

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Área Académica Ingeniería Mecatrónica



**Diseño de un sistema de control de posición y
transporte para bandejas plásticas en una
máquina dosificadora de grasa en la empresa
ControlSoft**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura**

Marco Vinicio Porras Villegas

Cartago, Noviembre 2014

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR
ACTA DE EVALUACIÓN**

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. Marvin Hernández Cisneros

Profesor lector



Ing. Luis Diego Murillo Soto

Profesor lector



Ing. Juan Carlos Jiménez Robles

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Carrera de Ingeniería Mecatrónica

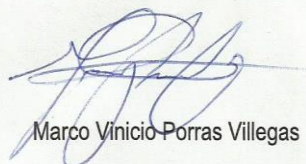
Cartago, 21 de Noviembre, 2014

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 25 de Noviembre del 2014



Marco Vinicio Porras Villegas

Céd: 206950463

Resumen

El presente proyecto se realizó en una máquina dosificadora de grasa a arandelas de la empresa ControlSoft ubicada en Coronado, San José, dicha máquina debe colocar las arandelas engrasadas en bandejas por medio de un manipulador (brazo robótico), pero sucede que por el mecanismo de colocación de las bandejas estas difieren en su posición de una repetición a otra, por lo que las coordenadas cambian y el manipulador no puede ubicar las arandelas, ante tal circunstancia, se necesita de una persona para que este ajustando la posición de la bandeja y así la misma corresponda a las coordenadas que el manipulador tiene establecidas, generando una dependencia hacia un operador en un proceso para el cual la máquina fue diseñada para trabajar independientemente. Además el sistema tiene una banda transportadora insertada que tiene la función de servir como base para las bandejas y de retirarlas una vez llenas de arandelas, este sistema de transporte presenta vibraciones y múltiples adaptaciones por lo que se desea cambiar.

Para solucionar el problema planteado lo que se propuso fue un sistema que determine, por medio de sensores de medición de distancia de corto alcance, la posición de la bandeja, que con cada repetición se le realice una corrección de las coordenadas al manipulador, junto con una base que sustituye el inicio de la banda transportadora, por lo que el transportador de cinta diseñado ya no se va a insertar dentro de la máquina sino que se va a colocar a un costado de la misma.

Palabras clave: arandela, banda transportadora, bandeja, coordenadas, manipulador, máquina dosificadora, sensor de medición de distancia.

Abstract

This project was done in a dosing machine grease washers in the ControlSoft company, it is located in Coronado, San Jose, this machine should fit the washers greased trays by a manipulator (robotic arm), but it happens that the mechanism placement of the trays they differ in position of a repeat to another, so that the coordinates change and the handler can't locate the washers, before such issue, a person need for this by adjusting the position of the tray and the corresponds to the coordinates that the handler has set, creating a dependence on an operator in a process for which the machine was designed to work independently. In addition the system has a conveyor belt having inserted the function of serving as a basis for the trays and remove once filled washers, this transport system has vibrations and multiple adjustments so you want to change.

To solve the problem silvery what was proposed was a system determined by means of distance measuring sensors, the position of the tray, with each repetition you perform a correction of the coordinates to the manipulator. Together with a base which replaces the start of the conveyor, so that the belt conveyor is designed as not to be inserted into the machine it is to be placed to one side of it.

Keywords: coordinates, conveyor, distance measuring sensor, dosing machine, manipulative, tray, washer.

Dedicatoria

A mis padres, hermanos y toda mi familia, por brindarme su gran apoyo en todas las circunstancias de la vida, porque siempre han estado presentes de una u otra manera, a ellos por ser un motivo de superación día con día, por enseñarme el valor de una familia y por brindarme su infinito amor, cariño, apoyo y comprensión, que se sustituye en un pilar para alcanzar esta meta.

Gracias, por ustedes y para ustedes.

Agradecimiento

A Dios, por darme la fortaleza de seguir adelante, por guiarme en el transcurso de la vida y servir como instrumento de confianza.

A mis padres y hermanos, por su gran esfuerzo que han hecho, que no tiene comparación, en donde se demuestra el verdadero amor, gracias a ellos siempre he salido adelante, gracias por esa confianza, paciencia y sacrificio.

A toda mi familia que desde un inicio siempre ha estado presente, por todas las ayudas recibidas y por demostrar ese gran apoyo y confianza.

A todo el personal docente, por todas las enseñanzas que me han brindado, en especial al profesor Ing. Juan Carlos Jiménez Robles por su gran ayuda y acertada dirección en el presente proyecto.

A mis compañeros y amigos, que han sido un aspecto de superación, confianza, amistad y esfuerzo.

A la empresa ControlSoft, por darme la oportunidad de crecer como persona y como profesional, brindándome la oportunidad de realizar el presente proyecto.

INDICE GENERAL

Capítulo 1 .	Introducción	1
1.1.	Problema existente e importancia de su solución	1
1.2.	Solución seleccionada	6
Capítulo 2 .	Meta y objetivos	8
2.1.	Meta	8
2.2.	Objetivo general	8
2.3.	Objetivos específicos	8
Capítulo 3 .	Marco Teórico	9
3.1.	Descripción del sistema a mejorar	9
3.1.1.	Apilador de arandelas	11
3.1.2.	Manipulador 1	12
3.1.3.	Manipulador 2	13
3.1.4.	Dosificador de grasa	15
3.1.5.	Estación de pesaje	15
3.1.6.	Apilador de bandejas	16
3.1.7.	Banda transportadora	17
3.1.8.	Componentes del control de la máquina	19
3.1.9.	Programa del manipulador 2	25
3.2.	Antecedentes bibliográficos	26
3.2.1.	La línea recta	26
3.2.2.	Sensores	29
3.2.3.	Tecnología utilizada por los sensores de medición de distancia	30
3.2.4.	Acondicionamiento de señales	32
3.2.5.	Escalamiento	33
3.2.6.	Bandas transportadoras	34

3.2.7.	Criterios para el estudio económico	36
Capítulo 4 .	Procedimiento metodológico	37
4.1.	Reconocimiento y definición del problema	37
4.2.	Obtención y análisis de información	37
4.3.	Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución	38
4.4.	Implementación de la solución	38
Capítulo 5 .	Descripción detallada de la solución	39
5.1.	Alternativas de solución	39
5.1.1.	Adaptar al pistón de empuje de las bandejas unas guías	39
5.1.2.	Sistema tipo prensa	41
5.1.3.	Implementar una base con el sistema tipo prensa	43
5.1.4.	Sensores con medición de distancia	46
5.1.5.	Sistema de visión	47
5.1.6.	Transportador de banda	47
5.1.7.	Transportador de bandas modulares	47
5.2.	Evaluación de las alternativas	48
5.3.	Especificaciones de la solución	51
5.3.1.	Escogencia de la tecnología del sensor de medición	51
5.3.2.	Lectura de los sensores y acondicionamiento de la señal	52
5.3.3.	Descripción del proceso de cálculo de las coordenadas	53
5.3.4.	Programa para el cálculo de las coordenadas	55
5.3.5.	Elementos del sistema de medición de distancia	57
5.3.6.	Banda transportadora	59
Capítulo 6 .	Resultados y análisis	64
Capítulo 7 .	Conclusiones y recomendaciones	73
7.1.	Conclusiones	73
7.2.	Recomendaciones	73

Bibliografía	75
Apéndices	78
Apéndice A.1. Algoritmo para el cálculo de las coordenadas.	78
Apéndice A.2. Muestra de cálculos	89
Apéndice A.3. Planos de la solución propuesta	108
Apéndice A.4. Significado de los símbolos utilizados en los diagramas.	109
Anexos	110
Anexo B.1. Programa de la subrutina "Posiciones"	110
Anexo B.2. Datos utilizados para la muestra de cálculos	112
Anexo B.3. Hojas de datos de los componentes utilizados	116
Anexo B.3.1. Sensor de medición de distancia Sick	116
Anexo B.3.2. Hoja de datos del rodamiento DAYTON	123
Anexo B.3.3. Hoja de datos de la banda NOVAK	124
Anexo B.3.4. Hoja de datos del actuador neumático lineal Festo	125

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Diagrama general del proceso realizado por la máquina.	3
Figura 1.2.	Máquina dosificadora de grasa para arandelas de la empresa Controlsoft.	4
Figura 1.3.	Detalle de la máquina dosificadora de grasa.	4
Figura 1.4.	Sistema de empuje de bandejas.	5
Figura 3.1.	Diagrama en detalle del proceso realizado por la máquina.	10
Figura 3.2.	Subdiagrama del proceso realizado por la máquina.	11
Figura 3.3.	Apilador de arandelas.	12
Figura 3.4.	Brazo nombrado como manipulador 1.	12
Figura 3.5.	Base en donde el manipulador 1 coloca la arandela.	13
Figura 3.6.	Representación del manipulador 2 de la máquina.	14
Figura 3.7.	Rieles THK LM Guide Actuador del manipulador 2.	14
Figura 3.8.	Pistón neumático Festo ADVUL-25-50-P-A del manipulador 2.	14
Figura 3.9.	Pinza neumática de tres dedos Festo DHDS-16-A del manipulador 2.	15
Figura 3.10.	Dosificador de grasa.	15
Figura 3.11.	Representación de la distribución de la banda, el apilador y el pistón empujador en la máquina.	16
Figura 3.12.	Apilador de bandejas actual de la máquina.	17
Figura 3.13.	Imagen de una sección de la banda transportadora.	18
Figura 3.14.	Dimensiones del eje motriz y conducido de la banda transportadora.	18
Figura 3.15.	Representación en lógica de escalera de la instrucción CPT.	23
Figura 3.16.	Representación de la línea recta.	26
Figura 3.17.	La línea recta a partir de 2 puntos.	27
Figura 3.18.	Representación del principio de la triangulación laser.	32
Figura 3.19.	Representación matemática del escalamiento.	34
Figura 5.1.	Representación de implementar guías al pistón.	39
Figura 5.2.	Representación del ajuste de la bandeja en las guías laterales.	40
Figura 5.3.	Vista superior de la máquina con la prensa.	42
Figura 5.4.	Imagen en detalle de la vista superior.	42
Figura 5.5.	Representación general de la máquina con la base.	44
Figura 5.6.	Representación en detalle de la base.	44
Figura 5.7.	Representación en detalle de la parte inferior de la base.	45
Figura 5.8.	Representación de la base y la prensa.	46

Figura 5.9.	Representación de la ubicación los sensores.	46
Figura 5.10.	Bandas modulares.	48
Figura 5.11.	Variables asignadas para los puntos que se obtienen con la medición de los sensores.	54
Figura 5.12.	Variables asignadas a las distintas dimensiones de la bandeja.	55
Figura 5.13.	Secuencia del algoritmo para cálculo de las coordenadas.	56
Figura 5.14.	Forma de la lámina de aluminio que representa a la base.	57
Figura 5.15.	Representación de los topes y la distribución de los sensores de medición de distancia.	58
Figura 5.16.	Actuador neumático lineal DGC-8-520-G-P-A ZUB-F-2G.	59
Figura 5.17.	Estructura de la banda transportadora.	60
Figura 5.18.	Cobertor de la banda transportadora.	61
Figura 5.19.	Ejes motriz y conducido de la banda transportadora.	62
Figura 5.20.	Base para montar los rodamientos.	62
Figura 5.21.	Sistema de los elementos tensores.	63
Figura 5.22.	Montaje de los elementos tensores.	63
Figura 6.1.	Vista del ensamble de todos los componentes del sistema.	65
Figura 6.2.	Vista contraria del ensamble de todos los componentes del sistema.	66
Figura 6.3.	Estructura original de la máquina junto con el sistema diseñado.	66
Figura 6.4.	Ensamble de la banda transportadora.	68
Figura 6.5.	Ensamble de la propuesta desarrollada.	69
Figura A.2.1.	Representación de las dimensiones de la arandela y el recibidor.	89
Figura A.2.2.	Diagrama de cuerpo libre de la bandeja en la base.	92
Figura A.2.3.	Diagrama de cuerpo libre del eje.	95
Figura A.2.4.	Diagrama de cuerpo para la sección M.	96
Figura A.2.5.	Diagrama de cuerpo para la sección N.	96
Figura A.2.6.	Diagrama de fuerza cortante para el eje del tambor motriz.	97
Figura A.2.7.	Diagrama de momento flector para el eje del tambor motriz.	97
Figura A.2.8.	Significado de los símbolos utilizados en los diagramas de flujo.	109
Figura B.2.1.	Sensibilidad a la muesca para aceros y aleaciones de aluminio sometidos a flexión.	112

Figura B.2.2. Sensibilidad a la muesca para aceros y aleaciones de aluminio sometidos a torsión.	112
Figura B.2.3. Grafica de factor teórico de concentración del esfuerzo para eje redondo con filete en el hombro en flexión.	113
Figura B.2.4. Grafica de factor teórico de concentración del esfuerzo para eje redondo con filete en el hombro en torsión.	114
Figura B.2.5. Factores de Marin para elementos rotativos bajo carga fluctuante por flexión o torsión.	114

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1.	Datos del motor-reductor.	18
Tabla 3.2.	Características del controlador CompactLogix 5370.	19
Tabla 3.3.	Formatos válidos y rangos de datos min/max del módulo.	21
Tabla 3.4.	Operandos de la instrucción MAM.	24
Tabla 3.5.	Características de los sensores.	29
Tabla 6.1.	Precio de las partes normalizadas necesitadas.	69
Tabla 6.2.	Costo de los materiales necesitados.	70
Tabla 6.3.	Costo estimado de la mano de obra necesitada.	70
Tabla 6.4.	Costo total de la implementación de la mejora a la máquina.	71
Tabla 6.5.	Costo de horas laboradas por un operario.	71
Tabla A.2.1.	Propiedades de masa y peso para las arandelas y las bandejas.	104
Tabla A.2.2.	Flujo neto de afectivo.	105
Tabla A.2.3.	Valor presente neto (VPN).	106
Tabla A.2.4.	Tasa interna de retorno (TIR).	106
Tabla B.2.1.	Parámetros en el factor de condición superficial de Marin.	114
Tabla B.2.2.	Factores de confiabilidad correspondiente a 8 desviaciones estándar porcentuales de límite de resistencia a la fatiga.	114

Capítulo 1 . Introducción

Este capítulo contiene una breve descripción de la máquina, en donde se ubica el contexto y se define el problema a resolver, así mismo, se establecen las razones del porque debe resolverse, y de forma general, se indica la solución desarrollada.

1.1. Problema existente e importancia de su solución

El proyecto se realizó en una máquina de dosificación de grasa para arandelas, en la empresa ControlSoft ubicada en Coronado, San José. A nivel general la máquina está compuesta por dos apiladores: uno de arandelas y otro de bandejas, dos manipuladores, un sistema de dosificación de grasa y de pesaje, un mecanismo para colocar las bandejas y una banda transportadora, todo controlado por un PLC Schneider que funciona como maestro y un Allen-Bradley que es esclavo, además consta de sensores de presión, de posición (encoders), de proximidad, así como actuadores neumáticos y eléctricos, permitiendo que la máquina sea un sistema completamente automático, en donde manualmente solo se le debe colocar la materia prima, para que ella pueda cumplir con su función, que serían las arandelas y bandejas en sus respectivos apiladores y la grasa en el sistema dosificador.

Estos equipos, de los que consta la máquina se combinan para funcionar de la siguiente manera (ver Figura 1.1): uno de los manipuladores toma una arandela del apilador la coloca en una base, luego esta es tomada por el otro manipulador y llevada al lugar para suministrarle la grasa, seguidamente es pesada para verificar la cantidad de esta, ahí puede ser rechazada o aceptada, dependiendo de si el peso se encuentra dentro de las especificaciones, si es aceptada, es colocada (por el mismo manipulador) en la bandeja para el almacenaje, una vez que la bandeja está llena de arandelas engrasadas es retirada de la máquina por medio de la banda transportadora.

En el ciclo descrito del proceso que realiza la máquina, el problema se ubica propiamente en la colocación de las bandejas para recibir las arandelas engrasadas. Las bandejas se encuentran ubicadas en su respectivo apilador y son retiradas una a una para colocarlas en una determinada posición para recibir las arandelas, esa posición es al inicio de la banda transportadora, por lo que esta sirve de soporte y base para la bandeja cuando está en esa posición, y a su vez tiene la función de retirarla, una vez llena, fuera de la máquina.

El proceso de colocación de bandejas del apilador hacia la zona para recibir las arandelas se realiza por medio de un pistón neumático que se encarga de empujarlas hasta un tope establecido, pero en el proceso no existe ningún mecanismo de control para la posición final de la bandeja, de ahí el problema, ya que el brazo o manipulador que ubica las arandelas en la bandeja, está programado para que se desplace mediante coordenadas fijas, invariantes, que se le establecieron a partir de la posición referente a la cual debe de quedar la bandeja, por tanto si la bandeja es colocada y queda en la posición correcta, la máquina funciona a la perfección, pero si la bandeja queda desplazada de la posición a la cual debe de quedar, el brazo igual atiende a las coordenadas que tiene establecidas pero esas no corresponden con las coordenadas que tiene la bandeja por tanto el brazo coloca la arandela fuera del espacio que tienen previsto las bandejas para las arandelas.

La programación del brazo, es de la forma antes mencionada debido a que la máquina no cuenta con un sistema que determine la posición real de la bandeja, por tanto no se puede hacer una corrección de las coordenadas con cada una.

Las bandejas tienen un rango permitido para posicionarse, siendo este de ± 0.4 mm con respecto a cualquier eje, fuera de ese rango el brazo ya no puede colocar las arandelas en los recibidores que tiene la bandeja. Esa tolerancia se debe a las dimensiones de las arandelas y de los recibidores que sus diámetros de ajuste difieren en 1.2 mm.

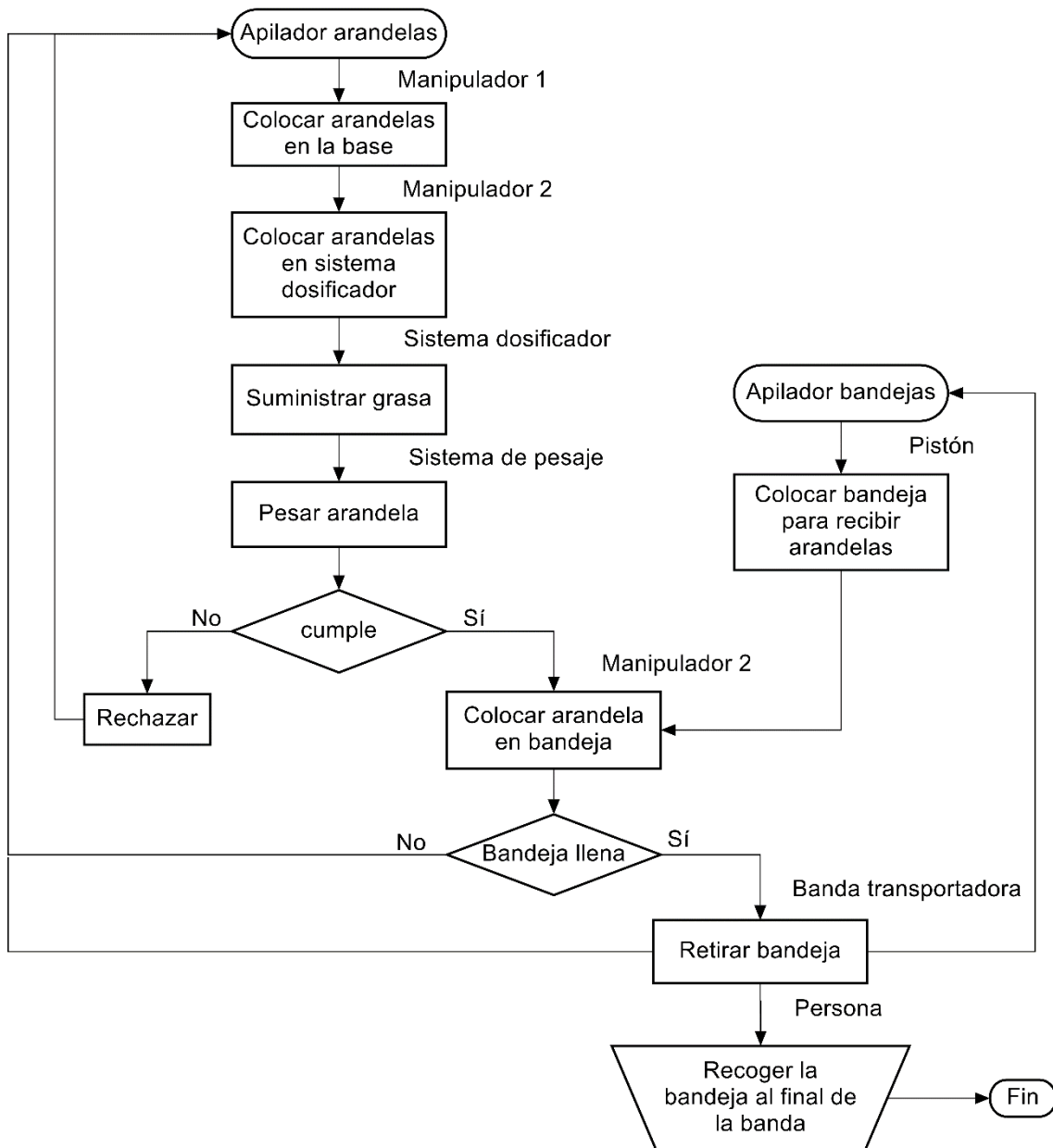


Figura 1.1. Diagrama general del proceso realizado por la máquina.

Nota. El significado de los símbolos empleados se puede consultar en el Apéndice A.4. Fuente: Autor.



Figura 1.2. Máquina dosificadora de grasa para arandelas de la empresa Controlsoft.

Nota. Fuente: Autor, foto tomada en la empresa Controlsoft.



Figura 1.3. Detalle de la máquina dosificadora de grasa.

Nota. Fuente: Autor, foto tomada en la empresa Controlsoft.

Cuando la máquina fue diseñada, se supuso que con el sistema de empuje de pistón y topes para detener las bandejas, estas iban a quedar siempre en la misma posición, y no iba a diferir de una repetición a otra, pero una vez que la máquina fue ensamblada y puesta a funcionar sucedió que unas bandejas si quedaban bien pero otras quedaban desplazadas,

en promedio 1 de cada 3 bandejas que son colocadas, queda fuera de las coordenadas permitidas.

En la Figura 1.4 pistón neumático de doble efecto tiene adaptado una placa de aluminio con dos dientes, los cuales son los que entran en contacto con la bandeja, estos dientes tienen una separación de 244 mm, y la bandeja tiene un largo de 349 mm, por ende los dientes tocan la bandeja en dos puntos a lo largo de esta, pero no en sus extremos laterales, y los dientes son solo dos placas que no tienen un sistema de sujeción, solo empujan la bandeja, por lo tanto esta se puede mover o correr hacia los lados ya que no se cuenta con guías en los costados para que se deslice en un línea. Además en el apilador las bandejas tiene un cierto juego para posicionarse en alrededor de unos 30 mm, por lo que cuando son empujadas no todas se encuentran en la misma línea, quedando desalineadas desde el inicio.

Estando alineadas en el apilador, aun cabe la posibilidad de que en el transcurso que son empujadas se desalineen, debido a que en ese movimiento son arrastradas por una superficie la cual no es regular ni lisa, en donde se da fricción y pequeñas obstrucciones que no son uniformes en toda la superficie de la bandeja que entra en contacto a la hora de ser arrastrada, lo que ocasiona que esta se pueda desalinear.

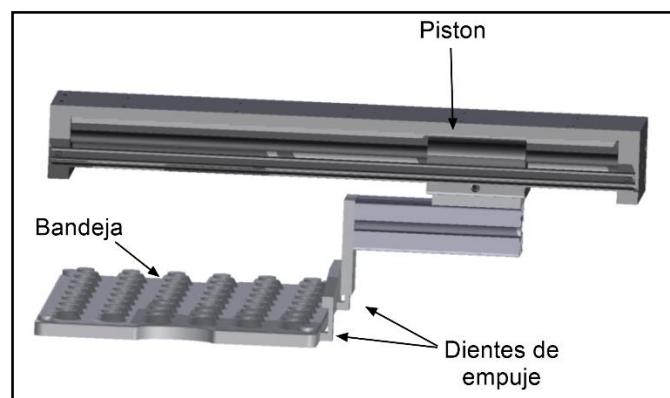


Figura 1.4. Sistema de empuje de bandejas.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

Además, el hecho de que la bandeja es empujada por un pistón neumático sin control de velocidad, ocasiona que la bandeja llega a los topes y se da un pequeño rebote, por los efectos dinámicos al que se ve sometido en el momento, produciendo otro factor para que la bandeja quede desalineada.

La banda transportadora de la Figura 1.3 que actualmente tiene la máquina, era una banda estándar a la cual se le realizaron múltiples adaptaciones para acoplarla a lo

que se necesitaba, si bien es cierto esta cumple con la función que se requiere pero presenta vibraciones, estas se deben principalmente a que está sujeta a la máquina en forma de voladizo y estéticamente no es del agrado del propietario, por lo que la desea cambiar.

Con el proceso descrito de la máquina, de forma implícita se extrae que es un sistema automático, pero debido al problema de la colocación de las bandejas, durante su operación se necesita una persona para que esté únicamente ajustando la posición final de la bandeja para que el brazo pueda colocar las arandelas, convirtiendo a la máquina en un sistema ineficiente, bajando su estándar de funcionamiento, en donde no está cumpliendo con su función para la cual fue diseñada e implementada, en donde el propósito era que se realizara la tarea de engrasar las arandelas automáticamente sin la intervención manual, excepto para colocar las arandelas y las bandejas vacías en los apiladores, con lo que se estaría ahorrando mano de obra que podría ser utilizada en otras labores, pero con el problema actual se sigue con la dependencia a una persona, y eso no era lo planificado para el funcionamiento de la máquina, de ahí la necesidad de resolver el problema descrito.

1.2. Solución seleccionada

Requerimientos establecidos por parte de la empresa:

De la banda transportadora:

- La banda debe tener la capacidad de transportar una carga máxima de 10 kg.
- Tener el ancho adecuado para que la bandeja pueda movilizarse.
- Tener barandas a los lados para que la bandeja no se pueda caer ante un posible movimiento.
- Utilizar el mismo sensor difuso que tiene la banda actual al final de esta, para detectar la presencia de la bandeja.
- Tener una velocidad entre un rango de 4 cm/s a 10 cm/s.
- Tener una altura de 820 mm.
- Utilizar el mismo motor reductor que utiliza la banda actual.

Del sistema de control de la posición de la bandeja

- La bandeja no debe ser manipulada por una persona.
- Utilizar los mismos controladores de la máquina.

- Adaptarse a las condiciones de proceso y estructurales de la máquina.

Lo que se quiere desarrollar es un sistema que determine la posición de la bandeja con respecto a un punto de referencia, cada vez que una bandeja es colocada para recibir las arandelas se le calcula la ubicación y se le escriben las coordenadas al brazo que se encarga de poner las arandelas, con lo que se realiza una corrección de la posición con cada repetición y el hecho de que la bandeja quede desplazada ya no es influyente para el brazo.

Además se propone instalar una base en el lugar en donde se colocan las arandelas, sacando la banda transportadora de la máquina y ubicándola a un costado para que reciba las bandejas que vienen de la máquina, en donde la base por medio de un actuador neumático lineal puede retirar las bandejas una vez llenas. La banda transportadora diseñada es un transportador horizontal simple, de banda, con una estructura en perfiles de aluminio, con dos ejes uno motriz y el otro conducido, en donde el motor-reductor se acopla directamente y un sistema para el ajuste de la tensión de la banda.

Capítulo 2 . Meta y objetivos

2.1. Meta

Proponer un sistema que dé solución al problema planteado para que la máquina dosificadora no requiera de una persona que este ajustando la posición final de las bandejas y diseñar una banda transportadora que cumpla con los requerimientos planteados.

2.2. Objetivo general

- Diseñar un sistema de control de la posición de las bandejas cuando estas son colocadas para recibir las arandelas y un mecanismo de transporte.

Indicador: Modelo 3D mecánico de las piezas, ensamble del sistema, planos, muestra de cálculos.

2.3. Objetivos específicos

- Diseñar un sistema mecatrónico que determine la posición de la bandeja o que la alinee.

Entregable: especificaciones de los elementos que lo integran, modelo 3D, ensamble, planos y muestra de cálculos.

- Diseñar una banda para que transporte las bandejas con las arandelas engrasadas y que funcione en conjunto con todo el proceso productivo de la máquina.

Entregable: especificaciones de los elementos que la integran, modelo 3D, ensamble, planos y muestra de cálculos.

- Realizar el estudio financiero sobre el costo del proyecto.

Entregable: documento de presupuesto.

Capítulo 3 . Marco Teórico

En este capítulo se hace una descripción detallada del proceso que realiza la máquina, así como de las partes que la constituyen. Además se presentan los distintos temas y referencias ligados con el desarrollo del proyecto, para el entendimiento de la solución propuesta.

3.1. Descripción del sistema a mejorar

La máquina dosificadora de grasa fue diseñada y construida en la empresa ControlSoft por los personeros que en ella laboran, precisamente por el Ing. Barquero y diferentes técnicos, esta máquina fue un pedido de otra empresa, la cual solicitó un sistema automático para que engrasara arandelas, entonces fue realizada en base a los requerimientos y especificaciones que pidieron. Las arandelas engrasadas luego son utilizadas para construir los engranes de los trípodes de las cámaras.

Actualmente la máquina se encuentra fuera de servicio, esto porque se le desean realizar unas mejoras y corregir el problema detectado de la colocación de arandelas. A la máquina se le desea mejorar la velocidad de producción de arandelas engrasadas, ya que engrasa 35 arandelas en un minuto y se plantea que engrase 60 por minuto, haciendo una optimización del espacio, acomodando el apilador de arandelas, el sistema dosificador y de pesaje para que queden más cercanos y el manipulador 2 reduzca su desplazamiento. Esta mejora esta fuera del alcance del proyecto, debido a que solo fue asignado resolver el problema del acomodo de las bandejas y el cambio de la banda transportadora.

El proceso seguido por la máquina dosificadora de grasa se detalla en el diagrama de bloques de la Figura 3.1 y Figura 3.2.

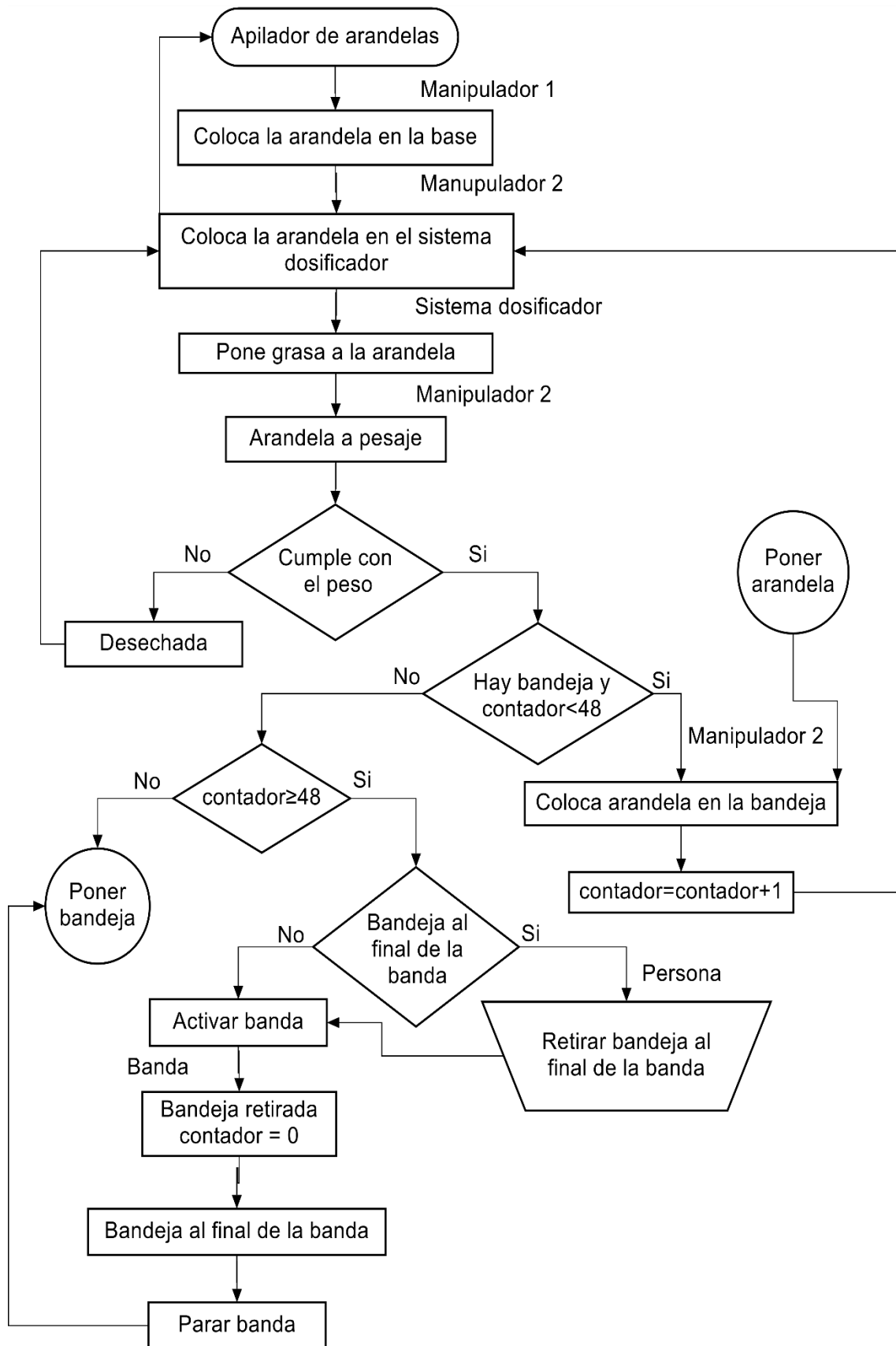


Figura 3.1. Diagrama en detalle del proceso realizado por la máquina.

Nota. El significado de los símbolos empleados se puede consultar en el Apéndice A.4. Fuente: Autor.

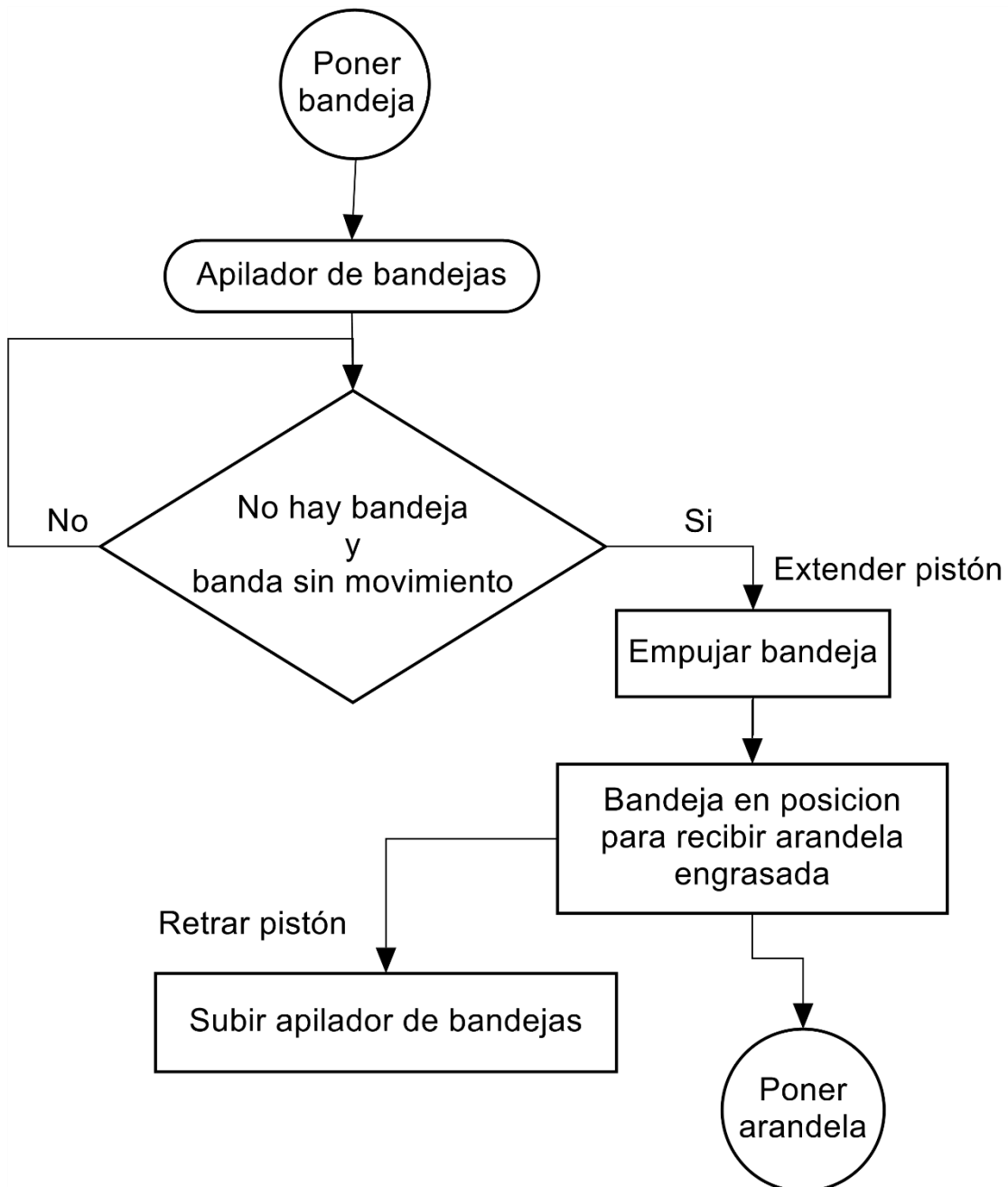


Figura 3.2. Subdiagrama del proceso realizado por la máquina.

Nota. El significado de los símbolos empleados se puede consultar en el Apéndice A.4. En la pregunta “no hay bandeja” se refiere a que si no hay bandeja en la posición para recibir arandelas. Fuente: Autor.

3.1.1. Apilador de arandelas

El apilador de arandelas tiene la forma que se observa en la Figura 3.3, en donde las arandelas se insertan en el tornillo sin fin, y este al girar hace que la pieza móvil suba o baje dependiendo del giro del motor. Las arandelas son retiradas una a una por el manipulador 1, cada vez que una arandela es retirada, la pieza móvil del apilador debe de subir para que así lo hagan las arandelas, esto para que siempre quede una arandela disponible para el manipulador.

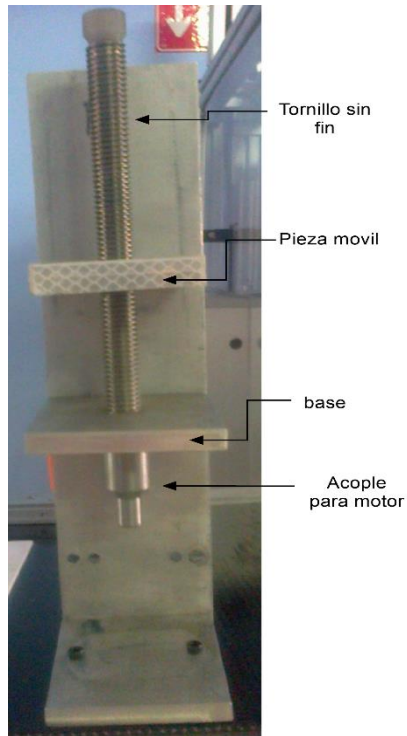


Figura 3.3. Apilador de arandelas.

Nota. Fuente: Autor, foto tomada en la empresa ControlSoft.

3.1.2. Manipulador 1

El brazo nombrado como manipulador 1 que se observa en la Figura 3.4 tiene la única función de trasladar las arandelas del apilador hacia una base (ver Figura 3.5), este brazo consta de 2 grados de libertad (giratorio y vertical) y un sistema de succión con ventosa para sujetar las arandelas.

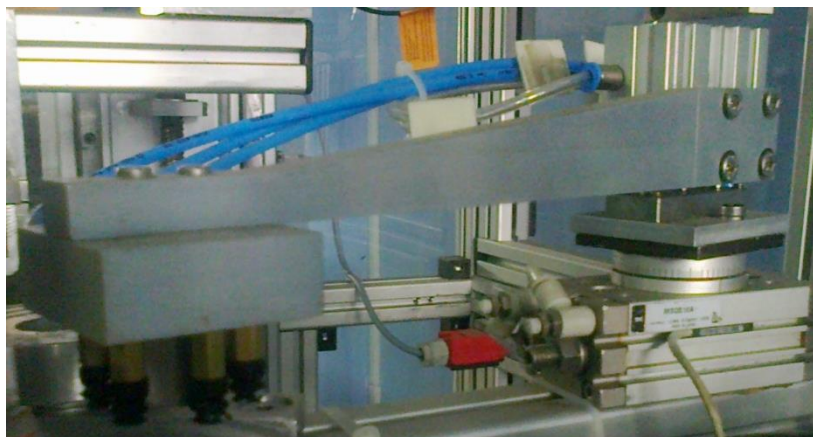


Figura 3.4. Brazo nombrado como manipulador 1.

Nota. Fuente: Autor, foto tomada en la empresa ControlSoft.

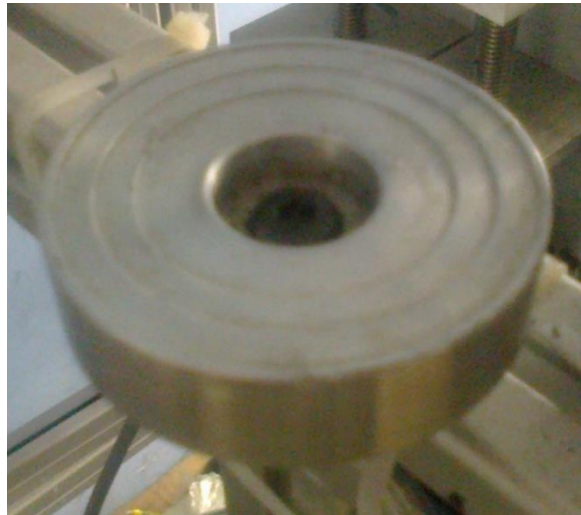


Figura 3.5. Base en donde el manipulador 1 coloca la arandela.

Nota. Fuente: Autor, foto tomada en la empresa ControlSoft.

3.1.3. Manipulador 2

El manipulador 2 (Figura 3.6) se encarga de trasladar la arandela de la base de donde fue colocada por el manipulador 1 hacia el sistema dosificador de grasa, luego la traslada al sistema de pesaje y por último la lleva y la coloca en la bandeja.

Este manipulador está ubicado en la parte superior de la máquina y consta de 4 grados de libertad, está compuesto por 3 rieles (Figura 3.7) que le permiten el movimiento en x, y; los rieles 1 y 3 están conectados por una polea siendo accionados por el mismo motor, que le dan al brazo el movimiento en un eje y el riel 2 le da el movimiento con respecto al otro eje. Al carro del riel 2, está sujeto un motor que hace que el manipulador pueda girar y un pistón neumático de doble efecto (Figura 3.8) que le da movimiento en el eje z, por último tiene una pinza neumática de tres dedos (Figura 3.9) que abre y cierra, esta al abrir hace presión sobre el diámetro interno de la arandela lo que le permite sujetarla.

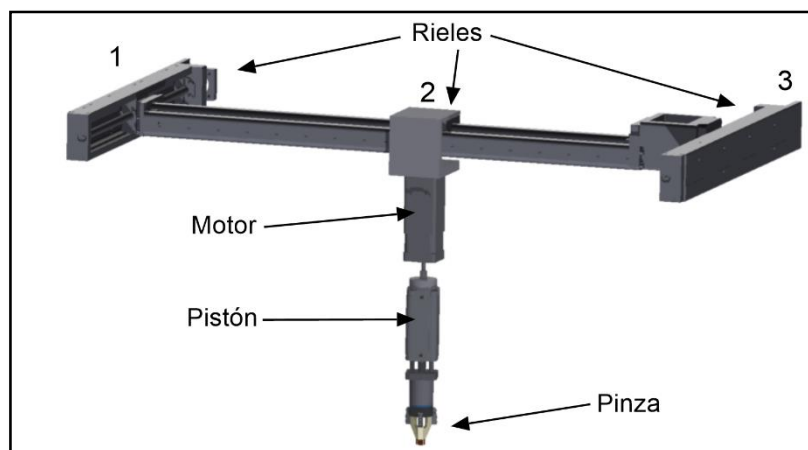


Figura 3.6. Representación del manipulador 2 de la máquina.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.



Figura 3.7. Rieles THK LM Guide Actuador del manipulador 2.

Nota. Fuente: THK Global (2014, 04 de Noviembre). *LM Guide Actuator* | [THK] Recuperado el 04 de Noviembre del 2014, de <http://www.thk.com/?q=eng/node/232>

La máquina posee dos servo-motores Allen Bradley invertir duty AC servo motor serie A TLY-A120T-HK62AA, que se encargan de accionar los rieles del manipulador 2, estos motores son conectados al driver Servo-variador Kinetix 300 los cuales son manejados por el PLC Allen Bradley modelo Compactlogix L33 ERM de la máquina.

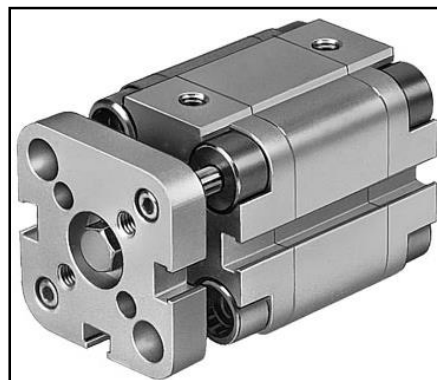


Figura 3.8. Pistón neumático Festo ADVUL-25-50-P-A del manipulador 2.

Nota. Fuente: Festo (2014, 04 de Noviembre). *Catálogo de piezas de recambio* - © 2014 Festo AG & Co. KG Recuperado de https://spareparts.festo.com/xDKI/xDKI.asp?xU=shop1&xP=shop1&xR=SPCMasterV1&TypePlate_PartNo=156873&xL=ES

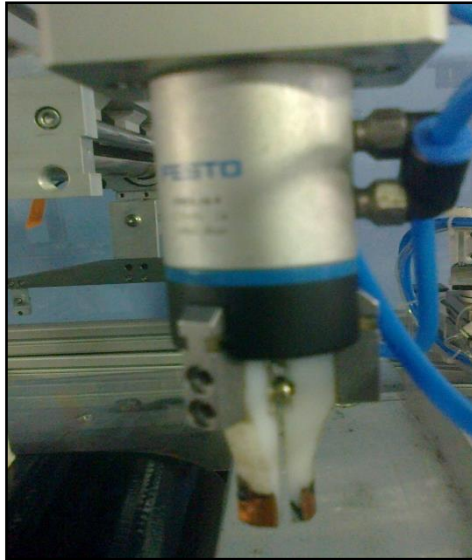


Figura 3.9. Pinza neumática de tres dedos Festo DHDS-16-A del manipulador 2.

Nota. Fuente: Autor, foto tomada en la empresa ControlSoft.

3.1.4. Dosificador de grasa

El sistema dosificador de grasa se encarga de suministrar una cantidad específica de grasa a las arandelas en sus superficies planas. La arandela es colocada de la forma que se observa en la Figura 3.10 por el manipulador 2, él la mantiene sujeta y a su vez realiza un giro de 360° para que toda el área de la arandela se cubra de grasa, el dosificador proporciona grasa tanto por la parte superior como inferior.

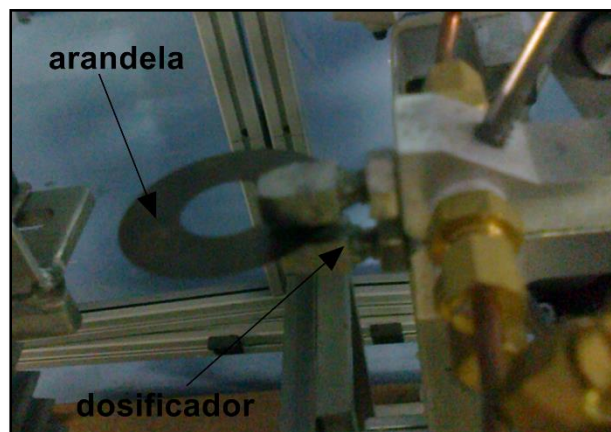


Figura 3.10. Dosificador de grasa.

Nota. Fuente: Autor, foto tomada en la empresa ControlSoft.

3.1.5. Estación de pesaje

En la estación de pesaje lo que se hace es pesar las arandelas para determinar si estas llevan la cantidad adecuada de grasa, de no ser así la arandela es rechazada y depositada en un recipiente.

3.1.6. Apilador de bandejas

La banda transportadora, el apilador y el mecanismo de empuje de bandejas se encuentran acomodados en la máquina a como se observa en la Figura 3.11. El mecanismo de empuje de las bandejas ya fue descrito en el capítulo de introducción y se puede observar en la Figura 1.4. Además, la máquina está montada sobre una estructura en perfiles de aluminio de 40x40.

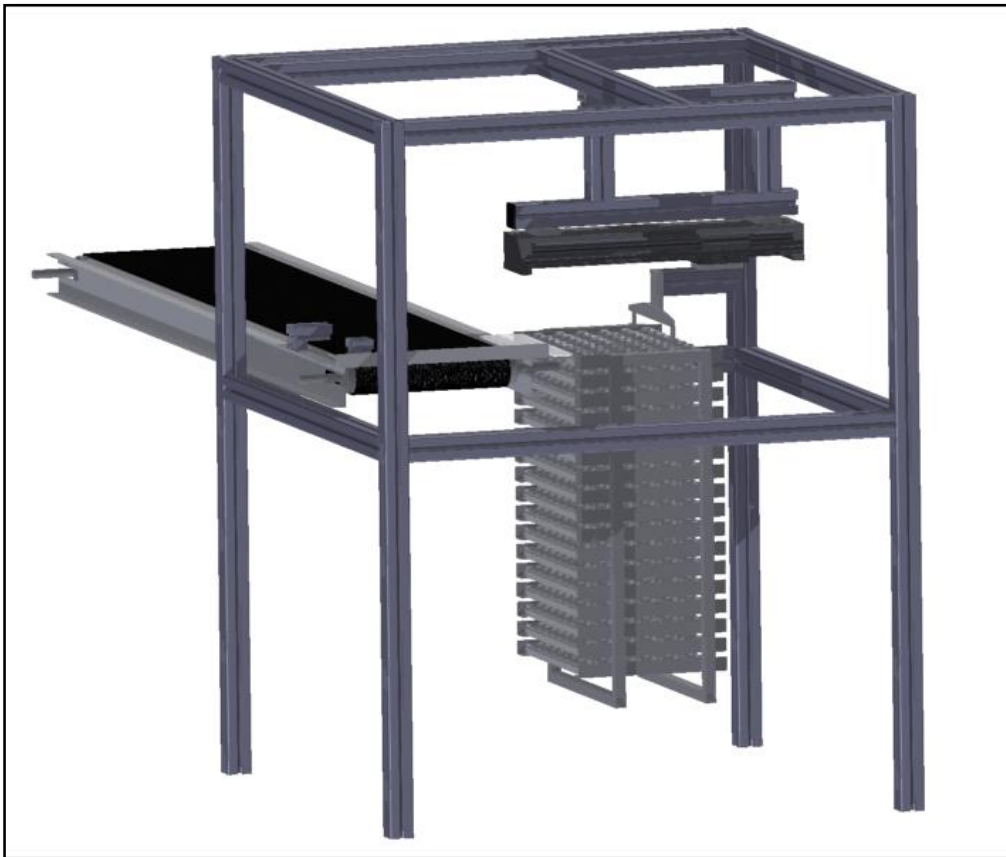


Figura 3.11. Representación de la distribución de la banda, el apilador y el pistón empujador en la máquina.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

Por su parte el apilador de bandejas (ver Figura 3.12), tiene un motor con un riel y un tornillo sin fin que le permite tener un movimiento vertical, ese movimiento es para elevarse hasta que la bandeja superior llegue al nivel de los dientes del pistón empujador para que pueda ser retirada y colocada al inicio de la banda transportadora para recibir las arandelas. El mecanismo de empuje de bandejas pasa por el centro del apilador no obstruyéndose con los costados de este, por tanto puede ir subiendo sin ningún problema.

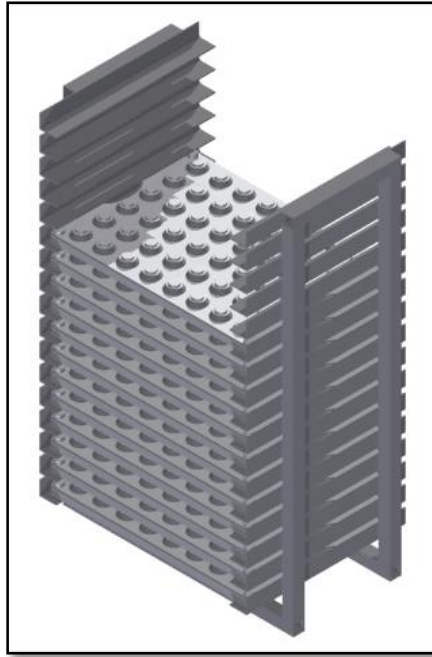


Figura 3.12. Apilador de bandejas actual de la máquina.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

3.1.7. Banda transportadora

La banda transportadora de la máquina (ver Figura 3.13) tiene una longitud de 1600 mm, un ancho de 410 mm, su estructura es de aluminio y acero inoxidable, esta se encuentra insertada en la máquina en forma de voladizo, teniendo la función de servir como base para las bandejas y de retirarlas, en donde al final de la banda se encuentra una persona que las toma para su respectivo almacenaje. La banda consta de 2 sensores difusos, Cutler-Hammer E58, instalados al inicio y al final de la misma, para detectar la presencia de la bandeja. Este mecanismo de transporte es accionado por un motor-reductor transmitiendo la potencia al tambor motriz por medio de una transmisión por cadena con relación 1:1, el motor-reductor no fue acoplado directamente al eje motriz por cuestiones de espacio disponible, por lo que le tuvieron que agregar esa transmisión por cadena, así el motor está ubicado debajo de la banda, las características del motor reductor se detallan en la Tabla 3.1.

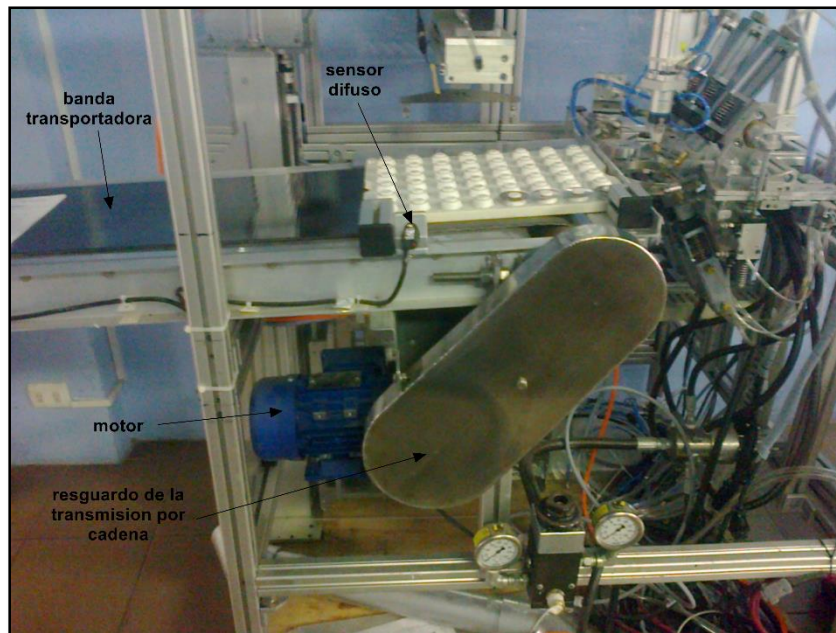


Figura 3.13. Imagen de una sección de la banda transportadora.

Nota. Fuente: Autor, foto tomada en la empresa ControlSoft.

La banda o cinta tiene un espesor de 3 mm y un ancho de 390 mm, el diámetro del eje motriz y conducido tiene las medidas que se observan en la Figura 3.14.

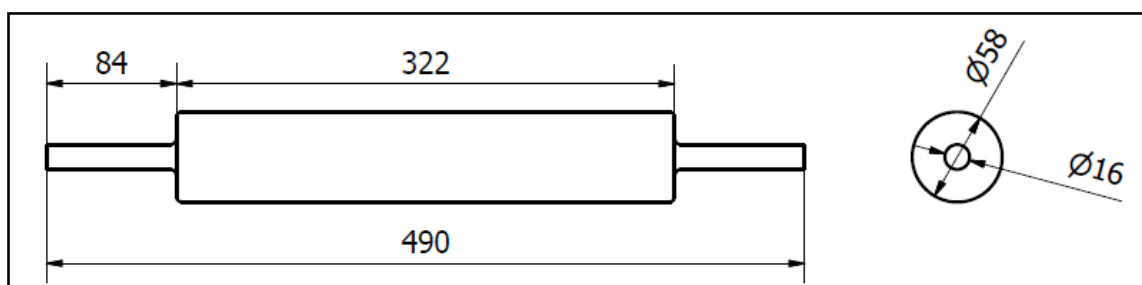


Figura 3.14. Dimensiones del eje motriz y conducido de la banda transportadora.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

Tabla 3.1. Datos del motor-reductor.

Motor	
Marca	MEZ KEZMAROK Slovakia
Tipo	MS 6334
Peso	5.3 kg
Potencia nominal	1/3 HP
Frecuencia eléctrica	60 Hz
Tensión nominal	220/440 V YY/Y
corriente nominal	1.52/0.76 A YY/Y
Velocidad	1620 rpm
Factor de potencia	0.7
Factor de servicio	1.15
Forma constructiva	IM B35
Protección mecánica	IP 55
Reductor	
Marca	MEZ KEZMAROK Slovakia

Tipo	FCNOK40
Relación	1:60
Entrada	63B5

Nota. Fuente: Placa de datos del motor-reductor.

3.1.8. Componentes del control de la máquina

La máquina es controlada por 2 PLC un Schneider M340 y un Allen-Bradley CompactLogix L33 ERM programado en el RS Logix 5000, este último posee un módulo de entradas analógicas Compact I/O de 8 canales modelo 1769-IF8 serie A.

3.1.8.1. Controlador Schneider M340

Este controlador funciona como maestro, tiene conectado el CompactLogix L33 ERM como esclavo, es el encargado de la lógica de control de la máquina. Tiene las siguientes características (Schneider Electric, 2014):

- Sistema multitarea
- Puerto USB para programación
- Software de programación Unity Pro
- 2 puertos adicionales: Ethernet, CANopen o Modbus
- Código de programa 70 kins
- Memoria SD
- Almacenamiento adicional de hasta 16 Mb

3.1.8.2. Controlador CompactLogix 5370 (1769-L33ERM)

El controlador CompactLogix 5370 (1769-L33ERM) funciona como esclavo y se encarga de general el movimiento del manipulador 2, presenta las características generales que se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Características del controlador CompactLogix 5370.

Memoria de usuario	4 MB
Puertos de comunicación	2 EtherNet/IP 1 USB
Componentes de las redes de comunicación	Red EtherNet/IP Red DeviceNet mediante un módulo 1769-SDN Conexión USB solo para programación y actualizaciones de firmware
Conexiones EtherNet/IP	256 EtherNet/IP 120 TCP
Nodos EtherNet/IP	32
Tarjeta Secure Digital (SD) para memoria no volátil	Tarjeta 1784-SD1 de 1Gb de memoria Tarjeta 1784-SD2 de 2Gb de memoria
Software para programación	RSLogix 5000 Logix Designer RSLinx Classic RSNetWorx

Módulo de E/S	Módulos expansores locales- Módulos 1769 Compact I/O E/S distribuidas – Múltiples líneas de productos de módulos de E/S mediante las redes DeviceNet y EtherNet/IP
Tareas del controlador compatibles	32
Programas compatibles por tarea	100
Compatibilidad con topología de red EtherNet/IP	Anillo a nivel del dispositivo Lineal En estrella tradicional
Clasificación de distancia respecto a la fuente de alimentación eléctrica	4 módulos

Nota. Fuente: Allen-Bradley Rockwell Automation (s. f.). *Manual de usuario Controladores CompactLogix5370* Recuperado de http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1769-um021_-es-p.pdf

3.1.8.3. Módulo de entradas analógicas 1769-IF8

El módulo de entradas analógicas 1769-IF8 convierte y almacena digitalmente datos analógicos para ser recuperados por controladores. Este módulo acepta conexiones de cualquier combinación hasta de ocho sensores analógicos de corriente o tensión, tiene los siguientes rangos de operación analógica: ± 10 V dc, 0 a 10 V dc, 0 a 5 V dc, 1 a 5 V dc, 0 a 20 mA y 4 a 20 mA, actualmente ninguno de los 8 canales de entrada están en uso, por lo que tiene sus 8 canales libres que pueden ser utilizados.

El circuito de entrada del módulo consta de 8 entradas analógicas diferenciales multiplexadas en un convertidor de analógico a digital (A/D), el convertidor lee la señal de entrada seleccionada y la convierte a un valor digital que se presenta al controlador, este valor digital es una palabra de 16 bits, siendo el bit más significativo (MSB) de signo y los restantes 15 bits el valor de datos de entrada analógica.

El módulo 1769-IF8 posee una configuración para la selección del formato de datos de entrada la cual configura los canales del 0 al 7 para presentar datos analógicos en cualquiera de los siguientes formatos, en donde sus especificaciones de detallan en la Tabla 3.3 (Allen-Bradley Rockwell Automation):

- Datos generales/proporcionales
- Unidades de medición
- Escalado para PID
- Rango porcentual

Datos generales/proporcionales

En este formato el valor presentado al controlador es proporcional a la entrada seleccionada y escalada al máximo rango de datos permitido por la resolución de bit del convertidor A/D.

Unidades de medición

El modulo escala los datos de entrada analógica a los valores reales de corriente o de tensión para el rango de entrada seleccionada.

Escalado PID

El valor presentado al controlador es un número entero con signo; el cero representa el rango inferior de usuario y el 16 383 representa el rango superior de usuario.

Rango porcentual

Los datos de entrada se presentan como porcentaje del rango de usuario, por ejemplo 0 V a 10 VCC es igual a 0% a 100%.

Tabla 3.3. Formatos válidos y rangos de datos min/max del módulo.

Rango de entrada de operación	Rango completo	Datos generales/proporcionales	Unidades de medición	Escalado PID	Porcentaje
		Rango total		Rango de operación normal	
-10 V a +10 VCC	-10.5 V a +10.5 VCC	-32 767 a +32 767	-10 500 a +10 500	0 a 16 383	-100% a +100%
0 V a 5 VCC	0 V a 5.25 VCC	-27 068 a +32 767	0 a 5 250		0 a 100%
0 V a 10 VCC	0 V a 10.5 VCC	-29 788 a +32 767	0 a 10 500		
4 mA a 20 mA	3.2 mA a 21 mA	-32 767 a +32 767	3 200 a 21 000		
1 V a 5 VCC	0.5 V a 5.25 VCC		500 a 5 250		
0 mA a 20 mA	0 mA a 21 mA		0 a 21 000		

Nota. Fuente: Allen-Bradley Rockwell Automation (s. f.). *Manual de usuario Módulos analógicos Compact I/O* Recuperado de http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1769-um002_-esp.pdf

3.1.8.4. Software RSLogix 5000

RSLogix 5000 es una plataforma de software que permite configurar, programar y supervisar el funcionamiento de los controladores Logix. Proporciona la lógica de

escalera, texto estructurado, diagrama de bloques de función secuencial y editores de diagrama de funciones para el desarrollo del programa.

Presenta las siguientes características (Arias Jaramillo, 2011):

- Puede utilizarse para aplicaciones de base discreta, de proceso, de lote, de movimiento, de seguridad y de variadores.
- Permite fragmentar la aplicación en programas más pequeños que pueden volver a utilizarse, rutinas e instrucciones que pueden crearse al utilizar los distintos lenguajes de programación.
- Incluye un conjunto extenso de instrucciones incorporadas que se pueden aumentar al crear las propias instrucciones add-on definidas por el usuario.
- Permite importar y exportar la totalidad del proyecto, o componentes y secciones de código, para editarlas con herramientas de otros fabricantes y para compartirlas fácilmente.
- Permite distintos niveles de seguridad y protección de propiedad intelectual.
- Permite realizar actualizaciones manuales y automáticas firmware de módulos.

Entre los tipos de instrucciones con los que cuenta el RSLogix 5000 están: instrucciones basadas en Logix para alarmas y eventos FactoryTalk, instrucciones de bits, instrucciones de temporizador y contador, instrucciones de entrada/salida, instrucciones de comparación, instrucciones de cálculo/matemáticas, instrucciones de movimiento, instrucciones de matriz, instrucciones de secuenciador, instrucciones de control de programa, instrucciones FOR/BREAK, instrucciones especiales, instrucciones trigonométricas, instrucciones matemáticas avanzadas, instrucciones de conversión matemática, instrucciones para puertos serie ASCII, instrucciones de cadena ASCII e instrucciones de depuración (Allen-Bradley Rockwell Automation).

Las instrucciones de cálculo/matemáticas evalúan las operaciones aritméticas usando una expresión o una instrucción aritmética, las instrucciones de este tipo son: CPT, ADD, SUB, MUL, DIV, MOD, SQR, NEG, ABS. Todas estas instrucciones tienen definido la función que deben de realizar como por ejemplo sumar, restar dividir, etc. Excepto la instrucción CPT, ya que esta realiza las operaciones aritméticas que se le definen en la expresión. Está disponible en lenguaje de lógica de escalera de relés y texto estructurado, soporta tipos de datos SINT, INT, DINT, REAL.

En lógica de escalera de relés se presenta de la forma que se muestra en la Figura 3.15.

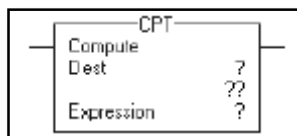


Figura 3.15. Representación en lógica de escalera de la instrucción CPT.

Nota. Fuente: Allen-Bradley Rockwell Automation (s. f.). *Instrucciones generales de los controladores Logix5000* Recuperado de http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1756-rm003_-es-p.pdf

Y en texto estructurado no hay una instrucción CPT como tal, pero se pueden lograr los mismos resultados usando una asignación y una expresión así:

Destino := expresión_numerica;

La instrucción CPT realiza las operaciones aritméticas que se le definan en la expresión, cuando se habilita, esta evalúa la expresión y coloca el resultado en Destino.

Las instrucciones de movimiento son instrucciones para el control de movimiento, se subdividen en instrucciones de estado de movimiento que controlan o cambian directamente los estados de operación de un eje y son: MSO, MSF, MASD, MASR, MDO, MDF, MAFR. Instrucciones que producen movimiento las cuales controlan todos los aspectos de posición del eje y son: MAS, MAH, MAJ, MAM, MAG, MCD, MRP, MCCP, MAPC, MATC, MCSV. Instrucciones de grupo de movimiento que operan en todos los ejes en un grupo específico y son: MGS, MGSD, MGSR, MGSP. Instrucciones de evento de movimiento que controlan la activación y la desactivación de las funciones de verificación de eventos especiales y son: MAW, MDW, MAR, MDR, MAOC, MDOC. Instrucciones de configuración de movimiento que se utilizan para establecer y aplicar parámetros de servo configuración a un eje y son: MAAT, MRAT, MAHD, MRHD. Instrucciones de movimiento de coordinación estas permiten mover los tres ejes en un sistema de coordenadas y son: MCLM, MCCM, MCCD, MCS, MCSD, MCT, MCTP, MCSR (Arias Jaramillo, 2011).

3.1.8.5. Servovariador Kinetix 300

El Servovariador Kinetix 300 es un driver para el control de movimiento en un solo eje, es programable mediante perfiles add-on en el software de programación RSLogix 5000 o en la aplicación Studio 5000 Logix Designer, se integra con

controladores Compactlogix y de manera transparente con servomotores y accionadores de la series MP y TL (Allen-Bradley Rockwell Automation).

A como se ha mencionado por medio de este driver es que se controlan los movimientos de los motores del manipulador 2 de la máquina. Este driver se conecta por EtherNet/IP con el controlador, por lo que se debe de realizar su configuración respectiva para la comunicación, además de configurarle parámetros de eje, de tipo de variador, motor a conectar, unidades de medida a trabajar, entre otros.

Para la programación de una tarea con este driver en RSLogix 5000, se utilizan las instrucciones de tipo de control de movimiento. En el programa actual que tiene la máquina solo se emplean las instrucciones MSO, MSF y MAM para generar el movimiento de los rieles del manipulador 2.

La instrucción MSO es la que habilita el servo-drive y activa el lazo del servo-eje, por su parte la instrucción MSF realiza lo contrario, inhabilita el servo-drive y desactiva el lazo del servo-eje. Ambas instrucciones tiene como parámetro de entrada Axis que es el nombre del eje en el cual se realizara la operación y Motion Control que es la estructura usada para obtener acceso a los parámetros de estado de instrucción.

La instrucción MAM es la que se encarga de mover un eje a una posición específica, teniendo varios parámetros de entrada, los cuales se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Operandos de la instrucción MAM.

Operando	Descripción	
Axis	Nombre del eje	
Motion Control	Tag de control para la instrucción	
Move type	Absoluto	0
	Incremental	1
	Giratorio de ruta más corta	2
	Giratorio positivo	3
	Giratorio negativo	4
	Offset de maestro absoluto	5
	Offset de maestro incremental	6
Position	Valor al cual se debe de mover, dependiendo del tipo de movimiento establecido	
Speed	Velocidad para mover el eje en unidades de velocidad	
Speed units	Unidades por seg	0
	% del máximo	1
Accel rate	Velocidad de aceleración del eje en unidades de aceleración	
Accel units	Unidades por seg ²	0
	% del máximo	1
Decel rate	Velocidad de desaceleración del eje en unidades de aceleración	
Decel units	Unidades por seg ²	0

	% del máximo	1
Profile	Perfil de velocidad para ejecutar el movimiento	
	Trapezoidal	0
	S-curve	1
Accel jerk	La instrucción solo utiliza los operandos de jaloneo si el perfil es curva en S	
Decel jerk	Es el régimen de jaloneo de desaceleración del eje	
Jerk units	Unidades de jaloneo	
Merge	Convertir todos los movimientos actuales del eje en un movimiento puro regido por esta instrucción	
	Inhabilitado	0
	Habilitado	1
Merge speed	Si merge está habilitado, es la velocidad a la cual se desea que se mueva	

Nota. Fuente: Arias jaramillo, J. (2014). *Puesta en operacion del sistema de control de movimiento de la arquitectura de automatizacion Rockwell Automation* Recuperado de repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/.../1291/.../digital_20470.pdf

3.1.9. Programa del manipulador 2

El PLC Allen-Bradley que se encarga de controlar al manipulador 2 tiene un programa principal, en diagrama de escalera, en el que se leen los datos enviados por el maestro y se da la asignación de variables, además se llaman a otras subrutinas, en total son 2 subrutinas que tienen el nombre de “movimiento ejes” y “posiciones”, la de “movimiento de ejes” esta implementada en diagrama de escalera y se encarga de mandar los comandos a los driver de los motores para que el brazo se desplace a una determinada posición, es aquí donde se utilizan las instrucciones de MSO, MSF y MAM, en la misma subrutina están establecidas las coordenadas tomar la pieza de la base, colocarla en el dosificador y en el sistema de pesaje. Las coordenadas que corresponden a la ubicación de colocar las arandelas en las bandejas se establecen en la otra subrutina la de “posiciones” que está implementada en texto estructurado.

En el programa de la subrutina de “posiciones” que se muestra en el anexo B.1, lo que se hace es la asignación de las coordenadas para colocar las arandelas en la bandeja. En este algoritmo se utiliza la variable “Discos.ACC” que es un contador que va de 0 a 47, es controlado en la subrutina de “movimiento ejes”, que corresponde a las 48 arandelas que caben en una bandeja, el contador empieza en 0 y cada vez que una arandela es colocada se incrementa en 1 hasta llegar a 47, y ahí vuelve a 0.

En el algoritmo se presentan una serie de condicionales que dependiendo del valor de “Discos.ACC” se le asigna a “Posicion” y “Posicion_2” un respectivo número, ese número no se cambia en ninguna otra rutina o subrutina, y corresponde al valor de la coordenada para colocar la arandela en la bandeja, “Posicion” es la coordenada x, y

“Posicion_2” es la coordenada y, de este modo es que se establecen los 48 puntos en donde el brazo debe desplazarse para colocar las arandelas.

3.2. Antecedentes bibliográficos

3.2.1. La línea recta

Una línea recta está representada en relación con un sistema de ejes cartesianos, por una función de dos variables (Figura 3.16), dicha función debe ser capaz de expresar la condición común que satisfacen todos y cada uno de los puntos que constituyen a dicha recta, la condición es que entre cualesquiera dos puntos que se tomen de ésta recta, la recta pendiente que se obtiene es la misma. La pendiente de una recta es un valor constante m definido por la tangente trigonométrica del ángulo de inclinación de la recta, este valor controla la mayor o menor inclinación con respecto al eje de las x , dicho de otra forma, la pendiente es el número de unidades que la recta sube (o baja), verticalmente, por cada unidad de cambio horizontal, de izquierda a derecha (Larson & Hostetler, 2008).

Además la línea recta está definida por un término independiente que es constante llamado b y representa la distancia que hay desde el origen hasta el punto de intersección de la recta con el eje de ordenadas y .

Por lo que la recta se define con la siguiente ecuación que se le llama forma pendiente-intersección:

$$y = mx + b \tag{3.1}$$

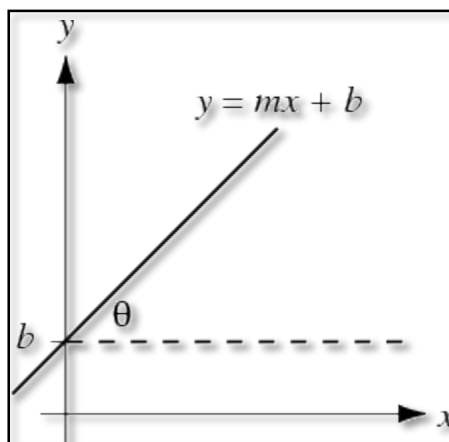


Figura 3.16. Representación de la línea recta.

Nota. Fuente: Autor.

En donde m y b son los parámetros constantes de la línea que intervienen en la función, y cuyos valores dependen de la posición que tenga dicha línea, y siendo θ el ángulo de inclinación de la recta. De modo que la ecuación general de una recta queda definida de la siguiente manera:

$$Ax + By + C = 0 \tag{3.2}$$

Dado que la pendiente es igual a la tangente trigonométrica del ángulo de inclinación, con dos puntos se puede definir una recta, dados los dos puntos cualesquiera por donde pasa la recta se puede obtener la pendiente de la misma quedando definida con la ecuación (3.3).

$$\begin{aligned} \tan(\theta) &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \\ \tan(\theta) &= m \\ m &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \end{aligned} \tag{3.3}$$

En donde (x_1, y_1) son las coordenadas del primer punto y (x_2, y_2) son las coordenadas del segundo punto.

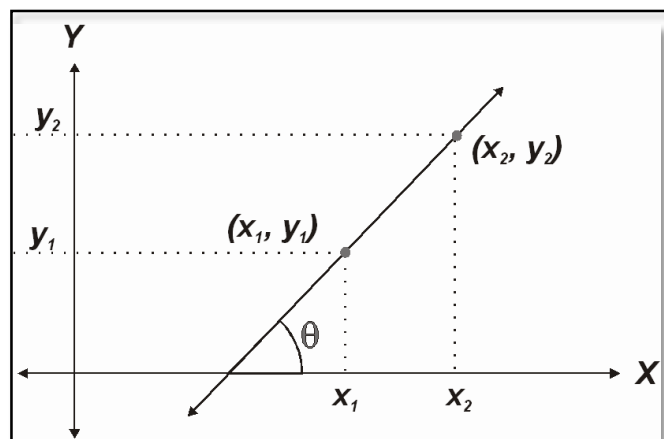


Figura 3.17. La línea recta a partir de 2 puntos.

Nota. Fuente: Autor.

Al tener la pendiente de la recta, falta solo de evaluar cualquiera de los dos en la ecuación 1 para obtener el otro parámetro constante llamado b , independientemente de cual punto se evalué el resultado es el mismo.

$$\begin{aligned} b &= y_1 - m * x_1 \\ b &= y_2 - m * x_2 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Al obtener la pendiente m y la distancia que hay desde el origen hasta el punto de intersección de la recta con el eje de ordenadas y , que sería b , queda definida por completo la recta a partir de dos puntos.

También la línea recta se puede definir a partir de un punto que pasa por esta y el valor de su pendiente, dado lo siguiente: si (x_1, y_1) es un punto de una recta, de pendiente m y (x, y) es cualquier otro punto de la recta (Contreras, 2014), entonces:

$$m = \frac{y - y_1}{x - x_1}$$

Por tanto la recta se puede escribir en la forma punto-pendiente.

$$y - y_1 = m(x - x_1) \tag{3.5}$$

Entre dos rectas puede pasar que sean paralelas, perpendiculares o ningunas de estas opciones. Para que dos rectas distintas, no verticales, sean paralelas, se tiene que cumplir que sus pendientes sean iguales; es decir, $m_1 = m_2$. Por tanto las rectas paralelas nunca se intersecan, siempre tienen la misma distancia que las separa, esa distancia queda definida por la ecuación (3.7), obtenida a partir de la ecuación de la distancia de una recta al origen de coordenadas que se muestra en la ecuación (3.6), restando las dos distancias de ellas con respecto al origen, el resultado de la resta es la distancia entre las rectas y al ser paralelas los términos A y B de la ecuación general son iguales para las dos (Larson & Hostetler, 2008).

$$d(P, 0) = \frac{|C|}{\sqrt{A^2 + B^2}} \tag{3.6}$$

$$d(l_1, l_2) = \frac{|C - C'|}{\sqrt{A^2 + B^2}} \tag{3.7}$$

Para que dos rectas, no verticales, sean perpendiculares se tiene que cumplir que sus pendientes sean recíprocas y de signos contrarios; es decir, $m_1 = -1/m_2$.

Si dos rectas no son paralelas, estas se intersecan en algún punto, este punto de intersección es cuando se hacen simultáneas sus ecuaciones porque siendo el punto común para las dos, sus coordenadas del punto deben verificar simultáneamente a las dos ecuaciones (Contreras, 2014). Por lo que matemáticamente queda descrito en la ecuación (3.8).

$$y = m_1x + b_1 \quad \text{recta 1}$$

$$y = m_2x + b_2 \quad \text{recta 2}$$

$$m_1x + b_1 = m_2x + b_2$$

(3.8)

3.2.2. Sensores

Los sensores y transductores son dispositivos esenciales para realizar la automatización de procesos. La función de los sensores es medir una variable asociada al fenómeno físico y producir una señal de salida medible como voltaje o corriente, la señal de salida es acondicionada por medio de instrumentación electrónica. Por otro lado un transductor es un dispositivo que convierte un tipo de energía de entrada asociado a la variable de medición en otro tipo de energía eléctrica (Reyes & Vargas, 2013).

La ingeniería mecatrónica tiene una gama muy amplia de aplicaciones, de ahí que es necesario contar con una diversidad de sensores o transductores. Entre los transductores más utilizados en mecatrónica se encuentran relacionados con la medición de las siguientes variables: posición, temperatura, velocidad, presión, fuerza, visión, proximidad, etcétera.

3.2.2.1. Clasificación de los sensores

Hay varias formas para clasificar a un sensor, pueden ser desde el tipo de material que se emplea en su construcción, clase de tecnología, tipos de variables a medir, características específicas como pasivos o activos, analógicos, digitales hasta el tipo específico de aplicaciones.

3.2.2.2. Características de los sensores

Dependiendo del tipo de aplicación en ingeniería mecatrónica un número de características deben ser tomadas en cuenta en la selección de la clase del sensor. La Tabla 3.5 muestra algunos de los factores que determinan la correcta selección de un sensor, así como la terminología técnica asociada.

Tabla 3.5. Características de los sensores.

Factor	Terminología técnica
Rango	Diferencia entre la medición mínima y máxima de una lectura.
Resolución	La mínima medición que el sensor puede detectar.
Exactitud	Diferencia entre el valor exacto y el valor medido. Idealmente esta diferencia debe ser cero.
Precisión	Dada la exactitud del sensor, la precisión se refiere al número de bits para representar una medición.
Sensibilidad	Razón de cambio de la salida en relación a la entrada.

Linealidad	La salida es directamente proporcional a la entrada (medición del fenómeno físico).
Deriva de salida	Valor de salida diferente a cero cuando no hay medición en la entrada.
Tiempo de respuesta	El tiempo de respuesta entre la entrada y la salida.
Ancho de banda	Frecuencia en la cual la magnitud de la salida cae a 3 dB.
Resonancia	Frecuencia en la cual la magnitud de la salida ocurren picos.
Banda muerta	Rango en la señal de entrada para la cual no hay señal de salida.
Temperatura de operación	Rango de operación en el cual el sensor funciona correctamente.
Razón de señal a ruido	Razón de rechazo de ruido en la señal de salida.
Repetitividad	Capacidad del sensor a repetir un número muy grande de veces la misma medición bajo las mismas condiciones de la señal de entrada.
Impedancia	Relación entre voltaje y corriente como función de la frecuencia.

Nota. Fuente: Reyes, F., & Vargas, J. (2013). *Mecatrónica. Control y automatización*. México: Alfaomega.

3.2.3. Tecnología utilizada por los sensores de medición de distancia

Los sensores de distancia están pensados para realizar la medida de distancia lineal de una forma automatizada, ya que proporcionan una señal eléctrica según la variación física, en este caso la variación física es la distancia. Los rangos de medida disponibles son muy diversos, según el tipo de sensor de distancia empleado, hay modelos que tienen rangos de unas pocas micras y otros modelos que pueden llegar a medir cientos de metros. En función del rango requerido, el formato del sensor varía, basándose en un principio u otro para calcular la distancia. Para medición de distancia sin contacto se tienen sensores por ultrasonido o láser.

3.2.3.1. Medición por ultrasonido

La técnica de medición de distancia por ultrasonido se basa en la emisión de un tren de pulsos ultrasónicos con una frecuencia determinada, esta onda rebota en el objeto a medir la distancia y es recibida, midiendo el tiempo entre la emisión y el retorno se puede determinar la distancia entre el sensor y el objeto donde se produjo el rebote.

Los sensores ultrasónicos se ven afectados por el medio que utilizan para su transmisión y por el tipo y forma del objeto. Por ello en las aplicaciones de estos sensores se debe de tener en cuenta lo siguiente (Acevedo, 2013):

- La velocidad del sonido depende de la temperatura y de la composición del medio transmisor. Esto afecta a la exactitud y a la resolución del sensor.
- La variación de la longitud de onda del ultrasonido es función de la velocidad y de la frecuencia del mismo. Esto afecta a la resolución, a la exactitud, al tamaño

mínimo del objeto y a las distancias mínima y máxima a las que puede ser detectado.

- La variación de la atenuación del sonido es función de la frecuencia y de la humedad del aire. Esto afecta a la distancia máxima de detección.
- La variación de la amplitud del ruido de fondo es función de la frecuencia. Esto puede afectar a la distancia máxima de detección y al tamaño mínimo del objeto a detectar.
- La variación del ángulo del haz ultrasónico. Esto afecta a la máxima distancia de detección y reduce la posibilidad de detectar objetos no deseados.
- La variación de la amplitud del haz reflejado en un objeto es función de la distancia, de la geometría, de la superficie y del tamaño del objeto. Esto afecta a la distancia máxima de detección.

La señal ultrasónica que emite el emisor se refleja en el objeto a detectar y el eco se recibe en el receptor. El receptor está asociado a un circuito electrónico que mide el tiempo que tarda en recibir el eco. La máxima frecuencia de repetición de los trenes de impulsos depende del tipo de sensor y suele variar entre 10 Hz y 150 Hz.

3.2.3.2. Triangulación láser

Un principio en el que se basan muchos sensores de medición de distancia es en el de la triangulación, en donde se involucra un láser, un sensor tipo cámara y un dispositivo DSP (Digital Signal Processing), su nombre se debe a que el punto del láser, la cámara y el emisor láser forman un triángulo. Al emitir un haz de luz láser, y al incidir en un objeto, en la cámara se registra la imagen del reflejo del haz láser, dependiendo de la distancia a la que el láser toque una superficie, el punto del láser aparece en lugares diferentes en el sensor de la cámara, con el procesador de señal digital (DSP) se evalúan los píxeles iluminados y se calcula la distancia al objeto (LAP Laser, 2014).

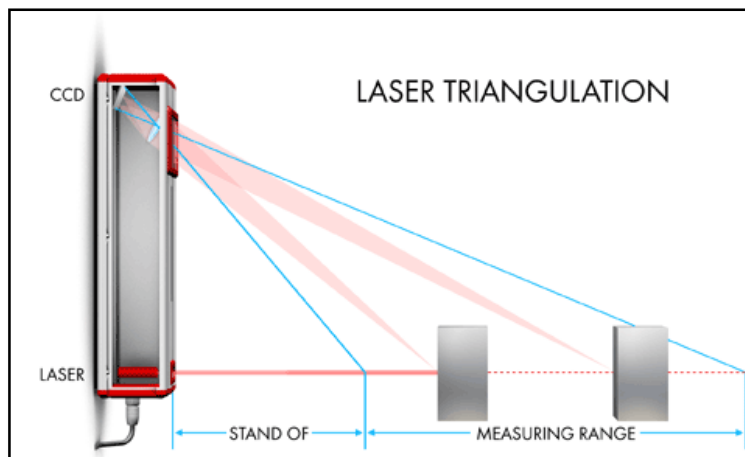


Figura 3.18. Representación del principio de la triangulación láser.

Nota. Fuente: LAP Laser (2014, 04 de Noviembre). *Principios de medición - LAP Laser* Recuperado de <http://www.lap-laser.com/es/industrias-del-metal/productos/ctg-ctlwg/principios-de-medicion/>

3.2.3.3. Tiempo de vuelo

Basándose del concepto de que la luz viaja a una velocidad finita a través de un medio, emitiendo un pulso de luz láser que rebota en un objeto y luego es recibido por un sensor fotosensible, y teniendo el tiempo entre la emisión y el retorno del pulso de luz (tiempo de vuelo), mediante el tiempo de vuelo se puede conocer la velocidad de la onda y así la distancia del objeto al sensor. Estos métodos se utilizan generalmente para largas distancias, como cientos de metros o kilómetros (Escarpa Sánchez).

3.2.3.4. Diferencia de fase

Consiste en la medición de la diferencia de fase entre la luz emitida y la recibida, con dicha diferencia se estima el tiempo de vuelo y por lo tanto la distancia al objeto, esta luz es emitida por un láser continuo (Escarpa Sánchez).

3.2.4. Acondicionamiento de señales

La señal de salida del sensor de un sistema de medición en general se debe procesar de una forma adecuada para la siguiente etapa de operación. La señal puede ser, por ejemplo, demasiado pequeña y tener que amplificarse; podría contener interferencias que eliminar; ser no lineal y requerir linealización; ser analógica y requerir digitalización o viceversa; consistir en un cambio de voltaje y convertirse en un cambio de corriente de magnitud adecuada, etcétera. A todas estas modificaciones se les designa en general con el término acondicionamiento de la señal.

Cuando se tiene un sistema de control digital, y la medición se realiza con un sensor con salida analógica, es necesario convertir esa salida a una forma digital antes de alimentarla al control. El sistema binario se basa sólo en dos símbolos o estados: 0 y 1.

Éstos se conocen como dígitos binarios o bits. Cuando un número se representa por este sistema, la posición del dígito en número indica el peso asignado a cada dígito, pero que aumenta por un factor de 2 al avanzar de derecha a izquierda. En un número binario el bit 0 se denomina bit menos significativo (LSB) y al bit mayor bit más significativo (MSB). La combinación de bits que representa un número se denomina palabra. El término byte se usa para designar un grupo de 8 bits (Bolton, 2006).

La conversión analógica a digital implica la conversión de señales analógicas a palabras binarias. La longitud posible de la palabra determina la resolución del elemento, es decir el cambio más pequeño en la entrada que produce un cambio en la salida digital. El cambio más pequeño en la salida digital es un bit en la posición del bit menos significativo de la palabra, es decir, el bit que está en el extremo derecho. Así, en una palabra con longitud n bits, la entrada analógica a escala total, V_{FS} , está dividida en 2^n piezas, por lo que el mínimo cambio detectable en la entrada, es decir, la resolución, es $V_{FS} / 2^n$ (Bolton, 2006).

3.2.5. Escalamiento

Al pasar por el convertidor A/D una señal analógica lo que se obtiene es una palabra binaria de cierto número de bits, la palabra es un valor en decimal que tiene cierto rango de valores dependiendo de la entrada analógica (ver Tabla 3.3), pero para utilizar esa palabra en el programa como un valor real de la variable medible se debe de aplicar un escalamiento, para la adaptación de los valores de tensión o de corriente que están normalizados en diversos estándares para medir un determinado fenómeno físico. Los sensores en la mayoría de los casos vienen linealizados por el fabricante, para una aplicación en particular, por lo tanto se trabaja con líneas rectas.

Por tanto el valor escalado significara adecuar la variable a medir a su lectura máxima y mínima en el proceso con la salida o entrada análoga y su número de bits respectivos.

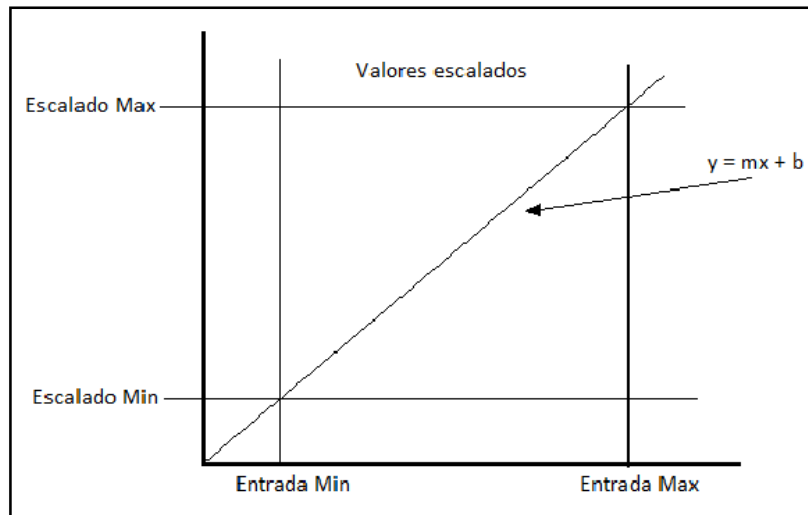


Figura 3.19. Representación matemática del escalamiento.

Nota. Fuente: Autor.

En donde:

- y = salida escalada
- m = pendiente (rate)
- x = valor análogo de entrada
- b = offset

Por consiguiente se tiene que:

$$Rate = \frac{Escalado\ max - Escalado\ Min}{Entrada\ Max - Entrada\ Min} \quad (3.9)$$

$$Offset = Escalado\ Min - (Entrada\ Min * Rate) \quad (3.10)$$

3.2.6. Bandas transportadoras

Las bandas transportadoras son sistemas cuyo objetivo es el de recibir un producto de forma continua para conducirlo a otro punto. Son mecanismos que funcionan solos, introducidos en las líneas de proceso y que no requieren por lo general de un operario que manipule directamente sobre ellos de forma continua.

Estos sistemas para el transporte de objetos están formados por dos poleas que mueven una cinta transportadora, las poleas son movidas por motores, haciendo girar la cinta transportadora y así lograr transportar el material depositado en la misma. Las cintas o bandas transportadoras se usan extensivamente para transportar diferentes tipos de

materiales. Existe una amplia variedad de cintas transportadoras, que difieren en su modo de funcionamiento, medio y dirección de transporte (Ferreira Pereira & Manjarres Rivas, 2009).

Las cintas transportadoras se usan como componentes en la distribución y almacenaje automatizados, combinados con equipos computarizados permiten una distribución más eficiente, permitiendo ahorrar mano de obra y transportar rápidamente grandes volúmenes, ahorrando costes a las empresas (Salinas, 2010).

Componentes generales de una banda transportadora

A continuación se mencionan y describen algunos componentes generales de las bandas transportadoras, está claro que de un diseño a otro, algunos pueden variar (Manjarrez Torres, 2010).

a) Estructura de montaje: la estructura soportante de una cinta transportadora está compuesta por perfiles tubulares o angulares, que se fijan en soportes o torres estructurales apernadas o soldadas en una base sólida.

b) Elementos deslizantes: son los elementos sobre los cuales se apoya la carga, ya sea en forma directa o indirecta, perteneciendo a estos los siguientes:

Cinta o banda: su elección dependerá en gran parte del material a transportar, velocidad, esfuerzo o tensión a la que sea sometida, capacidad de carga a transportar, etc.

Rodillos: generalmente los transportadores que poseen estos elementos incorporados a su estructura básica de funcionamiento, son del tipo inerte, la carga se desliza sobre ellos mediante un impulso ajeno a los rodillos y a ella misma.

Elementos motrices: el elemento motriz de mayor uso en los transportadores es el del tipo eléctrico, variando sus características según la exigencia a la cual sea sometido. Además del motor, las poleas, los engranajes, el motor-reductor, son otros de los elementos que componen el sistema motriz.

c) Elementos tensores: permite lograr el adecuado contacto entre la banda y el tambor motriz, además permite compensar las variaciones de longitud producidas en la banda.

d) Tambor motriz y tambor conducido: la función de los tambores es funcionar como poleas, las que se ubicaran en el comienzo y fin de la cinta transportadora, el tambor

motriz transmite la fuerza tangencial a la banda y el no motriz (conducido) realiza la función de cambio de trayectoria de la banda.

Características de construcción de una banda transportadora

Una banda transportadora es un medio de transporte de material de un punto de inicio a un punto de llegada, para efectuar ese trabajo la cinta requiere potencia, la potencia es proporcionada por el tambor motriz o la polea de conducción, el torque del motor se transforma en fuerza tangencial o también llamada tensión efectiva. La tensión requerida por la correa para mover el material de un punto a otro es la suma de lo siguiente: la tensión que debe vencer la fricción de la correa y de los componentes en contacto con ella, la tensión que debe vencer la fricción de la carga y la tensión que debe aumentar o disminuir debido a los cambios de elevación de la banda transportadora (Ferreira Pereira & Manjarres Rivas, 2009).

3.2.7. Criterios para el estudio económico

Una técnica para evaluar proyectos es la del enfoque del periodo de recuperación de la inversión, es muy aplicada en las empresas debido a su sencillez de los cálculos y a la atractiva dosis de intuición, en donde se mide la rapidez con que la compañía recupera su inversión inicial, el periodo de recuperación de la inversión también considera de manera implícita el momento en que ocurren los flujos de efectivo, por lo tanto, el valor del dinero en el tiempo.

Para evaluar el proyecto se obtienen el valor presente neto (VPN), la tasa interna de rendimiento (TIR) y el periodo de recuperación (PR). El VPN descuenta los flujos de efectivo de la empresa del costo de capital, toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo, usado como criterio para la toma de decisiones si el VPN es mayor que 0, el proyecto se acepta pero si es menor a 0 se rechaza. El TIR de rendimiento que ganará la empresa si invierte en el proyecto y recibe las entradas de efectivo esperadas. Por su parte el periodo de recuperación de la inversión es el tiempo requerido para que una compañía recupere su inversión inicial en un proyecto, calculado a partir de las entradas de efectivo (Gitman & Zutter, 2012).

Capítulo 4 . Procedimiento metodológico

En este capítulo se describen las etapas del método de diseño seguido para llegar a la solución del problema, empezando con su identificación, la recopilación de información relevante, la generación y síntesis de alternativas de solución, así como la implementación y la reevaluación.

4.1. Reconocimiento y definición del problema

La empresa ControlSoft se encarga de brindar soluciones a la medida en el área de la automatización, por medio de la integración de equipos, uno de los proyectos desarrollados fue la máquina dosificadora de grasa, que con la puesta en marcha salió a relucir el problema descrito, ante esto se estaba buscando la forma de solucionarlo, fue cuando eso que se entró en contacto con el Ing. Cesar Barquero y tras unas visitas a la empresa nace la propuesta para el desarrollo del presente proyecto, identificando y definiendo el problema en base a las entrevistas realizadas al Señor Barquero y a los técnicos que ahí laboran.

Es importante mencionar que aunque la máquina este en la empresa, no se pudo observar personalmente el funcionamiento, ya que esta se encuentra fuera de servicio, con los sistemas neumáticos y eléctricos desconectados, por lo tanto no se pudo poner en marcha para ver su funcionamiento real y poder reafirmar el problema, es por ello que para la identificación del mismo, se basó en las entrevistas realizadas y en la manipulación de las partes de la máquina tratando de simular de forma manual el funcionamiento, lo que ayudó a comprender mejor la tarea de la máquina y sus problemas.

4.2. Obtención y análisis de información

En primera instancia la información sobre la máquina y el proceso que realiza fue dada por el Señor Barquero, de modo muy general haciendo una breve descripción de la tarea que realiza, como la realiza y las partes que la conforman, una vez hecho esto, prosiguió a referirse a todos los problemas con que cuenta y los cambios que se le desean realizar para un mejor funcionamiento, con esta entrevista, se identificó el proceso y las partes mas no se detallaron, por lo que se entrevistó al técnico Josué Zúñiga Reyes, que es una de las personas que puso en marcha la máquina, por lo que se logró entrar más en detalle con el funcionamiento de la dosificadora, en la función que desempeña cada

subsistema, al tener el problema ya identificado y con el conocimiento que él tiene sobre la operación de la máquina, se abarcaron todos los pormenores.

Además se hizo una búsqueda a nivel de manuales y catálogos sobre la información de los equipos, sus datos técnicos y de cómo están operando en la máquina.

4.3. Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

Para el planteamiento de alternativas de solución se realizó una investigación bibliográfica, así como entrevistas con el mismo ingeniero y técnicos de la empresa, y con consultas al profesor asesor, para apoyar los conceptos y conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y así poder tomar en cuenta la mayor cantidad de aspectos que encierran el problema y generar alternativas con un buen fundamento.

Las alternativas propuestas se verificaron por medio de la teoría, los cálculos y la simulación 3D en el programa de Inventor 2014, con ello se iban observando los inconvenientes de cada propuesta, viéndose modificadas en el proceso.

Para llegar a la selección de una alternativa se aplicaron varios aspectos en conjunto tales como la complejidad que conlleva su implementación, el costo, el alcance, la precisión y la exactitud.

4.4. Implementación de la solución

Una vez que se ha definido el problema, se han generado las alternativas de solución y se ha hecho la síntesis, se procede a detallar la alternativa seleccionada realizando un análisis a profundidad en donde se valoran las características mecánicas, eléctricas, de control, neumáticas disponibles dentro de la máquina, cuando la alternativa está completamente definida se pasa al proceso de cálculo y la simulación, en donde se generan inconvenientes que hacen que se tenga que modificar, volviéndose un diseño concurrente.

Capítulo 5 . Descripción detallada de la solución

En este capítulo se exponen las alternativas propuestas para la solución del problema, seguido se hace el análisis de las mismas y la selección de la que se considera mejor, para la que se hace una descripción detallada.

5.1. Alternativas de solución

5.1.1. Adaptar al pistón de empuje de las bandejas unas guías

Esta alternativa consiste en implementar al pistón de empuje unas guías laterales, con el propósito de que a la hora de empujar la bandeja, esta sea guiada en una misma línea y no se pueda mover en el eje x, según la conveniencia de ejes definida en la Figura 5.2, en la Figura 5.1 se observa que el pistón tendría una estructura en forma de C, en donde la bandeja debe de entrar ajustadamente para que no se mueva, ver Figura 5.2. Además los bloques de tope con los que cuenta la máquina en la actualidad para detener las bandejas se deben de mantener, esto para controlar la posición con respecto al eje y.

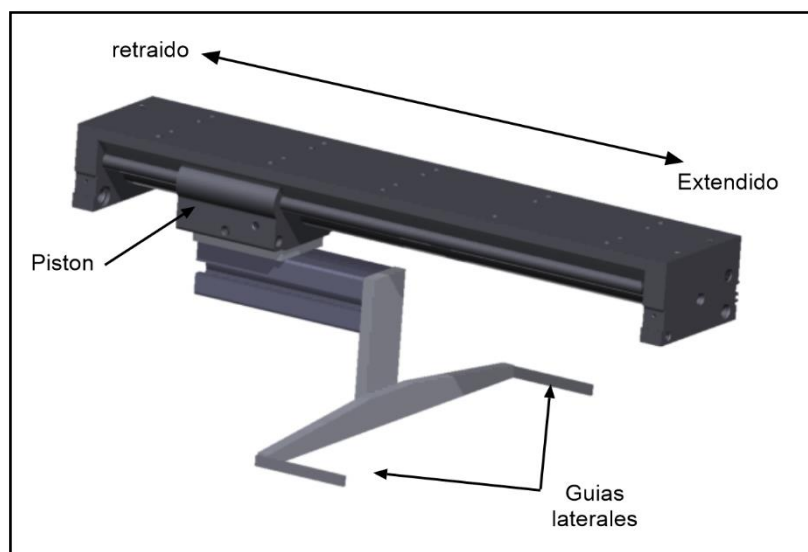


Figura 5.1. Representación de implementar guías al pistón.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

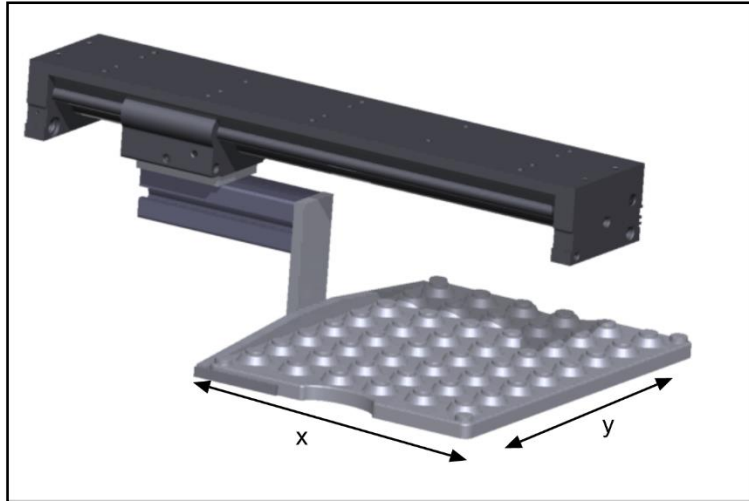


Figura 5.2. Representación del ajuste de la bandeja en las guías laterales.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

El sistema funcionaría de la siguiente manera: una vez que se requiera colocar una bandeja para recibir arandelas, el pistón se encuentra retraído y es extendido empujando una bandeja, su final de carrera se debe de ajustar con los bloques de tope, estos deben de coincidir ya que cuando el pistón llega a su final de carrera y se detiene, al igual la bandeja se debe de detener, por tanto estos deben de estar ajustados, si los topes se ponen antes, se detiene la bandeja antes de que el pistón lo haga, por lo que se produciría un choque, en donde seguramente se dañaría la bandeja, y si se ponen después, la bandeja tendría un espacio en donde se podría mover a la deriva, puesto que desde el punto en que el pistón se detiene y deja de empujar al punto hasta donde estarían los topes la bandeja se puede detener antes o seguir por lo que el movimiento sería impredecible y la posición final variaría de una repetición a otra, y eso es lo que se está tratando de evitar.

Al estar ajustados los topes y el final de carrera del pistón, este se mantendría extendido haciendo una presión mínima a la bandeja contra los topes, limitando que la bandeja se pueda mover con respecto al eje y , y con las guías del pistón que se describieron se limitaría el movimiento con respecto al eje x .

Al pistón se le puede realizar un control automático de velocidad, para que se reduzca progresivamente la velocidad conforme se acerca al final de la carrera y así cuando el pistón llega a su final, la velocidad de la bandeja es mínima y por tanto se vería muy poco efecto de la inercia en el instante de detenerse, reduciendo el efecto rebote.

Para aplicar un control de velocidad al pistón se debe de encontrar el modelo matemático de este para poder diseñar el regulador y además tener una válvula neumática de accionamiento eléctrico en donde se pueda regular el caudal.

Se debe de tomar en cuenta que si se implementan las guías laterales al pistón, se debe de cambiar el sistema de apilar las bandejas, ya que las guías laterales chocarían, por lo que se debe de ampliar el apilador para que las guías puedan pasar o diseñar uno en el que se soporta a las bandejas por el centro y los costados quedan libres, en ambos casos se debe de buscar la manera de tener las bandejas fijas y siempre en la misma posición, debido a que la bandeja debe entrar muy ajustadamente en el espacio que forma el empujador.

5.1.2. Sistema tipo prensa

Para este caso, el sistema de empuje de bandejas se mantiene igual de cómo funciona actualmente, no se le realiza ninguna modificación (ver Figura 5.3), el apilador, el pistón se mantienen igual, él llega y empuja la bandeja y esta se detiene cuando llega a los topes. Lo que se hace es que una vez que la bandeja ha sido empujada y colocada en posición para recibir arandelas sin la precisión y exactitud del sistema actual, es decir la bandeja es colocada pero esta posición varía de una repetición a otra, por lo que la bandeja puede que quede en algunos casos en las coordenadas que se necesita o en otros casos puede que quede desplazada de esas coordenadas, pero eso sí, quedando cercana a la posición deseada, con este sistema que se va a describir, lo que se pretende es eso terminar de ajustar esa posición final.

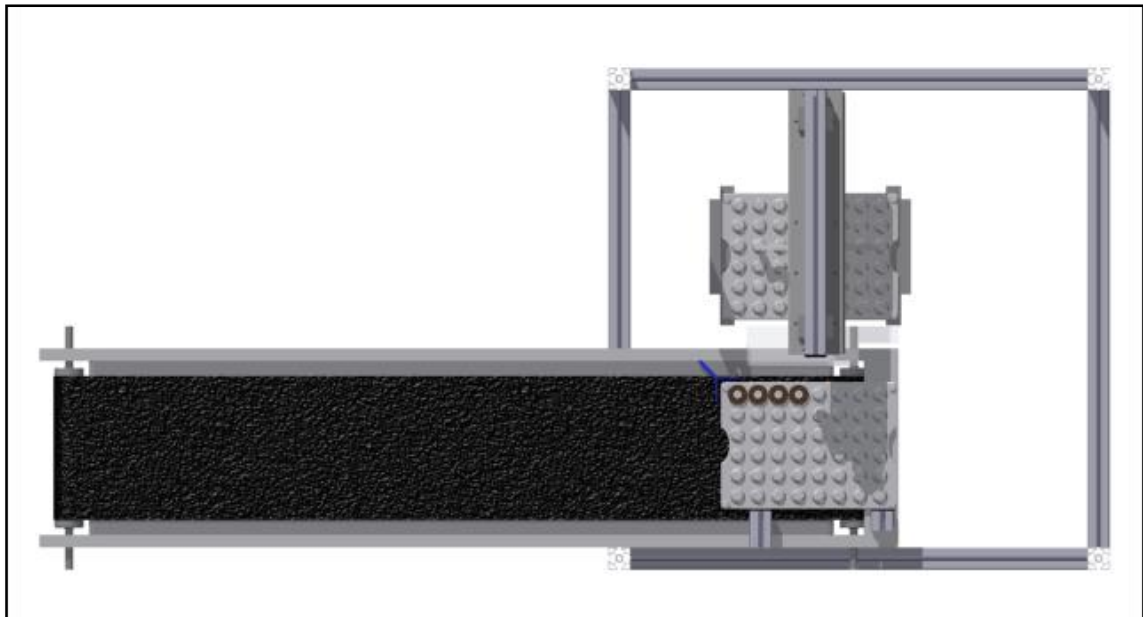


Figura 5.3. Vista superior de la máquina con la prensa.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

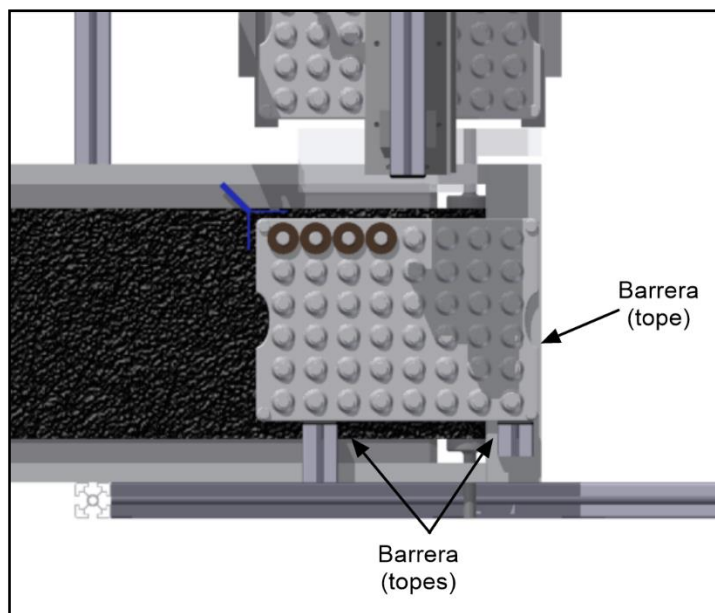


Figura 5.4. Imagen en detalle de la vista superior.

Nota. La pieza en color azul ejemplifica a nivel de idea el sistema tipo prensa sin detalle alguno de todos los componentes que debe de llevar, lo que se pretende con la imagen es representar el principio y el concepto básico de la idea. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

La bandeja cuenta con topes en 2 de sus costados, y los otros 2 quedan libres (ver Figura 5.4) , por lo que con un sistema, con la forma de la pieza en azul, que haga presión en esa esquina de la bandeja se puede ajustar la posición de esta en sus 2 ejes del plano. Cuando la bandeja es colocada por el pistón de empuje, y dejándola cerca de la posición deseada, el nuevo sistema se movería linealmente hasta tocar la bandeja en su esquina correspondiente y llevarla hasta tocar con los topes, formando una especie de prensa que

sujeta la bandeja y la mantiene fija, por lo que se controla y ajusta la posición final de la bandeja. Una vez que la bandeja ha sido llenada con las arandelas, el sistema debe retraerse para liberarla y que esta pueda ser retirada de la máquina por medio de la banda.

La ventaja es que no se debe de realizar ninguna modificación mecánica a los subsistemas actuales, solo se implementa como un complemento independiente, teniendo en cuenta que su control si debe de ser dependiente y trabajar en conjunto. Lo único es que se requeriría un poco más de tiempo para colocar la bandeja de lo que se dura actualmente, ese tiempo sería lo que dure el actuador que llevaría la pieza en azul de la Figura 5.4 para realizar su movimiento lineal correspondiente, si se analiza el movimiento es pequeño, ya que la bandeja está muy cercana a su posición deseada, por lo que el movimiento sería de escasos mm, y además como la bandeja es de plástico, es liviana y la fuerza a aplicar es pocos N.

El movimiento lineal que requiere el sistema se puede lograr con un motor a pasos o servomotor con encoder, con un pistón neumático, o con un actuador lineal servomotor. El motor a pasos da un movimiento muy controlado de posición y velocidad, por lo que sería ideal para este caso, solo que se debe de realizar una conversión de movimiento de rotacional a lineal, lo que incluye engranes, cremalleras y demás piezas de transmisión de movimiento, con el actuador lineal servomotor no se debe de realizar la conversión y se mantiene el control de posición y velocidad, y con el pistón neumático se da movimiento lineal solo que su control es más deficiente.

5.1.3. Implementar una base con el sistema tipo prensa

Esta idea lo que pretende es sacar la banda transportadora de la máquina, implementando una base en el punto para recibir las bandejas. Esta base debe ser capaz de movilizar las bandejas en el momento que estas tienen que ser retiradas de la máquina, igualmente debe de tener un sistema de prensa para sujetar la bandeja y que esta quede en la posición deseada.

Con esto la banda es independiente a la máquina, por lo que la base es la que se encarga de retirar la bandeja fuera de la máquina y una vez fuera puede ser recibida por cualquier otro sistema de transporte que se desee, pudiendo ser igual una banda, pero que no tiene que ir dentro de la máquina ni ser integrada a la misma.

El sistema de empuje de bandejas se mantiene igual, tanto el apilador como el pistón de doble efecto que se encarga de empujarlas.

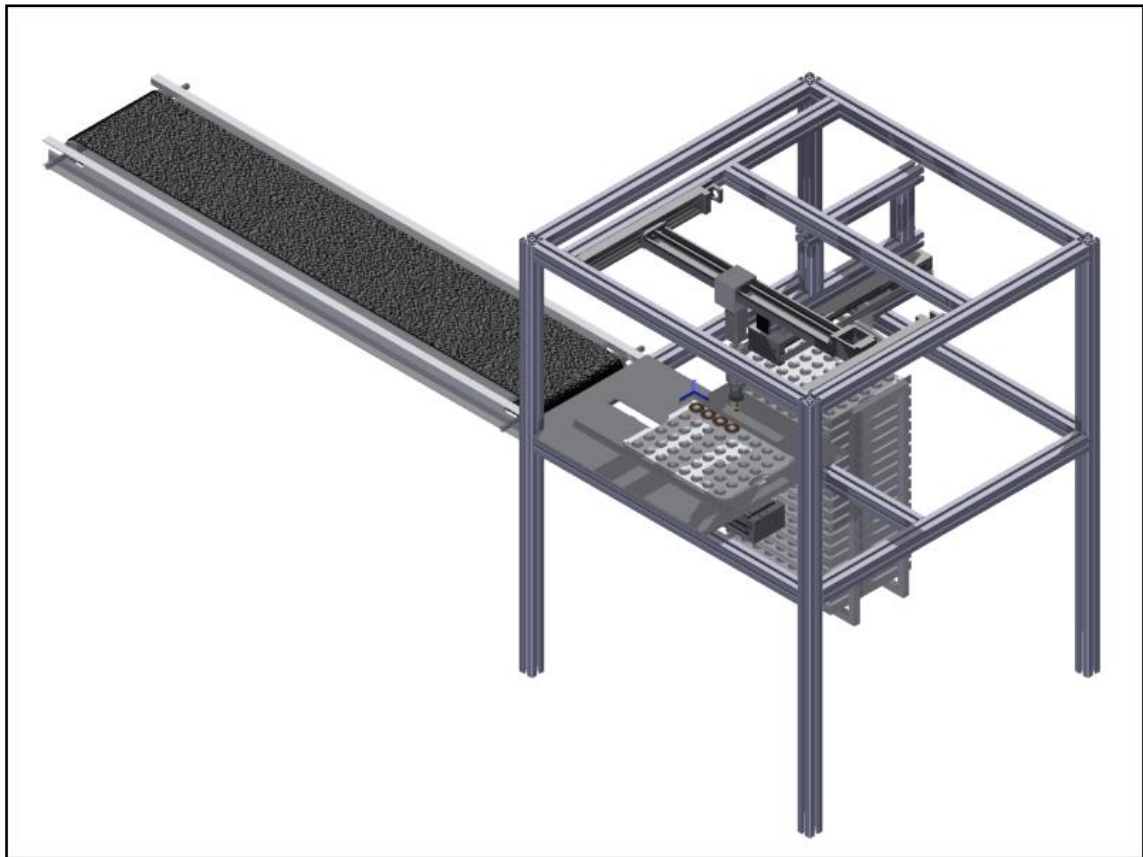


Figura 5.5. Representación general de la máquina con la base.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

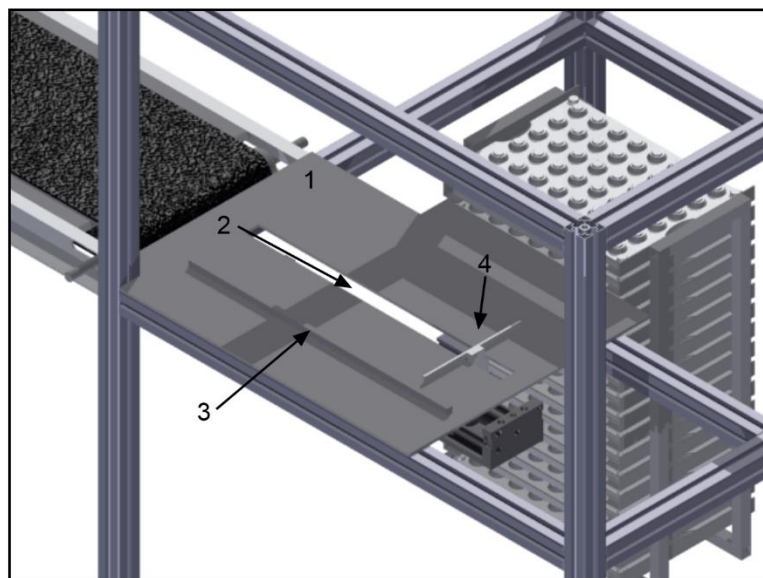


Figura 5.6. Representación en detalle de la base.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

En la Figura 5.6, el número 1 representa la base en donde se coloca la bandeja, el 2 representa la ranura que debe de tener la base para que se pueda movilizar la pieza 4, la cual se encarga de sacar la bandeja de la máquina, esta pieza estaría accionándose por

medio de un pistón neumático o un motor que se ubicaría debajo de la base (ver Figura 5.7), y el numero 3 representa al tope para detener la bandeja cuando es empujada del apilador hacia la base por el pistón.

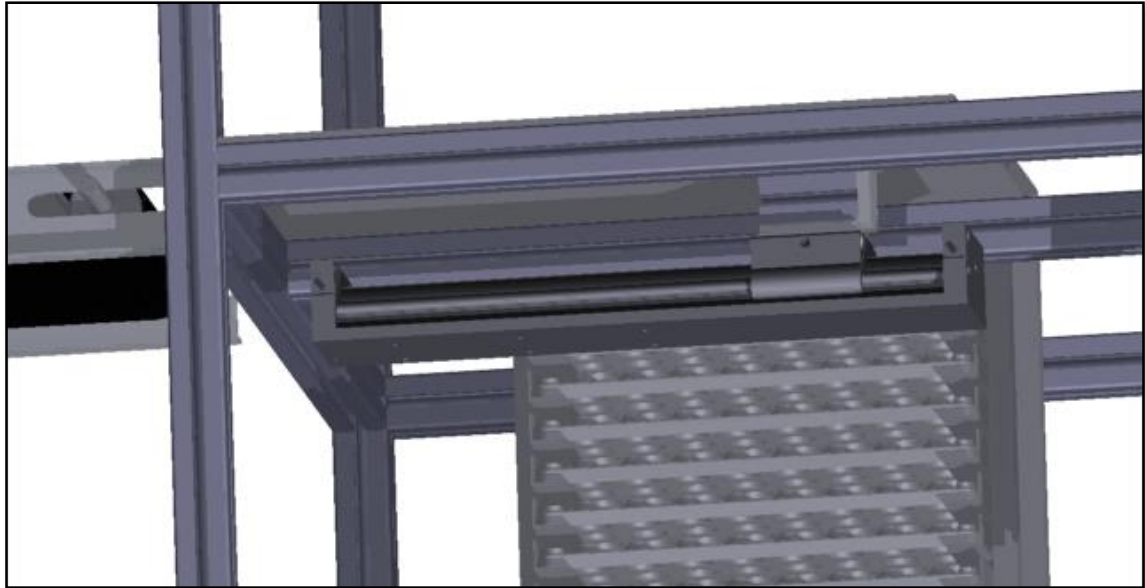


Figura 5.7. Representación en detalle de la parte inferior de la base.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

Adicionalmente el sistema debe de tener un sistema de ajuste de la posición de la bandeja para recibir las arandelas, ya que sin eso el funcionamiento sería igual al actual que tiene la máquina, en donde la bandeja es empujada y detenida por topes, con lo que no se estaría controlando la posición final. Por lo tanto, para controlar la posición final de la bandeja se decide implementar el mismo sistema prensa que se describió en la segunda alternativa de solución, dado que se tienen las mismas condiciones el sistema podría ser implementado, ejemplificándose de manera muy sencilla en la pieza de color azul de la Figura 5.8.

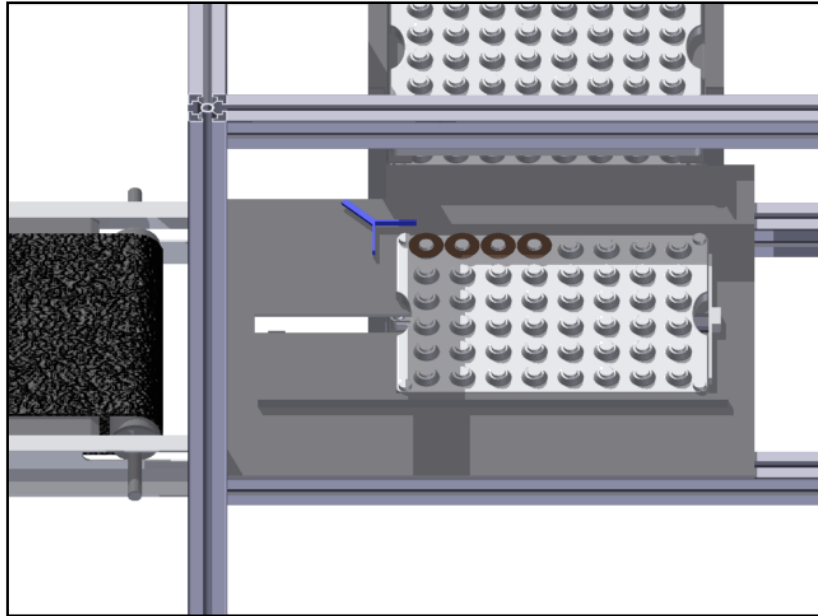


Figura 5.8. Representación de la base y la prensa.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

5.1.4. Sensores con medición de distancia

Esta alternativa consiste en utilizar tres sensores de medición de distancia colocados de la forma que se muestra en la Figura 5.9, con el propósito de obtener las ecuaciones de línea recta de esos dos costados de la bandeja y así determinar la posición con respecto a un punto de referencia. Conociendo la posición de la bandeja, y debido a que los puntos para colocar las arandelas, están distribuidos de manera uniforme en forma de matriz dentro de la bandeja, con separaciones conocidas, dicha posición de esos puntos se puede calcular con las ecuaciones de línea recta, y hacer una corrección de la posición en cada repetición.

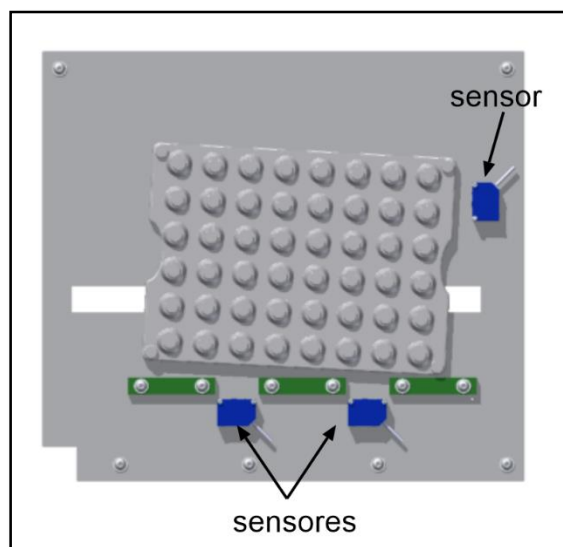


Figura 5.9. Representación de la ubicación los sensores.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

Las ecuaciones de línea recta se podrían definir puesto que la posición de los sensores sería una distancia conocida constante, por lo que se estaría conociendo una coordenada de un punto y con la medida que proporciona el sensor se obtiene la otra coordenada del punto, por consiguiente con la pareja de sensores se conocen dos puntos de la recta y con dos puntos se puede calcular su ecuación, que equivaldría a un costado de la bandeja y con el otro sensor se obtiene la coordenada de un punto de un costado del lado perpendicular al anterior, teniendo la ecuación de la recta de un costado y el punto del otro, por perpendicularidad se calcula la otra ecuación de la recta, y con esas dos ecuaciones se puede describir la posición de la bandeja con respecto a un punto de referencia.

Con este sistema de medición, se obtienen las coordenadas de los puntos en donde se deben colocar las arandelas engrasadas, cada vez que se coloca una bandeja se hace la medición y se establece su posición, por lo tanto no se necesita de un sistema mecánico que ajuste la posición de la bandeja, esta sería colocada de la misma forma que lo hace el sistema actual, sin ningún control de posición solo se empuja y es frenada por los topes, quedando en una posición indefinida, y con el sistema de medición propuesto, esa posición se define y se le establecen esas nuevas coordenadas al brazo que coloca las arandelas.

5.1.5. Sistema de visión

Esta alternativa consiste en instalar un sistema de visión en donde cada vez que una bandeja sea colocada se le determine su posición y se le escriban al manipular 2 las coordenadas para que ubique las arandelas en los puntos correctos.

5.1.6. Transportador de banda

Una alternativa a la banda transportadora es utilizar un transportador de banda plana de un material termoplástico, en donde la banda o cinta forma un lazo, soportada por una estructura de algún material rígido y en cada extremo de la cinta se ubican los rodillos o tambores que la impulsan y le cambian la trayectoria.

5.1.7. Transportador de bandas modulares

Esta otra alternativa consiste en utilizar cintas transportadoras diseñadas y construidas en módulos de plástico y varillas de articulación, siendo accionadas y guiadas con engranajes plásticos, estos módulos se ensamblan en forma de ladrillos alternados

por medio de varillas de articulación de plástico. Todas se construyen alternando en cada hilera las uniones de los módulos de tal modo que sigan un patrón intercalado. Las varillas de articulación no mantienen la banda inflexiblemente de lado a lado, sino que actúan a modo de eje en el movimiento de articulación. La banda resultante de este proceso de construcción es intrínsecamente fuerte, tanto lateralmente, debido al patrón intercalado tipo ladrillo, como longitudinalmente, debido a que la fuerza se reparte sobre articulaciones múltiples (Intralox, 2014).

Su fácil manipulación, limpieza y montaje, una gran longevidad, y una excelente resistencia a la corrosión y la abrasión, el nivel sanitario, la inocuidad, el bajo costo de mantenimiento, además no requiere lubricación y convierte la reparación de las bandas en un proceso más rápido y sencillo, son algunas de las cualidades que presenta este tipo de banda (Habasit, 2014).

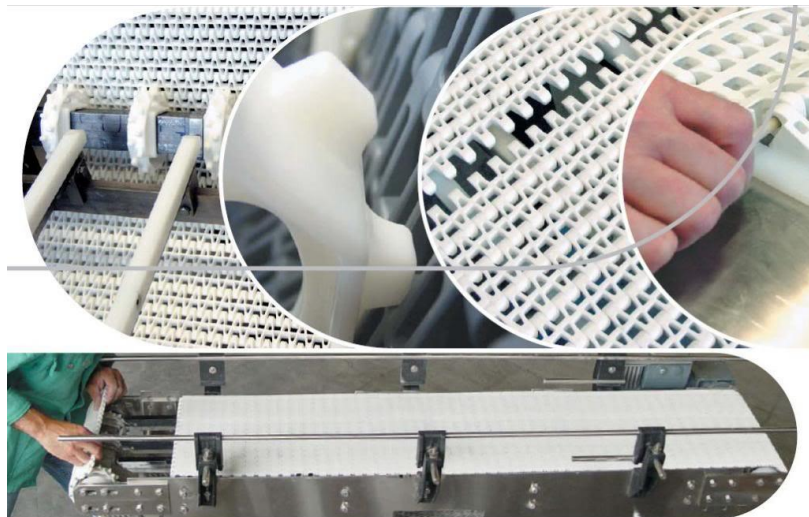


Figura 5.10. Bandas modulares.

Nota. Fuente: Habasit (s. f.). *Bandas modulares* Recuperado de <http://www.habasit.com/es/bandas-modulares.htm>

5.2. Evaluación de las alternativas

Para el caso de la solución de la implementación de las guías al pistón, se trata de atacar el problema desde la raíz, tratando de que el sistema que empuja las bandejas sea el mismo que proporcione la posición final ideal en todas las repeticiones, si bien es cierto, teóricamente parece muy bueno porque el problema se estaría resolviendo desde la raíz de lo que lo produce, pero no necesariamente esta puede ser la mejor solución solo por ese aspecto, se deben de analizar todo lo demás.

Y para este caso al implementar las guías, se debe de cambiar el sistema de apilamiento de las bandejas, ya que estas deben de quedar libres en sus costados para que

el sistema en forma de C pueda encajar con la bandeja y trasladarla. Otro detalle, es que en ese nuevo sistema apilador, las bandejas deben quedar de tal forma que su posición sea invariante de una con respecto a la otra, puesto que la forma en C del pistón empujador lleva un ajuste con el tamaño de la bandeja, un mínimo desplazamiento de la bandeja ocasionaría que no se encaje en la forma del pistón y se empuje de forma tal que no va a quedar en la posición final para recibir las arandelas.

Por lo tanto el apilador debe tener un sistema que fije las bandejas siempre en una misma posición pero que sus costados queden libres, siendo difícil de diseñar un sistemas que haga esto, porque además no se puede obstruir el paso de las bandejas para que sean empujadas o sacadas del apilador, por consiguiente, de cierta manera lo que se estaría haciendo es trasladando el problema principal que tiene la máquina a otro lugar, en este caso al apilador, volviendo la solución aún más compleja.

Una variante de la solución y que ayudaría a minimizar el problema de la fijación de las bandejas en el apilador, es que las guías tengan un mecanismo que les proporcione movimiento pudiéndose ajustar (abriendo y cerrando) formando una prensa, por tanto la posición de la bandeja en el apilador no sería crítico, ya que las guías al tener ese movimiento de ajuste permiten que la bandeja se acomode. Pero lo que si se está claro es que los costados de la bandeja deben quedar libres, por ende el apilador tendría que soportar a las bandejas únicamente por su parte inferior, y debe ir subiendo para que las bandejas alcancen cierta altura y puedan ser retiradas, al tener que soportar las bandejas por su parte inferior e incrementar la altura, su diseño se complica porque no se puede obstruir al pistón empujador.

Otro aspecto es que la posición final de la bandeja para recibir las arandelas, con respecto al eje y, queda definida por el ajuste que se tenga entre el tope y el final de carrera del pistón, y este pistón al ser de accionamiento neumático su paro es brusco, por lo que estaría ocurriendo los mismo que sucede actualmente que se da una especie de rebote, con el control de velocidad al pistón se puede amortiguar ese efecto.

La alternativa de implementar un sistema tipo prensa, presenta la variante de que no se debe realizar ningún cambio al sistema actual, solo se le agrega el nuevo sistema como complemento, para la otra propuesta la única variante es que se saca la banda transportadora de la máquina y se instala una base, pero el funcionamiento de alinear la bandeja es el mismo.

Por todos los cambios que se deben realizar para su implementación y complejidad que encierran, en comparación con las soluciones 2 y 3 se decide descartar la primera alternativa, en vista de que las otras soluciones proporcionan el mismo control de posición, pero haciéndolo de forma más sencilla, sin necesidad de mayores cambios ni mayor complejidad alguna.

En todas estas propuestas la posición de la bandeja es ajustada de forma mecánica, no se tiene una medición de la posición final, de si en verdad la bandeja quedó en la posición correcta, se juega el chance de que por algún mal movimiento de un mecanismo o cambio mínimo en alguna de las condiciones la bandeja puede no quedar en la posición deseada, teniendo solo un ± 0.4 mm de tolerancia en ambos ejes. Y que si por alguna de esas razones la bandeja no llegara a quedar bien posicionada, la máquina no es capaz de darse cuenta que la bandeja está mal, por lo que el brazo no sería capaz de colocar las arandelas. Por tanto, estos sistemas ajustan la bandeja adecuadamente, pero ante cualquier cambio por diversas razones durante el funcionamiento, es posible que ya no operen como se desea, siendo mecanismos un poco tontos, que solo pueden realizar cierta función independientemente de los cambios o el resultado final, siempre van a responder de la misma forma. Por tanto lo único que se podría es complementarlos con sensores de detección, que puedan decir si la bandeja quedó bien o mal, pero con eso solo se tiene una solución binaria, quedando bien no hay ningún problema se sigue con el proceso, pero si queda mal lo único se podría tomar como medida de solución es volver a aplicar el movimiento de ajuste a la bandeja para tratar de que se acomode o si no rechazarla.

Con la solución de medir la distancia de los bordes de la bandeja o la de implementar un sistema de visión, el proceso se vuelve más inteligente, ya que no importa la posición final de la bandeja, esto porque el sistema puede obtener las coordenadas de la posición, entonces si la posición final de la bandeja cambia con respecto a la anterior, el sistema nada más calcula las nuevas coordenadas y el brazo ya no tendría una coordenada fija para colocar las arandelas, sino que es variante de acuerdo a la posición de la bandeja.

El hecho de implementar un sistema de visión, permite tener una precisión y exactitud muy elevada, pero que conlleva tener una iluminación controlada, una cámara y una unidad de procesamiento de la imagen con su programa de control, lo que hace que el costo sea alto y que la solución quede sobredimensionada para el problema que se está resolviendo.

Ante este análisis se decide desarrollar la alternativa de medición de la distancia de los costados de la bandeja, siendo un sistema fácil de implementar, tiene una mayor fidelidad en comparación con los de ajuste mecánico siempre y cuando los sensores de medición tengan alta precisión y exactitud, además le da al sistema una toma de decisión alcanzando mayor grado de especialización.

Además por preferencia del señor Barquero, a la propuesta escogida se le decide agregar la base de la tercera alternativa planteada pero sin el sistema de la prensa, esto porque le pareció más agradable el hecho de que la banda transportadora quede fuera de la máquina y sea independiente, además la base proporciona mejor soporte para la bandeja, quedando firme para que se le coloquen las arandelas.

Como sistema transportador se decide diseñar el de banda plana, ya que el de banda modular presenta muy buenas características que más bien sobrepasan las condiciones del problema, principalmente en cuanto a higiene y mantenimiento, lo que hace que solo la banda sea 10 veces más cara que una banda plana normal, y que además es difícil de conseguir en el país.

5.3. Especificaciones de la solución

5.3.1. Escogencia de la tecnología del sensor de medición

El método de medición de distancia con láser por tiempo de vuelo no se adapta a este problema, ya que sus características permiten hacer mediciones de mucha mayor distancia a la requerida y no es utilizado para mediciones a corta distancia con lo cual es descartado. El método de diferencia de fase permite mediciones cercanas, en general se fabrican para rangos de distancia de varios metros, son menos precisos y más lentos que los de triangulación, por tanto se descarta utilizar sensores con esta tecnología.

El método por ultrasónico tiene muchos factores a considerar para realizar una buena medición y además un factor muy importante para este problema, es que el campo de actuación del ultrasonido es de forma cónica, y la medición se realiza sobre el objeto más próximo en el ángulo de actuación, pero no se especifica que la medición se realice en el centro del cono, por lo que para este caso si se utiliza un sensor con esta tecnología para realizar la medición, al medir un costado de la bandeja inclinado, la medida del sensor va a ser la parte del costado más cercana a él, y no la medida desde su centro, y varía dependiendo de la inclinación del costado, por lo que la medida no es correcta para determinar la ecuación que define a la línea del costado de la bandeja.

Por su parte el método de láser por triangulación tiene el rango de medición requerido, con las ventajas de la medición con ondas de luz que lo hacen un método mucho más rápido y preciso que el ultrasónico, tiene la desventaja de no poder medir superficies reflectantes, pero en este caso la superficie involucrada es opaca, por consiguiente se decide utilizar sensores de medición de distancia con la tecnología de triangulación láser.

El sensor de medición escogido es un sensor de la marca SICK modelo OD1-B035C15125, utiliza como proceso de medición la triangulación láser, tiene un rango de medición de 20 ... 50 mm, con salida analógica de 4 mA ... 20 mA, una resolución de 6 μm y una tensión de trabajo de 12 ... 24 V DC. Los demás datos técnicos se encuentran en la ficha técnica del sensor (ver anexo B.3.1).

Por el rango de medición del sensor, estos se ubicaran a un espacio de 20 mm entre el sensor y la posición más cercana al sensor que puede tomar la bandeja. Con este rango de medición la bandeja puede quedar desplazada 30 mm de la posición a la que debería de quedar, más allá de esa distancia se sale del rango de medición de los sensores por lo que no se podría obtener la medida y por ende calcular las coordenadas. Lo importante es que la distancia de variación de la posición final de la bandeja anda en alrededor de los 10 mm, estando dentro del rango de medición seleccionado y con un factor de seguridad de 3.

5.3.2. Lectura de los sensores y acondicionamiento de la señal

Para realizar la lectura de los sensores se utiliza el módulo de entradas analógicas 1769 IF8, el cual tiene su convertidor A/D, este módulo se configura en el formato de datos de entrada en unidades de medición, en este tipo configuración y como la salida del sensor es de 4 mA...20mA, según la Tabla 3.3 la salida digital que se obtiene es un valor decimal de entre 4 000 a 20 000.

El tener ese tipo de salida se debe de realizar un escalamiento de los datos para convertirlos a valores correspondientes a la distancia y así utilizarlos en el programa de control que hace el cálculo de las coordenadas.

Ese escalamiento de los valores se hace a nivel de software por medio de una ecuación de línea recta, en donde sus valores constantes fueron calculados en las ecuaciones (A.2.13) y (A.2.14). La línea recta que escala los valores queda definida de la siguiente forma:

$$y = 0.001875 x + 12.5$$

(5.1)

Teniendo a x como la salida digital del convertidor A/D y a y como la salida escalada.

Con la implementación de esta ecuación se tiene una salida de los datos en un rango de valores de entre 20 a 50, de esta manera se relacionan 1 a 1 con el valor real de la distancia medida, y se pueden introducir en las formulas respectivas para calcular las coordenadas.

5.3.3. Descripción del proceso de cálculo de las coordenadas

Para esta solución se parte del hecho de que todas las bandejas son iguales, son rectangulares y que tienen una distribución uniforme de los puntos en donde se colocan las arandelas, este supuesto se hace en base a la información brindada por parte de la empresa, en donde las bandejas utilizadas estándar.

Primeramente las variables x_1 , x_2 , y_3 que se observan en la Figura 5.11, son valores constantes que definen la posición de los sensores con respecto a una referencia. Por otra parte las variables y_1 , y_2 , x_3 son valores variables que dependen de la posición de la bandeja y se definen por la salida de la medición de cada sensor, la cual corresponde a la distancia entre el sensor y algún punto de un costado de la bandeja. Por consiguiente las coordenadas (x_1, y_1) y (x_2, y_2) corresponden respectivamente a los puntos 1 y 2, por los cuales pasa la línea recta del costado de la bandeja. Con esas 2 coordenadas se obtiene la pendiente de la recta en la ecuación (A.2.1) y su cruce por el eje y con la ecuación (A.2.2), teniendo esos esos 2 parámetros se define matemáticamente a la recta en la ecuación (A.2.3) correspondiente a ese costado de la bandeja.

Por la rectangularidad de la bandeja, el otro costado en donde se ubica el sensor 3 es perpendicular al anterior, por tanto con la propiedad de la perpendicularidad de las líneas rectas se obtiene la pendiente del costado y con la coordenada (x_3, y_3) propia a un punto de ese costado, con la ecuación (3.5) se define matemáticamente la recta correspondiente al costado de la bandeja, que se muestra en la ecuación (A.2.6).

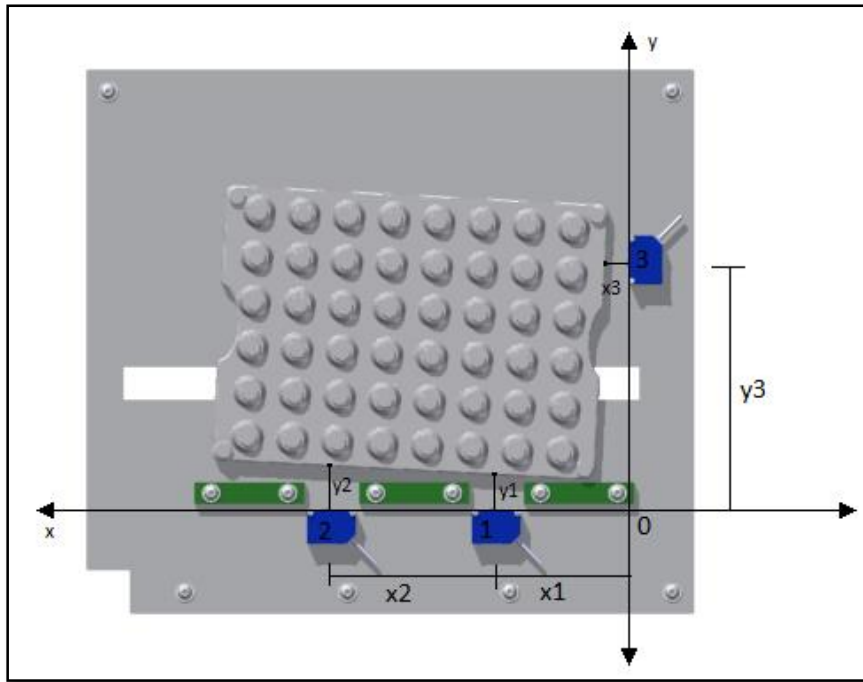


Figura 5.11. Variables asignadas para los puntos que se obtienen con la medición de los sensores.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

Teniendo definidas las dos rectas, se obtiene la paralela a la recta 1 con una distancia d_y , viendo a la bandeja y su distribución de los puntos en donde se colocan las arandelas como una matriz (ver Figura 5.12), la paralela es una recta que pasa por los puntos de la última fila, igual se obtiene la paralela a la recta 2 con una distancia d_x que pasa por los puntos de la última columna, con esas 2 rectas paralelas a las anteriores se obtiene el punto de intersección entre ellas, ese punto de intersección que se obtiene con las ecuaciones (A.2.11) y (A.2.12) equivale a la coordenada para colocar una arandela.

Para las restantes 47 coordenadas se aplica el mismo procedimiento en donde se van calculando las rectas paralelas con la separación correspondiente a como se observa en la Figura 5.12, y se obtienen la intersección entre ellas, de este modo se definen todos los puntos de la bandeja en donde el manipulador 2 debe de colocar las arandelas.

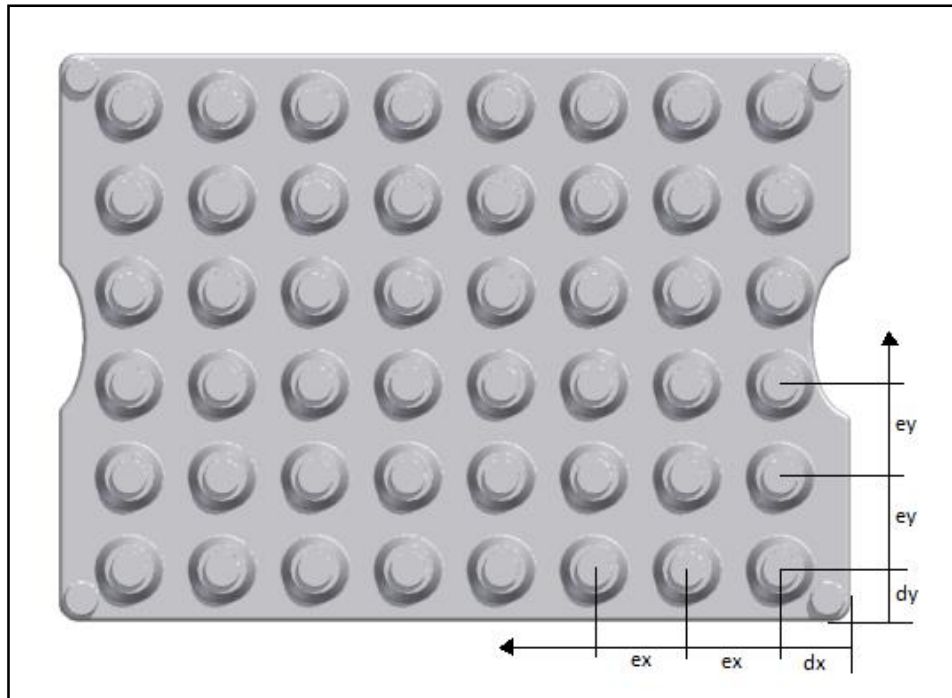


Figura 5.12. Variables asignadas a las distintas dimensiones de la bandeja.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

5.3.4. Programa para el cálculo de las coordenadas

La lógica de control del PLC maestro Schneider M340 no se cambia, ya que el funcionamiento general de la máquina se mantiene igual. Con el sistema de medición propuesto lo que se debe de cambiar es la programación del esclavo, precisamente la subrutina de establecimiento de las posiciones llamada “Posiciones” (ver anexo B.1), las rutina principal y la subrutina de “movimiento ejes” se mantiene igual, no se necesita realizarle ningún cambio.

El algoritmo para el cálculo de las coordenadas se muestra en el apéndice A.1, él recibe valores constantes (x_1 , x_2 , y_3) correspondientes a la distancia de donde se ubican los sensores con respecto a la referencia, y las dimensiones de la bandeja (d_x , e_x , d_y , e_y), además recibe los parámetros variables que son la señal acondicionada de los sensores de medición de distancia y tiene como salida las coordenadas de los 48 puntos en donde se deben de colocar las arandelas.

Para la implementación de la solución los valores constantes correspondientes a la ubicación de los sensores se deben de verificar una vez montados los sensores, ya que estas distancias pueden tener ciertas variaciones.

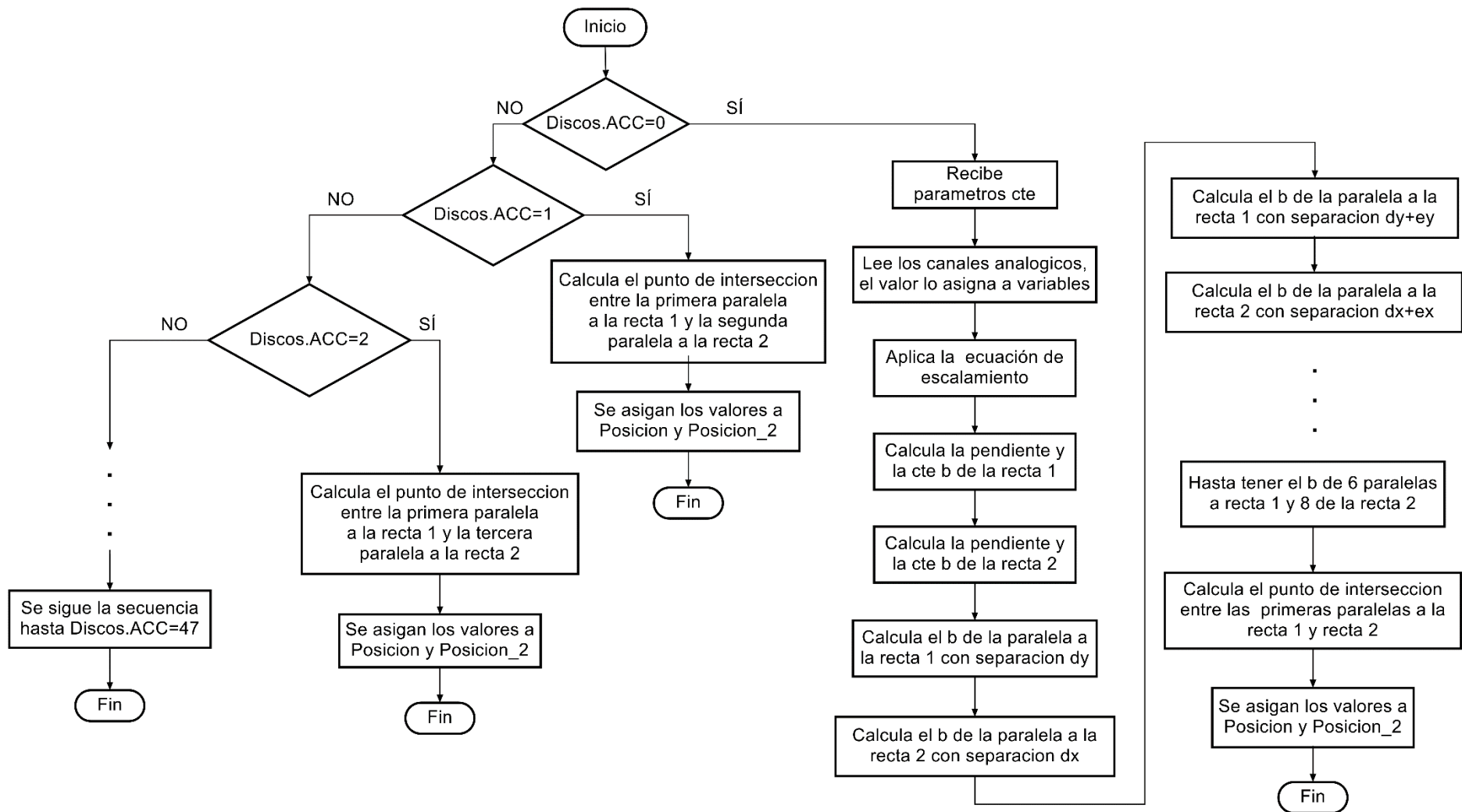


Figura 5.13. Secuencia del algoritmo para cálculo de las coordenadas.

Nota. El significado de los símbolos empleados se puede consultar en el Apéndice A.4. Fuente: Autor.

5.3.5. Elementos del sistema de medición de distancia

A como se ha descrito, la solución involucra sacar la banda transportadora de la máquina y con ello reemplazar el sitio en donde se colocan las bandejas para recibir las arandelas por una base. Esta base es una lámina de aluminio AA 6061 T6511 de 3/8'' con la forma que se muestra en la Figura 5.14 y se detalla en los planos en el apéndice A.3, la base se fija a una estructura de perfiles de aluminio por medio de tornillos allen de cabeza plana M8x1.25x20.



Figura 5.14. Forma de la lámina de aluminio que representa a la base.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

Los perfiles utilizados para la estructura de montaje de la base son perfiles de aluminio número 8 de 40x40 iguales a los que tiene la máquina actualmente es su estructura.

Los topes para detener las bandejas y limitarles el desplazamiento de cuando son empujadas por el pistón que las saca del apilador y las coloca en la base, se maquinan con el mismo tipo de lámina de la base sus dimensiones se detallan en los planos en el apéndice A.3. Estos topes son fijados con tornillos allen de cabeza plana M8x1.25x20 y colocados de la manera que se muestra en la Figura 5.15, en donde se notan 3 topes acomodados en una misma línea y con separaciones de 50 mm entre ellos, para no obstruir el láser de los sensores y que estos puedan realizar las mediciones del costado de la

bandeja y no de los topes. Los sensores son fijados mecánicamente a la base de la manera que se muestra en la misma Figura 5.15 con tornillos allen M3x0.7x16.

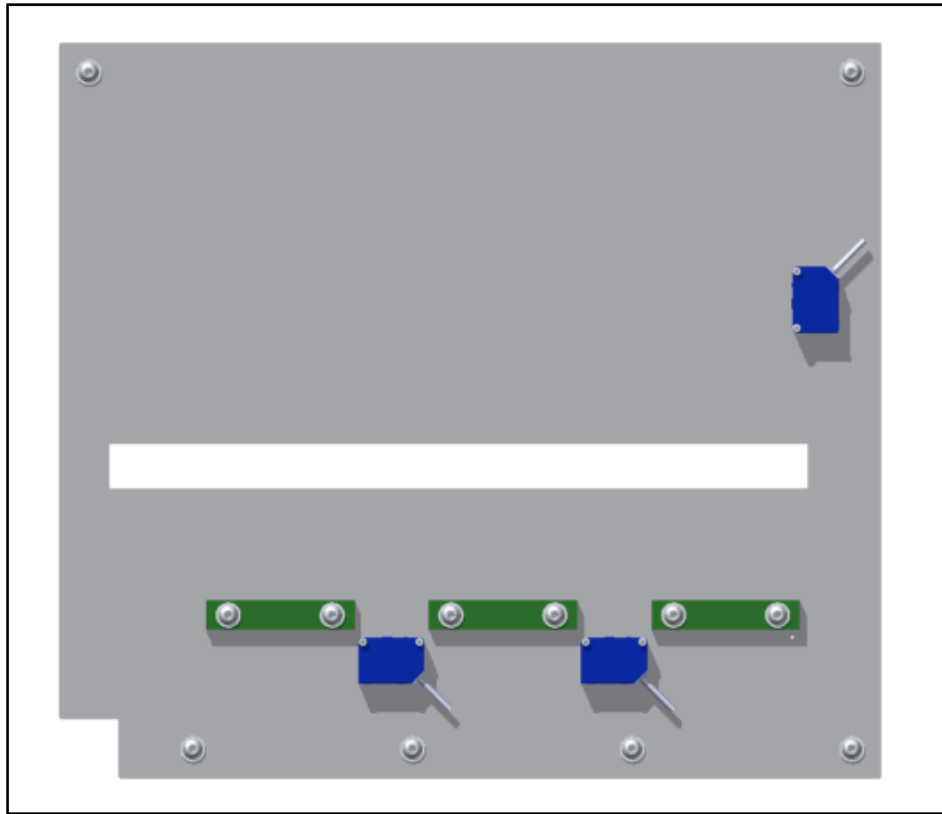


Figura 5.15. Representación de los topes y la distribución de los sensores de medición de distancia.

Nota: las piezas en color verde representan a los topes, este color es nada más para representarlos, pero en realidad son del mismo color del aluminio, las piezas en azul representan a los sensores. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

Para retirar las bandejas una vez llenas de la máquina se utiliza un actuador neumático lineal marca FESTO código DGC-8-520-G-P-A ZUB-F-2G, que se observa en la Figura 5.16, el cual tiene 8 mm de diámetro del embolo, una carrera de 520 mm con amortiguadores de final de carrera en ambos lados. Este actuador es fijado a unas bases con tornillos allen M3x0.5x14, las cuales se atornillan a la estructura de la máquina con tornillos allen de cabeza plana M8x1.25x20.

Además el actuador neumático tiene dos válvulas de estrangulación y antirretorno tipo GRLA-M5-QS-3-D, estas válvulas son para la regulación de caudal, debido a que la velocidad del actuador debe ser ajustada para que a la hora de mover las bandejas, las arandelas no se desacomoden o caigan de la posición de donde han sido colocadas, la velocidad máxima a la cual se puede mover el actuador sin que no desacomoden las arandelas no está definida, por eso la implementación de estas válvulas en el actuador,

que con ellas se regula el caudal de aire que se le suministra y por ende la velocidad con que puede moverse.

Una vez que se monta el sistema estas válvulas deben ser ajustadas para que se produzca el movimiento del actuador a la velocidad óptima para que no se desordenen las arandelas en las bandejas, esta velocidad óptima se obtiene a partir de prueba y error, neumáticamente el actuador se conecta de la forma que se muestra en el apéndice A.3, en dicho plano se muestra una electroválvula 5/2 que es parte de un set de válvulas con que cuenta la máquina.

Al carro del actuador se le adapta el conjunto de piezas, esto porque el actuador neumático se ubica por debajo de la base, y con la ranura que esta posee, esas piezas sobresalen en la parte superior para entrar en contacto con las bandejas y así poder arrastrarlas, retirándolas de la máquina hacia la banda transportadora que se ubica al costado. Las piezas son fijadas al carro por medio de dos tornillos allen de cabeza plana M4x0.7x10.

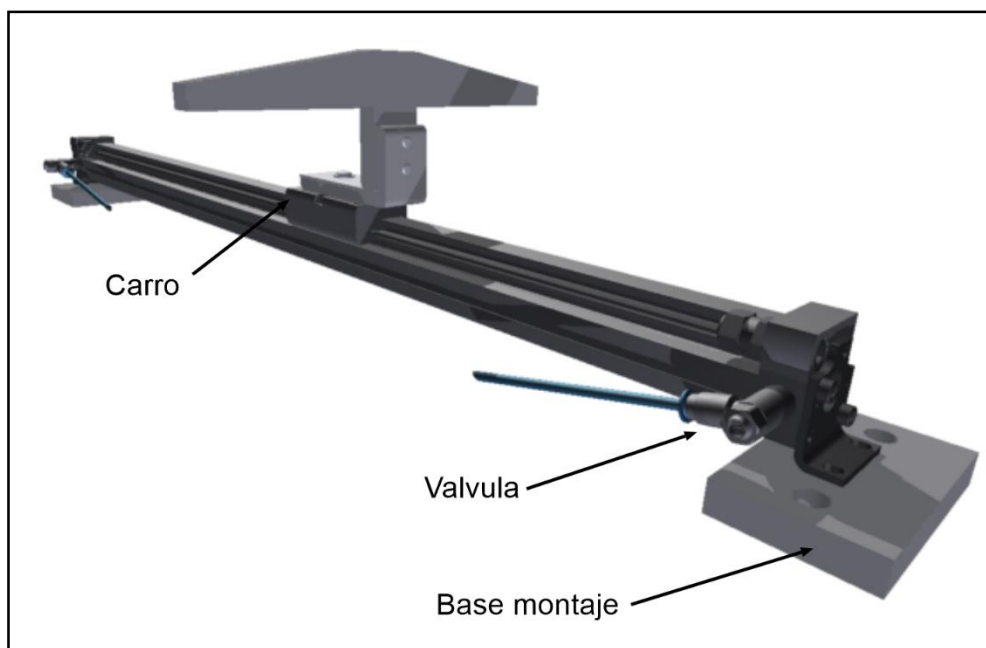


Figura 5.16. Actuador neumático lineal DGC-8-520-G-P-A ZUB-F-2G.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

5.3.6. Banda transportadora

De la banda actual lo que se cambia es la componente mecánica y la ubicación de la misma, ya que su control y funcionamiento se mantiene igual, los sensores difusos se van a reutilizar siendo colocados en las mismas posiciones.

Estructura

La estructura de la banda transportadora esta propuesta en perfiles de aluminio número 8 de 40x40, sujetados entre sí con uniones estándar 8 especiales para ese tipo de perfiles, que le dan la forma que se observa en la Figura 5.17, la estructura tiene unos pies roscados ajustables D40, M8x60 que le permite el contacto con el suelo y tener un rango de altura ajustable en 60 mm, además estos pies tiene unos amortiguadores de goma que ayudan a minimizar las vibraciones y aumentar la fricción con el suelo.



Figura 5.17. Estructura de la banda transportadora.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

Para este caso no se tienen rodillos a lo largo del sistema de transporte, en donde la banda se apoye y deslice, lo que se diseñó para que cumpla esa función son unos cobertores en acero inoxidable que se muestran en la Figura 5.18. Las cual se sujetan a los perfiles de aluminio con tornillos allen de cabeza plana M8x1.25x10.

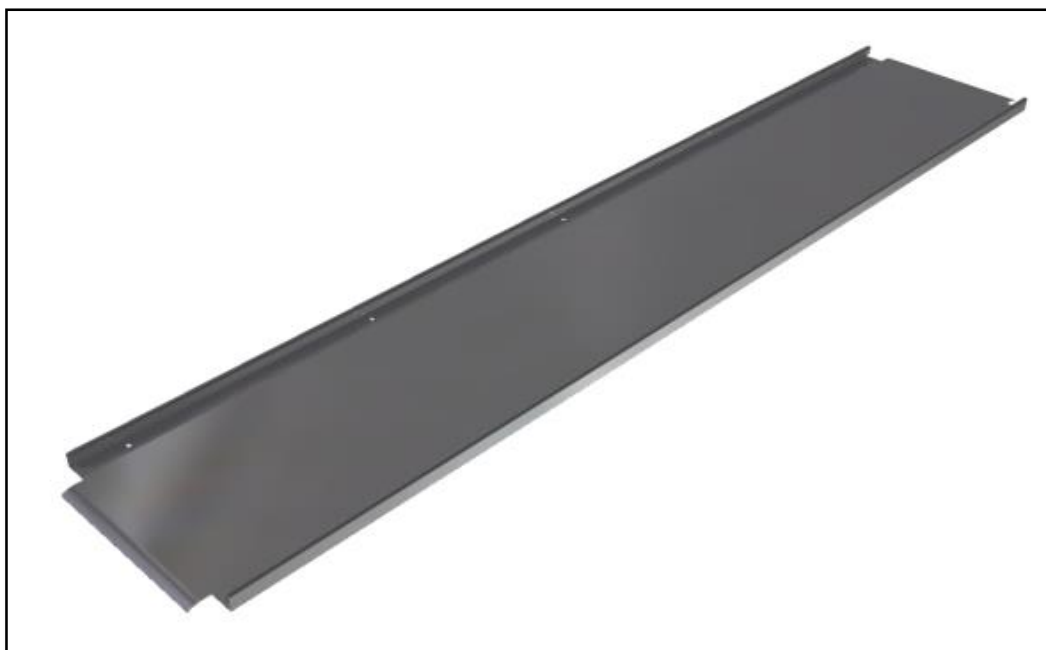


Figura 5.18. Cobertor de la banda transportadora.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

Motor-reductor

La banda transportadora propuesta utiliza el mismo motor-reductor que tiene actualmente la banda de la máquina, y en donde sus datos de placa se muestran en la Tabla 3.1, esto para aprovechar el que esta y no tener que realizar una compra innecesaria. La conexión eléctrica del motor se mantiene igual, lo que cambia es el sistema de transmisión de potencia al eje motriz, ya no se va a realizar por medio de una transmisión por cadena sino que se va a acoplar de forma directa.

Banda

La banda transportadora escogida es una banda Novak 043 N09UF, tiene un ancho de 350 mm, un espesor de 1.3 mm, con dos coberturas la superior de Uretano y la inferior de Tejido Poliéster, sus demás datos técnicos se muestran en el anexo B.3.3.

Eje motriz y eje conducido

Estos ejes son maquinados en acero AISI 1020 a las dimensiones que se muestran en los planos del apéndice A.3.

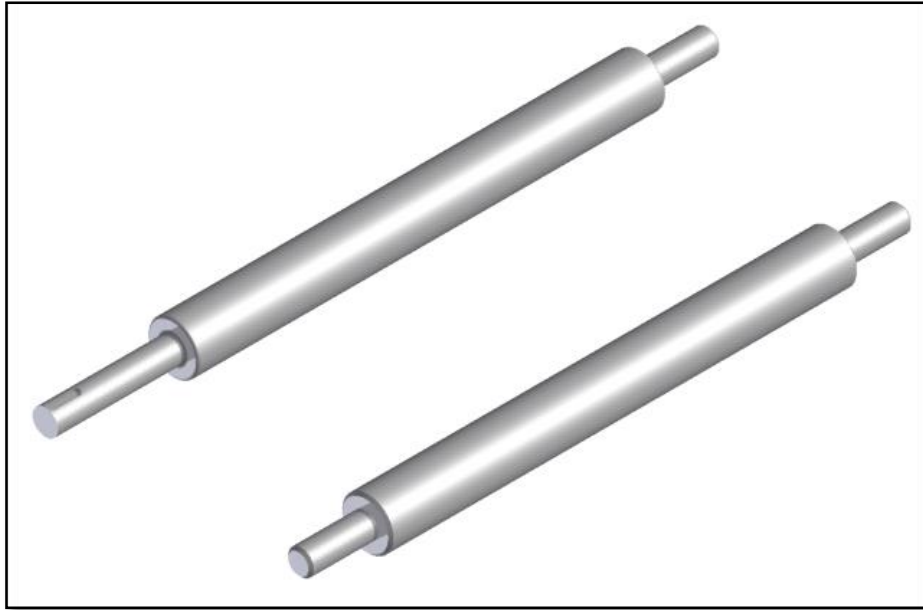


Figura 5.19. Ejes motriz y conducido de la banda transportadora.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

Rodamientos

Los rodamientos seleccionados para los ejes son marca DAYTON de bolas con brida (ver anexo B.3.2).

Estos rodamientos se montan sobre unas piezas que se observan en la Figura 5.20, las cuales se sujetan a la estructura de la maquina con tornillos avellanados M8x1.25x14.

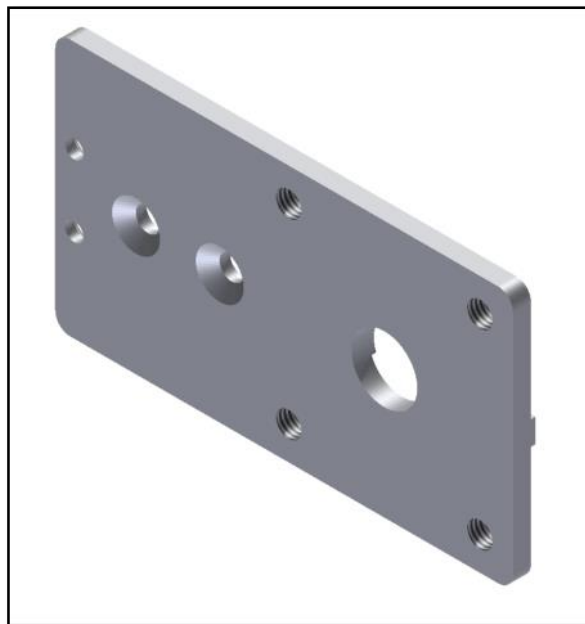


Figura 5.20. Base para montar los rodamientos.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

Elementos tensores

Para ajustar el contacto entre la banda y los tambores, y compensar las variaciones de longitud que pueda sufrir la banda se propone el sistema tensor que se observa en la Figura 5.21, el cual se sujeta a la base en donde se montan los rodamientos y al perfil de la estructura a como se muestra en la Figura 5.22, este sistema solo se implementa del lado del eje conducido.

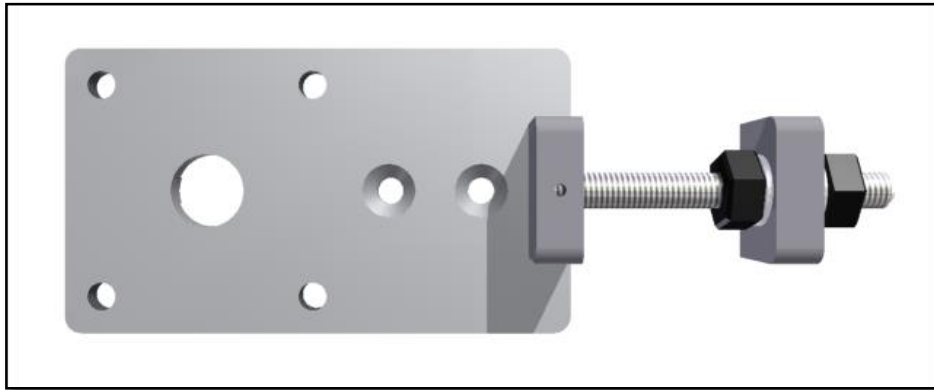


Figura 5.21. Sistema de los elementos tensores.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.



Figura 5.22. Montaje de los elementos tensores.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

Capítulo 6 . Resultados y análisis

Sistema de control de posición

Con la solución propuesta se tiene un sistema que determina la posición de las bandejas por medio de tres sensores de medición de distancia, colocados de tal forma que por medio de ellos se obtienen las coordenadas de 3 puntos, los cuales son suficientes para calcular la posición de la bandeja, y por medio de los conceptos y ecuaciones que rigen a las líneas rectas se obtienen las coordenadas de los 48 puntos en donde el manipulador debe de colocar las arandelas.

El sistema mantiene la forma de cómo se colocan las bandejas actualmente, las cuales pueden quedar en posiciones distintas unas de otras, pero que con el cálculo de las coordenadas y la corrección de las mismas de una repetición a otra, se elimina el problema de tener a una persona que este ajustando la posición final de la bandeja para que el manipulador siempre pueda colocar todas las arandelas en sus lugares respectivos.

El manipulador mantiene su lógica de trabajo, la única diferencia es que ya no tiene las coordenadas para colocar las arandelas con valores constantes, sino que estos son variables a partir de la posición que se determine con el programa de cálculo de las coordenadas.

La limitante que tiene el sistema es que solo permite que las bandejas queden desplazadas un máximo de 30 mm de la posición de referencia.

Además el sistema diseñado saca la banda transportadora que tiene insertada la máquina, que sirve como la base en donde se colocan las bandejas, por una lámina de aluminio que funciona como base firme y de superficie regular para que la bandeja se posicione y que al momento de colocarle las arandelas no se mueva por estar en una superficie irregular a como sucede actualmente con la banda.

Con el actuador neumático lineal ubicado en la parte inferior de la base y con la pieza que sobresale se retira la bandeja y se sitúa en la banda transportadora, la velocidad del actuador es regulada por medio de las válvulas de estrangulación y antirretorno, la cual debe ser ajustada para que las arandelas no se desacomoden de la bandeja durante el movimiento.

En la muestra de cálculo se comprueba que el actuador neumático lineal seleccionado tiene la capacidad de mover la carga requerida con la mínima presión de aire permitido, siendo este de 2.5 bar, con lo que tiene una fuerza de 12 N y la fuerza necesaria para mover la carga es de 10 N, además proporcionándole la máxima presión de aire puede brindar una fuerza de 40.24 N. Bajo las condiciones de operación al cual se va a ver sometido de 2.5 bar y 2 ciclos/min el consumo de aire es de 0.36 dm³/min.

El ensamble del sistema de control de posición propuesto se muestra en la Figura 6.1 y en la Figura 6.2, en donde se representa la ubicación y distribución de todos los elementos que constituyen al sistema y de la estructura de montaje, además en el apéndice A.3 se muestra el diagrama explosivo del ensamble, en el cual se detalla el montaje de todos los elementos que lo constituyen, ahí mismo se especifican las dimensiones y la forma de todas las partes. En la Figura 6.3 se observa la ubicación del sistema en la estructura de la máquina, en donde sus dimensiones están limitadas al campo disponible por la misma.

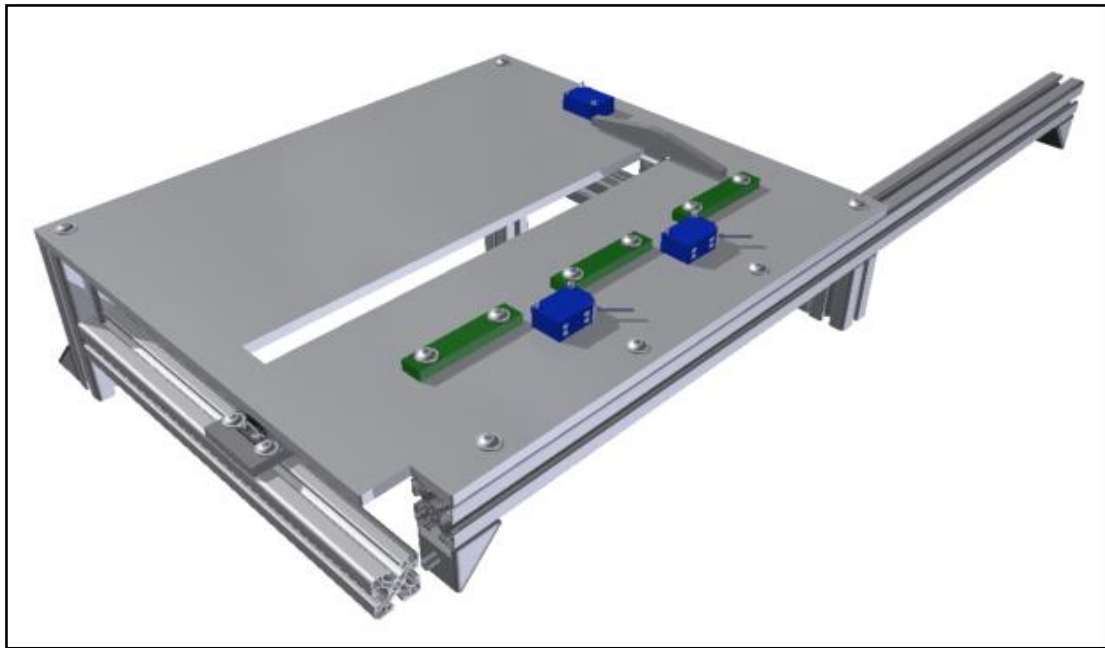


Figura 6.1. Vista del ensamble de todos los componentes del sistema.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

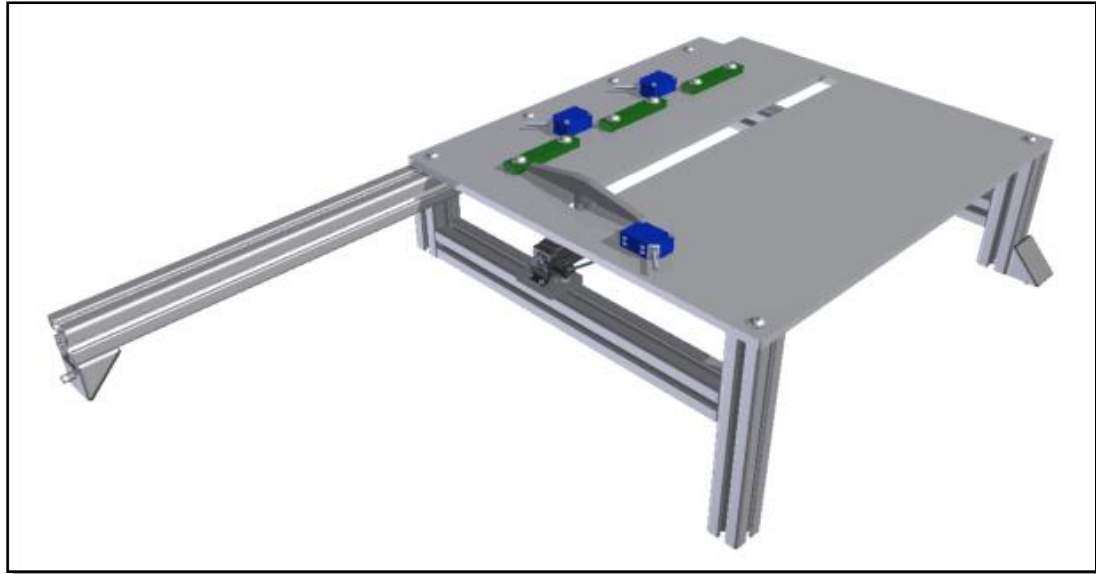


Figura 6.2. Vista contraria del ensamble de todos los componentes del sistema.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.



Figura 6.3. Estructura original de la máquina junto con el sistema diseñado.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

Banda transportadora

La banda diseñada tiene un ancho de 350 mm, con barandas en los costados, una altura de 820 mm con pies regulables en un rango de 60 mm, una longitud de 2 m, utiliza

el mismo motor-reductor que tiene la banda actual, junto con el sensor de proximidad al final de esta para detectar la bandeja. Está diseñada para soportar las cargas máximas de 10 kg, y tener una velocidad de 5.4 cm/s, el ensamble de la banda transportadora diseñada se muestra en la Figura 6.4 y el diagrama en explosivo se observa en el apéndice A.3.

Con la muestra de cálculos se comprueba que los elementos diseñados que componen a la banda transportadora tienen la capacidad de soportar las cargas máximas de transporte según los factores de seguridad obtenidos.

En el caso del motor-reductor su potencia se encuentra muy por encima de lo que se requiere para accionar el sistema transportador, pero se utiliza el mismo por cuestiones de los requerimientos y de no tener que aumentar el costo del proyecto en adquirir otro.

La velocidad de la banda diseñada es de 5.4 cm/s, lo cual implica que disminuyó con respecto a la anterior la cual tiene una velocidad de 8.2 cm/s, pero aun así se encuentra dentro de los requerimientos establecidos, no afectando al proceso de engrase de las arandelas de la máquina.

Con los elementos tensores se asegura la tensión adecuada de la banda, que con el transcurrir del tiempo y del funcionamiento esta puede sufrir elongaciones que se compensan con dichos elementos. La banda escogida tiene la característica de que soporta los aceites, las grasas animal, vegetal y es resistente a la abrasión.



Figura 6.4. Ensamble de la banda transportadora.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

En la Figura 6.5 se muestra el ensamble de la base junto con el sistema de medición de coordenadas y de la banda transportadora en la estructura de la máquina.

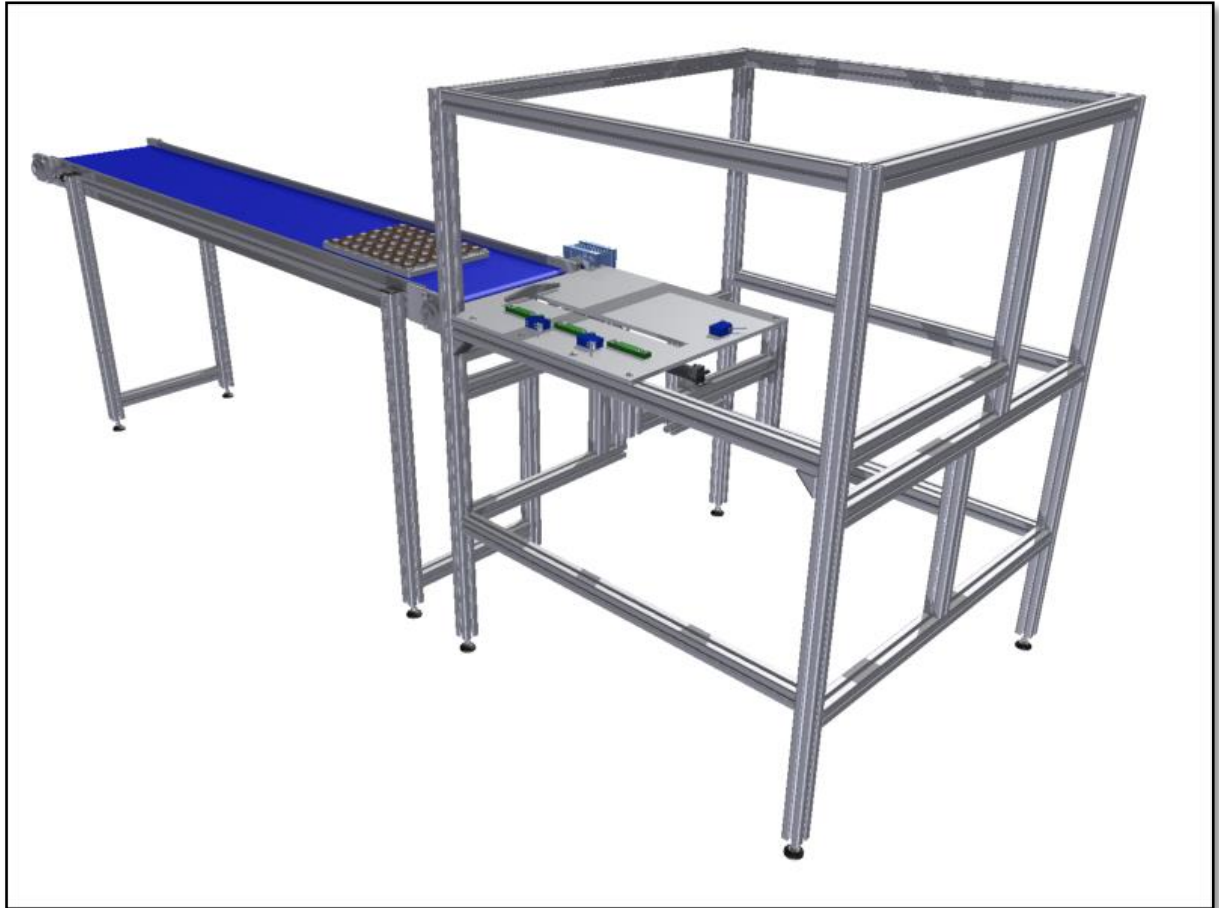


Figura 6.5. Ensamble de la propuesta desarrollada.

Nota. Fuente: Autor, imagen elaborada en Autodesk Inventor 2014.

Costo total de la implementación del proyecto

Para el costo total de la mejora desarrollada se contemplan los costos de adquisición de equipos, materiales utilizados y el maquinado de las piezas requeridas.

Costo de componentes normalizados

A continuación se presenta la tabla de precios de los componentes normalizados de actuación y construcción de la mejora desarrollada.

Tabla 6.1. Precio de las partes normalizadas necesitadas.

Partes normalizadas					
Artículo	Cantidad	Marca	Código	Precio unidad (colones)	Precio total (colones)
Sensor de medición de distancia	3	Sick	OD1-B035C15I25	800000	2400000
Banda transportadora	1	Novak	043 N09UF	64000	64000
Actuador neumático lineal	1	Festo	DGC-8-520-G-P-A ZUB-F-2G	336000	336000
Válvula de estrangulación y antirretorno	2	Festo	GRLA-M5-QS-3-D	16600	33200

Perfil aluminio	2	Item	8 40 x 40 E natural	97200	194400
Pies	4	Item	D40, M8x60	3915	15660
Escuadra	3	Item	8 40 x 40	5590	16770
Tapa negra	4	Item	8 40 x 40	630	2520
Kit de unión estándar 8 mariposa y tornillo	14	Item		1020	14280
T slot nut (chanchillo)	30	Item	8 M8	465	13950
Esparrago con 2 tuercas	2			1620	3240
Tornillos	76	Item	varios	465	35340
Total					3129360

Nota. Fuente: Autor.

Costos de materiales

A continuación se presenta la tabla de los precios de los materiales de construcción necesarios para implementar la mejora desarrollada.

Tabla 6.2. Costo de los materiales necesitados.

Materiales					
Perfil	Dimensión	Material	Cantidad	Precio unitario (colones)	Precio total (colones)
Lámina	3/8" de 560 x 700 mm	Aluminio 6061	1	61000	61000
Lámina	0.009" de 1.22 x 2.44 m	Acero inoxidable	1	55000	55000
Barra redonda	1 1/2" de 500 mm	AISI 1020	1	5600	5600
Total					121600

Nota. Fuente: Autor.

Costos de mano de obra

Para la implementación de la mejora es necesario el maquinado de ciertas piezas no normalizadas, para lo cual en la empresa ControlSoft no se tiene el equipo ni el personal para realizar dicha labor, por lo que es necesario contratar mano de obra especializada, que es la que se contempla en el costo de mano de obra. Para lo que es el montaje no se toma en cuenta este costo, porque para este caso si se cuenta con el personal necesario.

Tabla 6.3. Costo estimado de la mano de obra necesitada.

Mano de obra			
Operador	Horas estimadas	Precio de hora	Precio total (colones)
Mecánico precisión	30	12176	365280

Total	365280
--------------	---------------

Nota. Fuente: Autor.

Con todos los costos que implica la implementación del proyecto se obtiene el costo total o la inversión inicial que se debe de hacer para poderlo llevar a cabo.

Tabla 6.4. Costo total de la implementación de la mejora a la máquina.

Costo total del proyecto en colones	
Partes normalizadas	3129360
Materiales	121600
Operario	365280
Costo	3616240

Nota. Fuente: Autor.

A continuación se realiza un análisis del costo del proyecto y el beneficio a nivel financiero que este puede representar para la empresa por su implementación, analizado a partir del costo de la inversión inicial y el retorno de la misma, estableciendo un escenario que se describe a continuación.

A como se ha mencionado en capítulos anteriores, actualmente se necesita de una persona para que este ajustando la posición final de la bandeja para que el brazo pueda colocar las arandelas en su lugar respectivo, debido a la velocidad de la máquina, implica que la persona que está haciendo el ajuste de la posición solo puede hacer esa labor, ocasionando un costo anual para la empresa mostrado en la Tabla 6.5, en donde se calcula el costo anual de un operador solo por concepto de horas laboradas, sin tomar en cuenta cargas sociales y demás costos que conlleva el salario de un operador.

Tabla 6.5. Costo de horas laboradas por un operario.

Operario	Cantidad	Horas diarias laboradas	Días por semana	Precio hora	Total anual
Operario	1	8	6	1165.24	2908439.04
Total de gasto anual por concepto de salario por operación manual en colones					2908439.04

Nota. Fuente: Autor.

Los flujos netos de efectivo se calcularon utilizando un método de depreciación de línea recta, suponiendo una vida útil de 7 años y una tasa impositiva del 30%. Tomando como ingresos el gasto suprimido por pago de salarios del operador encargado de ajustar la posición final de la bandeja, sin generar gastos más que la inversión inicial y con una inflación anual del 5%.

Calculando el Valor Presente Neto (VPN) definiéndose como la suma de los flujos netos de efectivo descontados a la tasa de costo de capital, menos la inversión inicial, lo cual representa el valor del dinero en el tiempo. Se obtiene un valor VPN de 5,421,481.81 colones, que al ser positivo garantiza a la empresa recuperar lo invertido, pagar el costo de capital sobre los fondos invertidos y generar un excedente o utilidad que aumenta el valor de la empresa. Además para el cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) se toma en consideración los flujos efectivo a lo largo de la vida económica del proyecto, obteniéndose un TIR de 0.57 que al ser mayor a cero asegura que el proyecto es rentable.

Para obtener el periodo de recuperación se utiliza la ecuación (A.2.32), de donde se obtiene un periodo de recuperación de la inversión de 1.62 años, equivalente a 1 año 7 meses y 14 días, implicando que la inversión de implementar el proyecto se recupera transcurrido ese periodo.

Capítulo 7 . Conclusiones y recomendaciones

7.1. Conclusiones

- Se planteó la solución a un sistema que controla la posición de la bandeja, cada vez que es colocada para recibir arandelas, calculando las coordenadas de su ubicación permitiéndole al brazo robótico corregir los puntos en donde debe de colocar las arandelas.
- Matemáticamente y a nivel de las capacidades de los equipos seleccionados se comprueba que a partir de las coordenadas de tres puntos se puede determinar la posición de las bandejas.
- La medición de distancia por el método de triangulación laser proporciona una medida puntual correspondiente al diámetro del láser que anda en el orden de los micrómetros, aparte de que es muy estable, mientras que la medida por medio de la técnica de ultrasonido se ve afectada por múltiples factores, en donde el ángulo de actuación del ultrasonido es en forma de cono, por lo que la mejor opción ante las condiciones dadas de lo que se requiere es la medición por triangulación laser.
- Con la muestra de cálculos se comprueba que la banda transportadora diseñada soporta la carga máxima de operación a la que se puede ver sometida en el proceso, siendo capaz de transportar las bandejas llenas de arandelas engrasadas, ajustándose a las condiciones de la máquina y a las modificaciones estructurales propuestas.
- Con el estudio financiero se comprueba que la empresa va a poder recuperar el capital invertido, por medio del cual se asegura que el proyecto es rentable, teniendo una recuperación de la inversión inferior a 2 años, a partir de las ganancias percibidas por la sustitución de un colaborador, que puede ser reasignado a otras labores.

7.2. Recomendaciones

- Buscarle otra utilidad al motor de la banda transportadora en donde tenga mayores exigencias de acuerdo a sus capacidades, y a la banda se le instale otro motor con capacidades que se ajusten a las condiciones máximas de operación de la misma, para que se dé un menor consumo de potencia.

- Agrandar el apilador de bandejas, hasta el límite de espacio permitido, para que se puedan colocar más bandejas y la frecuencia con que se debe de estar interviniendo la máquina para colocar bandejas vacías disminuya y se aproveche en su totalidad el espacio.
- Reducir el espacio entre las estaciones por las cuales debe de pasar la arandela, para que el brazo robótico tenga que realizar recorridos más cortos y por ende aumentar la velocidad de producción de arandelas engrasadas.
- Cambiar el diseño del apilador de arandelas para que el manipulador 2 pueda tomar las arandelas directamente desde él y no se necesite del manipulador 1 para que tome las arandelas las coloque en la base respectiva y de ahí las pueda tomar el manipulador 2.
- Realizar las simulaciones de la programación propuesta, por medio de algún Software de simulación de PLC, antes de realizar la implementación, para verificar el correcto funcionamiento de la mejora.

Bibliografía

- Acevedo, J. M. (Marzo de 2013). Sensores de posición: proximidad y desplazamiento. *Automática e instrumentacion*(449), 41-54.
- Allen-Bradley Rockwell Automation. (s.f.). *Instrucciones de instalación Sevovariadores de indexado Kinetix 300 EthertNet/IP*. Obtenido de http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/2097-in008_-es-p.pdf
- Allen-Bradley Rockwell Automation. (s.f.). *Instrucciones generales de los controladores Logix 5000*. Obtenido de http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1756-rm003_-es-p.pdf
- Allen-Bradley Rockwell Automation. (s.f.). *Manual de usuario Módulos analógicos Compact I/O*. Obtenido de http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1769-um002_-es-p.pdf
- Arias Jaramillo, J. J. (2011). Puesta en operacion del sistema de control de movimiento de la arquitectura de automatizacion Rockwell Automation. *Tesis de Licenciatura*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Pontifica Bolovariana. Obtenido de repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/.../1291/.../digital_20470.pdf
- Beer, F., Johnston, R., DeWolf, J., & Mazurek, D. (2010). *Mecánica de materiales* (5ta ed.). China: McGrawHill.
- Bolton, W. (2006). *Mecatrónica. Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica*. México: Alfaomega.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (9na ed.). México: McGrawHill.
- Contreras, J. V. (05 de Octubre de 2014). *Mathemathykass*. Obtenido de <http://jvcontrerasj.com/documents/GENERALIDADESDELALINEARECTA.pdf>

- Creus, A. (2011). *Neumática e hidráulica* (2da ed.). Colombia: Alfaomega.
- Escarpa Sánchez, F. J. (s.f.). *Introducción a los sistemas de medición tridimensional con láser*. Madrid: Santiago & Cintra Ibérica S.A. Obtenido de http://www.disa.bi.ehu.es/spanish/asignaturas/17223/Intro_medicion_laser.pdf
- Ferreira Pereira, S. A., & Manjarres Rivas, D. A. (Julio de 2009). Control de una banda transportadora por medio de un variador de velocidad. *Tesis de Licenciatura*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana. Obtenido de http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/540/1/digital_17980.pdf
- Gitman, L., & Zutter, C. (2012). *Principios de administración financiera*. México: Pearson.
- Habasit. (12 de Agosto de 2014). *Habasit*. Obtenido de Directrices técnicas HabasitLINK-Bandas Modulares: http://suministrospalazon.com/catalogos/bandas_modulares/Guia_tecnica_HabasitLink.pdf
- Intralox. (19 de Agosto de 2014). *Intralox*. Obtenido de Manual de ingeniería de la bandas transportadoras: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fintralox.com%2FWorkArea%2FDownloadAsset.aspx%3Fid%3D4973&ei=oeYxVI7KL42qggSw84BY&usq=AFQjCNEXnTWTLkPT_sHIre3tAVgto_rKqg&sig2=KSxxcyIPhavOd9zmHjYiLg
- LAP Laser. (05 de Octubre de 2014). *LAP Laser*. Obtenido de <http://www.lap-laser.com/es/industrias-del-metal/productos/ctg-ctlwg/principios-de-medicion/>
- Larson, R., & Hostetler, R. (2008). *Precálculo*. China: Editorial Reverté.
- Manjarrez Torres, C. D. (2010). Diseño de una banda transportadora y del control de velocidad del motor que genera su movimiento. *Tesis de Licenciatura*. Bogota D. C, Colombia: Universidad de San Buenaventura. Obtenido de <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/65986.pdf>
- Mott, R. (2004). *Diseño de elementos de máquina* (4ta ed.). México: Prentice-Hall.

Reyes, F., & Vargas, J. (2013). *Mecatrónica. Control y automatización*. México: Alfaomega.

Salinas, M. (2010). Diseño y construcción de una banda transportadora. *Tec-Magazine*, 1(3), 117-131. Obtenido de <http://www.itstepeaca.edu.mx/e-magazine/vol1,%20num%203/banda.pdf>

Schneider Electric. (2014). *Modicon M340 automation platform*.

Apéndices

Apéndice A.1. Algoritmo para el cálculo de las coordenadas.

```
if Discos=0 then
  x1:=(110.4);
  x2:=(260.6);
  y3:=217.4;
  dy:=23;
  dx:=-31;
  ey:=41;
  ex:=-41;

sensor1, sensor2, sensor3: es la variable que se asigna a los canales analógicos.
y1:=0.001875*sensor1+12.5;
y2:=0.001875*sensor2+12.5;
x3:=(0.001875*sensor3+12.5);

if abs(y2-y1)>0.01 then
  m12:=(y2-y1)/(x2-x1);
  b12:=y2-(m12*x2);
  m3:=-1/m12;
  b3:=-(x3)*m3+y3;

  var1:=b12-(dy*SQRT((m12**2)+1));
  var2:=b12-(-(dy)*SQRT((m12**2)+1));
  if var1>var2 then
    bpx1:=var1;
  else
    bpx1:=var2;
  end_if;

  var3:=b3-(dx*SQRT((m3**2)+1));
  var4:=b3-(-(dx)*SQRT((m3**2)+1));
  if y2>=y1 then
    if var3>var4 then
      bpy1:=var3;
    else
      bpy1:=var4;
    end_if;
  else
    if var3>var4 then
      bpy1:=var4;
    else
      bpy1:=var3;
    end_if;
  end_if;

  dy:=dy+ey;
  dx:=dx+ex;
  var1:=b12-(dy*SQRT((m12**2)+1));
  var2:=b12-(-(dy)*SQRT((m12**2)+1));
  if var1>var2 then
    bpx2:=var1;
  else
    bpx2:=var2;
  end_if;

  var3:=b3-(dx*SQRT((m3**2)+1));
  var4:=b3-(-(dx)*SQRT((m3**2)+1));
  if y2>=y1 then
    if var3>var4 then
      bpy2:=var3;
```

```

else
    bpy2:=var4;
end_if;
else
    if var3>var4 then
        bpy2:=var4;
    else
        bpy2:=var3;
    end_if;
end_if;

dy:=dy+ey;
dx:=dx+ex;
var1:=b12-(dy*SQR((m12**2)+1));
var2:=b12-(-(dy)*SQR((m12**2)+1));
if var1>var2 then
    bpx3:=var1;
else
    bpx3:=var2;
end_if;

var3:=b3-(dx*SQR((m3**2)+1));
var4:=b3-(-(dx)*SQR((m3**2)+1));
if y2>=y1 then
    if var3>var4 then
        bpy3:=var3;
    else
        bpy3:=var4;
    end_if;
else
    if var3>var4 then
        bpy3:=var4;
    else
        bpy3:=var3;
    end_if;
end_if;

dy:=dy+ey;
dx:=dx+ex;
var1:=b12-(dy*SQR((m12**2)+1));
var2:=b12-(-(dy)*SQR((m12**2)+1));
if var1>var2 then
    bpx4:=var1;
else
    bpx4:=var2;
end_if;

var3:=b3-(dx*SQR((m3**2)+1));
var4:=b3-(-(dx)*SQR((m3**2)+1));
if y2>=y1 then
    if var3>var4 then
        bpy4:=var3;
    else
        bpy4:=var4;
    end_if;
else
    if var3>var4 then
        bpy4:=var4;
    else
        bpy4:=var3;
    end_if;
end_if;

dy:=dy+ey;
dx:=dx+ex;
var1:=b12-(dy*SQR((m12**2)+1));
var2:=b12-(-(dy)*SQR((m12**2)+1));

```

```

if var1>var2 then
    bpx5:=var1;
else
    bpx5:=var2;
end_if;

var3:=b3-(dx*SQRT((m3**2)+1));
var4:=b3-(-(dx)*SQRT((m3**2)+1));
if y2>=y1 then
    if var3>var4 then
        bpy5:=var3;
    else
        bpy5:=var4;
    end_if;
else
    if var3>var4 then
        bpy5:=var4;
    else
        bpy5:=var3;
    end_if;
end_if;

dy:=dy+ey;
dx:=dx+ex;
var1:=b12-(dy*SQRT((m12**2)+1));
var2:=b12-(-(dy)*SQRT((m12**2)+1));
if var1>var2 then
    bpx6:=var1;
else
    bpx6:=var2;
end_if;

var3:=b3-(dx*SQRT((m3**2)+1));
var4:=b3-(-(dx)*SQRT((m3**2)+1));
if y2>=y1 then
    if var3>var4 then
        bpy6:=var3;
    else
        bpy6:=var4;
    end_if;
else
    if var3>var4 then
        bpy6:=var4;
    else
        bpy6:=var3;
    end_if;
end_if;

dx:=dx+ex;
var3:=b3-(dx*SQRT((m3**2)+1));
var4:=b3-(-(dx)*SQRT((m3**2)+1));
if y2>=y1 then
    if var3>var4 then
        bpy7:=var3;
    else
        bpy7:=var4;
    end_if;
else
    if var3>var4 then
        bpy7:=var4;
    else
        bpy7:=var3;
    end_if;
end_if;

dx:=dx+ex;
var3:=b3-(dx*SQRT((m3**2)+1));

```

```

var4:=b3-(-(dx)*SQRT((m3**2)+1));
if y2>=y1 then
    if var3>var4 then
        bpy8:=var3;
    else
        bpy8:=var4;
    end_if;
else
    if var3>var4 then
        bpy8:=var4;
    else
        bpy8:=var3;
    end_if;
end_if;

posicion:=(bpy1-bpx1)/(m12-m3);
posicion_2:=m12*posicion+bpx1;

else
    dy:=23;
    dx:=-31;
    ey:=41;
    ex:=-41;
    posicion:=x3+dx;
    posicion_2:=y1+dy;
end_if;

elseif Discos=1 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy2-bpx1)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx1;
    else
        dx:=dx+ex;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

elseif Discos=2 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy3-bpx1)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx1;
    else
        dx:=dx+ex;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

elseif Discos=3 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy4-bpx1)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx1;
    else
        dx:=dx+ex;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

elseif Discos=4 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy5-bpx1)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx1;
    else
        dx:=dx+ex;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

```

```

elseif Discos=5 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy6-bpx1)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx1;
  else
    dx:=dx+ex;
    posicion_2:=y1+dy;
    posicion:=x3+dx;
  end_if;

elseif Discos=6 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy7-bpx1)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx1;
  else
    dx:=dx+ex;
    posicion_2:=y1+dy;
    posicion:=x3+dx;
  end_if;

elseif Discos=7 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy8-bpx1)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx1;
  else
    dx:=dx+ex;
    posicion_2:=y1+dy;
    posicion:=x3+dx;
  end_if;

elseif Discos=8 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy1-bpx2)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx2;
  else
    dy:=dy+ey;
    dx:=-31;
    posicion_2:=y1+dy;
    posicion:=x3+dx;
  end_if;

elseif Discos=9 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy2-bpx2)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx2;
  else
    dx:=dx+ex;
    posicion_2:=y1+dy;
    posicion:=x3+dx;
  end_if;

elseif Discos=10 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy3-bpx2)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx2;
  else
    dx:=dx+ex;
    posicion_2:=y1+dy;
    posicion:=x3+dx;
  end_if;

elseif Discos=11 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy4-bpx2)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx2;
  else
    dx:=dx+ex;

```



```

                posicion_2:=y1+dy;
                posicion:=x3+dx;
            end_if;
elseif Discos=12 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy5-bpx2)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx2;
    else
        dx:=dx+ex;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

elseif Discos=13 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy6-bpx2)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx2;
    else
        dx:=dx+ex;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

elseif Discos=14 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy7-bpx2)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx2;
    else
        dx:=dx+ex;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

elseif Discos=15 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy8-bpx2)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx2;
    else
        dx:=dx+ex;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

elseif Discos=16 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy1-bpx3)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx3;
    else
        dy:=dy+ey;
        dx:=-31;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

elseif Discos=17 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy2-bpx3)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx3;
    else
        dx:=dx+ex;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

elseif Discos=18 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then

```

```

                posicion:=(bpy3-bpx3)/(m12-m3);
                posicion_2:=m12*posicion+bpx3;
            else
                dx:=dx+ex;
                posicion_2:=y1+dy;
                posicion:=x3+dx;
            end_if;
        elsif Discos=19 then
            if abs(y2-y1)>0.01 then
                posicion:=(bpy4-bpx3)/(m12-m3);
                posicion_2:=m12*posicion+bpx3;
            else
                dx:=dx+ex;
                posicion_2:=y1+dy;
                posicion:=x3+dx;
            end_if;
        elsif Discos=20 then
            if abs(y2-y1)>0.01 then
                posicion:=(bpy5-bpx3)/(m12-m3);
                posicion_2:=m12*posicion+bpx3;
            else
                dx:=dx+ex;
                posicion_2:=y1+dy;
                posicion:=x3+dx;
            end_if;
        elsif Discos=21 then
            if abs(y2-y1)>0.01 then
                posicion:=(bpy6-bpx3)/(m12-m3);
                posicion_2:=m12*posicion+bpx3;
            else
                dx:=dx+ex;
                posicion_2:=y1+dy;
                posicion:=x3+dx;
            end_if;
        elsif Discos=22 then
            if abs(y2-y1)>0.01 then
                posicion:=(bpy7-bpx3)/(m12-m3);
                posicion_2:=m12*posicion+bpx3;
            else
                dx:=dx+ex;
                posicion_2:=y1+dy;
                posicion:=x3+dx;
            end_if;
        elsif Discos=23 then
            if abs(y2-y1)>0.01 then
                posicion:=(bpy8-bpx3)/(m12-m3);
                posicion_2:=m12*posicion+bpx3;
            else
                dx:=dx+ex;
                posicion_2:=y1+dy;
                posicion:=x3+dx;
            end_if;
        elsif Discos=24 then
            if abs(y2-y1)>0.01 then
                posicion:=(bpy1-bpx4)/(m12-m3);
                posicion_2:=m12*posicion+bpx4;
            else
                dy:=dy+ey;
                dx:=-31;
                posicion_2:=y1+dy;
                posicion:=x3+dx;
            end_if;
        end_if;
    end_if;
end_if;

```

```

end_if;

elsif Discos=25 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy2-bpx4)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx4;
  else
    dx:=dx+ex;
    posicion_2:=y1+dy;
    posicion:=x3+dx;
  end_if;

elsif Discos=26 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy3-bpx4)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx4;
  else
    dx:=dx+ex;
    posicion_2:=y1+dy;
    posicion:=x3+dx;
  end_if;

elsif Discos=27 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy4-bpx4)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx4;
  else
    dx:=dx+ex;
    posicion_2:=y1+dy;
    posicion:=x3+dx;
  end_if;

elsif Discos=28 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy5-bpx4)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx4;
  else
    dx:=dx+ex;
    posicion_2:=y1+dy;
    posicion:=x3+dx;
  end_if;

elsif Discos=29 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy6-bpx4)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx4;
  else
    dx:=dx+ex;
    posicion_2:=y1+dy;
    posicion:=x3+dx;
  end_if;

elsif Discos=30 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy7-bpx4)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx4;
  else
    dx:=dx+ex;
    posicion_2:=y1+dy;
    posicion:=x3+dx;
  end_if;

elsif Discos=31 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy8-bpx4)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx4;
  else

```

```

                dx:=dx+ex;
                posicion_2:=y1+dy;
                posicion:=x3+dx;
            end_if;

elseif Discos=32 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy1-bpx5)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx5;
    else
        dy:=dy+ey;
        dx:=-31;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

elseif Discos=33 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy2-bpx5)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx5;
    else
        dx:=dx+ex;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

elseif Discos=34 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy3-bpx5)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx5;
    else
        dx:=dx+ex;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

elseif Discos=35 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy4-bpx5)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx5;
    else
        dx:=dx+ex;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

elseif Discos=36 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy5-bpx5)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx5;
    else
        dx:=dx+ex;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

elseif Discos=37 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy6-bpx5)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx5;
    else
        dx:=dx+ex;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

```

```

elsif Discos=38 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy7-bpx5)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx5;
  else
    dx:=dx+ex;
    posicion_2:=y1+dy;
    posicion:=x3+dx;
  end_if;

elsif Discos=39 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy8-bpx5)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx5;
  else
    dx:=dx+ex;
    posicion_2:=y1+dy;
    posicion:=x3+dx;
  end_if;

elsif Discos=40 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy1-bpx6)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx6;
  else
    dy:=dy+ey;
    dx:=-31;
    posicion_2:=y1+dy;
    posicion:=x3+dx;
  end_if;

elsif Discos=41 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy2-bpx6)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx6;
  else
    dx:=dx+ex;
    posicion_2:=y1+dy;
    posicion:=x3+dx;
  end_if;

elsif Discos=42 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy3-bpx6)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx6;
  else
    dx:=dx+ex;
    posicion_2:=y1+dy;
    posicion:=x3+dx;
  end_if;

elsif Discos=43 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy4-bpx6)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx6;
  else
    dx:=dx+ex;
    posicion_2:=y1+dy;
    posicion:=x3+dx;
  end_if;

elsif Discos=44 then
  if abs(y2-y1)>0.01 then
    posicion:=(bpy5-bpx6)/(m12-m3);
    posicion_2:=m12*posicion+bpx6;
  else
    dx:=dx+ex;

```

```

        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

elseif Discos=45 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy6-bpx6)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx6;
    else
        dx:=dx+ex;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

elseif Discos=46 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy7-bpx6)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx6;
    else
        dx:=dx+ex;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

elseif Discos=47 then
    if abs(y2-y1)>0.01 then
        posicion:=(bpy8-bpx6)/(m12-m3);
        posicion_2:=m12*posicion+bpx6;
    else
        dx:=dx+ex;
        posicion_2:=y1+dy;
        posicion:=x3+dx;
    end_if;

end_if;

```

Apéndice A.2. Muestra de cálculos

Calculo de la desviación permisible para colocar las arandelas

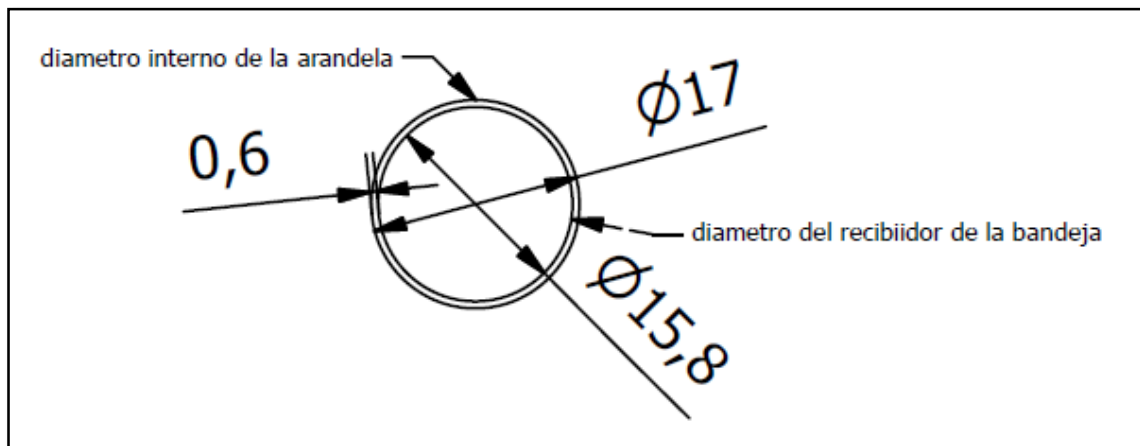


Figura A.2.1. Representación de las dimensiones de la arandela y el receptor.

Con la figura se observa que existe un pequeño juego de 0.6 mm entre el diámetro de la arandela y el diámetro del receptor de arandelas, por lo que la máxima desviación que puede darse es cuando entre los dos ejes se muevan una hipotenusa de 0.6 mm.

$$\sqrt{a^2 + a^2} = 0.6 \text{ mm}$$

$$a = \sqrt{\frac{0.6^2}{2}} = 0.42 \text{ mm}$$

Por lo que el máximo que se pueden desviar las coordenadas de algún eje y que la arandela sea colocada es de 0.4 mm.

Obtención de las ecuaciones para el cálculo de las coordenadas

Calculo de la línea recta que pasa por los puntos 1 y 2.

Pendiente de la recta que pasa por los puntos 1 y 2.

$$m_{1,2} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

(A.2.1)

Corte en con el eje y

Despejando y sustituyendo en la ecuación (3.1), los valores de un punto que pasa por la recta y la pendiente $m_{1,2}$, se obtiene el término constante b de la ecuación de la línea recta.

$$b_{1,2} = y_2 - m_{1,2} * x_2 \tag{A.2.2}$$

Por lo tanto la línea recta que pasa por los puntos 1 (x_1, y_1) y 2 (x_2, y_2), correspondiente al costado horizontal de la Figura 5.11, queda descrita con la siguiente ecuación:

$$y = m_{1,2} * x + b_{1,2} \tag{A.2.3}$$

De la forma general

$$m_{1,2} * x - y + b_{1,2} = 0$$

Calculo de la línea recta que pasa por el punto 3

Para obtener la ecuación de la recta que pasa por el punto 3 (x_3, y_3) y es perpendicular a la primera recta, se obtiene su pendiente a partir de la propiedad de rectas perpendiculares.

$$m_3 = \frac{-1}{m_{1,2}} \tag{A.2.4}$$

Con el punto (x_3, y_3) y su pendiente m_3 , despejando y sustituyendo en la ecuación (3.5), se obtiene la ecuación de la recta:

$$b_3 = -x_3 * m_3 + y_3 \tag{A.2.5}$$

$$y = m_3 * x + b_3 \tag{A.2.6}$$

De la forma general

$$m_3 * x - y + b_3 = 0$$

Calculo de las rectas paralelas

Conociendo la ecuación de una recta y la distancia de separación se puede obtener una recta paralela a ella, en donde las pendientes son iguales y con la ecuación (3.7) se obtiene el término b de la recta paralela.

$$d_y = \frac{|b_{1,2} - bp_{1,2}|}{\sqrt{(m_{1,2})^2 + (-1)^2}}$$

$$d_y * \sqrt{(m_{1,2})^2 + (-1)^2} = |b_{1,2} - bp_{1,2}|$$

$$\pm \left(d_y * \sqrt{(m_{1,2})^2 + (-1)^2} \right) = b_{1,2} - bp_{1,2}$$

$$bp_{1,2} = b_{1,2} - \left(\pm \left(d_y * \sqrt{(m_{1,2})^2 + (-1)^2} \right) \right)$$

(A.2.7)

Se resuelve para los dos casos y se toma el b mayor.

Lo mismo pero para obtener la paralela a la otra recta

$$d_x = \frac{|b_3 - bp_3|}{\sqrt{(m_3)^2 + (-1)^2}}$$

$$bp_3 = b_3 - \left(\pm \left(d_x * \sqrt{(m_3)^2 + (-1)^2} \right) \right)$$

(A.2.8)

Por lo tanto las líneas paralelas a las rectas quedan descritas con las siguientes ecuaciones

$$y = m_{1,2} * x + bp_{1,2}$$

(A.2.9)

$$y = m_3 * x + bp_3$$

(A.2.10)

Calculo del punto de intersección de las rectas

Encontrando el punto de intersección de esas 2 rectas, se igualan las ecuaciones (A.2.9) y (A.2.10).

$$m_{1,2} * x + bp_{1,2} = m_3 * x + bp_3$$

$$m_{1,2} * x - m_3 * x = bp_3 - bp_{1,2}$$

$$x = \frac{bp_3 - bp_{1,2}}{m_{1,2} - m_3} = x_{int}$$

(A.2.11)

Sustituyendo el valor de x_{int} , en alguna de las dos ecuaciones se obtiene la coordenada y de intersección

$$y = m_{1,2} * x_{int} + bp_{1,2} = y_{int}$$

(A.2.12)

Calculo de los valores para la ecuación de escalamiento

El rango de medición de los sensores seleccionados es:

Rango mínimo de distancia = 20 mm

Rango máximo de distancia = 50 mm

Debido a que la salida de los sensores es de 4 a 20 mA y el módulo de entradas analógicas se va a utilizar en el modo de unidades de medición con la Tabla 3.3 se obtiene:

Entrada mínima = 4000

Entrada máxima = 20 000

Para obtener la pendiente se sustituyendo en ecuación (3.9)

$$RATE = \frac{50 - 20}{20\ 000 - 4\ 000} = 0.001875 \quad (A.2.13)$$

Para calcular el valor b (OFFSET), se sustituye en ecuación (3.10)

$$OFFSET = 20 - (4\ 000 * 0.001875) = 12.5 \quad (A.2.14)$$

Comprobación de la fuerza del actuador neumático lineal

Para obtener de la fuerza del actuador neumático lineal se utiliza la siguiente formula (Creus, 2011):

$$F = P_{aire} * Area$$

Con un diámetro del émbolo de 8 mm y una presión de 2.5 bar, presión mínima de trabajo del actuador se obtiene la fuerza.

$$F = \frac{6\ bar * 50,3\ mm^2}{10} = 12.6\ N \quad (A.2.15)$$

Calculo de la fuerza necesaria para mover la bandeja con las arandelas de la base de aluminio

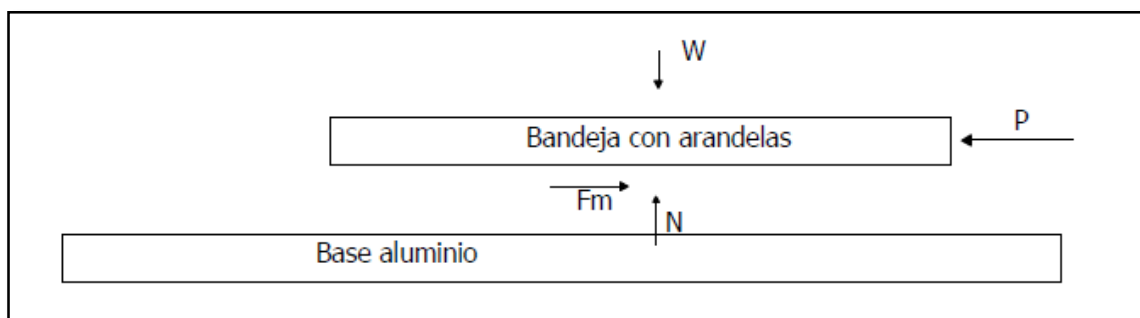


Figura A.2.2. Diagrama de cuerpo libre de la bandeja en la base.

Donde:

W = Peso de la bandeja junto con las arandelas engrasadas

F_m = Fuerza de fricción estática

N = La normal

P = Es la fuerza aplicada por el actuador neumático

Teniendo

$$F_m = \mu_s N$$

$$W = N = 10.1 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 99 \text{ N}$$

Se obtiene

$$F_m = 0.1 * 99 = \mathbf{10 \text{ N}}$$

(A.2.16)

Por lo que P debe ser mayor a 10 N para poder mover la bandeja a través de la base de aluminio.

Calculo del consumo de aire del actuador neumático lineal

El consumo de aire se calcula con la siguiente ecuación (Creus, 2011)

$$Q = RC * V * \text{ciclos}/\text{minuto}$$

(A.2.17)

Donde:

RC = Relación de compresión

V = Volumen de aire requerido para una carrera

Relación de compresión (Creus, 2011)

$$RC = \frac{0.987 + P_{\text{aire}}(\text{bar})}{0.987}$$

Volumen de aire requerido (Creus, 2011)

$$V(\text{dm}^3) = \frac{\pi}{4} * \frac{D^2(\text{mm}^2)}{10\,000} * \frac{l(\text{mm})}{100} = \frac{\pi * D^2 * l}{4\,000\,000}$$

Sustituyendo en (A.2.17) con una presión de aire de 2.5 bar, un diámetro del émbolo de 8 mm, una carrera de 520 mm y una frecuencia de 2 ciclos/m

$$Q = 2 * \frac{0.987 + 2.5}{0.987} * \frac{\pi * 8^2 * 520}{4\,000\,000} * 2 = \mathbf{0.36 \text{ dm}^3/\text{min}}$$

(A.2.18)

Se multiplica por 2 al inicio debido a que es de doble efecto.

Velocidad de la banda transportadora

En este apartado se muestran los cálculos realizados para determinar la velocidad de la banda transportadora que tiene la máquina actualmente y la velocidad que tendría la banda diseñada, con el fin de comparar ambas velocidades.

Calculo de la velocidad de la banda transportadora actual de la máquina

De la Tabla 3.1 se obtiene la velocidad del motor y la relación de reducción.

$$velocidad\ de\ salida = \frac{1620\ rpm}{60} = 27\ rpm$$

Calculando la velocidad angular

$$\omega = 27\ rpm * \frac{2\pi\ rad}{1\ rev} * \frac{1\ m}{60\ s} = \frac{9\pi}{10}\ rad/s$$

La ecuación (A.2.19) relaciona velocidad angular y velocidad lineal, en donde esta última es directamente proporcional a la velocidad angular, siendo la constante de proporcionalidad el radio de giro.

$$v = \omega * r$$

(A.2.19)

Sustituyendo en la ecuación (A.2.19) con un radio de giro de 29 mm, correspondiente al radio del eje del tambor motriz.

$$v = \frac{9\pi}{10} * 0.029 = 0.082\ m/s$$

Calculando la velocidad de la banda diseñada

Como se va a utilizar el mismo motor-reductor la velocidad angular es la misma que para el caso anterior, sustituyendo en la ecuación (A.2.19) con un radio de giro de 19.05 mm, correspondiente al radio del eje del tambor motriz.

$$v = \frac{9\pi}{10} * 0.01905 = 0.054\ m/s$$

Calculo del eje motriz de la banda

En este apartado se muestran los cálculos realizados para el diseño del eje motriz de la banda transportadora, el análisis se realiza con el fin de determinar el factor de seguridad de resistencia para cargas estáticas y dinámicas (fatiga) del eje en operación bajo condiciones de carga máxima y mínima.

La banda se ajusta a una tensión de trabajo de 10 N/mm, por lo que en el eje se produce una carga con ese valor.

Cálculo de las reacciones en el eje.

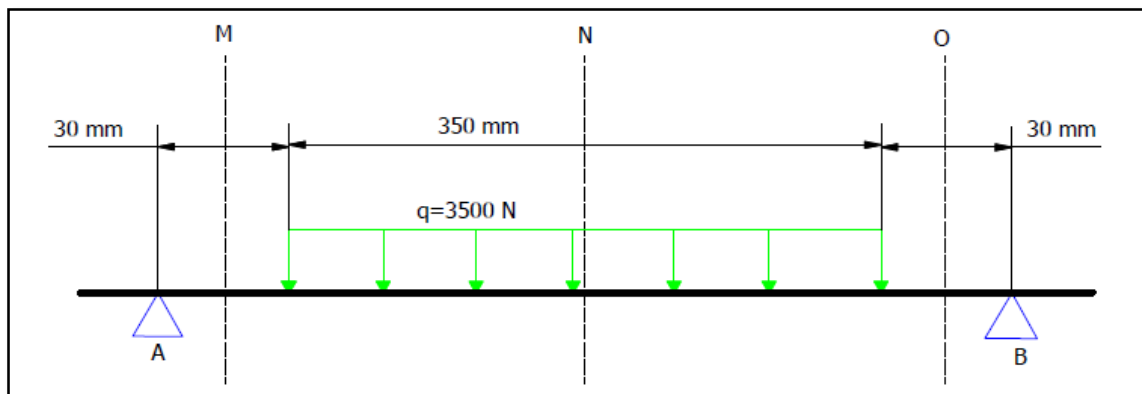


Figura A.2.3. Diagrama de cuerpo libre del eje.

Nota: Las secciones M, N, O representan las secciones donde se va a cortar el eje para analizar la fuerza cortante y el momento flector. Los apoyos A y B corresponden a los rodamientos en donde se monta el eje.

De la Figura A.2.3. se tiene:

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B = 3500 \text{ N}$$

(A.2.20)

$$\sum M_A = 0$$

$$3500 * 0.205 - 0.41R_B = 0$$

$$R_B = 1750 \text{ N}$$

Sustituyendo R_B en la ecuación (A.2.20)

$$R_A = 3500 - 1750 = 1750 \text{ N}$$

Cálculo de la fuerza cortante y el momento flector

Haciendo uso de la Figura A.2.3. y empleando el método de las secciones se tiene lo siguiente:

Sección M

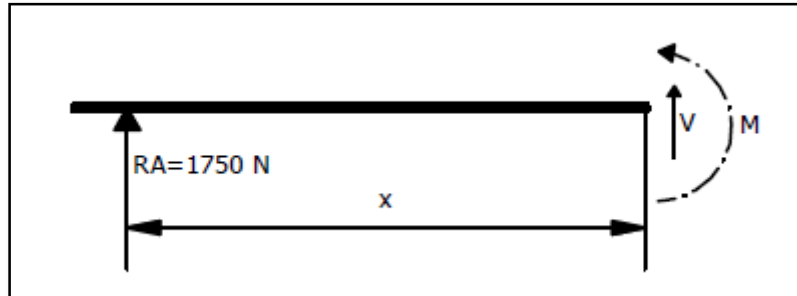


Figura A.2.4. Diagrama de cuerpo para la sección M.

$$\sum F_y = 0$$

$$1750 + V = 0$$

$$V = -1750$$

$$\sum M_M = 0$$

$$M - 1750 * x = 0$$

$$M = 1750x$$

Sección N

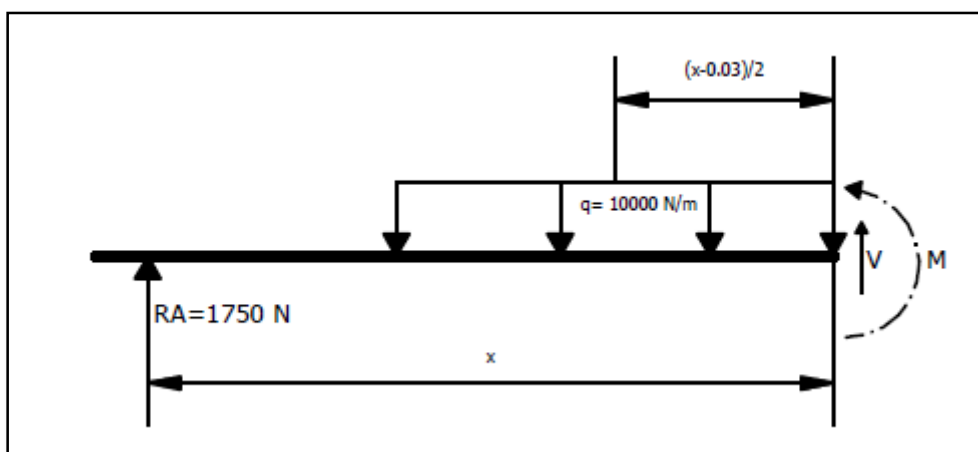


Figura A.2.5. Diagrama de cuerpo para la sección N.

$$\sum F_y = 0$$

$$1750 + V - 10000(x - 0.03) = 0$$

$$V = 10000x - 1780$$

$$\sum M_N = 0$$

$$M - 1750 * x + 10000(x - 0.03)(x - 0.03)/2 = 0$$

$$M = -5000x^2 + 1780x - 4.5$$

Sección O

El cálculo de esta sección no es necesario realizarlo debido a que la carga está centrada entre los 2 apoyos, por lo tanto sucede lo mismo que en la sección M.

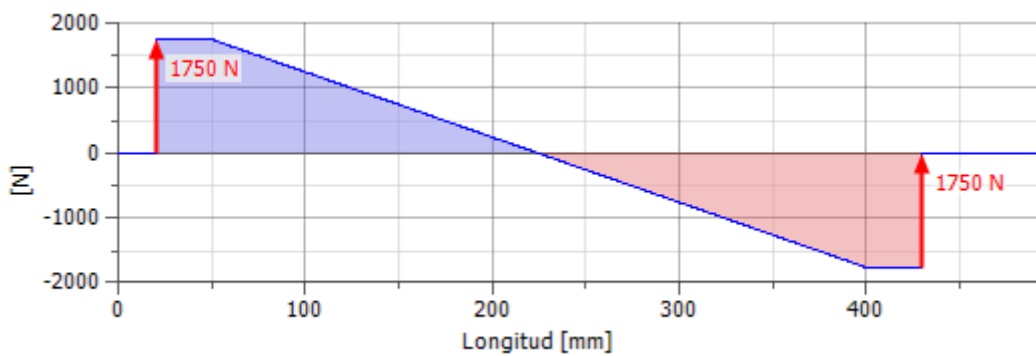


Figura A.2.6. Diagrama de fuerza cortante para el eje del tambor motriz.

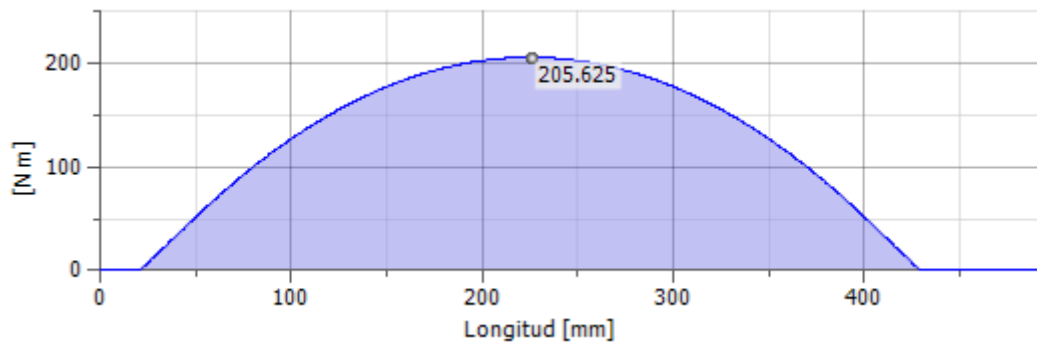


Figura A.2.7. Diagrama de momento flector para el eje del tambor motriz.

La sección crítica es donde se produce el momento flector máximo (206 N m), siendo en el centro del eje en donde su diámetro es de 38.1 mm.

$$M = 206 \text{ N m}$$

Calculo del Momento torsor

$$potencia = \tau * \omega$$

(A.2.21)

Despejando la ecuación (A.2.21) y sustituyendo la potencia del motor y la velocidad angular

De la Tabla 3.1 se tiene que la potencia del motor es de 1/3 HP.

$$\frac{1}{3} HP = 248.67 W$$

$$T = \frac{248.67}{\frac{9\pi}{10}} = \mathbf{88 N m}$$

Cálculo de los esfuerzos principales (Beer, Johnston, DeWolf, & Mazurek, 2010)

Esfuerzo a flexión

$$\sigma_{flexion} = \frac{Mr}{I} = \frac{32 M}{\pi d^3}; I = \frac{1}{4}\pi r^4$$

$$\sigma_{flexion} = \frac{32 * 206}{\pi * 0.0381^3} = \mathbf{37.8 M Pa}$$

Esfuerzo a torsión

$$\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16 T}{\pi d^3}; I = \frac{1}{2}\pi r^4$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 * 88}{\pi * 0.0381^3} = \mathbf{8.1 M Pa}$$

Esfuerzos promedios (Beer, Johnston, DeWolf, & Mazurek, 2010)

$$\sigma_{max, min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

(A.2.22)

Sustituyendo en (A.2.22) los valores respectivos, y considerando que para este caso solo se tiene esfuerzo a flexión en un eje.

$$\sigma_{max, min} = \frac{37.8}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{37.8}{2}\right)^2 + 8.1^2}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_1 = \mathbf{39.5 M Pa}$$

$$\sigma_{min} = \sigma_2 = \mathbf{-1.7 M Pa}$$

Cálculo del factor de seguridad para carga estática

Aplicando el criterio del esfuerzo cortante máximo (Budynas & Nisbett, 2012)

$$FS = \frac{S_y}{|\sigma_2 - \sigma_1|} \quad (A.2.23)$$

Para una resistencia a la fluencia $S_y = 205 \text{ M Pa}$ del acero AISI 1020

$$FS = \frac{205}{|-1.7 - 39.7|} = 5$$

Análisis dinámico (fatiga)

Para este análisis se supone la condición más crítica a la que puede operar la banda, teniendo el esfuerzo a flexión como esfuerzo alternante y el esfuerzo por torsión como esfuerzo medio. Para calcular el factor de seguridad se utiliza el criterio de Goodman Mod (Budynas & Nisbett, 2012).

$$\frac{\sigma_a'}{S_e} + \frac{\sigma_m'}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (A.2.24)$$

Del cálculo de carga estática se tiene:

$$\sigma_{flexion} = 37.8 \text{ M Pa}$$

$$\tau_{xy} = 8.1 \text{ M Pa}$$

Calculo de los esfuerzos equivalentes para condición de fatiga por von Mises

Para el esfuerzo alternante solo se tiene el esfuerzo por flexión, por lo que se aplica la siguiente formula (Budynas & Nisbett, 2012):

$$\sigma_a' = K_f * \sigma_{flexion} \quad (A.2.25)$$

Para el esfuerzo medio solo se tiene el esfuerzo debido a la torsión, por lo que se aplica la siguiente formula (Budynas & Nisbett, 2012):

$$\sigma_m' = \sqrt{3 * (K_{fs} * \tau_{xy})^2} \quad (A.2.26)$$

Donde:

K_f y K_{fs} son el factor de concentración del esfuerzo por fatiga, que se obtiene con la siguiente ecuación:

$$K_f = 1 + q (K_t - 1)$$
$$K_{fs} = 1 + q_{cortante} (K_{ts} - 1)$$

(A.2.27)

Donde:

K_t y K_{ts} son el factor teórico de concentración de esfuerzo

q y $q_{cortante}$ es la sensibilidad a la muesca.

Para obtener el valor de q se consulta Figura B.2.1. con $S_{ut} = 380$ para el acero AISI 1020 y un radio de muesca de 2 mm, y para el $q_{cortante}$ se consulta la Figura B.2.2. con los mismos parámetros de entrada, de donde se obtiene lo siguiente:

$$q = 0.72$$
$$q_{cortante} = 0.78$$

Para obtener el valor de K_t se consulta Figura B.2.3. con $D = 38.1$ mm; $d = 19.05$ mm y $r = 2$ mm, y para el K_{ts} se consulta la Figura B.2.4. con los mismos parámetros de entrada, de donde se obtiene lo siguiente:

$$K_t = 1.7$$
$$K_{ts} = 1.48$$

Sustituyendo en (A.2.27):

$$K_f = 1 + 0.72(1.7 - 1) = \mathbf{1.5}$$

$$K_{ts} = 1 + 0.72(1.48 - 1) = \mathbf{1.37}$$

Sustituyendo en (A.2.25) y (A.2.26):

$$\sigma_a' = 1.5 * 37.8 = \mathbf{56.7 MPa}$$

$$\sigma_m' = \sqrt{3(1.37 * 8.1)^2} = \mathbf{19.22 MPa}$$

Cálculo del factor de seguridad para carga estática

Utilizando el criterio de Goodman Mod se tiene

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

S_e es el límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso, se obtiene de la ecuación de Marin que se escribe (Budynas & Nisbett, 2012):

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S_e' \quad (A.2.28)$$

Donde:

K_a es el factor de condición superficial

K_b es el factor de corrección por tamaño

K_c es el factor de corrección por tipo de carga

K_d es el factor de corrección por temperatura

K_e es el factor de corrección por confiabilidad

K_f es el factor de corrección por efectos varios

S_e' es el límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

Cálculo de los factores de Marin

Para S_E'

$$S_E' = 0.5 S_{ut}$$

$$S_E' = 0.5 * 380 = \mathbf{190 \text{ M Pa}}$$

Para K_a

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

De la Tabla B.2.1.

$$a = 4.51$$

$$b = -0.265$$

$$K_a = 4.51 * 380^{-0.265} = \mathbf{0.93}$$

Para K_b

De la Figura 3.2 y como el diámetro es de 38.1 mm se tiene

$$K_b = 1.24 * 38.1^{-0.107} = \mathbf{0.84}$$

Para K_c

$$K_c = \mathbf{1}$$

Para K_d

$$K_d = 1$$

Para K_e

De la Tabla B.2.2.

$$K_e = \mathbf{0.898}; \text{ para confiabilidad del } 90\%$$

Para K_f

$$K_f = 1$$

Sustituyendo en (A.2.28)

$$S_e = 190 * 0.93 * 0.84 * 0.898 = \mathbf{129 \text{ M Pa}}$$

Despejando y sustituyendo en (A.2.24)

$$n = \frac{1}{\frac{56.7}{129} + \frac{19.3}{380}} = \mathbf{2}$$

Calculo de los rodamientos

Para el cálculo del factor de seguridad de los rodamientos seleccionados se usa la siguiente formula (Mott, 2004):

$$C = R \frac{f_L}{f_N}$$

Donde:

C = capacidad de carga dinámica básica requerida

P = carga a la que se somete el rodamiento

f_L = factor por velocidad

f_N = factor por duración

De la Figura 14-12 del libro (Mott, 2004), con una velocidad de 27 rpm y una duración de 30 000 h se obtiene los valores siguientes:

$$f_L = 3.9$$

$$f_N = 1.1$$

Con una carga de 1750 N, que se obtuvo en el cálculo de las reacciones en el eje motriz.

$$C = 1750 \frac{3.9}{1.1} = \mathbf{6208 N}$$

Del anexo B.3.2 que corresponde a los datos del rodamiento seleccionado se obtiene:

Capacidad de carga estática = 1479 lb ~ 6578.9 N

Capacidad de carga dinámica = 2877 lb ~ 12797 N

Calculando el factor de seguridad

$$Fs = \frac{12797}{6208} = \mathbf{2}$$

Potencia requerida

La potencia requerida para mover el sistema de la banda transportadora es la suma de la potencia para vencer la inercia de las masas en movimiento y de la potencia para mover la carga de la banda.

Cálculo del torque para vencer la inercia de los elementos en rotación

Se calculan las inercias de los elementos a mover, todas referidas al eje del motor. Para este cálculo se utilizó el programa de Inventor 2014

$$I_{total} = I_{eje\ motriz} + I_{eje\ conducido}$$

(A.2.29)

$$I_{eje\ motriz} = \mathbf{323940\ kg\ mm^2}$$

$$I_{eje\ conducido} = \mathbf{210674\ kg\ mm^2}$$

$$I_{banda} = \mathbf{615034\ kg\ mm^2}$$

Sustituyendo en (A.2.29)

$$I_{total} = \mathbf{323940 + 210674 = 534614\ kg\ mm^2}$$

Calculo del momento producido por elementos en rotación

$$T = I * \alpha$$

α es la aceleración angular, se considera un tiempo de aceleración de 2 s

$$\alpha = \frac{\omega}{t} = \frac{9\pi}{2} = \mathbf{1.414 \text{ rad/s}^2}$$

$$T_{rotacion} = 534614 * 1.414 * \frac{1}{1000^2} = \mathbf{0.66 \text{ N m}}$$

Calculando la fuerza para mover los elementos linealmente, que sería la bandeja y la banda

$$F = m * a = 14.6 \text{ kg} * 0.03 = \mathbf{0.438 \text{ N}}$$

Calculando la fuerza debido a la fricción, se contempla el peso de la banda y de la bandeja con las arandelas.

$$q_{max} = W_{bandejas} + W_{banda}$$

(A.2.30)

Cálculo de W_{banda}

Del anexo B.3.3 se obtiene que el $peso = 1.5 \text{ kg/m}^2$ y según el programa Inventor 2014 el $area \text{ de la banda} = 3 \text{ m}^2$

$$W_{banda} = 1.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 3 \text{ m}^2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \mathbf{44.145 \text{ N}}$$

Cálculo de $W_{bandeja}$

El $W_{bandeja}$ esta constituido por el peso de las bandeja plástica y el peso de las 48 arandelas engrasadas.

Tabla A.2.1. Propiedades de masa y peso para las arandelas y las bandejas.

Elemento	Masa (kg)	Cantidad	Masa total (kg)	Peso (N)
Arandelas	0.2	48	9.6	94.176
Bandeja	0.5	1	0.5	4.905
Total	--	--	--	99.081

Se sustituye en la ecuación (A.2.30) para obtener la carga máxima de la banda

$$q_{max} = 99.081 + 44.145 = \mathbf{143.2 \text{ N}}$$

Con un coeficiente de fricción de 0.19 se calcula la fuerza que se opone al movimiento

$$F = 0.19 * 143.2 = 27.2 \text{ N}$$

Calculo del momento producido por la carga se suma la fuerza para mover la carga y la fuerza para vencer la fricción

$$T = F * r$$

$$T = (27.2 + 0.438) * 0.01905 = 0.53 \text{ N m}$$

Sumando los 2 torques debido a los elementos en rotación y la carga

$$T = 0.53 + 0.66 = 1.19 \text{ N m}$$

Por lo que se necesita un torque de arranque de 1.19 N m.

Sustituyendo en (A.2.21) con $\omega = \frac{9\pi}{10} \text{ rad/s}$

$$P = \frac{9\pi}{10} * 1.19 = 3.36 \text{ W} = 0.005 \text{ HP}$$

(A.2.31)

La potencia requerida para mover la banda es de 0.005 HP

El motor-reductor utilizado tiene una potencia de $\frac{1}{3} \text{ HP}$ capacidad de sobra para afrontar el caso de máxima exigencia de potencia, y por lo tanto también se bastará para hacer frente a las condiciones menos exigentes que se puedan presentar.

Cálculos del análisis financiero

Primero se calcula los flujos de efectivos a partir de la Tabla 6.4 y Tabla 6.5

Tabla A.2.2. Flujo neto de afectivo.

Flujo Neto de Efectivo	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos	2908439.04	3053860.99	3206554.04	3366881.74	3535225.83
Utilidad antes de Depreciación e impuestos	2908439.04	3053860.99	3206554.04	3366881.74	3535225.83
Depreciación	-516605.71	-516605.71	-516605.71	-516605.71	-516605.71

Utilidad neta antes de impuestos	2391833.33	2537255.28	2689948.33	2850276.03	3018620.12
Impuestos (30%)	717549.999	761176.584	806984.5	855082.81	905586.036
Utilidad neta después de impuestos	1674283.33	1776078.7	1882963.83	1995193.22	2113034.08
Depreciación	516605.71	516605.71	516605.71	516605.71	516605.71
Flujo positivos de efectivo operativo (colones)	2190889.04	2292684.41	2399569.54	2511798.93	2629639.79

Cálculo del valor presente neto

Tabla A.2.3. Valor presente neto (VPN).

Año	Flujo efectivo a fin de año (colones)
0	3616240
1	2190889.041
2	2292684.406
3	2399569.542
4	2511798.934
5	2629639.795
VPN	5,421,481.81
Suponiendo que la tasa de interés es de un 10%	

Nota. Valores calculados en Excel 2013.

Cálculo de la tasa interna de retorno

Tabla A.2.4. Tasa interna de retorno (TIR).

Año	Flujo de efectivo a fin de año (colones)
0	3616240
1	2190889.041
2	2292684.406
3	2399569.542
4	2511798.934
5	2629639.795

TIR	0.57
------------	-------------

Nota. Valores calculados en Excel 2013.

Calculo de Periodo de recuperaci3n de la inversi3n

$$PR = No. I + \frac{\textit{Suma no cubierta antes de la inversi3n}}{\textit{Flujo del per3odo donde se alcanza la inversi3n inicial}}$$

(A.2.32)

Donde:

No.I= N3mero de periodos antes de alcanzar la inversi3n.

Sustituyendo en (A.2.32) y con los datos de la Tabla 6.4 y la Tabla A.2.2

$$PR = 1 + \frac{1425350.96}{2292684.41} = 1.62$$

Apéndice A.3. Planos de la solución propuesta

Apéndice A.4. Significado de los símbolos utilizados en los diagramas.

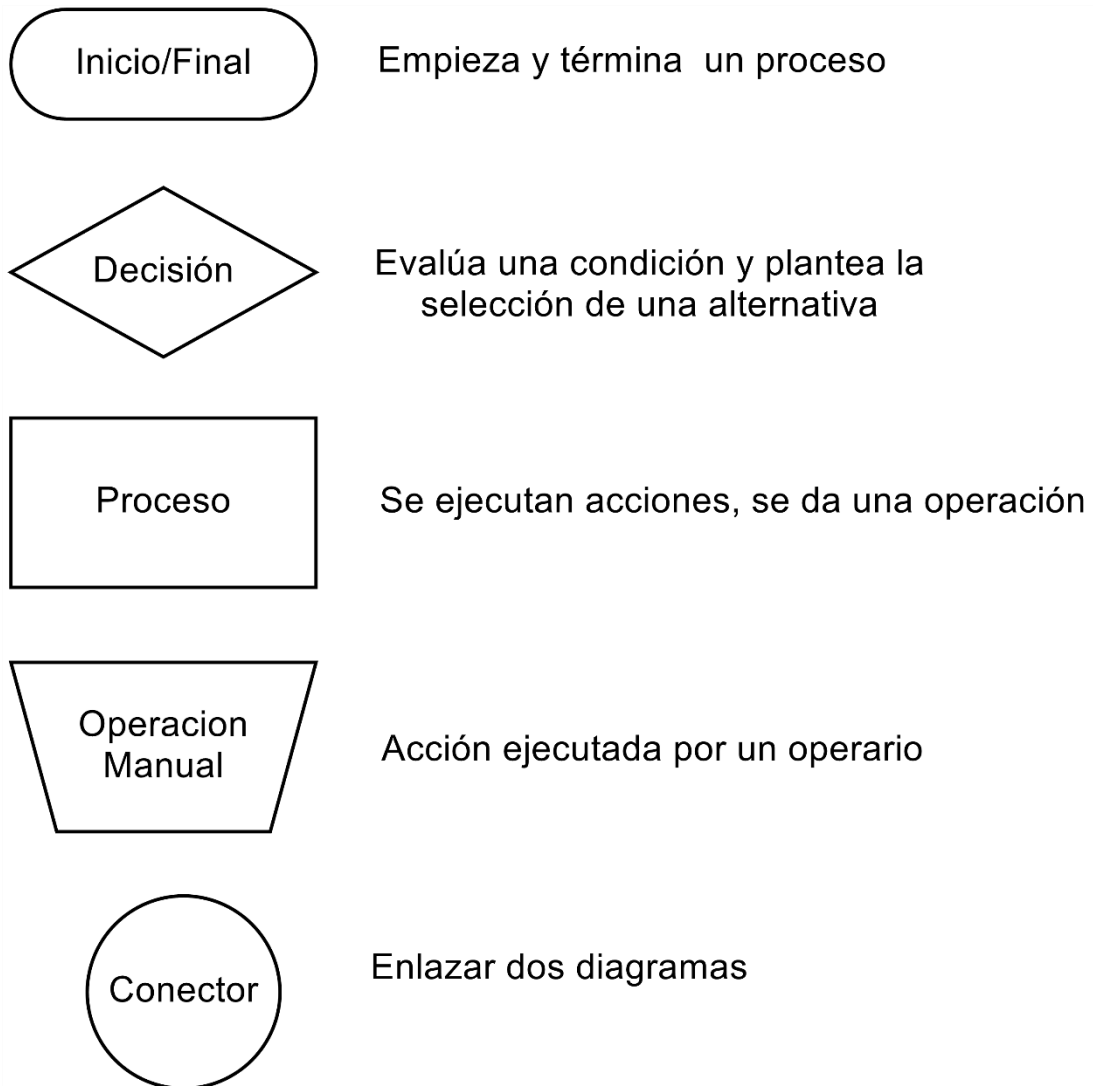


Figura A.2. 8. Significado de los símbolos utilizados en los diagramas de flujo.

Anexos

Anexo B.1. Programa de la subrutina "Posiciones"

Posiciones - Structured Text

Brazo enerasadora bueno:MainTask:MainProgram

Page 1

9/17/2014 9:54:11 AM

...NTROLS-3BEF0C.Administrator.BAK025.CONTROLS-3BEF0C.Administrator.BAK020.ACD

```
1
2
3 IF Discos.ACC=0 THEN
4 Posicion:=36.75; Posicion_2:=-50.25;
5 elsif Discos.ACC=1 then
6 Posicion:=36.75; Posicion_2:=-63.50;
7 elsif Discos.ACC=2 then
8 Posicion:=36.75; Posicion_2:=-76.75;
9 elsif Discos.ACC=3 then
10 Posicion:=36.75; Posicion_2:=-90;
11 elsif Discos.ACC=4 then
12 Posicion:=36.75; Posicion_2:=-103.25;
13 elsif Discos.ACC=5 then
14 Posicion:=36.75; Posicion_2:=-116.5;
15 elsif Discos.ACC=6 THEN
16 Posicion:=50; Posicion_2:=-50.25;
17 elsif Discos.ACC=7 then
18 Posicion:=50; Posicion_2:=-63.50;
19 elsif Discos.ACC=8 then
20 Posicion:=50; Posicion_2:=-76.75;
21 elsif Discos.ACC=9 then
22 Posicion:=50; Posicion_2:=-90;
23 elsif Discos.ACC=10 then
24 Posicion:=50; Posicion_2:=-103.25;
25 elsif Discos.ACC=11 then
26 Posicion:=50; Posicion_2:=-116;
27 elsif Discos.ACC=12 THEN
28 Posicion:=62.75; Posicion_2:=-50.25;
29 elsif Discos.ACC=13 then
30 Posicion:=62.75; Posicion_2:=-63.50;
31 elsif Discos.ACC=14 then
32 Posicion:=62.75; Posicion_2:=-76.75;
33 elsif Discos.ACC=15 then
34 Posicion:=62.75; Posicion_2:=-89.80;
35 elsif Discos.ACC=16 then
36 Posicion:=62.75; Posicion_2:=-103.05;
37 elsif Discos.ACC=17 then
38 Posicion:=62.75; Posicion_2:=-115.90;
39 elsif Discos.ACC=18 THEN
40 Posicion:=75.75; Posicion_2:=-50;
41 elsif Discos.ACC=19 then
42 Posicion:=75.75; Posicion_2:=-63.25;
43 elsif Discos.ACC=20 then
44 Posicion:=75.75; Posicion_2:=-76.5;
45 elsif Discos.ACC=21 then
46 Posicion:=75.75; Posicion_2:=-89.50;
47 elsif Discos.ACC=22 then
48 Posicion:=75.75; Posicion_2:=-102.50;
49 elsif Discos.ACC=23 then
50 Posicion:=75.75; Posicion_2:=-115.50;
51 elsif Discos.ACC=24 THEN
52 Posicion:=88.75; Posicion_2:=-50;
53 elsif Discos.ACC=25 then
54 Posicion:=88.75; Posicion_2:=-63.25;
55 elsif Discos.ACC=26 then
56 Posicion:=88.75; Posicion_2:=-75.70;
57 elsif Discos.ACC=27 then
```

```
58 Posicion:=88.75; Posicion_2:=88.95;
59 elsif Discos.ACC=28 then
60 Posicion:=88.75; Posicion_2:=102.2;
61 elsif Discos.ACC=29 then
62 Posicion:=88.75; Posicion_2:=115.45;
63 elsif Discos.ACC=30 THEN
64 Posicion:=102; Posicion_2:=50;
65 elsif Discos.ACC=31 then
66 Posicion:=102; Posicion_2:=63;
67 elsif Discos.ACC=32 then
68 Posicion:=102; Posicion_2:=75.70;
69 elsif Discos.ACC=33 then
70 Posicion:=102; Posicion_2:=88.95;
71 elsif Discos.ACC=34 then
72 Posicion:=102; Posicion_2:=102.2;
73 elsif Discos.ACC=35 then
74 Posicion:=102; Posicion_2:=115.45;
75 elsif Discos.ACC=36 THEN
76 Posicion:=115.25; Posicion_2:=49.25;
77 elsif Discos.ACC=37 then
78 Posicion:=115.25; Posicion_2:=62.5;
79 elsif Discos.ACC=38 then
80 Posicion:=115.25; Posicion_2:=75.7;
81 elsif Discos.ACC=39 then
82 Posicion:=115.25; Posicion_2:=88.95;
83 elsif Discos.ACC=40 then
84 Posicion:=115.25; Posicion_2:=102.2;
85 elsif Discos.ACC=41 then
86 Posicion:=115.25; Posicion_2:=115.20;
87 elsif Discos.ACC=42 THEN
88 Posicion:=128.5; Posicion_2:=49.25;
89 elsif Discos.ACC=43 then
90 Posicion:=128.5; Posicion_2:=62.5;
91 elsif Discos.ACC=44 then
92 Posicion:=128.5; Posicion_2:=75.7;
93 elsif Discos.ACC=45 then
94 Posicion:=128.5; Posicion_2:=88.95;
95 elsif Discos.ACC=46 then
96 Posicion:=128.5; Posicion_2:=101.90;
97 elsif Discos.ACC=47 then
98 Posicion:=128.5; Posicion_2:=115.15;
99 END_IF;
100 END_IF;
101
102
```

Anexo B.2. Datos utilizados para la muestra de cálculos

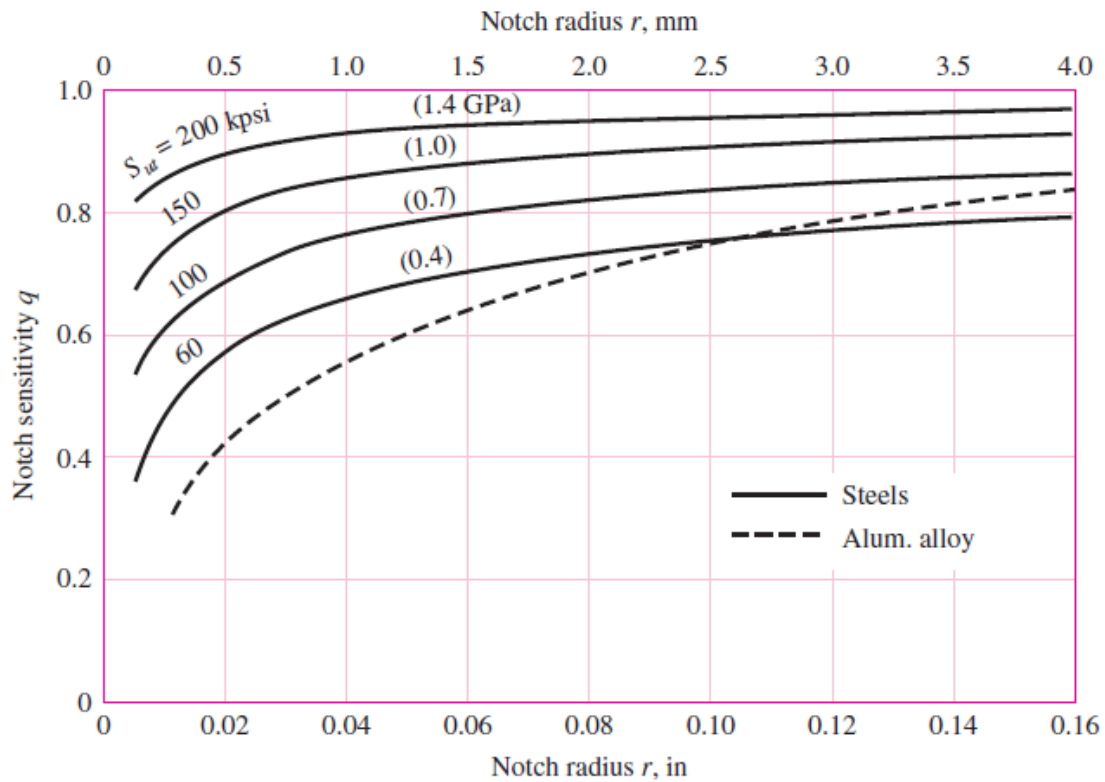


Figura B.2.1. Sensibilidad a la muesca para aceros y aleaciones de aluminio sometidos a flexión.

Nota. Fuente: Budymas, R. & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica* (novena ed.) México D.F: Mc Graw Hill.

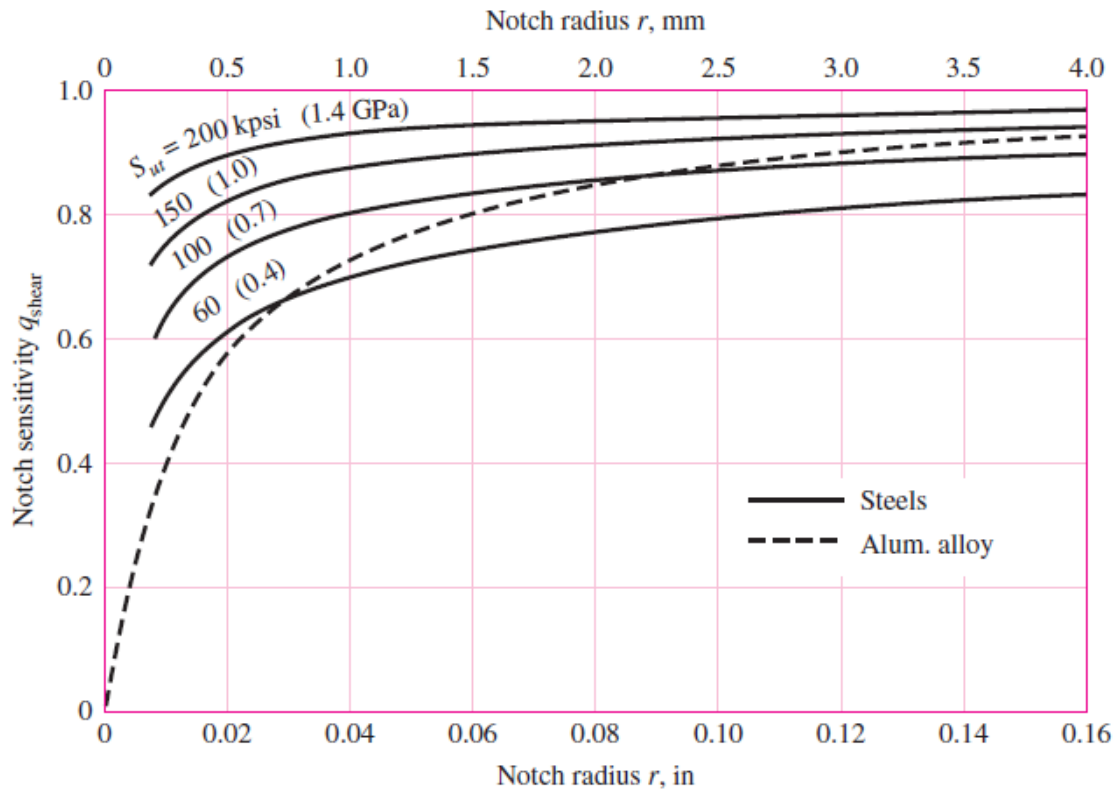


Figura B.2.2. Sensibilidad a la muesca para aceros y aleaciones de aluminio sometidos a torsión.

Nota. Fuente: Budymas, R. & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica* (novena ed.) México D.F: Mc Graw Hill.

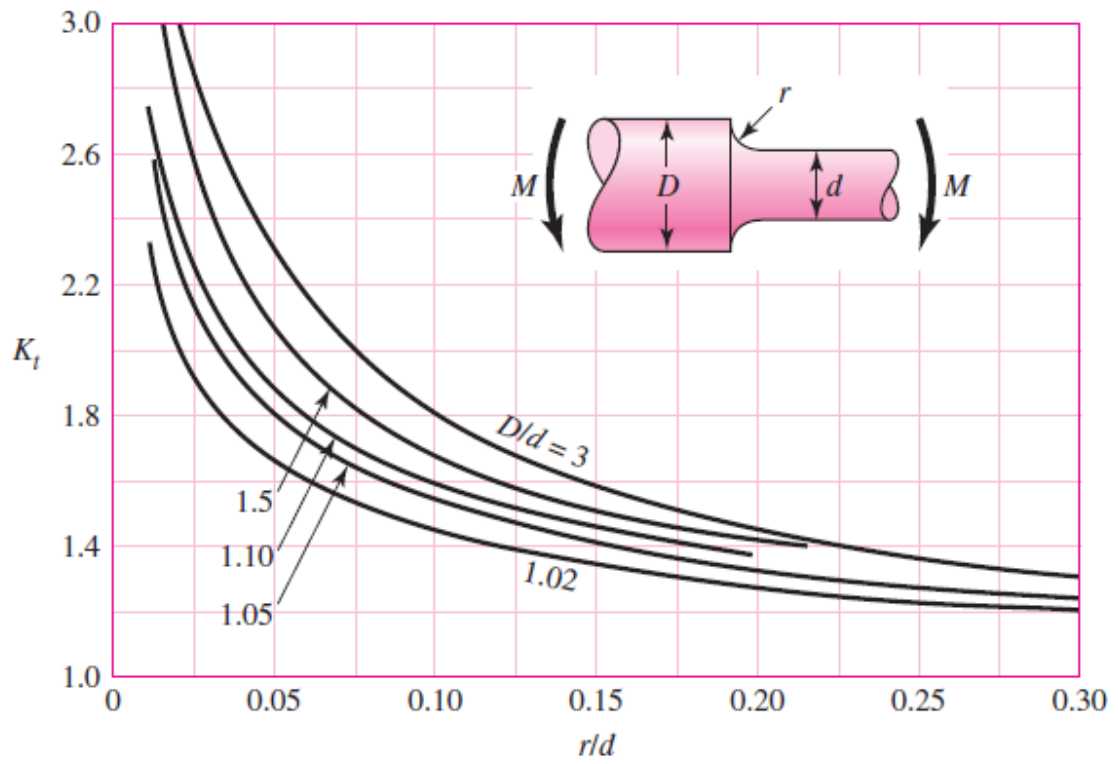


Figura B.2.3. Grafica de factor teórico de concentración del esfuerzo para eje redondo con filete en el hombro en flexión.

Nota. Fuente: Budynas, R. & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica* (novena ed.) México D.F: Mc Graw Hill.

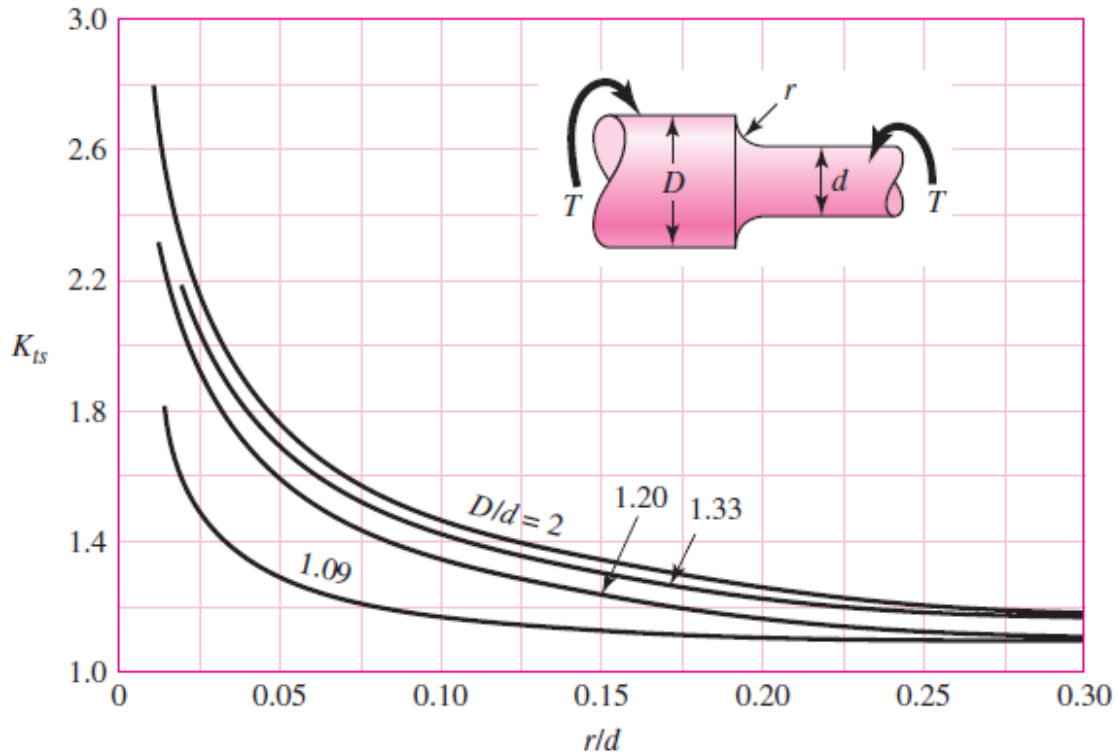


Figura B.2.4. Gráfica de factor teórico de concentración del esfuerzo para eje redondo con filete en el hombro en torsión.

Nota. Fuente: Budynas, R. & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica* (novena ed.) México D.F: Mc Graw Hill.

Tabla B.2.1. Parámetros en el factor de condición superficial de Marin.

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

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

Figura B.2.5. Factores de Marin para elementos rotativos bajo carga fluctuante por flexión o torsión.

Nota. Fuente: Budynas, R. & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica* (novena ed.) México D.F: Mc Graw Hill.

Tabla B.2.2. Factores de confiabilidad correspondiente a 8 desviaciones estándar porcentuales de límite de resistencia a la fatiga.

Reliability, %	Transformation Variate z_a	Reliability Factor k_o
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Nota. Fuente: Budynas, R. & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica* (novena ed.) México D.F: Mc Graw Hill.

Anexo B.3. Hojas de datos de los componentes utilizados

Anexo B.3.1. Sensor de medición de distancia Sick



OD1-B035C15I25



SICK
Sensor Intelligence.

Model Name > OD1-B035C15I25
Part No. > 6050524



At a glance

- Compact, robust housing
- Integrated amplifier unit, no additional unit necessary
- Display and LEDs on device for visualization of current status
- Wide range of interfaces available
- Simple teach-in using display or external teaching input
- CMOS receiver unit for precise, fast measurement in the μm range
- Different measuring ranges enabling measurement from 10 mm up to 250 mm

Your benefits

- Cost-saving commissioning through simple operating concept and display
- Small installation size and low weight also allow use in highly dynamic applications
- Reduction in cabling, as no additional amplifier unit is necessary
- High machine throughput thanks to reliable measurement, regardless of brightness and color of surface
- The wide range of available interfaces enables simple integration into industrial networks
- Optimum performance even at high production speeds



Performance

Measuring range:	20 mm ... 50 mm
Resolution ¹⁾ :	6 μm
Repeatability ²⁾ , ³⁾ :	9 μm
Linearity ⁴⁾ , ⁵⁾ :	$\pm 30 \mu\text{m}$
Response time ⁶⁾ :	2 ms/4 ms/8 ms/16 ms/auto
Measuring frequency:	2 kHz/1 kHz/500 Hz/250 Hz/auto
Light source:	Laser, red
Typ. light spot size (distance):	800 μm x 450 μm (35 mm)
Additional function:	Automatic or manual sensitivity adjustment, Teach-in of analog outputs, Teach-in of switching outputs, Switching output invertible, Averaging 1 ... 512x, Multifunctional input: laser-off/external teach-in/trigger, Switching mode: distance to object (DtO), Switching mode: window (Wnd), Switching mode: object between sensor and background (ObSB)
Laser class:	1 (EN 60825-1) ⁷⁾

¹⁾²⁾ Averaging function set to: 512 ³⁾ Constant ambient conditions ⁴⁾ Measurement on 90 % remission (ceramic, white) ⁵⁾ For best performance consider warm up time ≤ 5 minutes ⁶⁾ At fixed sensitivity setting and averaging = 1. With automatic sensitivity setting and sample rating 500 μs : 2 ... 7.5 ms response time/sample rating 1,000 μs : 4 ... 15 ms response time ⁷⁾ Wavelength: 655 nm, max. output: 390 μW (laser class 1)/< 1 mW (laser class 2)

Interfaces

Data interface:	1 x 4 mA ... 20 mA (< 300 Ω)
Output type:	1 x PNP/NPN, selectable
Multifunctional input (MF) ¹⁾ :	1 x

¹⁾ MF can be used as laser-off, trigger, external teach-in or deactivated

Mechanics/electronics

Connection type:	Cable with connector, M12, 5-pin, 30 cm
Supply voltage V _s :	DC 12 V (-5 %) ... DC 24 V (+10 %)
Power consumption ¹⁾ :	≤ 1.92 W
Warm-up time:	≥ 5 min
Indication:	4-digit 7-segment display (plus 4 LEDs for status display)
Control elements:	4 buttons
Weight:	40 g
Dimensions:	44.4 mm x 31 mm x 17 mm
Housing material:	Aluminum housing with PPSU lens

¹⁾ Without load, with current output

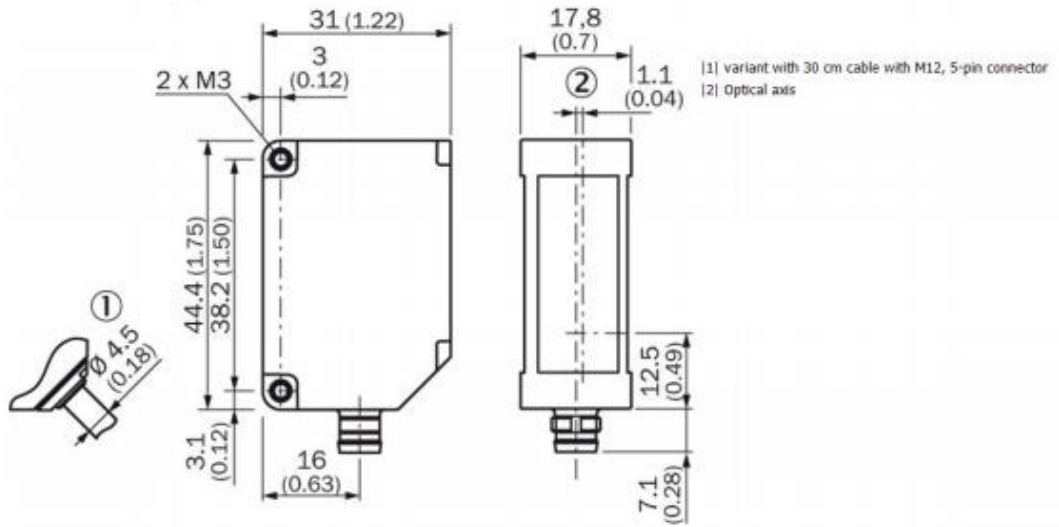
Ambient data

Enclosure rating:	IP 67
Protection class:	III
Ambient temperature:	Operation: -10 ... +40 °C, Storage: -20 ... +60 °C
Min. rel. humidity (not condensing):	35 %
Max. rel. humidity (not condensing):	95 %
Temperature drift:	± 0.08 % FS/K (FS = Full Scale = Measuring range of sensor)
Vibration resistance:	10 Hz ... 55 Hz (amplitude 1.5 mm, x-, y-, z-axis 2 hours each)
Shock resistance:	50 G (x-, y-, z-axis 3 times each)
Typ. ambient light safety:	Artificial light: ≤ 3,000 lx, Sunlight: ≤ 10,000 lx

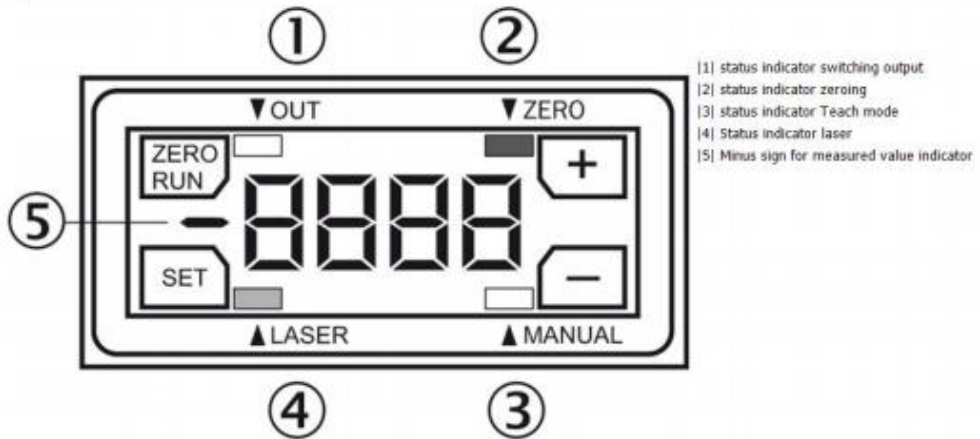
General notes

Note:	Not free of paint wetting impairment substances
-------	---

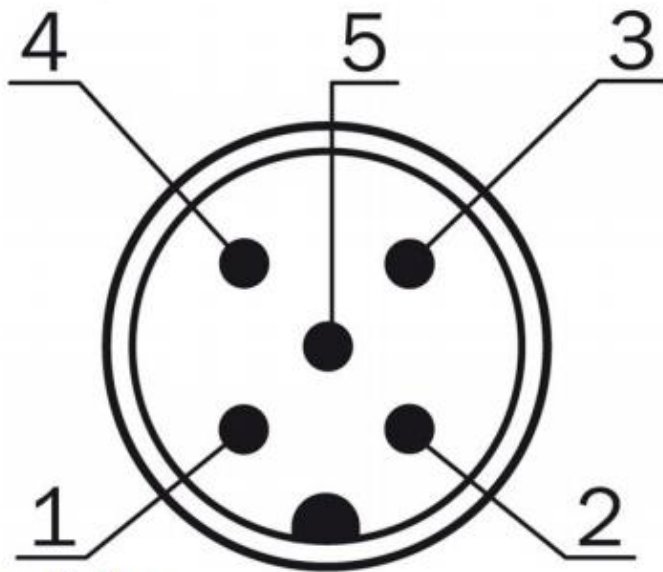
Dimensional drawing



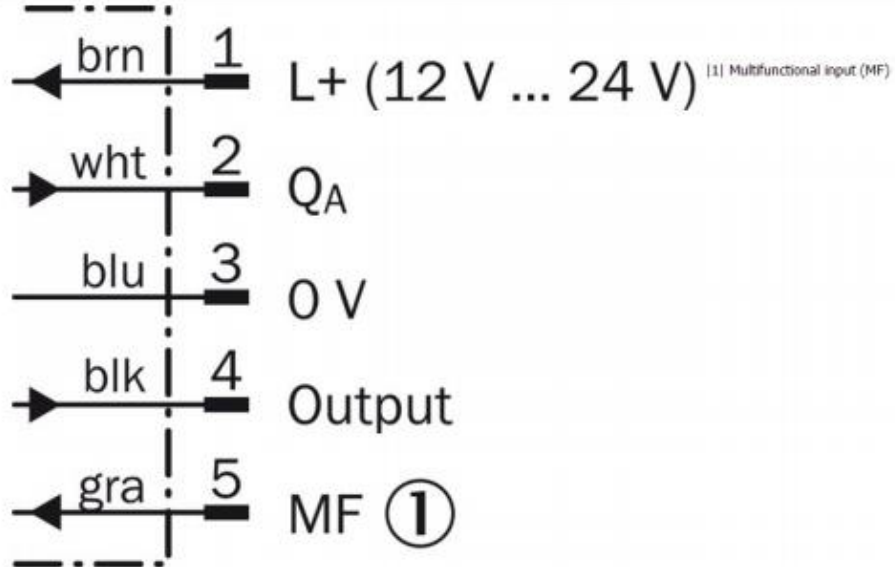
Adjustments



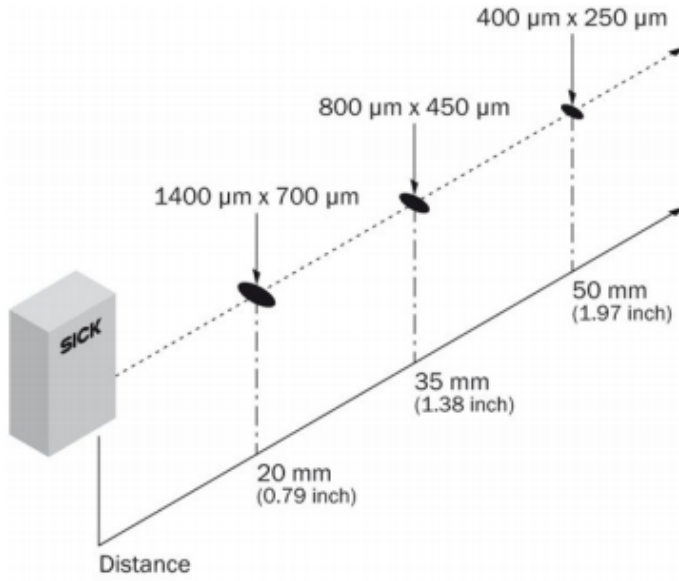
Connection type



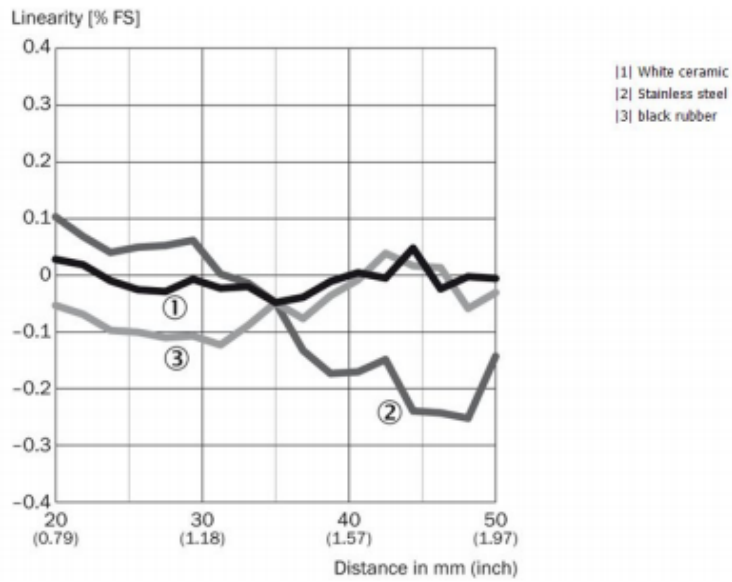
Connection diagram



Light spot size



Linearity



Australia
Phone +61 3 9457 0600
1800 33 48 02 - tollfree
E-Mail sales@sick.com.au

Belgium/Luxembourg
Phone +32 (0)2 466 55 66
E-Mail info@sick.be

Brasil
Phone +55 11 3215-4900
E-Mail marketing@sick.com.br

Canada
Phone +1 905 771 14 44
E-Mail information@sick.com

Česká republika
Phone +420 2 57 91 18 50
E-Mail sick@sick.cz

China
Phone +86 4000 121 000
E-Mail info.china@sick.net.cn
Phone +852-2153 6300
E-Mail ghk@sick.com.hk

Danmark
Phone +45 45 82 64 00
E-Mail sick@sick.dk

Deutschland
Phone +49 211 5301-301
E-Mail info@sick.de

España
Phone +34 93 480 31 00
E-Mail info@sick.es

France
Phone +33 1 64 62 35 00
E-Mail info@sick.fr

Great Britain
Phone +44 (0)1727 831121
E-Mail info@sick.co.uk

India
Phone +91-22-4033 8333
E-Mail info@sick-india.com

Israel
Phone +972-4-6881000
E-Mail info@sick-sensors.com

Italia
Phone +39 02 27 43 41
E-Mail info@sick.it

Japan
Phone +81 (0)3 5309 2112
E-Mail support@sick.jp

Magyarország
Phone +36 1 371 2680
E-Mail office@sick.hu

Nederland
Phone +31 (0)30 229 25 44
E-Mail info@sick.nl

Norge
Phone +47 67 81 50 00
E-Mail sick@sick.no

Österreich
Phone +43 (0)22 36 62 28 8-0
E-Mail office@sick.at

Polska
Phone +48 22 837 40 50
E-Mail info@sick.pl

România
Phone +40 356 171 120
E-Mail office@sick.ro

Russia
Phone +7-495-775-05-30
E-Mail info@sick.ru

Schweiz
Phone +41 41 619 29 39
E-Mail contact@sick.ch

Singapore
Phone +65 6744 3732
E-Mail sales.gsg@sick.com

Slovenija
Phone +386 (0)1-47 69 990
E-Mail office@sick.si

South Africa
Phone +27 11 472 3733
E-Mail info@sickautomation.co.za

South Korea
Phone +82 2 786 6321/4
E-Mail info@sickkorea.net

Suomi
Phone +358-9-25 15 800
E-Mail sick@sick.fi

Sverige
Phone +46 10 110 10 00
E-Mail info@sick.se

Taiwan
Phone +886 2 2375-6288
E-Mail sales@sick.com.tw

Türkiye
Phone +90 (216) 528 50 00
E-Mail info@sick.com.tr

United Arab Emirates
Phone +971 (0) 4 88 65 878
E-Mail info@sick.ae

USA/México
Phone +1(952) 941-6780
1 (800) 325-7425 - tollfree
E-Mail info@sickusa.com

More representatives and agencies
at www.sick.com

Anexo B.3.2. Hoja de datos del rodamiento DAYTON

6/11/2014

DAYTON Cojinete con Brida, 3/4 in Diám. Int. - Cojinetes Montados - 1F548 | 1F548 - Grainger Industrial Supply

Inicio \ Transmisión de Fuerza \ Cojinetes \ Cojinetes Montados \ Flange Mount Bearing, 3/4 In. Bore

Compartir Este Producto

Imprimir

Ver Familia de Productos

Cojinete con Brida, 3/4 in Diám. Int.

DAYTON



Precio:
\$27.25 / cada uno

Entrega única
 Auto-Reordenar Cada Meses

Disponibilidad

Añadir

+ Agregar a Lista

☆☆☆☆☆ Escribe la primera reseña | Pregunta y Respuesta

Artículo # 1F548

Mod. Fab. # 1F548

UNSPSC # 31171501

Página de Catálogo # 192

Peso del Envío 0.9 lb

¿Cómo podemos mejorar nuestras imágenes de Productos?

Pais de Origen USA | El Pais de Origen está sujeto a cambios.

Especificaciones Técnicas

Artículo	Cojinete con Brida	Ancho Total	3-3/8"
Cantidad de Pernos	4	Largo Total	3-3/8"
Serie	F4DC-BL	Tamaño del Orificio del Perno	3/8"
Diámetro Interior	3/4"	Inserción	Cojinete de Bolas
Tipo de Cojinete	Bola	Capacidad de Carga Dinámica	2,877 lb
Material del Cojinete	Acero 52100	Capacidad de Carga Estática	1,479 lb
Material de la Carcasa	Zinc Fundido	Rango de Temperatura	-30 ° a 200 °F
Tipo Bloqueo	Tornillo de Presión	Acabado	Rust-proof Plated
Orificio de Montaje de Centro	2-1/2"	Incluye	(2) Set Screws
Altura Total	1-1/8"		

How can we improve our Technical Specifications?

Anexo B.3.3. Hoja de datos de la banda NOVAK

Ficha Técnica. Banda Novak 043 N09UF

Estructura

Cobertura Superior

Espesor:	0.3 mm
Material	Uretano
Color	Azul
Dureza	93 ShA



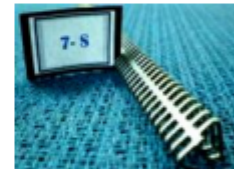
Cobertura Inferior

Espesor	0.1 mm
Material	Tejido Poliéster
Color	Crudo
Nº capas	2



Datos generales

Peso	1.5 kilos /m ²
Espesor	1.3 mm
Temp.	-10° / 90° C.
Rodillo mínimo	¾"
Contra Flexion	1. ¾"
Carga trabajo	86 PW
Carga rotura	571 PW
Sanitaria	F. D. A.
Cobertura Inferior	Antiestática
Resiste Aceite y Grasa Animal	
Resiste Aceite y Grasa Vegetal	
Resistencia a La Abrasión	
Pegas:	RS62, UCM, 7S
Vulcanización en	Z



Coefficiente Fricción Cob. Inferior

Sobre Acero Din/Est	0.09 / 0.17
Sobre Madera Din/Est	0.12 / 0.23
Sobre Plástico Din/Est	0.11 / 0.21

Tipo De Transportador

Sobre Mesa	Si
Sobre Rodillos	Si

DEPARTAMENTO DE BANDAS
Roy Salgado A.

Tel. 2256 1111 Fax. 2256 1740
Ext. Nº 4120
bandas@centrademanqueras.com

6

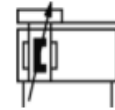
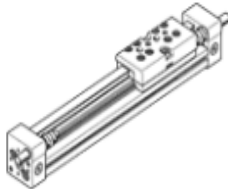
Anexo B.3.4. Hoja de datos del actuador neumático lineal Festo

Actuador lineal DGC-8- -

Número de artículo: 530906

FESTO

Otras carreras bajo demanda. Los valores característicos de la carga constan en las páginas correspondientes del catálogo (PDF).



Hoja de datos

Ficha de datos técnicos completa: los valores parciales dependen de su configuración.

Característica	Propiedades
Carrera	1 ... 2,000 mm
Diámetro del émbolo	8 mm
Amortiguación	P: amortiguación por tope elástico/placa a ambos lados YSR: amortiguador, mapa característico para amortiguación dura YSRW: amortiguador, mapa característico para amortiguación blanda
Posición de montaje	indistinto
Guía	Guía básica guía con rodamiento de bolas
Detección de la posición	para sensores de proximidad
Variantes	Carro adicional, estándar izquierda Carro adicional, estándar derecha
Presión de funcionamiento	2.5 ... 8 bar
Modo de funcionamiento	de doble efecto
Categoría ATEX para gas	II 3G
Tipo de protección contra explosión de gas	c T4 X
Categoría ATEX para polvo	II 3D
Tipo de protección contra explosión por polvo	c 120°C X
Temperatura ambiente con riesgo de explosión	+5°C ≤ Ta ≤ +60°C
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:-:-]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Marca CE (ver declaración de conformidad)	según la normativa UE sobre protección contra explosión (ATEX)
Clase de resistencia a la corrosión KBK	1 2
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	30 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	30 N
Tipo de fijación	con accesorios
Indicación sobre el material	Exento de cobre y PTFE Conforme con RoHS
Información sobre el material de la tapa	Aleación forjable de aluminio
Información sobre el material de las juntas	POM TPE-U(PU)

Válvula de estrangulación y antirretorno GRLA-M5-QS-3-D

Número de artículo: 193137

★ Programa básico

para estrangulación del aire de escape, con conexión giratoria.

FESTO



Hoja de datos

Característica	Propiedades
Función de las válvulas	Válvula reguladora de caudal, antirretorno del escape
Conexión neumática 1	QS-3
Conexión neumática 2	M5
Elemento de ajuste	Tornillo con cabeza ranurada
Tipo de fijación	atornillable
Caudal nominal normal en sentido de la estrangulación	100 l/min
Caudal nominal normal en el sentido del antirretorno	60 ... 100 l/min
Temperatura ambiente	-10 ... 60 °C
Homologación	Germanischer Lloyd
Posición de montaje	indistinto
Presión de funcionamiento en todo el margen de temperatura	0.2 ... 10 bar
Caudal estándar en sentido de regulación del flujo: 6 → 0 bar	145 l/min
Caudal estándar en sentido de bloqueo: 6 → 0 bar	150 ... 170 l/min
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Temperatura del medio	-10 ... 60 °C
Par de apriete nominal	0.8 Nm
Tolerancia para el par de apriete nominal	± 10 %
Peso del producto	13 g
Información sobre el material de la chaveta atomillable	latón
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Información sobre el material de las juntas	NBR
Información sobre el material del anillo de liberación	POM
Información sobre el material del tornillo de regulación	latón
Información sobre el material de la junta basculante	Fundición inyectada de cinc cromado