	IP 67
Operación a temperatura ambiente:	-15 °C ... 55 °C
Almacenamiento a temperatura ambiente:	-25 °C ... 70 °C
UL File-No.:	UL No. NRKH.E181493, CDRH-Konform (0312012-00)

¹⁾ Valores límite ²⁾ May not exceed or fall short of V_S ³⁾ Sin carga ⁴⁾ Tiempo de tránsito de la señal con carga resistiva ⁵⁾ Con cociente claro/oscuro 1:1
connections reverse-polarity protected ⁷⁾ B = interference suppression ⁸⁾ C = outputs overcurrent and short-circuit protected ⁹⁾ D = inputs and output rev
protected

Figura 106. Características del sensor VTE 18.

Fuente: SICK (http://www.sick.com/es/es-es/home/products/product_portfolio/industrial_sensors/Pages/cylindrical_photoelectric_sensors.aspx)

Al combinar la tecnología de barrera fotoeléctrica con réflex se incrementa la distancia de sensado y se elimina la necesidad de separar el emisor del receptor.

Como indican las recomendaciones de diversos fabricantes, el sensor será colocado de manera perpendicular a la lámina aproximadamente a 1/3

de la longitud de salida de la armadura como se muestra en la siguiente figura:

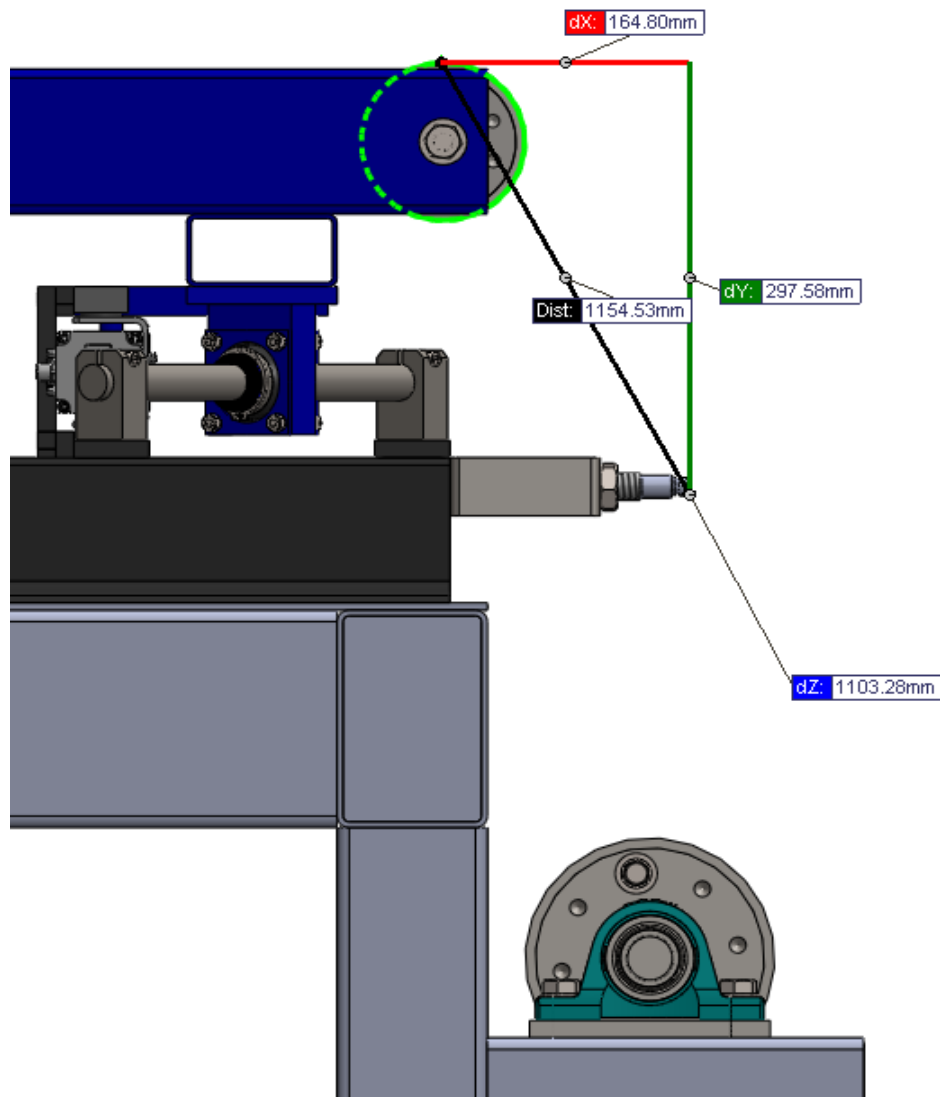
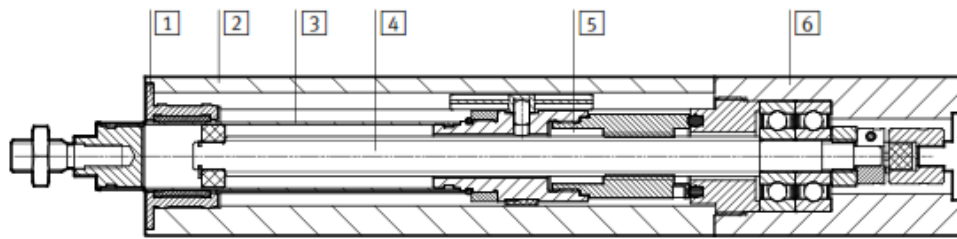


Figura 107. Ubicación real del sensor en el sistema automático de alineación.

4.2.2. MOTOR/CONTROLADOR

El motor eléctrico lineal ofrecido por el proveedor, y que más se ajusta a las necesidades, es el motor eléctrico EPCO del fabricante FESTO.



Cilindro eléctrico		
1	Culata anterior	Aleación de aluminio
2	Camisa del cilindro	Aleación de aluminio
3	Vástago	Acero inoxidable de aleación fina
4	Husillo	Acero
5	Tuerca del husillo	Acero
6	Culata de accionamiento	Aleación de aluminio
Características del material		Contiene sustancias agresivas para la laca
		Conformidad con RoHS

Figura 108. Esquema de partes del motor eléctrico lineal EPCO.

Fuente: Cilindros eléctricos EPCO accionados por husillo, FESTO.

Para la selección del modelo del motor lineal se debe tomar en consideración, la fuerza de avance o empuje requerida para el movimiento del sistema de alineación, así como la velocidad y los accesorios necesarios para el acople del motor al sistema de alineación.

4.2.2.1. PARAMETROS TÉCNICOS

FUERZA REQUERIDA DEL MOTOR

Fricción a la Rodadura

$$F = 3732.55 \text{ [N]}$$

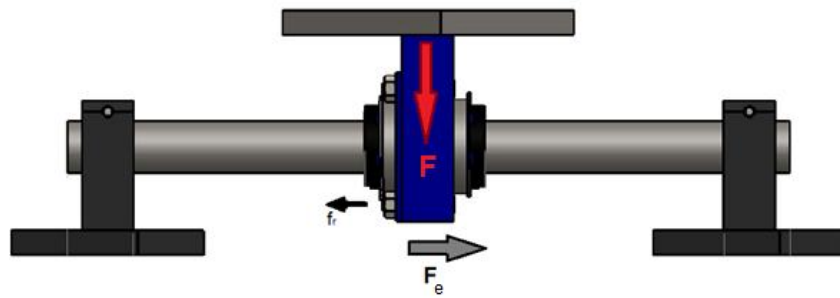


Figura 109. Esquema de movimiento del mecanismo deslizante a lo largo del eje de guiado.

Se determina el equilibrio de fuerzas en el eje X, según el diagrama de cuerpo libre.

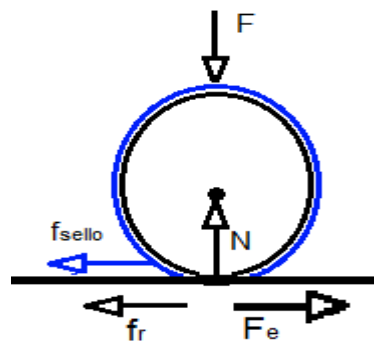


Figura 110. DCL bolas del rodamiento lineal y eje de guiado.

Del manual técnico de rodamientos lineales de bola, se obtiene el valor del coeficiente de rodadura recomendado en cargas altas para rodamientos lineales lubricados $\mu_r = 0.005$, además se le debe añadir el valor recomendado de fricción estática cuando el rodamiento tiene sellos de doble labio, como es el elegido.

$$\sum F_x = 0$$

$$F_e - f_r - f_{sello} = 0$$

$$f_r = \mu_r * N$$

Donde:

F_e = Fuerza de fricción por rodamiento.

f_r = Fricción a la rodadura debido a las bolas de los rodamientos.

f_{sello} = fricción debido a los sellos de dolbe labio.

μ_r = Coeficiente de fricción para cargas elavdas recomendado por el fabricante.

$$f_r = 0.005 * 3732.55 [N] = 18.66 [N]$$

$$f_{sello} = 14 [N]$$

$$F_e = f_r + f_{sello}$$

$$F_e = 32.66 [N]$$

El mecanismo cuenta de un arreglo angular de los ejes, y conociendo la resultante de la fuerza necesaria para mover el mecanismo, se descomponen las fuerzas.

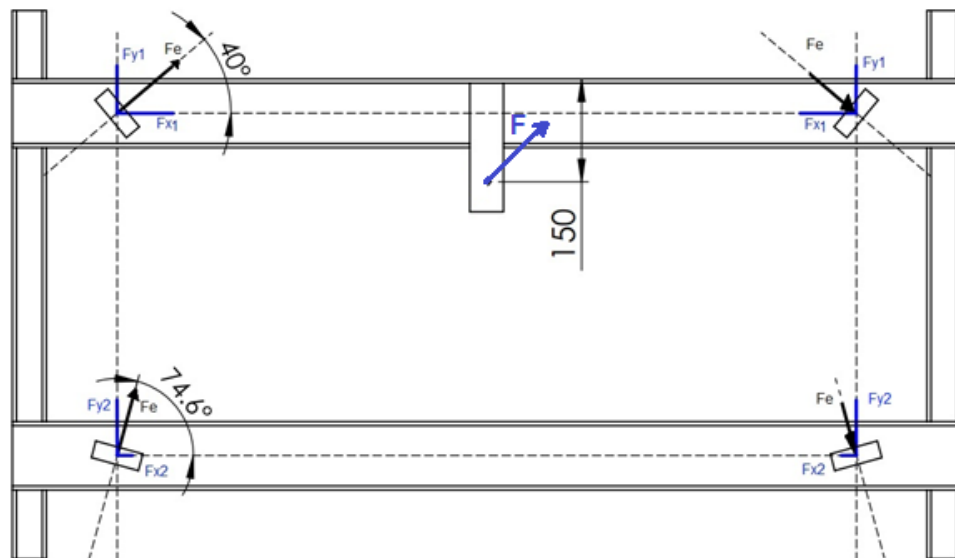


Figura 111. Esquema de descomposición de fuerzas de fricción en los puntos de apoyo.

Fuerzas en y:

$$F_y = 2 * F_{ey1} + 2 * F_{ey2}$$

$$F_y = 2 * (F_e * \text{sen}(40^\circ)) + 2 * (F_e * \text{sen}(74.6))$$

$$F_y = 2 * (32.66 * \text{sen}(40^\circ)) + 2 * (32.66 * \text{sen}(74.6))$$

$$F_y = 2 * (21) + 2 * (31.49)$$

$$F_y = 104.97 \text{ [N]}$$

Fuerzas en x:

$$F_x = 2 * F_{ex1} + 2 * F_{ex2}$$

$$F_x = 2 * (F_e * \text{cos}(40^\circ)) + 2 * (F_e * \text{cos}(74.6))$$

$$F_x = 2 * (32.66 * \text{cos}(40^\circ)) + 2 * (32.66 * \text{cos}(74.6))$$

$$F_x = 2 * (25.02) + 2 * (8.67)$$

$$F_x = 67.38 \text{ [N]}$$

Fuerza de fricción resultante:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$F = \sqrt{67.38^2 + 104.97^2} = 124.7 \text{ [N]}$$

Por la teoría antes vista se sabe que:

$$F(\text{empuje}) = F(\text{inercia}) + F(\text{fricción}) + F(\text{gravedad})$$

Debido a que la máquina se encuentra montada horizontalmente al movimiento la fuerza de gravedad no influenciara en el sistema.

$$F(\text{gravedad}) = 0$$

La fuerza de fricción resultante.

$$F(\text{fricción}) = F$$

Velocidad lateral máxima, para este caso se selecciona una velocidad mayor al promedio recomendado por los fabricantes de sistemas de alineación, escogiendo un valor de los modelos de motores lineales otorgado por el proveedor, se selecciona el motor lineal EPCO del fabricante FESTO, modelo EPCO-25 con una velocidad máxima de 150mm/s.

$$V_{L_{\max}} = 150 \text{ mm/s}$$

De la teoría se sabe que la aceleración es igual a 2/3 de la velocidad lateral máxima alcanzada en 80 ms, para un sistema de alta velocidad de respuesta.

$$a = \frac{v}{t} = \frac{100 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]}{0.08 [\text{s}]} = 1250 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}^2} \right] = 1.25 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

La fuerza de la inercia se define con la siguiente ecuación.

$$F(\text{inercia}) = m * a$$

$$F(\text{inercia}) = F/g * a$$

$$F(\text{inercia}) = \frac{3732.55 [\text{N}]}{9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]} * 1.25 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$F(\text{inercia}) = 475.6 [\text{N}]$$

Por lo tanto la fuerza de empuje requerida para el motor, cuando se necesita una respuesta rápida de corrección va a ser.

$$F(\text{empuje}) = 475.6 [\text{N}] + 124.7 [\text{N}]$$

$$F(\text{empuje}) = 600.3 [\text{N}] \text{ ó } 61.2 [\text{kg}]$$

Datos mecánicos							
Tamaño		16		25		40	
Ejecución con husillo		3P	8P	3P	10P	5P	12,7P
Paso de la rosca del husillo ⁴³	[mm/U]	3	8	3	10	5	12,7
Diámetro del husillo	[mm]	8	8	10	10	12	12,7
Carga útil máxima							
Horizontal ⁴²	[kg]	24	8	60	20	120	40
Vertical	[kg]	12	4	30	10	60	20
Fuerza de avance F_x máxima	[N]	125	50	350	105	650	250
Velocidad máxima	[mm/s]	125	300	150	500	180	460
Aceleración máxima	[m/s ²]	10					
Holgura en la inversión de sentido ⁴¹	[mm]	≤ 0,1					
Precisión de repetición	[mm]	±0,02					

Figura 112. Datos mecánicos de los modelos de motores lineales EPCO.

Fuente: Cilindros eléctricos EPCO accionados por husillo, FESTO.

Debido a que el modelo previamente seleccionado tiene una fuerza de avance o empuje menor a la requerida, se selecciona el modelo EPCO-40 que se aproxima más al valor de la fuerza de avance antes calculada.

El motor seleccionado EPCO-40 cuenta como principales características mecánicas:

$$v_{m\acute{a}x} = 180 \left[\frac{mm}{s} \right]$$

$$F_{m\acute{a}x \text{ de empuje}} = 650 [N]$$

$$a_{m\acute{a}x} = 10 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Siendo los principales parámetros de selección la fuerza de empuje o avance necesaria, y la velocidad máxima.

SELECCIÓN DE CARRERA DEL VÁSTAGO.

De acuerdo a una simulación realizada en el software SOLIDWORKS, se determina que la distancia q recorre el elemento de sujeción motor-bastidor, desde un extremo hacia el otro es de 110 mm, como se muestra en la figura.

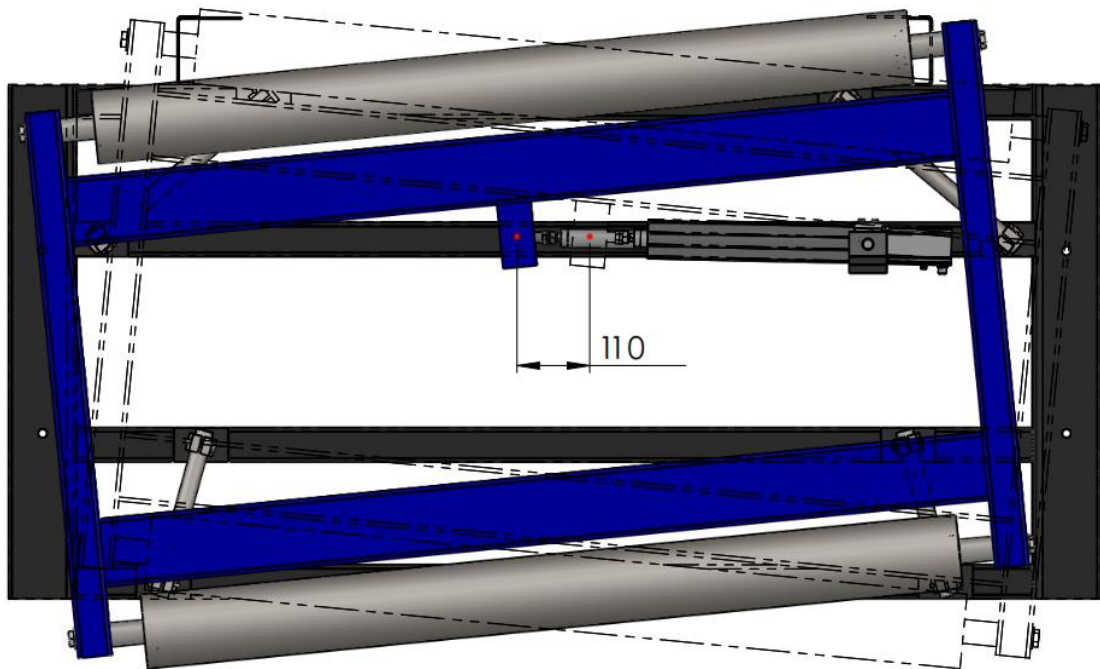


Figura 113. Simulación de movimiento del sistema de alineación.

Datos técnicos			
Tamaño	16	25	40
Forma constructiva	Cilindro eléctrico con husillo de rodamiento de bolas y motor		
Rosca del vástago			
Rosca exterior	M6	M8	M10x1,25
Rosca interior	M4	M6	M8
Carrera de trabajo [mm]	50 ... 200	50 ... 300	50 ... 400
Carrera de reserva [mm]	0		
Ángulo de giro máx. del vástago [°]	≤ ±2	≤ ±1,5	≤ ±1
Energía de impacto en las posiciones finales [J]	0,1 x 10 ⁻³	0,2 x 10 ⁻³	0,4 x 10 ⁻³
Detección de posiciones	Para detectores de proximidad		
Tipo de fijación			
	Con rosca interior		
	Con accesorios		
Posición de montaje	Indiferente		

Figura 114. Datos técnicos de los modelos de motores lineales EPCO.

Fuente: Cilindros eléctricos EPCO accionados por husillo, FESTO.

De los datos técnicos, se conoce que las carreras de trabajo vienen determinadas de 50-100-150-200-250-300-350-400 mm. Del valor hallado

previamente se determina que la carrera del vástago necesaria que se ajusta al sistema es de 150 mm.

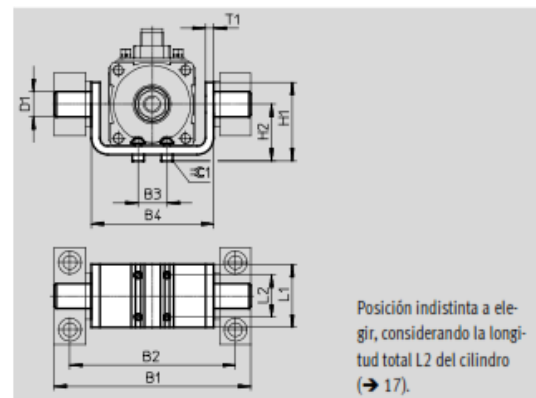
ACCESORIOS DEL MOTOR

Para la aplicación del sistema de alineación se necesita que el motor pivote en sus dos extremos debido a la mecánica del movimiento que este va a tener.

Se utiliza los accesorios del propio fabricante debido a que son los recomendados, para el extremo inferior se implementa una brida de fijación giratoria.

Brida de fijación giratoria EAHS

Material:
Acero cincado
Conformidad con RoHS



Dimensiones y referencias							
Para tamaño	B1	B2	B3	B4	D1 ∅	H1	H2
[mm]					e9		
16	71	60	10	45	8	33	21
25	95	80	14	59	12	37,5	27
40	118	100	18	76	16	55	36,5

Para tamaño	L1	L2	T1	∓1	CRC ¹⁾	Peso [g]	Nº art.	Tipo
[mm]								
16	30	20	3	2,5	1	80	1434909	EAHS-P1-16
25	30	20	4	2,5	1	140	1434910	EAHS-P1-25
40	40	20	4	4	1	260	1434911	EAHS-P1-40

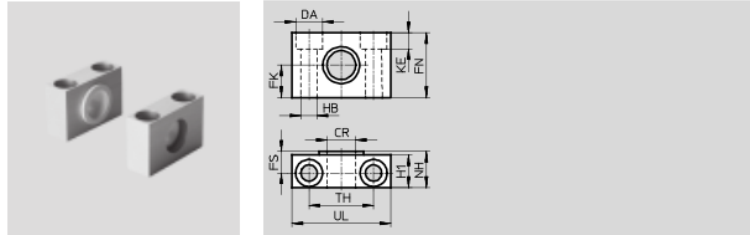
Figura 115. Especificaciones de brida de fijación giratoria EAHS.

Fuente: Cilindros eléctricos EPCO accionados por husillo, FESTO.

Esta brida a su vez debe ser acoplada a dos caballetes que permitirán el giro de la misma.

Caballote LNZG

Material:
Apoyo: Aluminio anodizado
Cojinete: Material sintético
No contiene cobre ni PTFE
Conformidad con RoHS



Dimensiones y referencias																
Para tamaño	CR	DA	FK	FN	FS	H1	HB	KE	NH	TH	UL	CRC ¹⁾	Peso	Nº art.	Tipo	
[mm]	∅ D11	∅ H13	∅ ±0,1				∅ H13			±0,2			[g]			
16	8	8	10	20	7,5	11	4,5	4,6	13	20	30	2	26	1434912	LNZG-16	
25	12	11	15	30	10,5	15	6,6	6,8	18	32	46	2	83	32959	LNZG-32	
40	16	15	18	36	12	18	9	9	21	36	55	2	129	32960	LNZG-40/50	

Figura 116. Especificaciones de caballote LNZG.

Fuente: Cilindros eléctricos EPCO accionados por husillo, FESTO.

Para el extremo superior, para la punta del vástago, se utiliza una cabeza de rótula.


Cabeza de rótula SGS			
	16	9254	SGS-M6
	25	9255	SGS-M8
	40	9261	SGS-M10x1,25

Figura 117. Especificación de la cabeza de rótula SGS.

Fuente: Cilindros eléctricos EPCO accionados por husillo, FESTO.

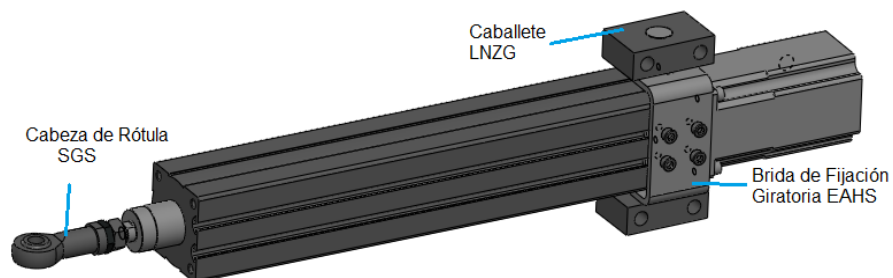


Figura 118. Esquema Ubicación de los accesorios del motor eléctrico EPCO.

CONTROLADOR

El controlador proporcionado para comunicar el motor con el PLC es el CMMO-ST-C5-1-DIOP de la empresa FESTO, el mismo que funciona como un controlador de posiciones de accionamiento sencillo mediante conexiones de entradas y salidas digitales de tipo PNP.

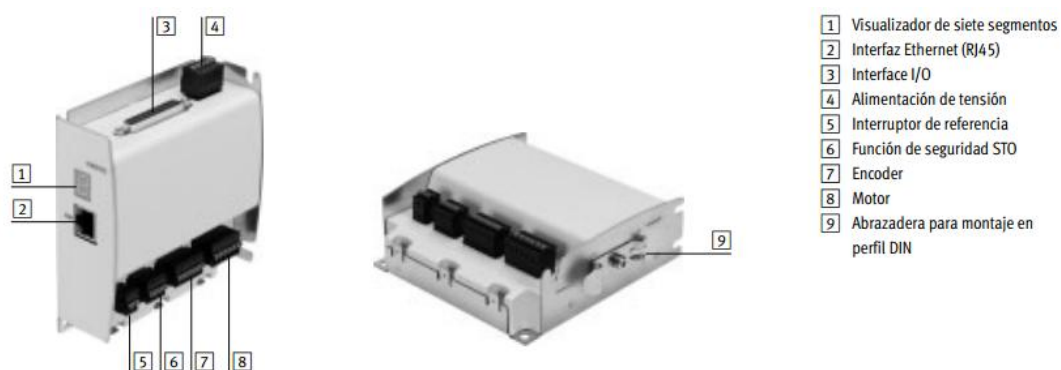


Figura 119. Controlador CMMO para motores eléctricos lineales EPCO.

Fuente: Controlador de motor CMMO-ST, FESTO.
https://www.festo.com/cat/es_es/data/doc_es/PDF/ES/CMMO-ST_ES.PDF

El controlador permite dos modos de funcionamiento: Valve Type y Binary Type. El primer modo permite definir libremente siete posiciones, con su respectiva velocidad, aceleración y torque, que son seleccionadas por una entrada digital cada una (7 entradas separadas), al alcanzar la posición indicada la salida digital correspondiente se activa (7 salidas separadas), por lo que soporta simple posicionamiento con torque reducido.

El segundo modo, el perfil binario, permite hasta 31 posiciones configurables, con su respectiva velocidad, aceleración y torque. Además permite activar el movimiento a pasos, funciones de enseñanza, modo de fuerza, modo de velocidad y registros de vinculación.

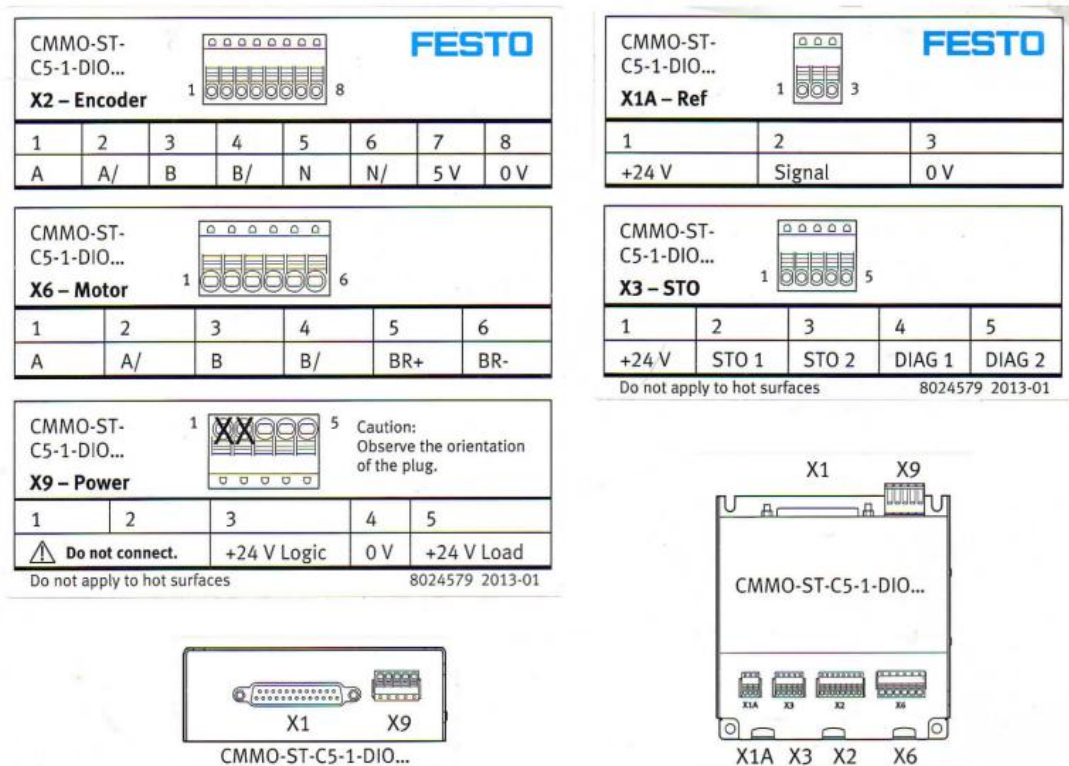


Figura 120. Esquemas de conectores del controlador CMMO.

Fuente: FESTO

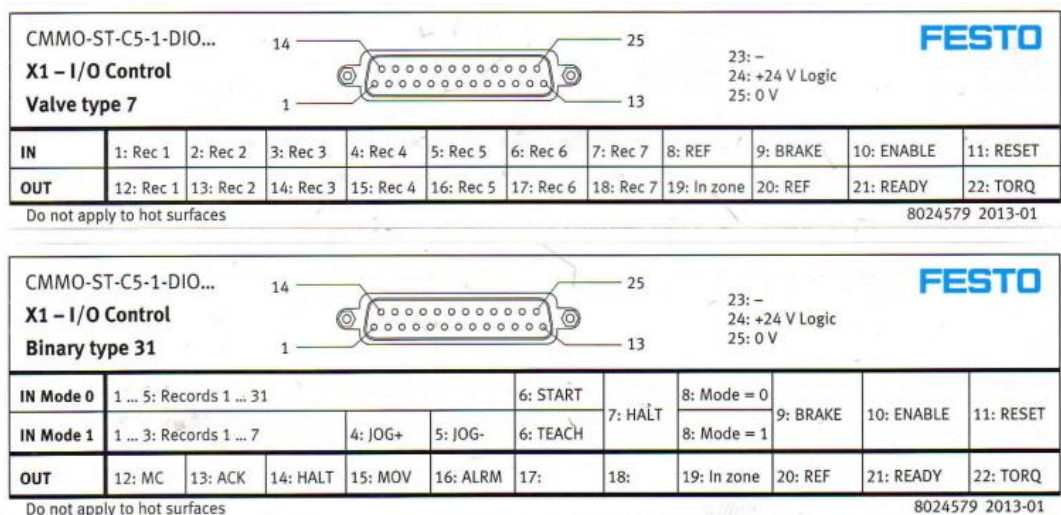


Figura 121. Modos de funcionamiento del controlador CMMO.

Fuente: FESTO

Tabla 48.

Detalle de activación de motor-controlador.

PIN	TIPO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	UTILIZADO
1	IN	Rec 1	Mover a Posición grabada 1	Si (Posición extrema 1)
2	IN	Rec 2	Mover a Posición grabada 2	Si (Posición central)
3	IN	Rec 3	Mover a Posición grabada 3	Si (Posición extrema 2)
4	IN	Rec 4	Mover a Posición grabada 4	No
5	IN	Rec 5	Mover a Posición grabada 5	No
6	IN	Rec 6	Mover a Posición grabada 6	No
7	IN	Rec 7	Mover a Posición grabada 7	No
8	IN	REF	Activar la referenciación del motor	Si
9	IN	BRAKE	Activar el freno del motor	No
10	IN	ENABLE	Habilitar el movimiento	Si
11	IN	RESET	Reestablecer ante cualquier error	Si
12	OUT	Rec 1	Señal de llegada a Posición grabada 1	Si
13	OUT	Rec 2	Señal de llegada a Posición grabada 2	Si
14	OUT	Rec 3	Señal de llegada a Posición grabada 3	Si
15	OUT	Rec 4	Señal de llegada a Posición grabada 4	No
16	OUT	Rec 5	Señal de llegada a Posición grabada 5	No
17	OUT	Rec 6	Señal de llegada a Posición grabada 6	No
18	OUT	Rec 7	Señal de llegada a Posición grabada 7	No
19	OUT	In zone	En movimiento	No
20	OUT	REF	Señal de referenciación completada	Si
21	OUT	READY	Motor listo para movimiento	Si
22	OUT	TORQ	Torque máximo alcanzado	No

4.2.3. PLC

Aunque el PLC no es un elemento dedicado para el sistema de alineación ya que no se trata de control centralizado, es el elemento de control, por lo que es necesario conocer los requerimientos mínimos que debe cumplir a fin de facilitar el correcto funcionamiento del alineador.

El PLC que va a ser instalado es un WAGO 750-843 de procedencia alemana. Es un sistema modular de entradas y salidas de tipo fieldbus-independiente. Cuenta con una capacidad de expansión de hasta 64 módulos para manejar cualquier tipo de señal para diferentes tipos de aplicaciones.

Para el alineador en particular, se requiere módulos de entradas digitales (4 entradas por módulo) y módulos de salidas digitales (4 salidas por módulo).

Requiere de un módulo de cierre que completa el nodo y es requerido para la correcta operación de los nodos fieldbus.

Tiene una memoria interna de 100 MB adecuada para manejo de programas de alta complejidad. Cuenta con comunicación Ethernet mediante puerto RJ-45. Además se emplea un switch industrial para asignar las direcciones IP y facilitar la transmisión de datos y la comunicación con el PC y la pantalla HMI.

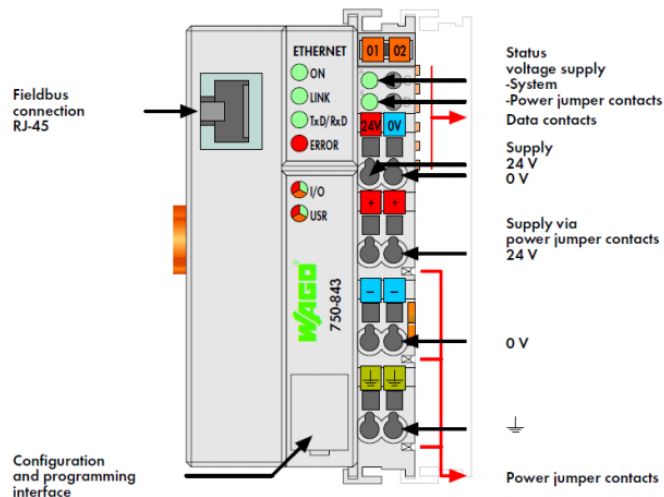
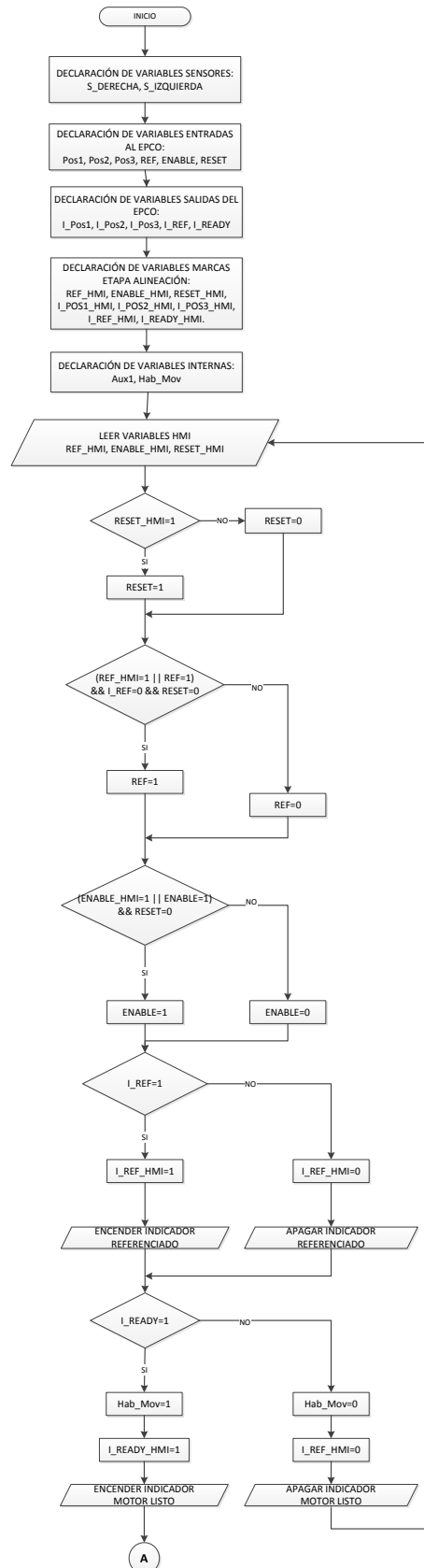


Figura 122. PLC WAGO 750-843

Fuente: Wago Catalog, 2013

4.2.4. DISEÑO DEL SISTEMA DEL CONTROL

4.2.4.1. DIAGRAMA DE FLUJO



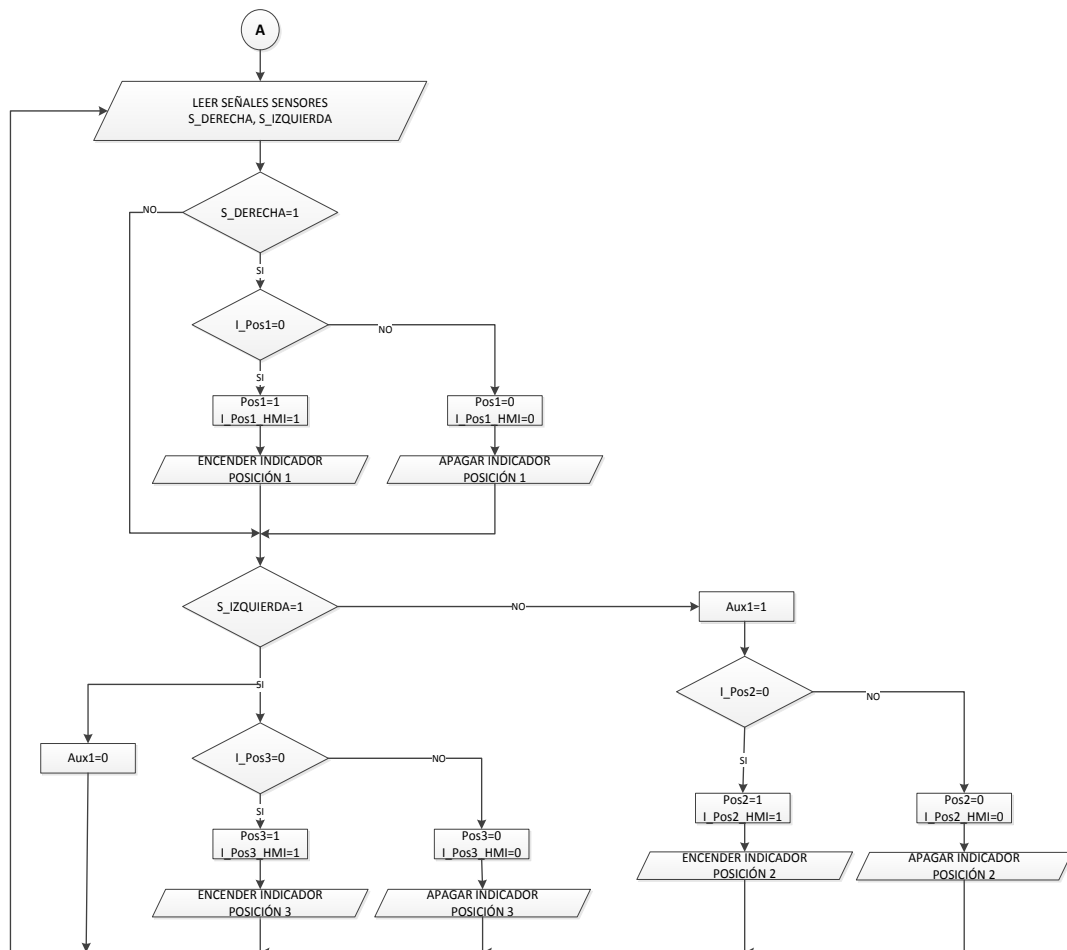


Gráfico 13. Diagrama de Flujo con Lógica de Programación

4.2.4.2. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN

ANEXO G

4.2.4.3. MÓDULO DE VISUALIZACIÓN

Se refiere a la integración del PLC con la interfaz del usuario que permitirá realizar el manejo del sistema de alineación por parte de los operadores. El panel de control HMI está constituido por una pantalla Brainchild que será compartida para controlar las diferentes etapas del tren de laminación. La pantalla será colocada en el panel de control general del área de laminación.

La interfaz que permite el control del sistema de alineación se muestra en la siguiente figura:

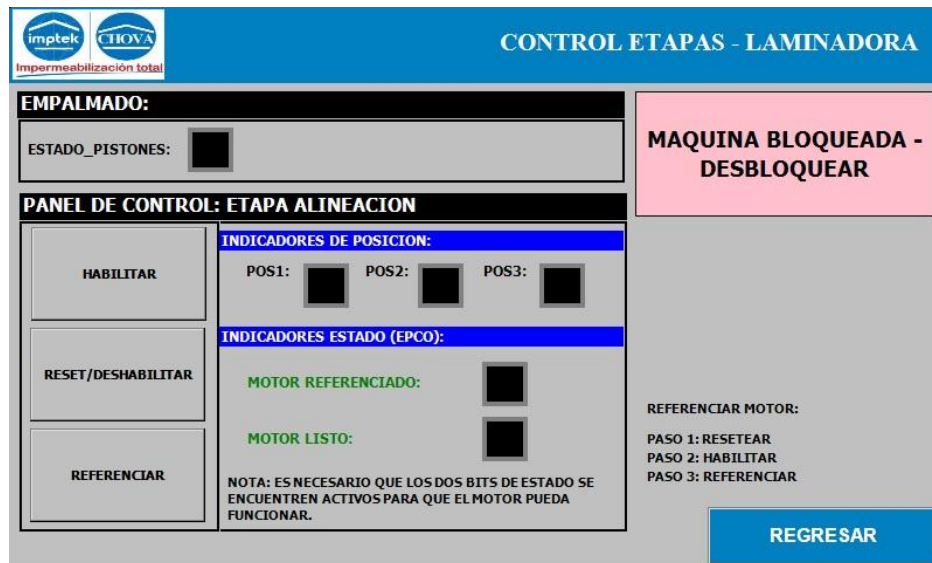


Figura 123. Módulo de Visualización- Sistema de alineación

CAPÍTULO V

5. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

En el presente capítulo se describe de forma general el procedimiento realizado para la construcción e implementación del sistema automático de alineación de láminas. Para esto se emplea diagramas de flujos de procesos a fin de facilitar la comprensión y sintetizar la información.

5.1. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE ALINEACIÓN

Para la fabricación del sistema automático de alineación se realizaron planos constructivos y de montaje, diagramas de proceso de acuerdo a la norma ASME “Operation and Flow Process Charts”, los cuales indican los detalles, dimensiones y especificaciones a emplearse en la construcción y montaje. Además nos permitirá en lo posterior determinar el costo de materiales de construcción y mano de obra empleada.

Para la manufactura de los rodillos, soportes de ejes y alojamientos de rótula, se elige al fabricante eManufacturing del Ecuador Cia. Ltda, para la fabricación del elemento de sujeción motor-bastidor el fabricante IFESA, y para el tratamiento de los ejes de guiado la empresa seleccionada es MEQSELECTIVE Cia. Ltda. Los demás elementos y/o partes que componen el ensamble son fabricados por trabajadores de la empresa Chova del Ecuador S.A.

VER PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE: ANEXO H

5.1.1. RODILLOS DE ENTRADA/SALIDA

En base al diseño realizado y a los planos de construcción, se cotiza y se envía a manufacturar los rodillos generales, los cuales van a ser los encargados de guiar la lámina hacia el sistema de alineación. El fabricante seleccionado fue el encargado de garantizar balanceo estático y dinámico a una velocidad de rotación de 100 [rpm]. El diagrama de flujo de proceso se indica en el Anexo I.1.



Figura 124. Rodillos entrada/salida terminados en espera para transporte.

5.1.2. RODILLOS DEL ALINEADOR

De acuerdo al diseño realizado y a los planos de construcción, se cotizó y se envió a manufacturar los rodillos del alineador. El fabricante seleccionado es el encargado de garantizar balanceo estático. El diagrama de flujo de proceso se indica en el Anexo I.2.

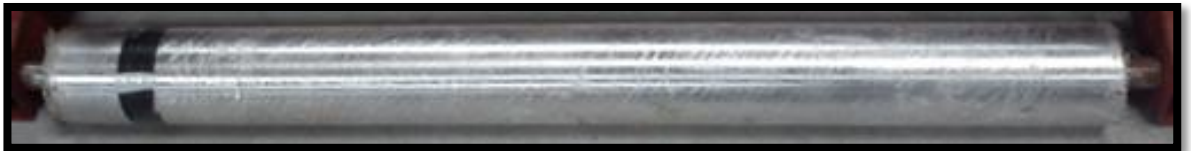


Figura 125. Rodillos del alineador en almacenamiento

5.1.3. PLACA PARA MOTOR

En base a los planos de construcción Anexo H, y las dimensiones de las sujeciones del motor EPCO (Anexo J), se procedió a fabricar la placa para el acople del motor a la base del sistema de alineación. Los materiales y herramientas que se utilizaron a utilizar para la fabricación de la estructura se indican en el tabla 5.1, y el diagrama de flujo de proceso de construcción se observa en el Anexo I.3.



Figura 126. Inspección de medidas de la placa para motor

Tabla 49.

Listado de materiales y herramientas utilizados en la construcción e implementación de la placa para motor.

Cantidad	Descripción
Materiales	
1	Placa de 260x55x12mm
1	Tanques Oxígeno y Acetileno
1	Broca de 8mm para Acero
1	Juego de Machuelos de 5/16" 13UNC
1	Disco de Corte de 7" x 1/8" x 7/8"
-	Electrodos 6010 y 7018
-	Fondo antioxidante
-	Pintura esmalte (Color: Negro)
Herramientas	
1	Amoladora/Esmeril
1	Soplete y boquilla para Corte oxiacetilénico
1	Flexómetros, Calibrador
1	Compresor (soplete para pintura)
1	Taladro

5.1.4. PLACA PARA SENSOR

De acuerdo a los planos de construcción, y las dimensiones de los sensores ópticos, se procedió a fabricar la placa de sujeción. Los materiales y herramientas que se utilizaron para la fabricación de la estructura se indican en el tabla 5.2, y el diagrama de flujo de proceso de construcción se observa en el Anexo I.4.



Figura 127. Placa empernada a la base y sensor ubicado en la misma.

Tabla 50.

Listado de materiales y herramientas utilizados en la construcción e implementación de la placa para sensor.

Cantidad	Descripción
Materiales	
2	Tubo Cuadrado 100x100x3mm L: 40mm
1	Disco de Corte de 7" x 1/8" x 7/8"
1	Disco de Corte de 4 1/2" x 1/8" x 7/8"
1	Broca de 5/16 mm para Acero
1	Broca de 18mm para Acero
-	Fondo antioxidante
-	Pintura esmalte (Color: Negro)
Herramientas	
1	Amoladora/Esmeril
1	Flexómetros, Calibrador
1	Compresor (soplete para pintura)
1	Taladro

5.1.5. ELEMENTO DE SUJECIÓN BASTIDOR- MOTOR

En base a los planos de construcción Anexo H, se cotizó y se envió a manufacturar los pines del elemento de sujeción bastidor-motor al fabricante. El diagrama de flujo de proceso de construcción se observa en el Anexo I.5.



Figura 128. Corte de material para elemento de sujeción bastidor-motor.

5.1.6. MECANISMO DESLIZANTE

5.1.6.1. EJES DE GUIADO

De acuerdo al diseño realizado y a los planos de construcción, se cotizó a y se envió a fabricar los ejes de guiado con una dureza superficial final de 61 HRC. El fabricante entregó un certificado del tratamiento y de los procesos, Anexo E. El diagrama de flujo de proceso se indica en el Anexo I.6.



Figura 129. Inspección de medidas y prueba de ubicación de ejes de guiado

5.1.6.2. SOPORTES DE EJES

En base al diseño realizado y a los planos de construcción, se cotizó y se envió a manufacturar los soportes de los ejes de guiado. El diagrama de flujo de proceso se indica en el Anexo I.7.



Figura 130. Proceso de soldeo de placa de soporte.

5.1.6.3. ALOJAMIENTO RÓTULA- RODAMIENTO

De acuerdo al diseño realizado y a los planos de construcción, se cotizó y se envió a manufacturar. El diagrama de flujo de proceso se indica en el Anexo I.8.



Figura 131. Ubicación de placas de soporte para el alojamiento rótula-rodamiento.

5.1.7. BASE

En base al diseño realizado en la capítulo anterior y a los planos de construcción Anexo H, se procedió a fabricar la base del sistema de alineación, el cual va a contener los soportes de los eje, la placa del motor y las placas de sujeción de los sensores, que conforman el mecanismo del sistema. Los materiales y herramientas que se utilizaron para la fabricación de la estructura se indican en el tabla 5.3, y el diagrama de flujo de proceso de construcción se observa en el Anexo I.9.



Figura 132. Proceso de soldeo de base del sistema de alineación.



Figura 133. Disposición de elementos acoplados a la base del sistema de alineación

Tabla 51.

Listado de materiales y herramientas utilizados en la construcción e implementación de la base.

Cantidad	Descripción
Materiales	
1	Tubo Estructural Rectangular (Sección:50x100x3mm)
1	Disco de Corte de 7" x 1/8" x 7/8"
1	Platina A36 de 180x50x12mm
1	Broca de 1/2" para Acero
2	Perfil Angular 100x100x5mm L:750mm
-	Electrodos 6010 y 7018
-	Fondo antioxidante
-	Pintura esmalte (Color: Azul, Negro)
Herramientas	
1	Amoladora/Esmeril
1	Soldadora SMAW
1	Escuadra y Nivel
1	Flexómetros
1	Compresor (soplete para pintura)
1	Taladro

5.1.8. BASTIDOR

En base al diseño realizado en la capítulo anterior y a los planos de construcción Anexo H, se procedió a fabricar la base del sistema de alineación, el cual va a contener los alojamientos de rótula-rodamiento y el elemento de sujeción motor-bastidor. Los materiales y herramientas que se utilizaron para la fabricación de la estructura se indican en el tabla 5.4, y el diagrama de flujo de proceso de construcción se observa en el Anexo I.10.



Figura 134. Bastidor posterior al proceso de soldeo.

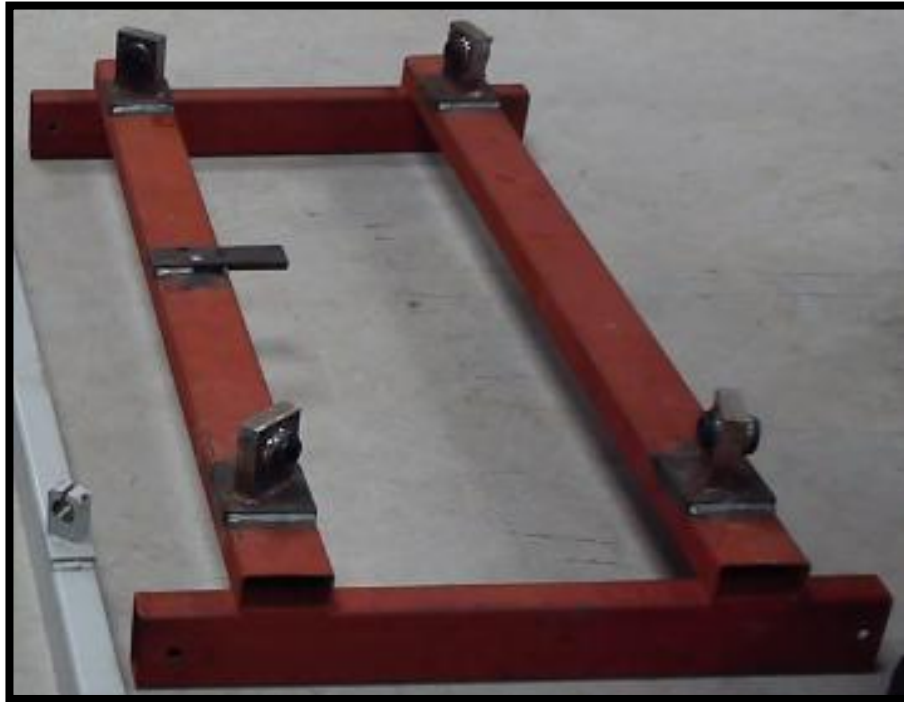


Figura 135. Ubicación y soldadura de Alojamiento rotula-rodamiento y de la placa bastidor-motor.

Tabla 52.

Listado de materiales y herramientas utilizados en la construcción e implementación del bastidor.

Cantidad	Descripción
Materiales	
1	Tubo Estructural Rectangular (Sección:50x100x3mm, L: 4400mm)
1	Disco de Corte de 7" x 1/8" x 7/8"
1	Platina A36 de 180x50x12mm
1	Broca de 1/2" para Acero
-	Electrodos 6010 y 7018
-	Fondo antioxidante
-	Pintura esmalte (Color: Azul, Negro)
Herramientas	
1	Amoladora/Esmeril
1	Soldadora SMAW
1	Escuadra y Nivel
1	Flexómetros
1	Compresor (soplete para pintura)
1	Taladro

5.1.9. ESTRUCTURA BASE

De acuerdo al diseño realizado y a los planos de construcción Anexo H, se procedió a fabricar la estructura base o de soporte del sistema de alineación. Los materiales y herramientas que se utilizaron para la fabricación de la estructura se indican en el tabla 5.5, y el diagrama de flujo de proceso de construcción se observa en el gráfico Anexo I.11.



Figura 136. Armado de piezas de la estructura base



Figura 137. Soldado de piezas de estructura base

Tabla 53.
Listado de materiales y herramientas utilizados en la construcción e implementación de la estructura base.

Cantidad	Descripción
Materiales	
4	Tubo Estructural Rectangular (Sección:100x150x3mm)
1	Plancha Acero A36 1600x800x5mm
1	Disco de Corte de 7" x 1/8" x 7/8"
4	Platina A36 de 160x50x12mm
1	Broca de 11mm para Acero
1	Juego de Machuelos de 1/2" 13UNC
-	Electrodos 6010 y 7018
-	Fondo antioxidante
-	Pintura esmalte (Color: Plomo)
Herramientas	
1	Amoladora/Esmeril
1	Soldadora SMAW
1	Taladro
1	Escuadra y Nivel
1	Flexómetros
1	Compresor (soplete para pintura)

5.1.10. ENSAMBLE GENERAL

Posterior a la construcción de todos los elementos del sistema automático de alineación, se procedió al ensamble o instalación de las partes, en base al plano de ensamble Anexo H, y al diagrama de flujo de procesos en el Anexo I.12., la lista de materiales y herramientas necesarias se detallan en la tabla 5.6.



Figura 138. Ensamble del sistema de alineación



Figura 139. Colocación de espaciadores en los rodillos del alineador.



Figura 140. Ubicación del motor en el sistema de alineación.

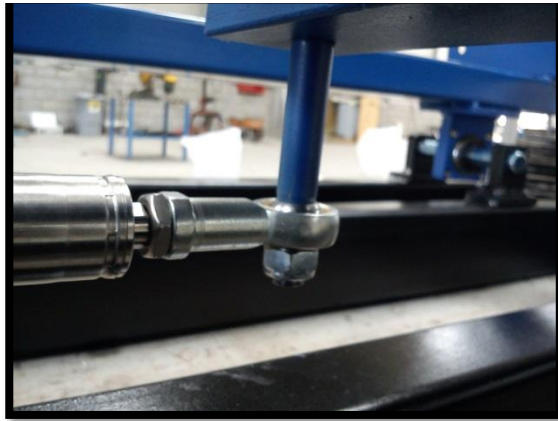


Figura 141. Conexión del elemento de sujeción bastidor-motor.



Figura 142. Posicionamiento del sistema de alineación en la estructura base.



Figura 143. Posicionamiento de sensores.



Figura 144. Colocación de rodillos de entrada/salida.

Tabla 54.

Listado de materiales y herramientas utilizados en el ensamble general.

Cantidad	Descripción
Materiales	
4	Cojinete SKF SY30TF
12	Perno de 1/2 X 1 " con arandela plana y de presión
4	Perno de 1/2 X 3" con arandela plana
8	Perno allen M5 x 1"
16	Perno allen 1/4 x 1" con tuerca
8	Anillos Seeger Externos de 40mm
4	Perno 5/16 x 1 " con arandela plana y de presión
4	Bocín de 1/2" L: 44mm
1	Juego de Machuelos 5/16" 13UNC
1	Juego de Machuelos 1/2" 13UNC
1	Broca de 1/2" para Acero
1	Broca de 9mm para Acero
1	Funda de Electrodo 6010 de 5lb
-	Fondo antioxidante
-	Pintura esmalte (Color: Negro, Azul)
Herramientas	
1	Amoladora/Esmeril
1	Flexómetros, Calibrador
1	Compresor (soplete para pintura)
1	Taladro
1	Juego de llaves de boca mixta
1	Montacargas
1	Escuadra y Nivel
1	Martillo
1	Pinza para anillos seeger

5.2. IMPLEMENTACIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

PLANOS ELÉCTRICOS/ ELECTRÓNICOS: ANEXO K

De acuerdo a las conexiones mostradas en los planos eléctricos/ electrónicos y esquemas de control ubicados en el Anexo K se procedió a realizar el cableado de componentes: sensores ópticos, motor, controlador y PLC, y se colocó el respectivo gabinete en la estructura base del sistema automático de alineación, el mismo que alberga al controlador y a las borneras de entradas y salidas digitales del motor, alimentación y señal de los sensores (Figura 5.22). Adicionalmente, a fin de evitar introducción de ruidos en la señal de los sensores por la longitud de transmisión se colocó una caja de paso cercana a los mismos, donde las señales se acoplan a las respectivas borneras y se trasladan al gabinete principal del controlador (Figura 5.23 y Figura 5.24).



Figura 145. Proceso de Cableado de Gabinete del Controlador

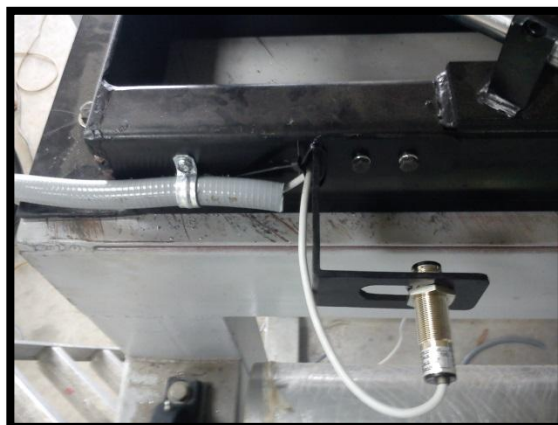


Figura 146. Cableado de sensores ópticos

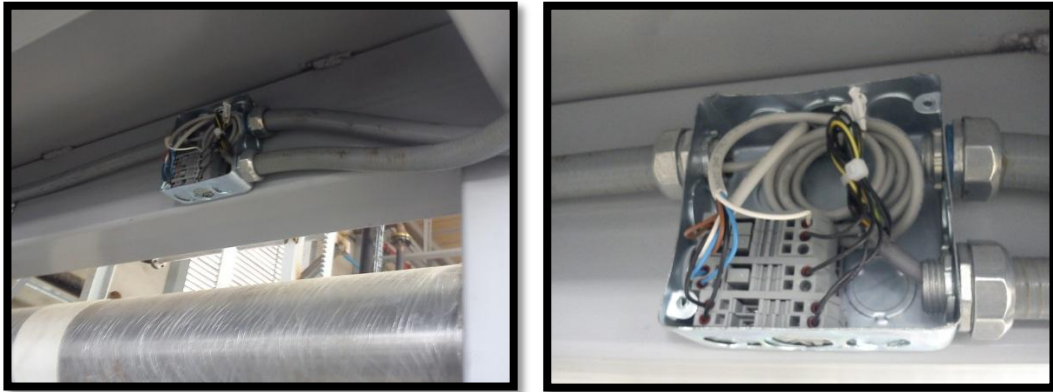


Figura 147. Caja de paso de sensores ópticos

El PLC se encuentra en el panel de control principal del área de laminación (Anexo K), por lo que se requiere que los cables de señales se coloquen en canaletas suspendidas de la estructura del techo de la nave industrial. Las señales, de carácter digital, son conectadas al módulo de entradas y salidas digitales del PLC de acuerdo a los diagramas de conexión Anexo K. La interfaz gráfica con los operadores y supervisores está dada por el panel HMI.

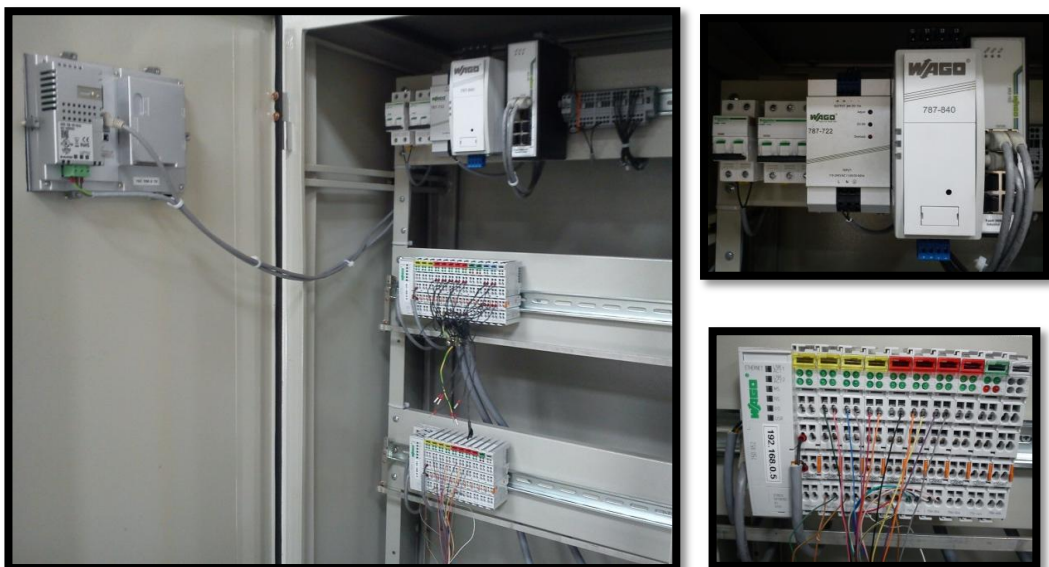


Figura 148. Panel de Control Área de Laminación

Los equipos y herramientas que se requieren para el montaje e implementación de los componentes eléctricos/ electrónicos se detallan en la tabla a continuación:

Tabla 55.

Listado de materiales y herramientas utilizados en la implementación de componentes eléctricos/electrónicos.

Cantidad	Equipos
	Descripción
1	Programador Lógico Programable PLC (marca WAGO)
1	Módulo de entradas/salidas digitales
1	Touch Panel (marca Brainchild)
23	Borneras para gabinete del controlador
7	Borneras para caja de paso sensores
1	Cable de conexión de 18 hilos (30 metros)
1	Cable de conexión 4 hilos (3 metros)
1	Tubo conduit metálico (2.15 metros)
2	Tubo conduit plástico flexible (50 cm)
2	Caja de paso
1	Gabinete de conexión
-	Riel para gabinete de conexión
Herramientas	
1	Multímetro
1	Llaves de boca mixta
1	Cortadora/Peladora de cables
1	Taladro
1	Destornillador para borneras

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISIS DE PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se analiza el funcionamiento del sistema de alineación angular, para corroborar que tanto el mecanismo como el sistema de control implementado trabajan correctamente. La inspección y validación del funcionamiento se la realiza mediante chequeo visual y por medio de la adquisición de datos de un sensor infrarrojo desarrollado para este fin que se comunica con la tarjeta de programación Arduino y el software Labview.

6.1. PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS

A la fecha de realización de las pruebas, la línea de laminación se encuentra implementándose por lo que todavía existen etapas y procesos de modificación de las láminas que deben realizarse a fin de obtener el producto final. Sin embargo, como se detalla en el Gráfico 2.1, el sistema de alineación de láminas se sitúa, previo a cualquier modificación en la composición en las láminas impermeabilizantes como por ejemplo adición de mástico o gránulos minerales, por lo que el único elemento que interviene es la armadura en sí, de esta manera las pruebas no se ven afectadas por los procesos de cambio que se realizan posteriores al mismo.

Con este fin, se coloca armadura o lámina base a través de toda la línea de laminación y la tracción de la lámina para la prueba fue realizada principalmente por la enrolladora (ver Gráfico 2.1.) a una velocidad constante de 40 m/min. El material que la empresa selecciona para la realización de la prueba es el poliéster 180.

Se realizan dos tipos de análisis, el primero para determinar los correctos parámetros de funcionamiento: posición, velocidad, aceleración y torque a fin de obtener el arrastre adecuado de la lámina y en el segundo se realiza una adquisición de datos a través de un elemento de medición fabricado (sensor infrarrojo), el mismo que es colocado entre la salida del alineador automático y la entrada al tanque de preimpregnación, para verificar la corrección en la desviación lateral de la lámina, probando con el sistema de alineación apagado y con el sistema encendido.

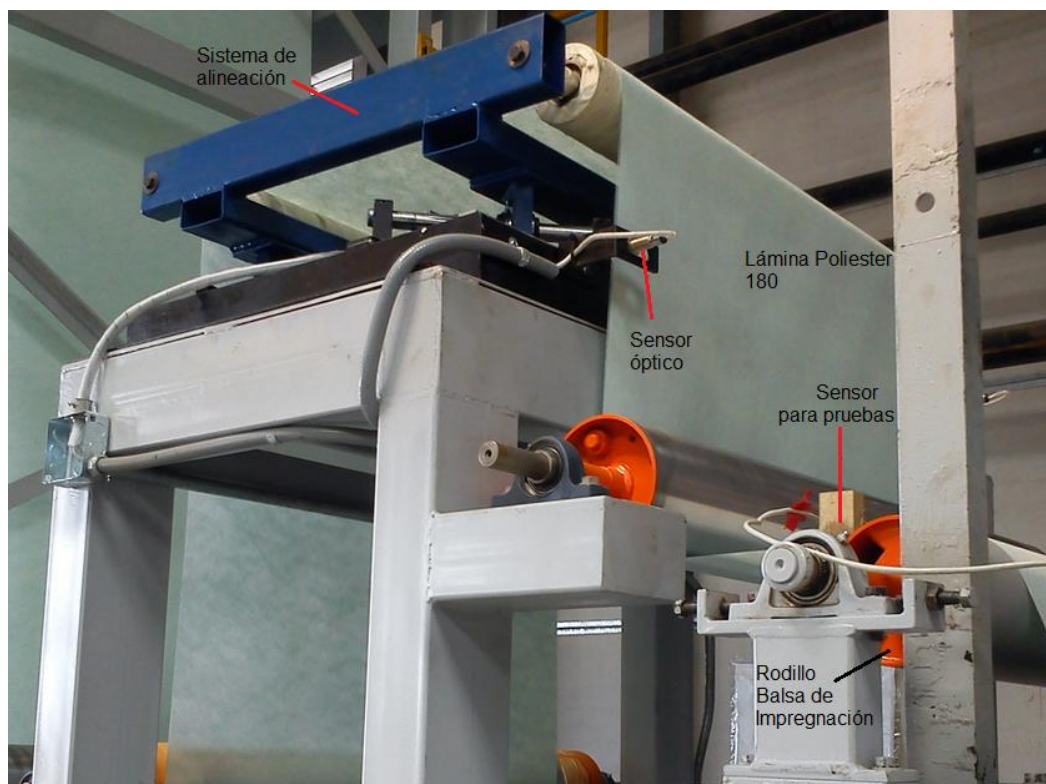


Figura 149. Elementos que intervienen en las pruebas de funcionamiento.

Al realizar las pruebas la bobina de armadura será ubicada con una desviación lateral con respecto al eje central de la línea de producción desde el desbobinador a fin de introducir una desviación constante.

6.2. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

6.2.1. PROCEDIMIENTO PARA SETEAR LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO.

1. La conexión al controlador se la puede hacer mediante Ethernet, por lo que se debe configurar la conexión de red LAN a fin de establecer la comunicación con este dispositivo. En el computador que va a conectarse debe colocarse una dirección IP que corresponda a la red del controlador.

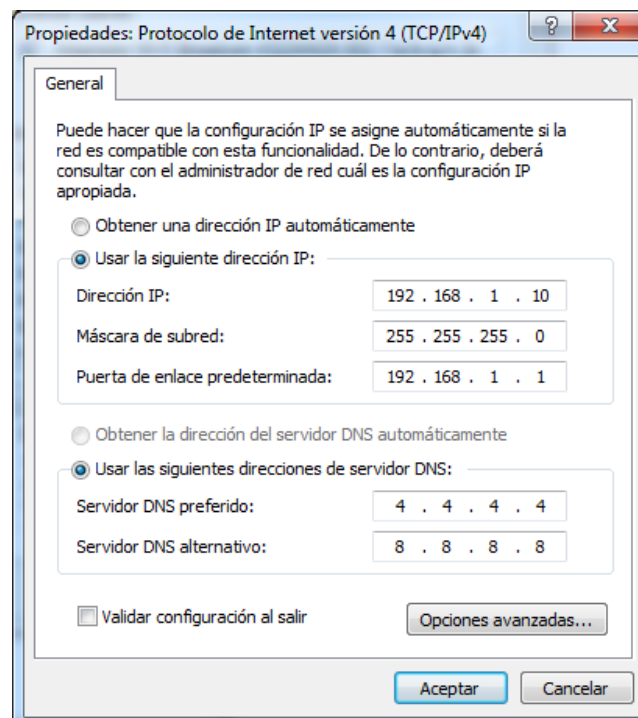


Figura 150. Propiedades de la conexión LAN.

2. En cualquier navegador se coloca la dirección IP del controlador y se accede a la página de configuración en la pestaña correspondiente a Parámetros.

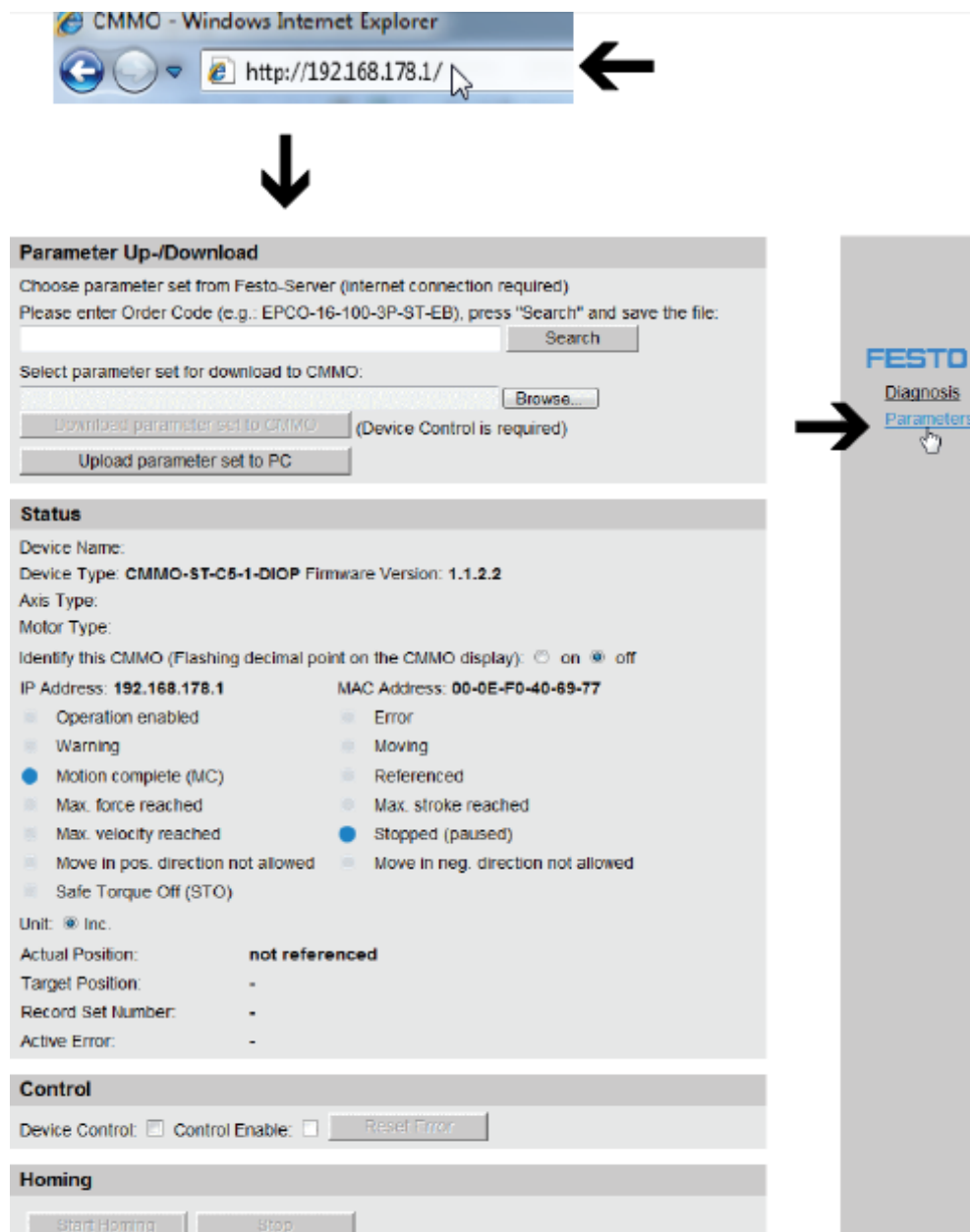


Figura 151. Ingreso a centro de control de dispositivo.

3. Ingresando el tipo de motor se procede a buscar el archivo correcto del controlador que se requiere para establecer los parámetros de funcionamiento. El archivo debe ser descargado.

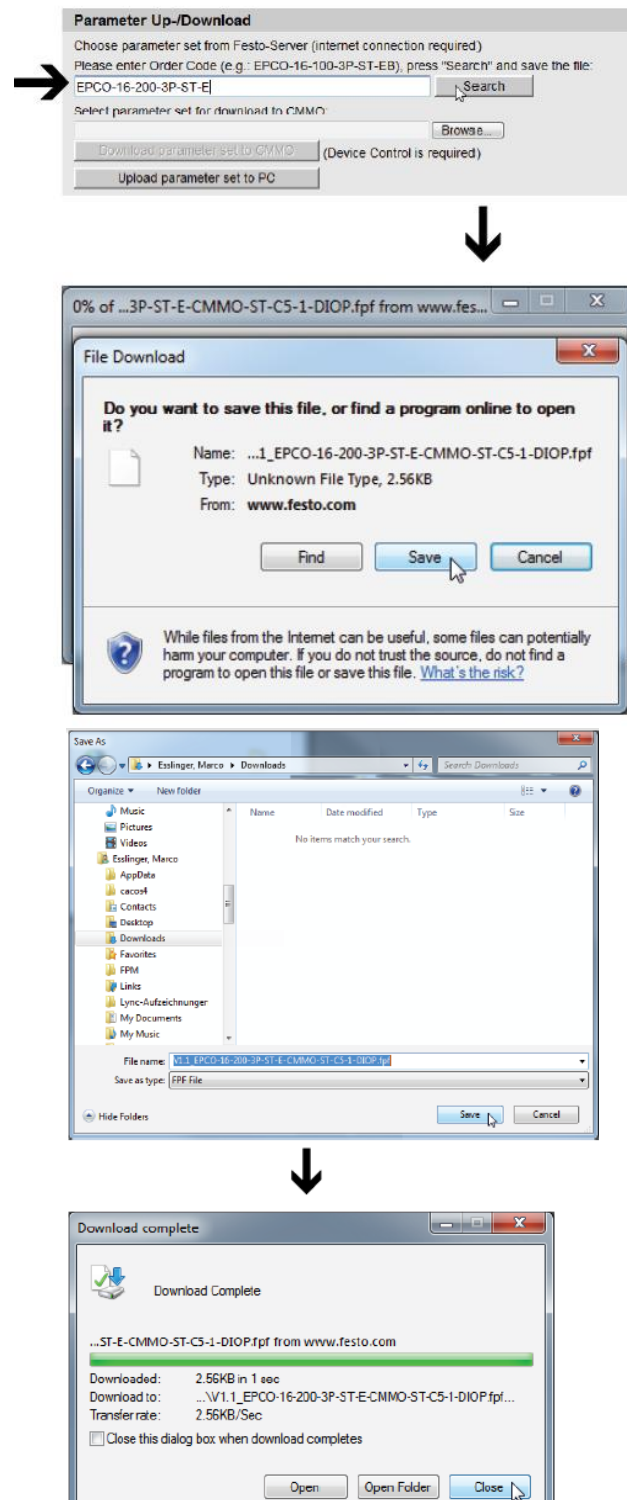


Figura 152. Descarga del archivo requerido para el controlador

- Se procede a buscar el archivo, seleccionándolo de la carpeta donde fue descargado.

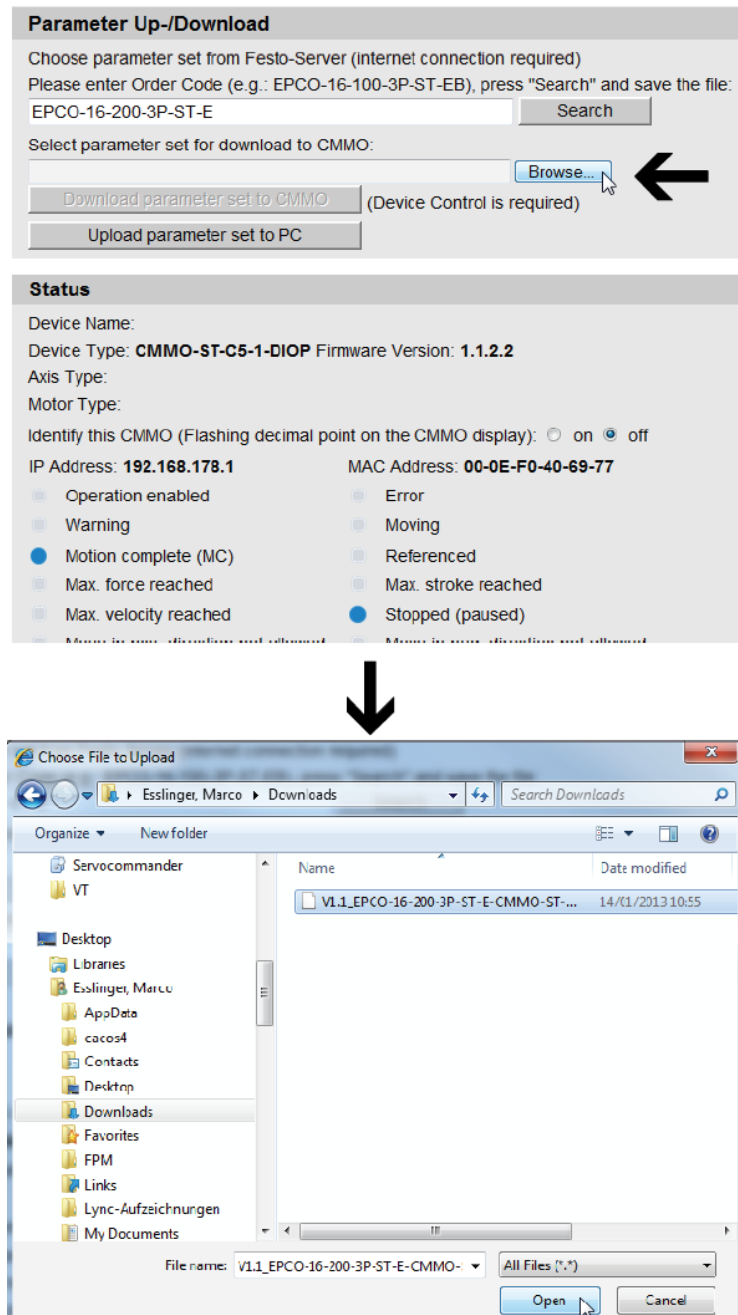


Figura 153. Búsqueda de archivo descargado.

- Se selecciona la opción "Device Control" y se procede a descargar los parámetros al controlador. Al final aparece un mensaje para confirmar

que la descarga se ha realizado correctamente y se retorna a la pestaña de Parámetros.

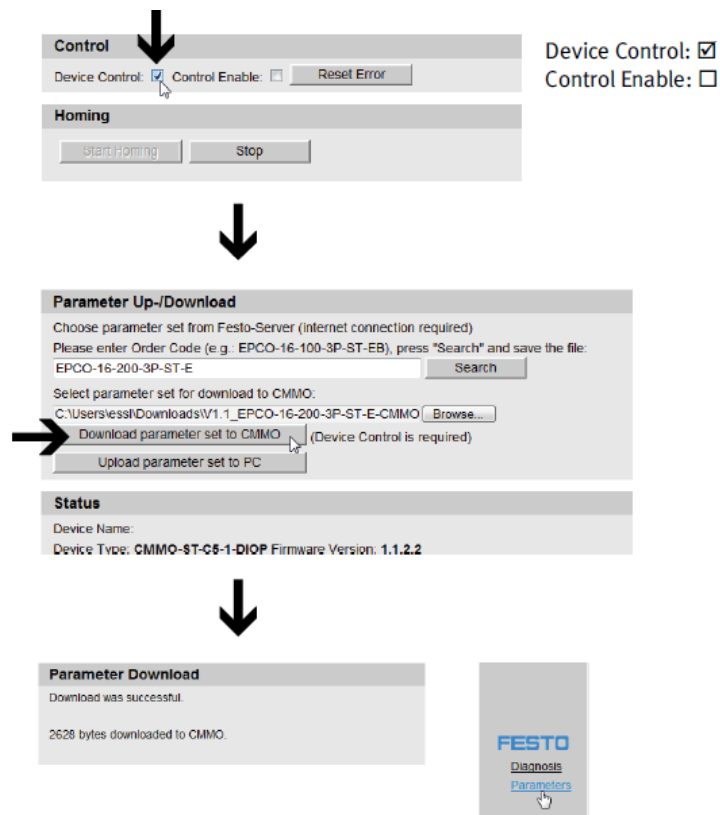


Figura 154. Device Control.

- Se selecciona la opción “Control Enable”, aparece un mensaje que indica que el dispositivo puede ser controlado a través de la red, por lo que debe asegurarse que la manipulación del cilindro EPCO no genere daños en el equipo o en las personas. Adicionalmente el equipo requiere referenciarse con su posición de origen, antes de poder realizar cualquier movimiento, por lo que se selecciona la opción “Start Homing” y se puede visualizar que la posición actual del motor toma el valor de cero (indistinta de la unidad de movimiento) y que aparece en azul la opción “Motion Complete MC” y “Referenced”.

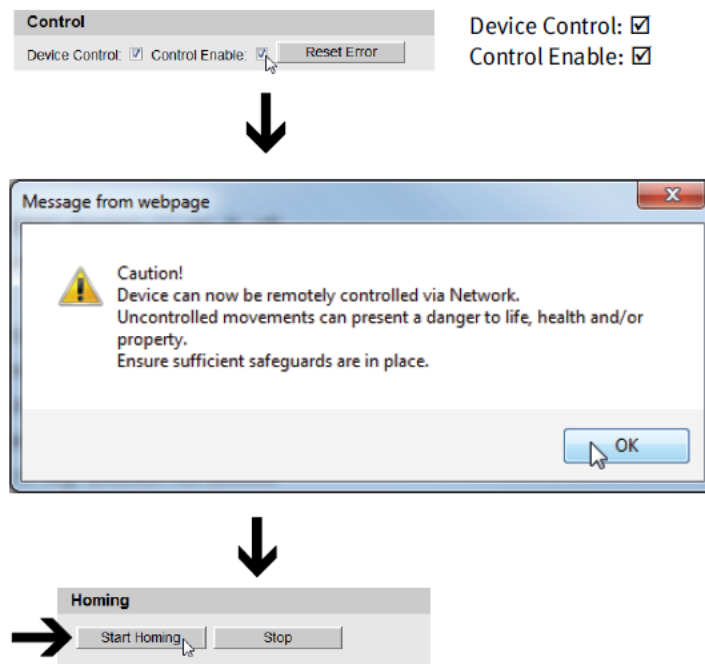


Figura 155. Referenciación.

7. Se ingresa manualmente en la tabla la posición, velocidad, aceleración y torque requerido para cada movimiento y se procede a cargar los parámetros en el controlador CMMO-ST que está conectado. Aparece un mensaje que confirma que los registros han sido cargados exitosamente.

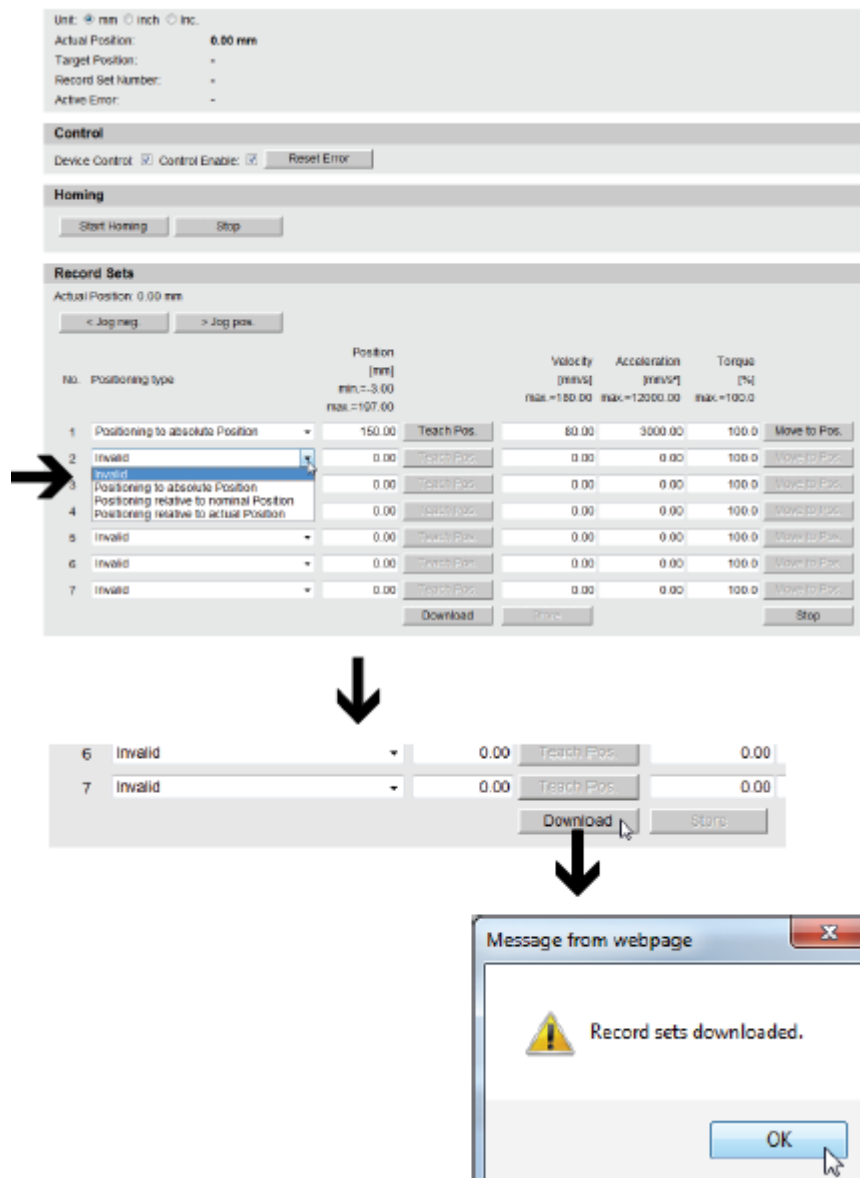


Figura 156. Ingreso de Parámetros de Funcionamiento.

- Se puede comprobar el correcto funcionamiento de los parámetros haciendo click en la opción "Move to Position". Una vez comprobados, se procede a grabar los parámetros de forma permanente en el controlador a fin de que éstos permanezcan almacenados a pesar de las desconexiones de energía, seleccionando la opción "Store".

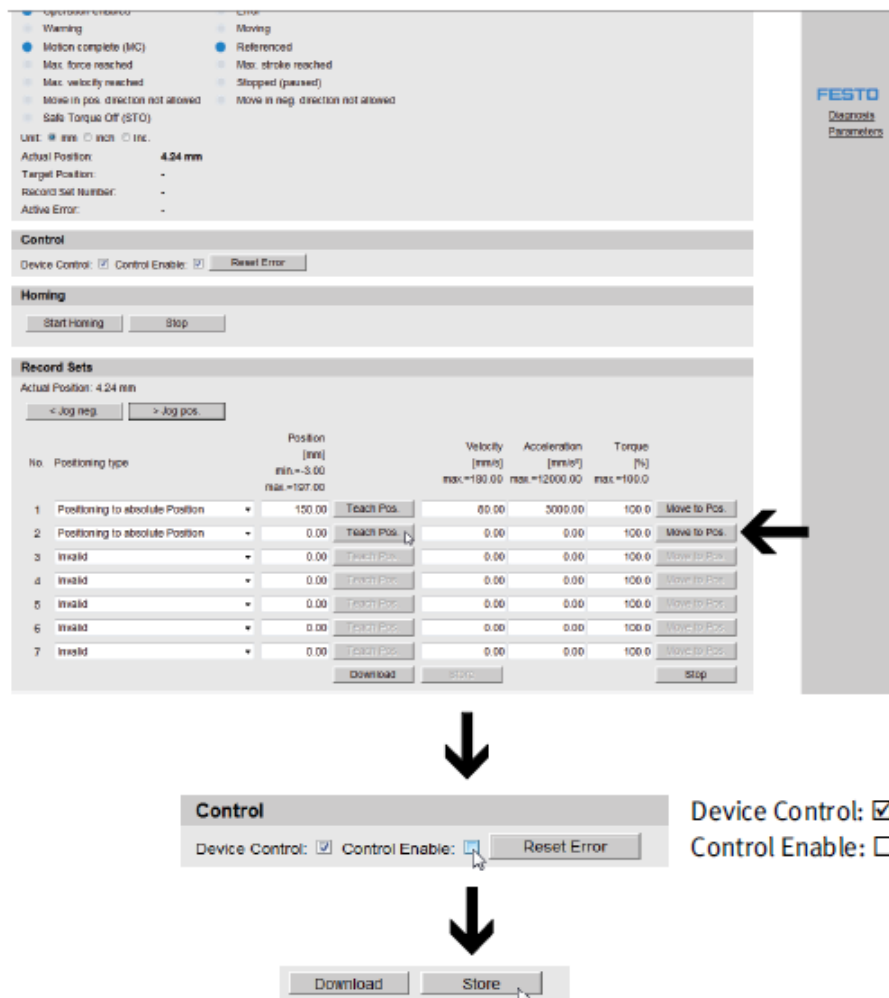


Figura 157. Almacenamiento definitivo de Parámetros de Funcionamiento.

6.2.2. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

POSICIÓN

Para determinar las posiciones se desplazó el sistema alineador a las situaciones extremas mecánicas tanto izquierda como derecha, es decir a los máximos puntos de desplazamiento que permiten los ejes y considerando un factor de seguridad para evitar el golpeteo del mecanismo se las grabó en la tabla en la columna correspondiente a posición (Tabla

6.1). De la misma manera, con la ayuda de escuadras y niveles, se ubicó al mecanismo en la posición central y se grabó también esta posición.

Tabla 56.

Posiciones del Motor EPCO configuradas en el controlador.

Número de Posición	Denominación	Posición(mm)
1	Izquierda	5
2	Central	49
3	Derecha	102

FUERZA, ACELERACIÓN Y VELOCIDAD.

En condiciones normales de operación la tensión de la lámina en el transporte rodea el 50% de la tensión máxima (Smith, Foederer, Frey, & Lush, 2011), por lo que la fuerza promedio con la que se realizará el cálculo para determinar los parámetros de funcionamiento del sistema se puede reducir a la mitad a fin de establecer un cálculo más real y no colocar al motor en su situación crítica de operación máxima.

Con el análisis realizado en el Capítulo 4, en la sección “Fuerza requerida del Motor”, se determina la fuerza que se va a configurar en el controlador del motor y la velocidad.

Fuerza de fricción necesaria por rodamiento:

$$F_e = 23.33[N]$$

Fuerzas en y:

$$F_y = 74.98 [N]$$

Fuerzas en x:

$$F_x = 48.13 [N]$$

Fuerza de fricción resultante:

$$F = 89.08[N]$$

Fuerza de inercia:

$$F_{50\%} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{2} = \frac{3732.55}{2} [N] = 1866.28 [N]$$

$$F(\text{inercia}) = \frac{1866.28 [N]}{9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right]} * a$$

La aceleración se tomó como un parámetro de entrada y se configura con un valor bajo para evitar golpeteos fuertes en el mecanismo debido a la fuerza q brindará el motor para vencer la inercia del sistema, $a = 1 \left[\frac{m}{s^2} \right]$.

$$F(\text{inercia}) = 190.24 [N]$$

$$F(\text{empuje}) = F(\text{inercia}) + F(\text{fricción})$$

$$F(\text{empuje}) = 190.24 + 89.08$$

$$F(\text{empuje}) = 279.32 [N]$$

Conociendo la fuerza de operación normal, mediante la siguiente figura, recomendada por el fabricante, se halla la velocidad de trabajo del motor lineal.

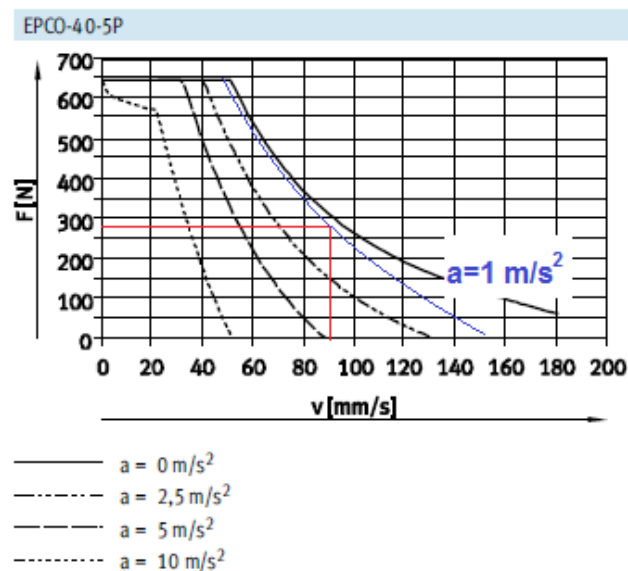


Figura 158. Curvas de funcionamiento del Motor EPCO seleccionado.

Fuente: EPCO Quick Guide- Festo

La velocidad de trabajo es aproximadamente 90 mm/s, a una fuerza aproximada de 280 N, y una aceleración de 1 m/s², estos valores se configuraron en el controlador y se comprobó el correcto funcionamiento del mecanismo.

Tabla 57.
Parámetros finales seteados en el controlador CMMO-ST

Número de Posición	Posición(mm)	Velocidad (mm/s)	Aceleración (mm/s ²)	Torque (%)
1	0	90	1	50
2	49	90	1	50
3	102	90	1	50

No.	Positioning type	Position [mm]	Velocity [mm/s]	Acceleration [mm/s ²]	Torque [%]
1	Positioning to absolute Position	0.00	90.00	1000.00	50.0
2	Positioning to absolute Position	48.75	90.00	1000.00	50.0
3	Positioning to absolute Position	102.00	90.00	1000.00	50.0
4	Invalid	0.00	0.00	1000.00	0.0
5	Invalid	0.00	0.00	1000.00	0.0
6	Invalid	0.00	0.00	0.00	100.0
7	Invalid	0.00	0.00	0.00	100.0

Figura 159.Parámetros seteados en el controlador CMMO-ST.

6.3. ADQUISICIÓN DE DATOS

Para facilitar la adquisición de datos se elaboró un sensor infrarrojo simplificado, el mismo que consta de seis led emisores y seis led receptores protegidos por dos láminas de policarbonato, cuyas señales digitales se conectan a las entradas digitales de la tarjeta Arduino.

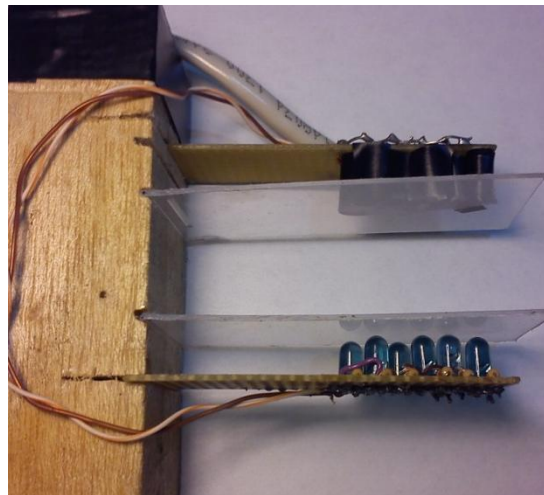


Figura 160. Sensor infrarrojo simplificado.

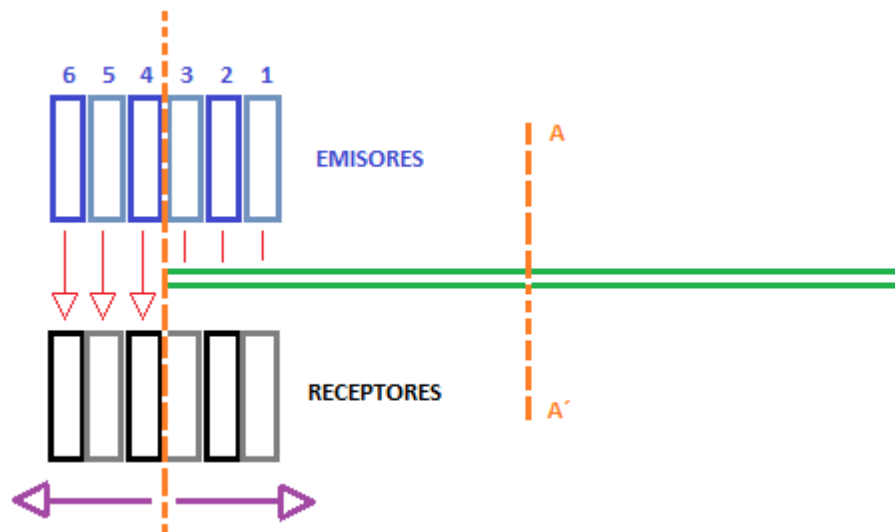


Figura 161. Funcionamiento del sensor infrarrojo elaborado.

Como se puede observar en el gráfico anterior, la lámina correctamente alineada se encuentra en el centro del sensor elaborado, es decir, está interrumpiendo la señal de los infrarrojos 1, 2 y 3. De existir algún tipo de desalineación, la lámina se desplazará a la izquierda o derecha y la señal de los infrarrojos será modificada. Si se interfiere la señal del par de infrarrojos 1 ó 2 únicamente, se trata de un desplazamiento lateral a la derecha. Si se interfiere la señal del par de sensores 4, 5 ó 6, se trata de un desplazamiento lateral a la izquierda. A pesar de que el sensor elaborado está limitado a 30

mm como su rango de medición, este rango es suficiente para determinar el correcto funcionamiento del sistema de alineación.

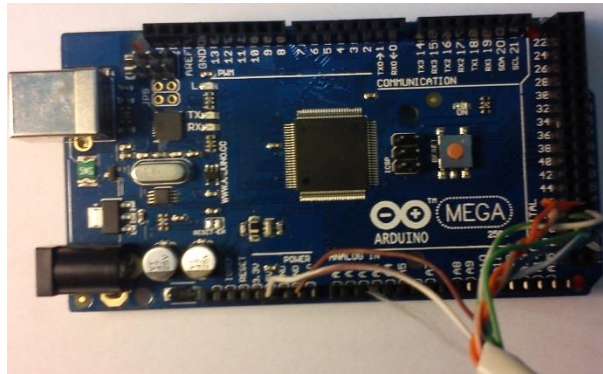


Figura 162. Tarjeta ARDUINO.

La tarjeta se comunica de manera serial con la PC y la adquisición de datos se la realiza en el entorno del software Labview en el que se registra los datos por cada segundo y posteriormente se importa esa información a Excel como tabla.

Luego de inicializar el equipo (ver Manual de Operación) se procede a la toma de datos. Las tablas a continuación indican los valores obtenidos en el mismo intervalo de tiempo con el sistema de alineación apagado y encendido.

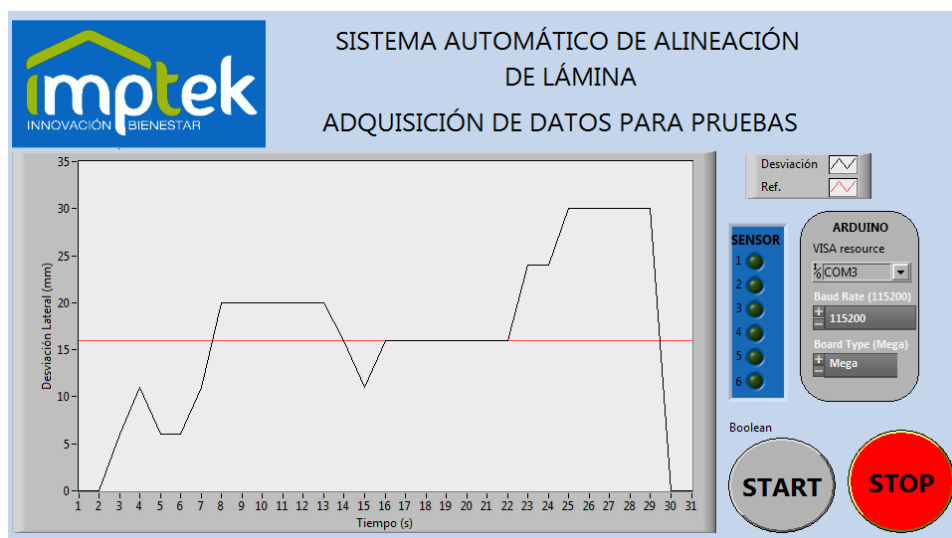


Figura 163. Entorno de Labview para adquisición de datos.

El conjunto de datos obtenidos mediante la medición con el sensor elaborado se pueden observar en el Anexo L y corresponden a datos medidos con el Sistema de Alineación Apagado y Encendido.

6.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Posterior a la tabulación de los datos obtenidos en dos minutos de operación tanto con el sistema de alineación apagado como encendido, se procedió a elaborar gráficas que permitan apreciar de mejor manera y determinar la desviación existente y la posterior corrección de la desviación a través del sistema automático de alineación propuesto.

Para evitar el desperdicio de lámina destinada para pruebas, la empresa auspiciante limitó el tiempo para realizar las mismas, que por consiguiente limitó el tipo de perturbación a una, siendo la elegida la desviación lateral del rollo con respecto al eje de la línea de producción, es decir, la lámina siempre vendrá desalineada hacia un extremo.

6.4.1. SISTEMA DE ALINEACIÓN APAGADO

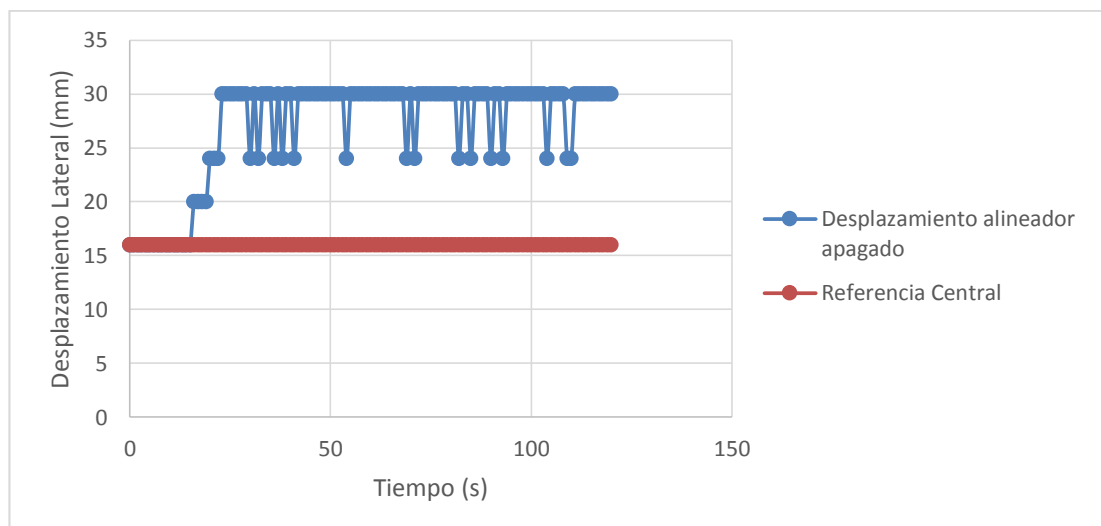


Gráfico 14. Sistema de alineación apagado.

Como se explicó anteriormente, el sensor que se elaboró para las pruebas tiene una línea central de operación que corresponde a 16 mm. Las desviaciones que se producen en el paso de la lámina corresponderán a registros mayores o menores que el valor anteriormente mencionado.

Como se puede apreciar en la gráfica, con el sistema de alineación apagado se conserva la desviación lateral que se introdujo al inicio en el desbobinador y el desplazamiento de la lámina fluctúa entre los 24 y 30 mm, es decir que la lámina presenta una desviación lateral entre 8 y 16 mm aproximadamente.



Figura 164. Desplazamiento lateral de la lámina en el rodillo de impregnación con el sistema de alineación apagado.

Para valores mayores de desviación, al no estar encendido el sistema automático de alineación, la lámina sigue desplazándose, sin embargo, la medición del sensor elaborado está limitada a los 30 mm.

6.4.2. SISTEMA DE ALINEACIÓN ENCENDIDO

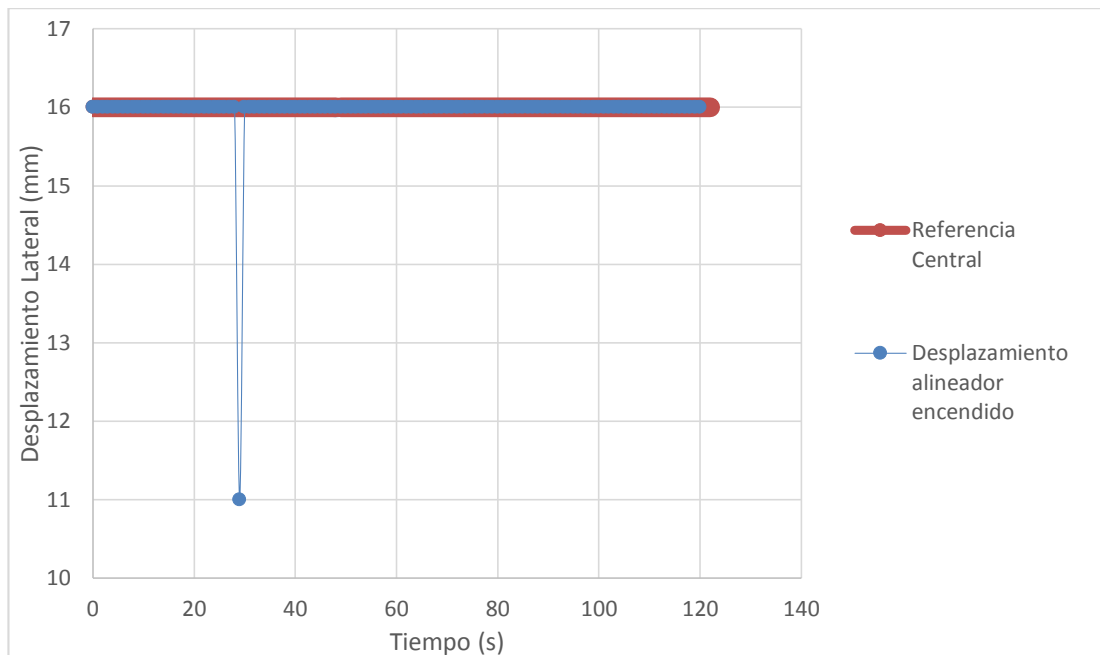


Gráfico 15. Sistema de alineación encendido.

Como se puede apreciar en la gráfica, con el sistema de alineación encendido se logra corregir la desviación lateral que se introdujo al inicio en el desbobinador y la lámina se establece en el valor constante de 16 mm que corresponde al punto de referencia, descrito anteriormente. El punto aislado puede ser justificado como un error de comunicación en el momento de las mediciones o falsos pulsos de los sensores infrarrojos.

Cabe recalcar que en la gráfica no se observa una desviación significativa porque la resolución del sensor está limitada a que se presente una variación de 4 a 5 mm, es decir, que la lámina se desplace esta cantidad hacia la izquierda o derecha, para que un nuevo haz de luz infrarroja sea interrumpido y se efectúe una nueva medición. Sin embargo, se puede validar y comprobar que el sistema automático de alineación

satisface los requerimientos de corrección, ya que estas variaciones de 4 o 5 mm pueden ser despreciables dentro del proceso de fabricación.



Figura 165. Desplazamiento lateral de la lámina en el rodillo de impregnación con el sistema de alineación apagado.

6.5. MANUAL DE OPERACIÓN

ANEXO M

CAPÍTULO VII

7. ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

En el presente capítulo se analiza tanto el costo del proyecto como los beneficios que obtiene la empresa Chova del Ecuador S.A. por la financiación del sistema automático de alineación de armadura.

7.1. ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero del proyecto permite establecer los costos totales a fin de determinar el valor que la empresa ha invertido realmente para cumplir el objetivo planteado. Para una mejor comprensión éstos han sido divididos en los siguientes parámetros: costo de materiales directos, costo de mano de obra directa y costos indirectos de producción.

7.1.1. COSTOS DE MATERIALES DIRECTOS

Corresponden a los costos de los materiales y equipos adquiridos para la fabricación de un bien o producto.

Tabla 58.

Costo de Materiales Directos.

LISTA DE MATERIALES	DESCRIPCIÓN	CANT	UNID AD	COSTO UNIT	TOTAL
RODILLOS GENERAL	EJE 1650mm RODILLO 1250mm	2	uni	580.00	1160.00
RODILLOS ALINEADOR	EJE 1300mm RODILLO 1200mm rodamiento interno	2	uni	1100.00	2200.00
RODAMIENTOS RODILLO ALINEADOR	SKF 61907	4	uni	53.38	213.52

CONTINUA



CHUMACERAS	SKF SY 30 FM	4	uni	37.98	151.92
SENSORES	Interruptor fotoeléctrico VTE 18- 4P4212	2	uni	120.00	240.00
PLC	4 Digital Input 4 Digital Output 2 Analog Input, 1 Fuente de Alimentación, Módulo de Cierre, Comunicación Ethernet. (Compartido con otros proyectos)	1	uni	200.00	200.00
MOTOR + DRIVER	Cilindro eléctrico EPCO	1	uni	3353.41	3353.41
ROTULAS	SKF GE 40 TXE-2LS	4	uni	73.93	295.72
RODAMIENTOS LINEALES	SKF LBCR25 A2LS	4	uni	70.40	281.60
BUJE DE ACOPLAMIENTO		8	uni	8.00	64.00
BASTIDOR	Perfil Estructural Rectangular 100X50X3 mm	0.75	6m	53.23	39.92
	Platina de 180x50x12 mm	0.03	6m	25.22	0.76
BASE	Perfil Estructural Rectangular 100X50X3 mm	1	6m	53.23	53.23
	Perfil angular 100x100x5 mm	0.25	6m	53.55	13.39
ALOJAMIENTO ROTULA	Material y construcción	4	uni	84.00	336.00
EJES DE GUIADO	Ejes cementados y revestidos con cromo duro	4	uni	107.97	431.88
SOPORTE EJE DE GUIADO	Material y construcción	8	uni	40.00	320.00
PLACA PARA MOTOR	Placa de 260x55x12mm	0.05	4´x8´	209.88	10.49
PLACA PARA SENSOR	Perfil Estructural Cuadrado 100X100X3 mm	0.015	6m	73.55	1.10
ESTRUCTURA BASE	Perfil Estructural Rectangular 150x100x3 mm	3.5	6m	49.27	172.45
	Plancha de acero 1600x800x5 mm	0.45	4´x8´	111.42	50.14
	Platina de 160x50x12 mm	0.15	6m	25.22	3.78
CONSUMIBLES	Electrodo 6018 1/8"	1	kg	3.36	3.36
	Electrodo 7018 1/8"	1	kg	6.28	6.28
	Fondo antioxidante	0.4	20 lit	64.20	25.68
	Pintura esmalte	0.4	20 lit	29.72	11.89
ACCESORIOS	Pernos , arandelas, tuercas, elementos de sujeción	1	uni	25.00	25.00
	Cableado, cajas de paso y gabinetes de conexión	1	uni	100.00	100.00
TOTAL					9765.52

7.1.2. COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA

Corresponden a los costos que se asumen por el pago de las personas que intervienen en los procesos de manufactura.

Tabla 59.

Costo de Mano de Obra Directa.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDA D	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Soldador	semana	1	250,00	250,00
Cortador/ Ensamblador	semana	2	180,00	360,00
TOTAL				610,00

7.1.3. COSTO INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN

Corresponden a los costos que no están asociados directamente con el producto.

- **Materiales Indirectos:** Contemplan la energía empleada para las máquinas que se utilizan en los procesos de fabricación, así como lubricantes y combustibles, herramientas, utillajes, suministros y repuestos. Estos costos se cuentan dentro de los gastos de operación de la empresa por lo que no afectan el presupuesto del proyecto.
- **Mano de obra indirecta:** Corresponde a los costos incurridos por el pago al personal de supervisión, guardias, personal de turno, control de calidad, etc. También constan dentro de este rubro el pago al director, codirector y tesistas.

Los salarios del director y codirector de tesis son adjudicados por la ESPE, los costos de ingeniería de los tesistas han sido asumidos por

los mismos y el resto de costos de personal han sido asumidos por la empresa.

- **Gastos indirectos de fabricación:** Corresponden a la depreciación de la maquinaria, servicios básicos, mantenimiento de equipos, etc., por lo que son considerados dentro del presupuesto anual de Chova del Ecuador S.A.

7.1.4. COSTOS TOTALES DEL PROYECTO

La empresa Chova del Ecuador S.A. estableció un presupuesto de \$12,000.00 para este proyecto, el mismo que ha alcanzado un costo final de \$10375.52, obtenido de la suma de costos de materiales directos y mano de obra directa. Los rubros correspondientes a costos indirectos de producción, como se explica anteriormente no son asumidos como parte del proyecto.

Tabla 60.

Costos totales del proyecto.

DESCRIPCIÓN	COSTO
Costo de Materiales Directos	9765.52
Costo de Mano de Obra Directa	610.00
TOTAL	10375.52

7.2. ANÁLISIS ECONÓMICO

El presente proyecto corresponde a una inversión que realiza la empresa Chova del Ecuador S.A., por lo que la evaluación económica permite

determinar mediante indicadores si la cantidad de dinero invertida ha sido óptima y si es factible su recuperación y estimar un tiempo de recuperación.

INVERSIÓN

Tabla 61.

Detalle de la inversión realizada.

Detalle de la Inversión		
Item	Descripción	Valor
1	Sistema Automático de Laminación	\$ 10375.52

BENEFICIO

- **REDUCCIÓN COSTOS MANO DE OBRA DIRECTA**

Para realizar el análisis de los beneficios se toma en consideración que en este proceso se puede reducir el costo de Mano de Obra Directa ya que los trabajadores del área de laminación no tienen que ocupar un porcentaje de su jornada laboral en las tareas de alineación de la armadura.

Tabla 62.

Funciones generales de los operadores del Área de Laminación.

ZONA	FUNCIONES	# DE OPERADORES
A	<ul style="list-style-type: none"> • Control, carga y descarga de bobinas de armadura. • Empalmado de rollos de armadura. • Control y verificación del compensador de armadura. • Alineación de armadura. • Control del accionamiento de válvulas. 	2
B	<ul style="list-style-type: none"> • Control de espesor de la lámina. • Control de la alimentación de gránulo/arena-polietileno. 	1
C	<ul style="list-style-type: none"> • Control de motores del tren de laminación. 	1
D	<ul style="list-style-type: none"> • Operación de la enrolladora. 	1
TOTAL		5

Como se muestra en la tabla, antes de la construcción e implementación del sistema de alineación automático, eran 2 operadores del área los encargados del control del desplazamiento de la lámina (entre otras actividades), por lo que son éstos los que serán directamente involucrados en la reducción de funciones debido a la eliminación de esta actividad.

Tabla 63.

Distribución de la jornada laboral de los trabajadores en la zona A.

FUNCIÓN	PORCENTAJE DE LA JORNADA LABORAL	
	OPERADOR 1	OPERADOR 2
Control, carga y descarga de bobinas de armadura.	12%	12%
Empalmado de rollos de armadura.	10%	10%
Control y verificación del compensador de armaduras.	25%	25%
Alineación de armadura	53%	
Control de Válvulas.		53%
TOTAL	100%	100%

El operador 1 de la zona A del área de laminación, es el que finalmente presenta la reducción actividades dentro de su jornada de trabajo, por lo que este 53% de su jornada laboral puede ser redistribuido a fin de realizar otras actividades, pudiendo determinar que se deja de invertir un 53% de su remuneración en actividades de alineación.

- **REDUCCIÓN DE DEFECTOS PARA LA GENERACIÓN DE PRODUCTO NO CONFORME**

Adicionalmente, en la siguiente tabla se detalla, el producto no conforme que ha sido disgregado por presentar defectos que serán eliminados por el sistema de alineación. Al tratarse de un mix de producción y de que la

empresa no presenta una cantidad de kilos de producción mensuales constante, se toma un promedio mensual, de la suma de los 18 meses analizados. Los datos fueron entregados por el Departamento de Control de Calidad, ya que la empresa Chova del Ecuador, lleva un registro de Producto no Conforme con la respectiva descripción de su defecto en el registro PNC04.

Tabla 64.

Descripción de Producto no Conforme.

FECHA DE PRODUCCIÓN	PRODUCTO	Cant.	UNI	DESCRIPCIÓN DEL DEFECTO	OBSERVACIONES/ CAUSAS	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
2012-05-10	Techofielt 1500 2 caras	60,00	m2	Filos rotos	Armadura desplazada se golpea con el filo del rodillo	1,18	70,8
2013-01-01	Imperglass 3000	20	m2	Rotura al filo del rollo	Armadura se mueve desestabilizando el proceso.	2,42	48,4
2013-07-30	Permoal 2mm	190	m2	Mástico desbordado hacia un lado de la lámina	Armadura desplazada previo a la impregnación.	2,09	397,1
2013-07-31	Techofielt 1500 1 cara	180	m2	Arruga intermedia	Descuido, desconcentración durante el proceso de alineación, falta de tensión en armadura	1,21	217,8
2013-09-19	Imperglass Estándar	20,4	m2	Banda de mástico de menor ancho	Descuido, desconcentración durante el proceso de alineación.	2,14	43,656
2014-02-28	Techofielt 1500 2 caras	240	m2	Falta de Arena en el extremo derecho de la lámina	Armadura desplazada previo a la impregnación.	1,18	283,2
2014-04-08	Imperglass 4000	110	u	Arrugas longitudinales en el extremo de la lámina.	Armadura desplazada se golpea con el filo del rodillo.	2,94	323,4
2014-08-05	Imperpol 3000	40	m2	Ancho de Traslape fuera de especificación (irregular de 2,5cm a 3cm.)	Rejilla de protección de la laminadora cae por vibración a consecuencia la armadura (fieltro poliéster) se mueva desestabilizando el proceso.	2,92	116,8
						TOTAL 18 MESES ANALIZADOS	1501,16
						TOTAL MENSUAL	83,40

Tabla 65.

Detalle del beneficio a obtener.

Cálculo del Beneficio		
Item	Descripción	Valor
1	Reducción del costo MOD. (\$ 400 x 0.53x 12 meses)	\$ 2544
2	Reducción producto no conforme por eliminación de defectos (\$ 83.40 x 12 meses)	\$ 1000.80
TOTAL		\$ 3544.80

Tabla 66.

Flujo de caja proyectado a 10 años.

Mes	Inversión	I	II	III	IV	V
Egresos	-10375,52	-	-	-	-	-
Ingresos	0	3.545	3.545	3.545	3.545	3.545
Saldo	-10.376	3.545	3.545	3.545	3.545	3.545
Saldo Acumulado	-10.375,52	-6.831	-3.286	259	3.804	7.348

Continuación tabla 7.9.

Mes	VI	VII	VIII	IX	X
Egresos	-	-	-	-	-
Ingresos	3.545	3.545	3.545	3.545	3.545
Saldo	3.545	3.545	3.545	3.545	3.545
Saldo Acumulado	10.893	14.438	17.983	21.528	25.072

7.2.1. VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Es aquel que permite determinar el valor de una inversión en función de calcular el valor presente de determinado número de flujos de caja futuros, es decir, la diferencia entre el valor actual de los ingresos esperados de una inversión y el valor actual de los ingresos que la misma ocasiona.

El VAN para este proyecto corresponde a \$9653, es decir que el proyecto representa una buena inversión para la institución, satisfaciendo la tasa de descuento, pues su valor es superior a cero

7.2.2. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Corresponde al promedio geométrico de los rendimientos futuros esperados por una inversión y puede utilizarse como un indicador de rentabilidad de un proyecto. Esta tasa iguala el valor actual neto a cero.

El TIR para este proyecto corresponde al valor positivo de 32%, es decir que la inversión realizada en el sistema de alineación generará ganancias superiores a la rentabilidad esperada y se puede considerar como una oportunidad para reinvertir.

7.2.3. FACTOR BENEFICIO- COSTO (B/C)

Este indicador permite relacionar los ingresos y los gastos que tendrá el proyecto, en forma actualizada, en el año en el que se realizan los estudios del proyecto.

Tabla 67.

Resultados de los índices económico/financieros.

ÍNDICES ECONÓMICO/FINANCIEROS	
V.A.N.=	9.653
T.I.R. =	32%
B/C. =	2,16
T. Recuperación =	2,93
Tasa Descuento =	12%

El valor encontrado para este proyecto corresponde al factor de 2,16. Si el factor es mayor que 1, se puede afirmar que el proyecto justifica su ejecución, obteniendo \$2,16 por cada \$1 invertido.

CAPÍTULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

- El desarrollo del proyecto del sistema de alineación automático de láminas está comprendido dentro de un conjunto de proyectos de mejora encaminados a incrementar la capacidad de la planta, específicamente el área de laminación, la cual duplicará su velocidad de producción a 40 m/s. Este incremento de producción de 2 a 4 rollos por minuto, requiere de un control más eficiente en lo que respecta a alineación. El uso del sistema de alineación automático permite mejorar la calidad del producto y reduce la cantidad de producto no conforme.
- Basados en el análisis de dispositivos semejantes se establecieron las alternativas más adecuadas para el diseño del sistema automático de alineación y se determinaron los requerimientos relevantes: velocidad de corrección mayor a la velocidad de operación del tren de laminación correspondiente a 40 m/s, rangos de tensiones máximas (7000 N) a los que operan los componentes determinados por las características de composición de las láminas que serán alineadas y capacidad de corrección del desplazamiento lateral de 2 pulgadas, mayor al error encontrado en el proceso manual realizado por los operadores.
- El diseño de elementos de máquina se basó en las teorías respectivas tomadas de la bibliografía y se realizó los cálculos respectivos para establecer un factor de seguridad mínimo de 2 para cualquier elemento mecánico diseñado y manufacturado. Elementos

como la “Estructura Base” fueron verificados mediante el análisis de elementos finitos en el software SolidWorks.

- Se elaboraron los planos constructivos y de ensamble en base a la norma ecuatoriana CPE INEN 003:1989 correspondiente al Código de Dibujo Técnico-Mecánico.
- La selección de componentes eléctricos/electrónicos dio como resultado un alto grado de fiabilidad en el sistema, contando con protección y continuidad de trabajo, los sensores fotoeléctricos puntuales permitieron que el control de la alineación de las láminas sea aceptable obteniendo un rango de error admisible.
- El sistema de control implementado consistió en un control ON- OFF de lazo cerrado por condiciones, teniendo en cuenta las tres posiciones del motor como salidas y las lecturas de los sensores como retroalimentación, logrando de esta manera un algoritmo de programación sencillo y eficiente. Mediante las pruebas realizadas se comprobó su funcionamiento, asegurándose de la respuesta del PLC, ya que este se encuentra realizando otras tareas o algoritmos para distintas áreas de la línea de laminación.
- El sistema de visualización implementado a través del panel HMI facilita a los operadores el control del proceso permitiéndoles habilitar y deshabilitar el sistema de ser necesario y reconocer el estado del dispositivo y de los sensores para detectar cualquier falla en el funcionamiento de los mismos.
- Se integraron todos los componentes necesarios a fin de que el sistema se pueda considerar como un sistema Plug and Play lo que

facilita la manipulación por parte de los operadores y evita la intromisión, daño o manipulación de los parámetros de funcionamiento.

- Las pruebas de funcionamiento del sistema automático de alineación se llevaron a cabo exitosamente. Primero se realizaron pruebas sin lámina para verificar las conexiones y las señales del controlador, sensores y del PLC, posteriormente se colocó la lámina para determinar los parámetros de funcionamiento que deben ser cargados en el controlador para el desempeño del motor bajo los requerimientos: posiciones alcanzadas, velocidad, aceleración y torque. Finalmente se realizaron mediciones del funcionamiento del sistema mediante un sensor infrarrojo elaborado que permite un rango de variación de 4 a 5 mm, correspondiente al 5% de la cantidad de corrección total, porcentaje estadístico aceptado para la determinación del error.
- El proyecto presenta alta viabilidad para su realización y una rentabilidad aceptable, lo que puede ser comprobado a través de los índices económico-financieros establecidos en el capítulo 7. Los flujos de caja demuestran que la inversión inicial realizada será recuperada en su totalidad en el tercer año de producción.

8.2. RECOMENDACIONES

- Referirse al manual de operación en el anexo y cumplir con todos los requerimientos de seguridad y operación expuestos en dicho documento.
- Se debe tomar en consideración que si existe alguna modificación en la composición del material de las láminas se debe establecer nuevos parámetros de funcionamiento en el controlador.
- Durante la etapa de pruebas se recomienda verificar todas las conexiones antes de encender el sistema. Además realizar la respectiva consulta a fondo a los manuales de cada dispositivo para operarlos de manera correcta.
- No realizar cambios en los parámetros de funcionamiento implementados en el controlador con el actuador habilitado, esto puede ocasionar accidentes que resulten en daños a personas o materiales cercanos.

BIBLIOGRAFÍA

Bello , I., & Ochoa, C. (2004). *Control difuso y construcción de un mecanismo capaz de golpear con distintos efectos una bola de billar*. Cholula, Puebla: Universidad de las Américas Puebla.

Bolton, W. (2006). *Control Systems*. Malta: Elsevier.

BST. (s.f.). *Sistemas Guiadores de Bandas*. Obtenido de BST: http://france.bst-international.com/uploads/media/WebGuiding_es_01.pdf

Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill.

Damour, J. (s.f.). *Web Spreading*. Obtenido de Converter Accesory Corporation.

Ferrari, J. P. (2005). *Sistemas de Control Distribuido*. Rosario: Universidad Nacional de Rosario.

Guardiola, A. (s.f.). *Diseño y cálculo de uniones con tornillos no pretensados*. Obtenido de Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16477/uniones%20atornilladas.pdf?sequence=4>

Hopcus, K. (s.f.). *Sizing web guide actuators*. Obtenido de FIFE: http://www.maxcessu.com/files/Fife_Actuator_Sizing.pdf

Hopcus, K. (s.f.). *Understanding web guide accuracy*. Obtenido de FIFE:
http://www.maxcessu.com/files/Fife_Accuracy.pdf

Hosch, M. A. (10 de Marzo de 2013). *Belt Conveyor Tracking: V- Guided vs Crowned Roll*. Obtenido de Dorner:
<http://blog.dornerconveyors.com/belt-conveyors/belt-conveyor-tracking-v-guided-vs-crowned-roller/>

Maxcess (Dirección). (2011). *What type of web guide do you need* [Película].

Maxcess Webex. (s.f.). *Live Shaft Idler Rolls*. Obtenido de Maxcess Webex:
http://www.webexinc.com/products/idler_rolls

Plumb, J. (s.f.). *Finding the right sensor*. Obtenido de FIFE:
http://www.maxcessu.com/files/Fife_Sensor_Selection.pdf

QuimiNet. (16 de Octubre de 2009). *Qué es un material no tejido o non-woven*. Obtenido de QuimiNet: <http://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-material-no-tejido-o-non-woven-37222.htm>

Roisum, D. R. (s.f.). *Concave rollers pros and cons*. Obtenido de PFFC:
<http://pffc-online.com/mag/3510-concave-rollers-pros-cons-0705>

Roisum, D. R. (18 de Febrero de 2014). *Dead or Live Shaft Rollers*. Obtenido de Converting Quarterly:
<http://www.convertingquarterly.com/blogs/web-handling-and-converting/id/6319/dead-or-live-shaft-rollers.aspx>

Roisum, D. R. (s.f.). *Guide Accuracy and Response in Roll Winding Systems*.

Obtenido de Faustel Inc.: <http://www.faustel.com/web-guide-winding-systems/>

Roisum, D. R. (s.f.). *Web Guiding Systems*. Obtenido de Faustel:

<http://www.faustel.com/technical-library/web-guiding/>

Shanthi, D. R. (11 de Marzo de 2013). *Nonwovens for Home Textiles*.

Obtenido de NonWovens Industry: http://www.nonwovens-industry.com/issues/2013-03/view_features/nonwovens-for-home-textiles/

Smith, D. (2010). *Challenges of Web Handling and Winding*. Obtenido de

TAPPI: <http://www.tappi.org/content/events/10EXTRU/papers/2.4a.pdf>

Smith , D., Foederer , B., Frey, K., & Lush, J. (2011). *Guideline for web*

conveyance and winding tension levels. Obtenido de TAPPI, TIP 0200-01.

Ultramotion. (s.f.). *The Digit*. Obtenido de Ultramotion:

<http://www.ultramotion.com/products/digit.php>

Umamaheswari, S. (Diciembre de 2010). *An optimal controller design using different methods for web guide control of cold rolling mill*. Obtenido de

Anna University:

http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/9827/1/01_title.pdf

Walker, T. J. (01 de Septiembre de 2007). *Support your Rollers*. Obtenido de

PFFC: <http://www.pffc-online.com/web-lines/5501-paper-support-rollers>

Walker, T. J. (01 de Abril de 2008). *Your Guide to the Righth Web Guide*.

Obtenido de PFFC: <http://www.pffc-online.com/web-lines/6096-guide-right-web-0401>

Walker, T. J. (28 de Abril de 2008). *Tensioning Webs : Introduction to*

Tensioning. Obtenido de Web Handling: <http://www.webhandling.com/TensionIntro>

Walker, T. J. (01 de Marzo de 2009). *The Great Span Length*. Obtenido de

PFFC: <http://www.pffc-online.com/web-lines/6961-paper-span-length-0309>

Walker, T. J. (01 de Marzo de 2010). *Web Lines: Your Guide to Web Guiding*

1. Obtenido de PFFC: <http://www.pffc-online.com/web-lines/8084-paper-guide-web-guiding>

Walker, T. J. (01 de Abril de 2010). *Web Guiding: Lateral Motion Causes*.

Obtenido de PFFC: <http://pffc-online.com/web-handling/web-guiding/8177-0401-centerline-tracking-impacted>

Walker, T. J. (01 de Mayo de 2010). *Force is needed to shift a web*. Obtenido

de PFFC: <http://www.pffc-online.com/web-lines/8313-0501-good-webroller-traction>

Walker, T. J. (01 de Junio de 2010). *Web Lines: Do You Need an Auto Web Guide*. Obtenido de PFFC: <http://pffc-online.com/web-handling/web-guiding/8398-0601-automatic-web-guide-reasons>

ANEXOS