



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

AUTORAS: FREIRE MENDIETA, ELIZABETH KATERINE

PLACES VILLACIS, VANESSA ELIZABETH

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO DE UNA
MÁQUINA EXPENDEDORA DE PASTELILLOS DE LA MARCA “THE
CUPCAKE FACTORY” PARA LA EMPRESA PUBLICIDAD.**

DIRECTOR: ING. DELGADO, SIVANANDA

CODIRECTORA: ING. MEDINA, MÓNICA

SANGOLQUÍ, AGOSTO 2014

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto **“DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA EXPENDEDORA DE PASTELILLOS DE LA MARCA “THE CUPCAKE FACTORY” PARA LA EMPRESA PUBLICIDAD.”** fue realizado en su totalidad por Elizabeth Katerine Freire Mendieta y Vanessa Elizabeth Places Villacis, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.

Ing. Sivananda Delgado
DIRECTOR

Ing. Mónica Medina
CODIRECTORA

Sangolquí, Agosto del 2014

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

SE DECLARA QUE:

El proyecto de grado denominado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA EXPENDEDORA DE PASTELILLOS DE LA MARCA “THE CUPCAKE FACTORY” PARA LA EMPRESA PUBLICIUDAD.”**, ha sido desarrollado citando las fuentes correspondientes y respetando las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

En virtud de esta declaración, las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de las autoras.

ELABORADO POR:

Elizabeth Katerine
Freire Mendieta

Vanessa Elizabeth
Places Villacis

Sangolquí, Agosto del 2014

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotras: Elizabeth Katerine Freire Mendieta y Vanessa Elizabeth Places Villacis

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: **“DISEÑO, Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA EXPENDEDORA DE PASTELILLOS DE LA MARCA “THE CUPCAKE FACTORY” PARA LA EMPRESA PUBLICIUDAD”**, cuyo contenido, idea y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Elizabeth Katerine
Freire Mendieta

Vanessa Elizabeth
Places Villacis

Sangolquí, Agosto del 2014

DEDICATORIA

Con todo mi amor y cariño a las personas más importantes en mi vida, por su apoyo incondicional y su inmenso amor; por hacer todo para que yo pueda lograr mis sueños y por enseñarme a ser la persona que soy hoy. Papis los amo con todo mi corazón.

Luis y Ana

A tu paciencia, apoyo y amor; por ser una hermana única y una de mis mejores amigas, por todas las risas y lágrimas compartidas, porque siempre estás a mi lado en mis triunfos y en mis fracasos, te amo ñañita.

Gaby

A su sabiduría y cariño incondicional durante mis primeros años, por todos los abrazos y muestras de amor siempre los recuerdo y los llevo en mi corazón abuelitos.

Segundo y Zoila

Vanessa Places

DEDICATORIA

A la persona más importante en mi vida, que amo profundamente e incondicionalmente, de la cual me siento muy orgullosa y afortunada de tener a mi lado, quien ha sembrado en mi cualidades y valores humanos fertilizándolos día a día con su ejemplo.

Melva, mi madre

A mis sobrinas y sobrinos, que tengo el honor de verlos crecer junto a mí, como una pequeña muestra de que todo es posible en la vida si lo desean de corazón y trabajan fuerte por ello. Estoy completamente segura que ustedes volaran muy alto en la vida.

Belén, Samuel, Roberto, Nicole y Diana

Finalmente una dedicatoria y pequeño homenaje en el cielo a un ser trascendental en mi vida, por todo lo que fue, es y será.

Adriana, mi abuelita.

Katerine Freire.

AGRADECIMIENTO

A mi papi Luis por sus enseñanzas y consejos a lo largo de toda mi vida y enseñarme el valor del trabajo y del esfuerzo.

A mi mami Ana por su paciencia, comprensión y amor, que me han dado fortaleza en los momentos difíciles y han sido las razones para levantarme cada día.

A mi hermana Gaby por su apoyo incondicional y por demostrarme cada día que Dios me regalo una persona estupenda con quien compartir cada día.

A mis primos y segundos padres Paqui y Juan por su cariño y apoyo constante durante estos 25 años.

A mi primo Edgar y Raúl por su paciencia, ayuda y apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

A Diego por tu amor, paciencia y apoyo, tus consejos y tu comprensión, por ser mi mejor amigo, mi confidente y mi gran amor.

A Katerine y toda su familia por acogerme en su casa y hacerme sentir como parte de ustedes.

A todos mis tíos y primos porque con sus enseñanzas y su cariño me han formado como ser humano y han hecho de mi vida una hermosa aventura.

A mis amigas Jhanny y Lore porque sin importar el tiempo y la distancia han seguido siendo las mejores amigas que he tenido, las quiero mucho.

A mis amigos de universidad Kike, Andrés, Lenin, Gaby O., Gaby M., David, Alejo, Pablo por todos los momentos compartidos, que han hecho de esta experiencia única e incomparable.

A mis maestros Sivananda y Mónica por su apoyo y comprensión durante el desarrollo de este proyecto.

Vanessa Places

AGRADECIMIENTO

A mi madre, Melva Mendieta, por ser el gran apoyo incondicional en mi vida, una mujer extraordinaria, solidaria, generosa y admirable que ha sido y será mi mejor maestra de vida, gracias a sus enseñanzas y ahínco hoy he cumplido una meta más en mi vida.

A mi abuela en el cielo, Adriana Murquincho, una mujer trabajadora de sabiduría y generosidad infinita que con su ejemplo diario marco mi existencia.

A mis hermanas y hermanos: Ivonne Freire, Cristina Freire, Carlos Freire y Alexander Freire por su amor, paciencia y comprensión.

A todos mis familiares por sus palabras de aliento y apoyo a lo largo de toda mi vida, así como también por todos los momentos compartidos.

A mis amigas constantes: Nathalie Armijos y Gabriela Chiriboga por sus palabras de aliento y su amistad sincera a través del tiempo.

A Vanessa Places y toda su familia por su amistad, ese fuerte sentimiento que nos ayudó a sobrellevar buenos y malos momentos a lo largo del desarrollo de este proyecto.

A mis amigos y compañeros de aula: Lenin, Andrés, Sonia, Walter, Gaby Ortiz, Gaby Moya, Enrique, Vanessa, Alejandro, Santiago, Luis y Leonardo por brindarme su amistad y por todos los momentos compartidos que fueron y siempre serán de gran valor para mí.

A Sivananda y Mónica que nos brindaron su apoyo y comprensión durante el desarrollo de este proyecto.

Katerine Freire

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xx
ÍNDICE DE ANEXOS	xxiv
RESUMEN	xxv
ABSTRACT	xxvi
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1.Generalidades.....	1
1.1.1.Antecedentes de la empresa: “The Cupcake Factory”	1
1.1.2.Planteamiento del problema	2
1.1.3.Justificación e importancia del proyecto	5
1.1.4.Objetivos	7
1.1.4.1.Objetivo General	7
1.1.4.2.Objetivos Específicos.....	7
1.1.5.Alcance del proyecto.....	8
1.2.Máquinas Expendedoras	9
1.2.1.Descripción de máquinas expendedoras	9
1.2.2.Ventajas de máquinas expendedoras	13
1.2.3.Funcionamiento de las máquinas expendedoras.....	14
1.3.Descripción del producto	19
1.3.1.Características del producto	19
CAPITULO II.....	22
DISEÑO MECATRÓNICO	22
2.1.Generalidades del diseño mecatrónico.....	22

2.2.Análisis del proceso	24
2.2.1.Requerimientos funcionales.....	25
2.2.2.Diagrama de flujo del proceso	27
2.2.3.Seccionamiento del proceso	28
2.2.4.Especificaciones técnicas	28
2.2.4.1.Especificaciones técnicas de máquinas expendedoras comerciales.....	29
2.2.4.2.Especificaciones técnicas del prototipo de una máquina expendedora de pastelillos.....	32
2.2.5.Planteamiento de posibles soluciones	34
2.2.6.Diseño conceptual de la máquina expendedora de pastelillos.....	42
2.3.Diseño modular	44
2.3.1.Diseño del sistema de desplazamiento horizontal	44
2.3.1.1.Fundamento teórico	44
2.3.1.2.Especificaciones de diseño.....	49
2.3.1.3.Elementos del sistema	50
2.3.1.3.1.Selección de banda.....	50
2.3.1.3.2.Diseño de flechas	51
2.3.1.3.3.Selección de rodamientos.....	78
2.3.1.3.4.Diseño de la estructura de la banda transportadora	82
2.3.1.3.5.Actuador del sistema.....	90
2.3.2.Diseño del sistema de desplazamiento vertical	92
2.3.2.1.Especificaciones de diseño	92
2.3.2.2.Elementos del sistema	92
2.3.2.2.1.Diseño de la bandeja transportadora	92
2.3.2.2.2.Selección del piñón y la cadena.....	93
2.3.2.2.3.Análisis de cargas	96

	x
2.3.2.2.4.Diseño de la flecha	101
2.3.2.2.5.Selección de la chumacera	110
2.3.2.2.6.Diseño de la estructura del sistema	112
2.3.2.2.7.Actuador del sistema.....	116
2.3.2.2.8.Sensores del sistema	117
2.3.3.Diseño de la estructura del prototipo	121
2.3.3.1.Especificaciones de diseño	121
2.3.3.2.Elementos del armazón	124
2.3.3.2.1.Bandejas.....	124
2.3.3.2.2.Parte inferior	127
2.3.3.2.3.Puerta.....	130
2.3.3.2.4.Estructura.....	132
2.3.3.2.4.1.Actuador.....	139
2.3.3.2.4.2.Sensor.....	139
2.3.3.2.5.Dispositivos electrónicos.....	140
2.3.4.Sistema de venta automática.....	143
2.3.4.1.Fundamento Teórico	143
2.3.4.2.Especificaciones de diseño	147
2.3.4.3.Elementos del sistema	148
2.3.4.3.1.Señales de entrada del sistema.....	148
2.3.4.3.2.Señales de salida del sistema.....	149
2.3.4.3.3.Selección del controlador.....	151
2.3.4.3.4.Hardware del sistema de control.....	158
2.3.4.3.5.Software del sistema de control	166
2.3.4.3.6.Alimentación eléctrica	172
2.3.4.4.Simulaciones del sistema de control.....	177
2.3.4.5.Diseño de PCB	181

CAPITULO III.....	189
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	189
3.1.Pruebas.....	189
3.1.1.Pruebas de dimensionamiento.....	189
3.1.2.Pruebas funcionales	198
3.1.2.1.Pruebas del sistema de desplazamiento horizontal	198
3.1.2.2.Pruebas del sistema de desplazamiento vertical	203
3.1.2.3.Pruebas del sistema de venta automática	208
3.2.Análisis de resultados	221
3.2.1.Identificación de problemas y deficiencias de la máquina.....	221
3.2.2.Medidas correctivas	222
3.3.Puesta a punto y calibración final del prototipo.....	225
CAPITULO IV.....	227
ANÁLISIS DE COSTOS.....	227
4.1.Presentación de costos.....	227
4.2.Análisis Beneficio – Costo.....	233
CAPITULO V.....	237
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	237
5.1.Conclusiones	237
5.2.Recomendaciones	239

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. 1 Pastelillos personalizados	1
Ilustración 1. 2 Local comercial de “The cupcake factory“	2
Ilustración 1. 3 Espiral en máquinas expendedoras.....	3
Ilustración 1. 4 Presentación del producto	4
Ilustración 1. 5 Sistemas de distribución de cupcakes de la empresa Sprinkles	5
Ilustración 1. 6 Máquinas expendedoras de frituras.....	7
Ilustración 1. 7 Prototipo de la máquina expendedora	9
Ilustración 1. 8 Harón de Alejandría junto a uno de sus inventos, la primera máquina expendedora utilizada para vender agua bendita	10
Ilustración 1. 9 Carcasa de una máquina expendedora de frituras	11
Ilustración 1. 10 Monederos automáticos	11
Ilustración 1. 11 Sistemas de almacenamiento de una máquina expendedora.....	12
Ilustración 1. 12 Motores acoplados a las espirales de una máquina expendedora.....	12
Ilustración 1. 13 Máquinas expendedoras de diferentes productos	14
Ilustración 1. 14 Algoritmo de una máquina expendedora	14
Ilustración 1. 15 Monedero electrónico	15
Ilustración 1. 16 Funcionamiento de un monedero	16
Ilustración 1. 17 Detección denominación de billetes	16
Ilustración 1. 18 Frituras en los espirales de una máquina expendedora	17
Ilustración 1. 19 Retiro de producto	17
Ilustración 1. 20 Máquina expendedora de golosinas a granel	18
Ilustración 1. 21 Movimiento del granel en dos direcciones.....	18
Ilustración 1. 22 Granel con golosinas	19
Ilustración 1. 24 Pastelillo de “Orquidea Dulce“	20
Ilustración 1. 25 Partes de un pastelillo	21
Ilustración 1. 26 Producto empacado en cajas	21

Ilustración 2. 1 Mecatrónica simultánea.....	22
Ilustración 2. 2 Propuesta de ciclo de desarrollo para productos mecátronicos.....	23
Ilustración 2. 3 Diagrama de flujo del proceso	27
Ilustración 2. 4 Secciones del proceso.....	28
Ilustración 2. 5 Máquina expendedora del grupo Hanaska	29
Ilustración 2. 6 Gráfico de máquina expendedora	30
Ilustración 2. 7 Módulos de la máquina expendedora.....	31
Ilustración 2. 8 Nivelación mediante pies ajustables.....	32
Ilustración 2. 9 Ilustración del prototipo.....	32
Ilustración 2. 10 Espirales en una máquina expendedora	35
Ilustración 2. 11 Banda transportadora.....	36
Ilustración 2. 12 Mecanismo de tornillo sin fin.....	38
Ilustración 2. 13 Sistema cadena-catarina	39
Ilustración 2. 14 Principio de funcionamiento de los ascensores	40
Ilustración 2. 15 Sistema cadena-catarina como polea.....	40
Ilustración 2. 16 Diseño del prototipo.....	42
Ilustración 2. 17 Sistemas de bandas transportadoras	45
Ilustración 2. 18 Accionamiento simple con vertido directo.....	47
Ilustración 2. 19 Accionamiento simple con cabeza de vertido.....	47
Ilustración 2. 20 Accionamiento con dos cabezas motrices en tandem	47
Ilustración 2. 21 Accionamiento con dos cabezas motrices en tándem y cabezal vertido.....	48
Ilustración 2. 22 Estación tensora de dos tambores	48
Ilustración 2. 23 Estación tensora con una banda especial de apriete	48
Ilustración 2. 24 Esquema de la banda transportadora.....	49
Ilustración 2. 25 Hoja técnica de la banda seleccionada	50
Ilustración 2. 26 Hoja técnica de la banda seleccionada	51
Ilustración 2. 27 Diseño geométrico de la flecha motriz.....	52
Ilustración 2. 28 Datos técnicos del motor seleccionado	53
Ilustración 2. 29 Densidades de los polímeros.....	54
Ilustración 2. 30 Propiedades físicas de la flecha motriz	55

Ilustración 2. 31 Diagrama de cuerpo libre de la flecha motriz	56
Ilustración 2. 32 Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante eje Y de la flecha motriz.....	58
Ilustración 2. 33 Diagrama de fuerza cortante y momento flexionante eje Z de la flecha motriz.....	58
Ilustración 2. 34 Diagrama de torques de la flecha motriz	59
Ilustración 2. 35 Flecha motriz	59
Ilustración 2. 36 Fuerzas y momentos en el punto crítico	60
Ilustración 2. 37 Cálculo de momentos en el punto crítico	60
Ilustración 2. 38 Cálculo de momentos en el punto de análisis	61
Ilustración 2. 39 Propiedades físicas del nylon	63
Ilustración 2. 40 Análisis de esfuerzos en el diseño de la flecha	64
Ilustración 2. 41 Factor de seguridad en el diseño de la flecha	64
Ilustración 2. 42 Comprobación del diseño de la flecha a fatiga	65
Ilustración 2. 43 Flecha conducida.....	65
Ilustración 2. 44 Propiedades físicas de la flecha conducida.....	66
Ilustración 2. 45 Diagrama de cuerpo libre de la flecha conducida	67
Ilustración 2. 46 Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje Y de la flecha conducida	68
Ilustración 2. 47 Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje Z de la flecha conducida.....	69
Ilustración 2. 48 Diseño geométrico eje fijo	70
Ilustración 2. 49 Propiedades físicas del eje fijo	70
Ilustración 2. 50 Diagrama de cuerpo libre del eje fijo	71
Ilustración 2. 51 Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje Y del eje fijo.....	73
Ilustración 2. 52 Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje Z del eje fijo	74
Ilustración 2. 53 Fuerzas y momentos en el punto crítico	75
Ilustración 2. 54 Análisis de esfuerzos en el diseño de la flecha	77
Ilustración 2. 55 Factor de seguridad en el diseño de la flecha	77
Ilustración 2. 56 Comprobación del diseño del eje fijo a fatiga	78
Ilustración 2. 57 Catálogo de chumaceras / selección	80

Ilustración 2. 58 Catálogo de rodamientos / selección	82
Ilustración 2. 59 Medida del soporte lateral para cumplir los requerimientos	83
Ilustración 2. 60 Soporte lateral derecho	84
Ilustración 2. 61 Soporte lateral izquierdo	84
Ilustración 2. 62 Máxima longitud para el soporte central	85
Ilustración 2. 63 Longitud del soporte central	85
Ilustración 2. 64 Geometría del soporte central	86
Ilustración 2. 65 Fuerzas en los soportes laterales	87
Ilustración 2. 66 Cargas en el soporte lateral.....	87
Ilustración 2. 67 Medidas del soporte lateral.....	88
Ilustración 2. 68 Soporte central	89
Ilustración 2. 69 Análisis de deflexión en el soporte central.....	90
Ilustración 2. 70 Hoja técnica del motor seleccionado	91
Ilustración 2. 71 Pastelillo empacado en su caja de 10cm x 10cm x 10cm..	93
Ilustración 2. 72 Cabina de transporte	93
Ilustración 2. 73 Partes de una cadena.....	94
Ilustración 2. 74 Cadena y piñón seleccionados del catálogo de SHIMANO	95
Ilustración 2. 75 Catálogo de cadenas CONNEX.....	96
Ilustración 2. 76 Polea fija.....	96
Ilustración 2. 77 Sistemas de cables del ascensor	97
Ilustración 2. 78 Sistemas de cables en ascensores	97
Ilustración 2. 79 Piñón de cadena con 14 dientes.....	99
Ilustración 2. 80 Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en la polea	100
Ilustración 2. 81 Diseño geométrico de la flecha del ascensor	101
Ilustración 2. 82 Propiedades del aluminio y del acero	101
Ilustración 2. 83 Propiedades físicas de la flecha del ascensor	102
Ilustración 2. 84 Diagrama de cuerpo libre de la flecha del ascensor	103
Ilustración 2. 85 Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante de la flecha en el eje Z.....	104
Ilustración 2. 86 Esquema de la flecha del ascensor	105

Ilustración 2. 87 Fuerzas y momentos en el punto crítico	106
Ilustración 2. 88 Cálculo de momentos en el punto de análisis	106
Ilustración 2. 89 Análisis de esfuerzos en el diseño de la flecha	108
Ilustración 2. 90 Factor de seguridad en el diseño de la flecha	109
Ilustración 2. 91 Comprobación del diseño de la flecha a fatiga	109
Ilustración 2. 92 Catálogo chumaceras / selección	111
Ilustración 2. 93 Estructura del ascensor	112
Ilustración 2. 94 Momentos en la estructura del ascensor	113
Ilustración 2. 95 Fuerzas y momento en la base de la estructura del ascensor	114
Ilustración 2. 96 Propiedades físicas del ensamble del ascensor	115
Ilustración 2. 97 Selección del motor en el catálogo de POLOLU.....	117
Ilustración 2. 98 Ilustración de los sensores	118
Ilustración 2. 99 Sensores del sistema de desplazamiento vertical	120
Ilustración 2. 100 Principio de operación del interruptor magnético.....	121
Ilustración 2. 101 Vista del prototipo sin la puerta.....	121
Ilustración 2. 102 Vista del prototipo con puerta	122
Ilustración 2. 103 Geometría de la bandeja	125
Ilustración 2. 104 Vigas en voladizo.....	125
Ilustración 2. 105 Medidas de la bandeja.....	126
Ilustración 2. 106 Geometría de la parte inferior	127
Ilustración 2. 107 Medidas del lugar para el almacenamiento de las monedas	128
Ilustración 2. 108 Medidas requeridas en la parte inferior	129
Ilustración 2. 109 Fuerzas en las bisagras.....	130
Ilustración 2. 110 Propiedades físicas de la puerta.....	131
Ilustración 2. 111 Dimensiones del vidrio a ser colocado en la parte frontal.....	132
Ilustración 2. 112 Diagrama de fuerzas en la estructura.....	133
Ilustración 2. 113 Propiedades físicas de la estructura.....	134
Ilustración 2. 114 Reacciones en los apoyos de la estructura	137
Ilustración 2. 115 Catálogo de garruchas / selección.....	138
Ilustración 2. 117 Actuador de la puerta de expendio	139

Ilustración 2. 118 Pulsador	140
Ilustración 2. 119 LCD display 16x2.....	141
Ilustración 2. 120 Distribución de pines LCD display 16x2	141
Ilustración 2. 121 Monedero LK400M	142
Ilustración 2. 122 Guía para la configuración del monedero	143
Ilustración 2. 123 Diagrama de un sistema de control	144
Ilustración 2. 124 Proceso de diseño de un sistema de control	145
Ilustración 2. 125 Tipos de señales.....	146
Ilustración 2. 126 Microcontroladores, versión encapsulado PDIP	151
Ilustración 2. 127 Estructura genérica de un microcontrolador	152
Ilustración 2. 128 Distribución de pines PIC16F877A.....	153
Ilustración 2. 129 Distribución de pines ATMEGA 164P	154
Ilustración 2. 130 Configuración de los interruptores magnéticos.....	158
Ilustración 2. 131 Configuración de los pulsadores de selección con luz piloto	159
Ilustración 2. 132 Configuración de los motores con caja reductora a 12 voltios DC	161
Ilustración 2. 133 Configuración del decodificador para los motores	161
Ilustración 2. 134 Configuración del sensor infrarrojo	164
Ilustración 2. 135 Configuración del motor 12 voltios DC (motor para la puerta de expendio)	164
Ilustración 2. 136 Configuración del LCD.....	166
Ilustración 2. 137 Interfaz del IDE BASCOM	167
Ilustración 2. 138 Configuración de pines del microcontrolador como entrada o salida	168
Ilustración 2. 139 Configuración de alias, PWM, LCD y activación de interrupciones	169
Ilustración 2. 140 Declaración de subrutinas y variables	170
Ilustración 2. 141 Programación de la rutina de configuración	171
Ilustración 2. 142 Extracto del programa principal basado en subrutinas..	172
Ilustración 2. 143 Pantalla de bienvenida del sistema	178
Ilustración 2. 144 Pantalla de credito y selección del pastelillo.....	178
Ilustración 2. 145 Luz piloto del nivel del pastelillo seleccionado.....	179

Ilustración 2. 146 Mensaje de compra en proceso.....	179
Ilustración 2. 147 Activación de motores de bandas transportadoras y ascensor	179
Ilustración 2. 148 Mensaje para retirar el producto.....	180
Ilustración 2. 149 Activación del motor para abrir la compuerta externa....	180
Ilustración 2. 150 Mensaje al final de la compra	180
Ilustración 2. 151 Configuración del valor y numero de credits.....	181
Ilustración 2. 152 Relación entre la corriente y el ancho de pista (mil=milésima de pulgada)	182
Ilustración 2. 153 Relación entre el tamaño del orificio y el pad	183
Ilustración 2. 154 Espacio entre conductores eléctricos de un PCB	184
Ilustración 2. 155 Tamaños estandarizados del PCB	185
Ilustración 2. 156 Materiales de placas para circuitos impresos	186
Ilustración 2. 157 Diseño del PCB en 3D (Software ARES).....	188
Ilustración 2. 158 Implementación de componentes en el PCB (Software ARES).....	188
Ilustración 2. 159 Contabilización de los créditos ingresados	213
Ilustración 2. 160 Pantalla una vez ingresado el valor total del pastelillo...	214
Ilustración 2. 161 Accionamiento de los botones en cada fila.....	215
Ilustración 3. 1 Medidas de la banda transportadora	190
Ilustración 3. 2 Medida del ancho de la banda transportadora de acuerdo al diseño.....	190
Ilustración 3. 3 Medidas de la bandeja de acuerdo al diseño	193
Ilustración 3. 4 Medidas del sistema de desplazamiento vertical de acuerdo al diseño.....	196
Ilustración 3. 5 Pruebas de velocidad de las bandas transportadoras.....	201
Ilustración 3. 6 Pruebas para determinar el tiempo de activación de las bandas transportadoras	202
Ilustración 3. 7 Ubicación del producto en las bandas transportadoras (medidas en mm)	203
Ilustración 3. 8 Ubicación de la cabina receptora en la parte inferior de la banda transportadora.....	205

Ilustración 3. 9 Desplazamiento del pastelillo con la cabina receptora en la parte inferior	206
Ilustración 3. 10 Ubicación de la cabina receptora en la parte media de la banda transportadora	206
Ilustración 3. 11 Desplazamiento del pastelillo con la cabina receptora en la parte central de la banda transportadora	207
Ilustración 3. 12 Ubicaciónn de la cabina receptora en la parte superior de la banda transportadora	207
Ilustración 3. 13 Desplazamiento del pastelillo con la cabina en la parte superior de la banda transportadora	208
Ilustración 3. 14 Circuito de acondicionamiento para la señal del monedero.....	210
Ilustración 3. 15 Configuración del número de créditos y valor del crédito	212
Ilustración 3. 16 Parada del sistema de desplazamiento vertical en el nivel seleccionado.....	216
Ilustración 3. 17 Puerta de expendio con motor y sensores	217
Ilustración 3. 18 Diagrama de flujo para la activación del motor trampa	218
Ilustración 3. 19 Mensaje de bienvenida permanente en el prototipo	219
Ilustración 3. 20 Sensor Infrarrojo emisor - receptor	222
Ilustración 3. 21 Ejemplo de medición para la ubicación de la cabina	224

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Diferencias entre los productos que se expenden en las máquinas expendedoras habituales y los pastelillos	3
Tabla 2. 1 Requerimientos funcionales del diseño.....	26
Tabla 2. 2 Características técnicas del BVM 685 3 grados.....	30
Tabla 2. 3 Características técnicas del prototipo	33
Tabla 2. 4 Cuadro comparativo mecanismos horizontales	37
Tabla 2. 5 Cuadro comparativo mecanismos verticales.....	41
Tabla 2. 6 Especificaciones de diseño para la banda transportadora.....	49
Tabla 2. 7 Especificaciones de diseño del sistema de desplazamiento vertical	92
Tabla 2. 8 Funcionamiento de los sensores probados para el sistema de desplazamiento vertical	119
Tabla 2. 9 Requerimientos para diseño de las bandejas	123
Tabla 2. 10 Requerimientos para diseño de la mesa inferior	123
Tabla 2. 11 Requerimientos para diseño de la carcasa	124
Tabla 2. 12 Requerimientos para diseño de la puerta	124
Tabla 2. 13 Especificaciones de diseño del sistema de control	148
Tabla 2. 14 Señales de entrada en el sistema de venta automática.....	149
Tabla 2. 15 Señales de salida del sistema de venta automática.....	150
Tabla 2. 16 Tabla comparativa entre PIC 16F877A y ATMEGA 164P.....	155
Tabla 2. 17 Tabla de verdad del integrado 74LS138 (H: nivel alto y L: nivel bajo)	163
Tabla 2. 18 Requerimientos de la fuente de corriente continua.....	173
Tabla 2. 19 Valores normalizados de cables AWG.....	174
Tabla 2. 20 Selección de cableado AWG	177
Tabla 2. 21 Parametros del diseño del PCB	187

Tabla 3. 1 Dimensiones del sistema de desplazamiento horizontal de acuerdo al diseño.....	190
Tabla 3. 2 Dimensiones de la banda transportadora 1 construida	191
Tabla 3. 3 Dimensiones de la banda transportadora 2 construida	191
Tabla 3. 4 Dimensiones de la banda transportadora 3 construida	191
Tabla 3. 5 Dimensiones de la banda transportadora 4 construida	191
Tabla 3. 6 Dimensiones de la banda transportadora 5 construida	192
Tabla 3. 7 Tabla de variaciones entre las medidas de diseño y las medidas reales del sistema	192
Tabla 3. 8 Errores porcentuales de las medidas del sistema de desplazamiento horizontal	192
Tabla 3. 9 Dimensiones de las bandejas en el armario principal	193
Tabla 3. 10 Dimensiones de la bandeja 1	194
Tabla 3. 11 Dimensiones de la bandeja 2.....	194
Tabla 3. 12 Dimensiones de la bandeja 3.....	194
Tabla 3. 13 Dimensiones de la bandeja 4.....	194
Tabla 3. 14 Dimensiones de la bandeja 5.....	195
Tabla 3. 15 Tabla de variaciones entre las medidas de diseño y las medidas reales del sistema	195
Tabla 3. 16 Errores porcentuales de las medidas en las bandejas.....	195
Tabla 3. 17 Dimensiones del sistema de desplazamiento vertical de acuerdo al diseño.....	196
Tabla 3. 18 Dimensiones del sistema de desplazamiento vertical construido	197
Tabla 3. 19 Tabla de variaciones entre las medidas de diseño y las medidas reales del sistema de desplazamiento vertical	197
Tabla 3. 20 Errores porcentuales de las medidas en el sistema de desplazamiento vertical	197
Tabla 3. 21 Dimensiones del espacio para el sistema de desplazamiento vertical	198
Tabla 3. 22 Condiciones para las pruebas de las bandas transportadoras.....	199
Tabla 3. 23 Pruebas realizadas con carga a la banda transportadora.....	200

Tabla 3. 24 Resultados de las pruebas de velocidad tangencial de la banda transportadora.....	201
Tabla 3. 25 Resultados para el tiempo de dispensación de un producto ...	203
Tabla 3. 26 Resultados de pruebas de velocidad del ascensor	204
Tabla 3. 27 Resultados de la identificación de monedas por parte del monedero.....	209
Tabla 3. 28 Resultados de pruebas de la señal de control del monedero .	210
Tabla 3. 29 Resultados de pruebas de la señal de control de sensores	211
Tabla 3. 30 Resultados de pruebas en la fase de configuración del sistema	213
Tabla 3. 31 Resultados de pruebas de contabilización de monedas ingresadas	214
Tabla 3. 32 Resultados de pruebas de la elección del pastelillo.....	215
Tabla 3. 33 Resultados de pruebas de la desactivación del ascensor.....	216
Tabla 3. 34 Condiciones para la activación del motor de la puerta de expendio	218
Tabla 3. 35 Pruebas de funcionamiento de la puerta de expendio	219
Tabla 3. 36 Pruebas de visualización del mensaje de bienvenida	220
Tabla 3. 37 Resultados de la validación para cada nivel	220
Tabla 3. 38 Resultados de pruebas de contabilización de monedas ingresadas con el sensor infrarrojo	223
Tabla 3. 39 Posición de la cabina del ascensor para cada nivel.....	224
Tabla 3. 40 Calibración del sensor infrarrojo de presencia de monedas ...	226
Tabla 3. 41 Calibración final para el tiempo de dispensación de un producto.....	226
Tabla 4. 1 Costos de herramientas	227
Tabla 4. 2 Costos de pruebas para el desarrollo del prototipo.....	228
Tabla 4. 3 Costos del sistema de desplazamiento horizontal	229
Tabla 4. 4 Costos del sistema de desplazamiento vertical	230
Tabla 4. 5 Costos del bastidor	231
Tabla 4. 6 Costos del sistema de venta automática.....	232
Tabla 4. 7 Resumen de costos del Prototipo	233

Tabla 4. 8 Ingresos que genera la máquina expendedora respecto a un local comercial	234
Tabla 4. 9 Costos para la fabricación de una máquina expendedora de pastelillos	235
Tabla 4. 10 Resumen de Egresos.....	236

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A

Planos mecánicos

ANEXO B

Código del programa

RESUMEN

El presente proyecto detalla el diseño y construcción del prototipo de una máquina expendedora de pastelillos tomando en cuenta las características y diferencias entre los productos que se comercializan en las máquinas expendedoras habituales y los pastelillos. El objetivo de la empresa patrocinadora es lograr una máquina económica, sustentable y funcional para el expendio de su producto, que pueda ser ubicada en lugares de gran aglomeración, para comercializar los pastelillos e incrementar su mercado. Para la construcción de este prototipo se seleccionó un sistema de desplazamiento horizontal y otro vertical para garantizar que el producto no sufra caídas ni choques durante el proceso de compra, además de un sistema de venta automática que permite el accionamiento de los sistemas mediante la parte electrónica de control de la máquina. El prototipo obtenido es una máquina que cumple con los requerimientos técnicos y funcionales planteados al inicio de este proyecto; es capaz de almacenar 20 unidades en su interior además de exponerlas al público, y de llevarlas desde el lugar de su exposición hasta su lugar de expendio sin ningún problema. Al ser una máquina que va a estar ubicada sin supervisión alguna por parte del propietario, se ha tomado en cuenta las seguridades necesarias para evitar el hurto del producto, además de implementar un sistema de control que garantice la correcta adquisición de las monedas ingresadas, como también el accionamiento de los sistemas colocados en el interior para evitar fraudes a los clientes y potencializar el mercado vending en nuestro país.

PALABRAS CLAVES: MÁQUINA EXPENDEDORA, PASTELILLOS, DISEÑO MECATRÓNICO, PRODUCTO FRÁGIL, VENTA AUTOMÁTICA

ABSTRACT

This project details the process and construction of a vending machine prototype thinking about the characteristics of the product to be dispensed and the difference between products sold in the common vending machines and the cupcakes. The objective of the sponsoring company is to achieve an economic, sustainable and functional machine for the sale of its product; it can be located in crowded places to increase its market. For the construction of this prototype we selected a horizontal system and a vertical system to ensure that the product doesn't fall during the sale process and an automatic vending system to control the others systems. The obtained prototype satisfies the technical and functional requirements of this project; it can store 20 units inside and the public can see them. The cupcakes are transported from its exposure place to its expense place without any problem. The machine will be located without human supervision; for that reason we have thought in the security for avoiding stealing of the product. The implemented control system secures the correct acquisition of the coins deposited, also driving the systems placed inside to prevent frauds and potentiate the vending market in our country.

KEY WORDS: VENDING MACHINE, CUPCAKES, MECHATRONIC DESIGN, FRAGILE PRODUCT, AUTOMATIC SALE

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se describe los antecedentes de la empresa patrocinadora, además de analizar los inconvenientes de utilizar las máquinas expendedoras que actualmente existen en el mercado; se explica también el proceso de compra en una máquina de este tipo, y las características del producto que va a vender el prototipo.

1.1. Generalidades

1.1.1. Antecedentes de la empresa: “The Cupcake Factory”

“The Cupcake Factory” es una microempresa cuya gerente y propietaria es Pamela Alexandra Ruales; tiene tres años en el mercado y su actividad económica es la elaboración personalizada de pastelillos, actualmente labora únicamente en la ciudad de Quito.



Ilustración 1. 1 Pastelillos personalizados

Anteriormente la empresa no contaba con un local comercial y distribuía su producto a domicilio y bajo pedido, pero a partir del 15 de julio del 2013 ya cuenta con una local ubicado al norte de la capital en la avenida de los Shyris N34-412 y Portugal.



Ilustración 1. 2 Local comercial de “The cupcake factory”

1.1.2. Planteamiento del problema

En el mercado ecuatoriano ya existen máquinas expendedoras, pero éstas venden productos que no sufren daños con la caída, en el caso de la empresa “The Cupcake Factory” que desea vender su producto a través de esta tecnología lo primero es analizar las principales diferencias entre los artículos que se expende en las máquinas comunes y el producto que se desea comercializar en este proyecto:

Tabla 1. 1 Diferencias entre los productos que se expenden en las máquinas expendedoras habituales y los pastelillos

	Productos que se expenden en las máquinas habituales	Producto a expenderse en “cupcake-vending machine“
¿Sufre daño ante caídas?	No	Si
Ancho del producto	2,5 cm	10 cm
Tiempo que puede estar almacenado el producto en la máquina	3 meses	1 a 2 días



Debido a las diferencias entre estos productos no se puede utilizar las máquinas vendedoras de frituras por las siguientes razones:

- ✓ El espacio entre los espirales no es suficiente para poder colocar las cajas con los pastelillos.

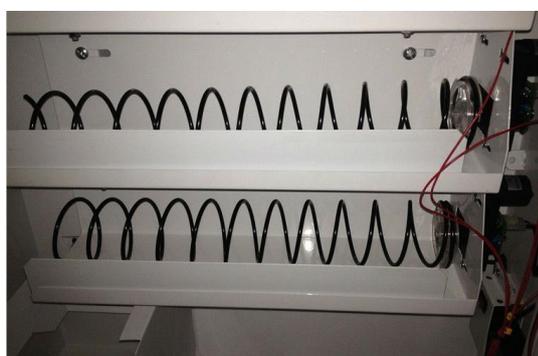


Ilustración 1. 3 Espiral en máquinas expendedoras

Fuente: (Alibaba,2014)

- ✓ La caída que sufren las frituras arruinarían la decoración del pastelillo.
- ✓ La capacidad de la máquina de este proyecto no se recomienda que sea mayor a 30 pastelillos ya que al ser un producto pereable debe cambiarse todos los días, al contrario de las frituras que pueden permanecer allí por semanas.

Para expender los pastelillos de la empresa “The Cupcake Factory” es necesario diseñar una máquina para manejar el producto sin que sufra ninguna caída o movimiento brusco y con ello evitar cualquier tipo de daño en su presentación; en el mercado ecuatoriano el sistema de venta automática (Vending) no es muy popular aún, e incluso ésta forma de distribución novedosa en nuestro país haría que la marca se conozca más fácilmente.



Ilustración 1. 4 Presentación del producto

La empresa ha buscado en nuestro país distribuidores de máquinas expendedoras que cuenten con una máquina que pueda vender un producto frágil, pero lastimosamente todas las disponibles en el mercado están diseñadas para expender productos como frituras empacadas, bebidas y chicles, los cuales no presentan este tipo de inconveniente.

Se ha realizado cotizaciones de máquinas en China pero su costo es demasiado elevado porque no existe dentro del mercado una máquina que cumpla con los requerimientos que tiene el cliente; por esta razón es necesario crear un prototipo que pueda replicarse posteriormente para el expendio masivo de pastelillos a nivel nacional.

Sprinkles Cupcake ATM es la única empresa que cuenta con un sistema de venta de pastelillos ubicado en las ciudades de Los Ángeles, New York y Beverly Hills, pero no cuenta con máquinas expendedoras, sino con un sistema más robusto que se ubica únicamente en las instalaciones de sus locales.



Ilustración 1. 5 Sistemas de distribución de cupcakes de la empresa Sprinkles

Fuente: (Doobybrain 2012)

1.1.3. Justificación e importancia del proyecto

El objetivo de la empresa es distribuir su producto en lugares de gran afluencia como son: centros comerciales, universidades, cines, aeropuertos, terminales terrestres, etc.; sin embargo el poseer locales para comercializar su producto dentro de estos lugares conlleva ciertas dificultades a los dueños de este negocio, entre los cuales podemos mencionar:

- ✓ Alquiler de un local comercial en cada lugar en el que desean expender su producto.
- ✓ Contratación de al menos dos personas que atiendan a la clientela en cada uno de los locales comerciales.
- ✓ Mobiliario y vitrinas para su exposición al público.

Sin embargo hoy la tecnología nos brinda nuevos caminos para expender diversos tipos de productos sin ocupar gran espacio ni capital humano; una de las formas más usadas actualmente son las conocidas máquinas expendedoras, que consisten en artefactos en los que se encuentran almacenados los productos que van a venderse y que además poseen un sistema de cobro automático que permite la fácil interacción entre el cliente y la máquina sin necesidad de una segunda persona que expendiera el producto, además presentan la gran ventaja de trabajo ininterrumpido durante las 24 horas del día.

“The cupcake factory“ al ser una microempresa nueva desea apostar por esta innovadora forma de venta, además de introducir a nuestro país esta tecnología que es muy popular en el continente europeo; “España es una potencia europea en el uso de máquinas de vending con una industria consolidada y con un uso muy integrado en nuestros hábitos: las máquinas de cigarrillos, la máquina del café, los refrescos. Según los datos de 2009 de Eu’Vend, España ocupa la 5ª posición por número de máquinas de vending con 483.801 unidades. Estas máquinas generan una facturación de 1.392 millones de euros con una densidad de 95 habitantes por máquina. España ocupa el tercer puesto en densidad de máquinas por detrás de Holanda e Italia y por delante de Austria, Suecia y Dinamarca.” (Sage,2014).

Sin embargo las características de su producto (frágil) hacen que no puedan adquirir las máquinas expendedoras convencionales, puesto que el pastelillo al caer como lo hacen en las frituras sufriría daños estéticos y la gente no los adquiriría por este medio.



Ilustración 1. 6 Máquinas expendedoras de frituras

Fuente: (Consejoguia,2014)

Uno de los objetivos es también lograr un diseño de bajo costo que permita al empresario construir varias máquinas expendedoras, y que de esta manera llegue a más lugares con su producto y logremos que nuestro país se vea más involucrado con esta tecnología.

1.1.4. Objetivos

1.1.4.1. Objetivo General

- ✓ Diseñar y construir el prototipo de una máquina expendedora cumpliendo un sistema de flujo de producto frágil para la venta de pastelillos de la marca “The Cupcake Factory”.

1.1.4.2. Objetivos Específicos

- ✓ Diseñar e implementar el prototipo de una máquina que incluya un mecanismo que permita el cuidadoso transporte de pastelillos desde

su estantería hasta el cliente para mantener su presentación y decorado en perfecto estado.

- ✓ Diseñar e implementar el sistema electrónico que permita accionar todas las funcionalidades de la máquina cuando el sistema de venta automática determine que se ha ingresado la cantidad de monedas necesarias para realizar una compra.
- ✓ Diseñar e implementar el control y la automatización del sistema dispensador del producto mediante sensores y actuadores.
- ✓ Realizar un diseño sustentable, económico y funcional que promueva la utilización de máquinas expendedoras en el país.
- ✓ Diseñar una máquina de fácil mantenimiento tanto mecánico como electrónico.

1.1.5. Alcance del proyecto

Construir el prototipo de una máquina expendedora de producto frágil, que pueda expender pastelillos sin sufrir ningún daño. Dentro de la parte mecánica la máquina contará con:

- ✓ Cinco sistemas que permitan el desplazamiento horizontal del producto.
- ✓ Un mecanismo vertical que lleve el pastelillo desde las bandejas hasta el punto que pueda ser tomado por el cliente.
- ✓ Trampa mecatrónica que bloquee la salida del producto si no se ha cancelado su costo.
- ✓ Armario resistente donde se ubicará todos los mecanismos.

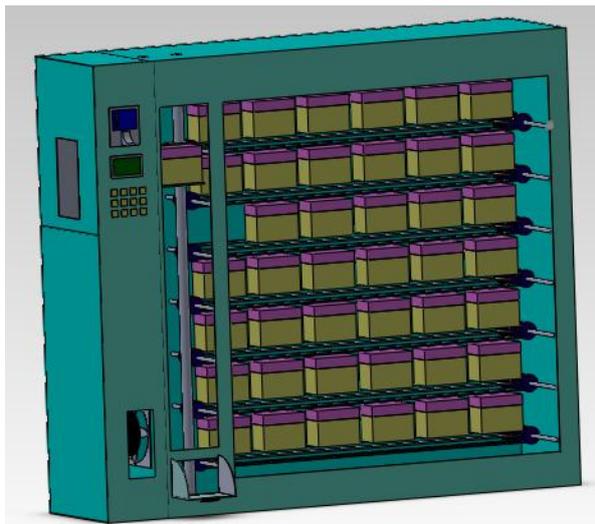


Ilustración 1. 7 Prototipo de la máquina expendedora

En cuanto a la parte electrónica y de control contendrá lo siguiente:

- ✓ Sistema de venta automática.
- ✓ Pantalla LCD que muestre la información del cobro, proceso y configuración del número de créditos que debe ingresarse para hacer efectiva la compra.

1.2. Máquinas Exendedoras

1.2.1. Descripción de máquinas expendedoras

Las máquinas expendedoras son máquinas que actúan directamente con el consumidor, y que actualmente son capaces de vender gran cantidad y tipos de productos como: frituras, bebidas calientes y frías, alimentos, periódicos, revistas, papel higiénico, toallas femeninas, entre otros; son capaces de vender el producto sin la presencia de un empleado ya que poseen un sistema de venta automática, una vez que el cliente ha introducido el dinero, el producto es desplazado mediante diferentes mecanismos (van acorde al producto a expender) a un lugar de la máquina donde pueda ser tomado por el cliente. La máquina no es del todo autónoma, ya que periódicamente una persona debe dirigirse a ella para retirar el dinero recaudado por las ventas realizadas y colocar más producto.

Esta forma de venta se ha ido introduciendo desde el siglo I, “la primera máquina expendedora fue construida por el griego Herón de Alejandría. Utilizó el principio de los vasos comunicantes. Una vez introducida la moneda, la masa desplazaba la misma cantidad de agua. Así el consumidor recibía agua bendita. Por lo tanto, Herón de Alejandría fue el primer operador de expendedoras automáticas Stollwerck de Volkmann del año 1892.” (Vending-planet,2014)

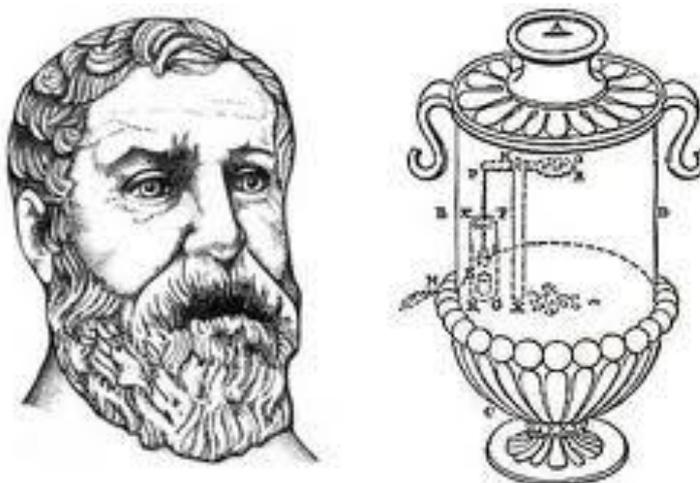


Ilustración 1. 8 Harón de Alejandría junto a uno de sus inventos, la primera máquina expendedora utilizada para vender agua bendita

Fuente: (Satvending-Barcelona,2014)

A continuación mostraremos las partes de una máquina expendedora de frituras:

- ✓ Carcasa: es la parte exterior de la máquina suele ser de acero y presenta la forma de un prisma rectangular.

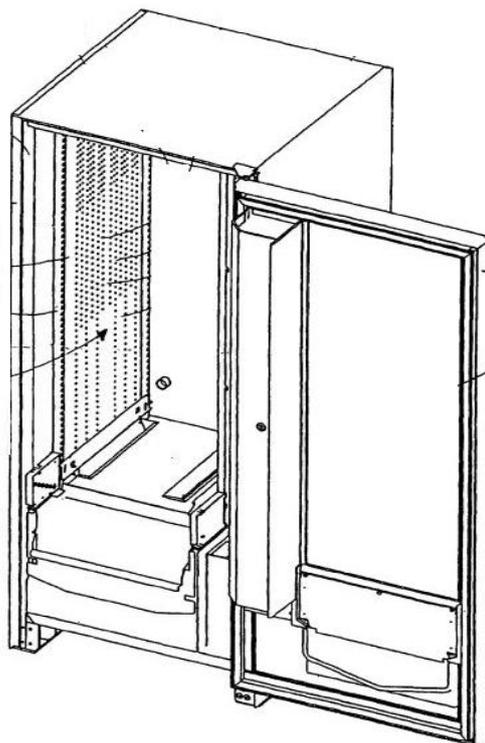


Ilustración 1. 9 Carcasa de una máquina expendedora de frituras

Fuente: (Patentados,2014)

- ✓ Sistema de cobro: es un monedero automático que admiten monedas para el cobro del producto a expendirse, aunque en la actualidad son capaces de recibir varios tipos de monedas, billetes, tarjetas de crédito e incluso pueden dar cambio.



Ilustración 1. 10 Monederos automáticos

Fuente: (Alibaba, 2014)

- ✓ Sistema de almacenamiento del producto: todas las máquinas expendedoras poseen un sistema de almacenamiento del producto, en caso de las máquinas de frituras estos están compuestos por espirales sobre repisas alargadas.

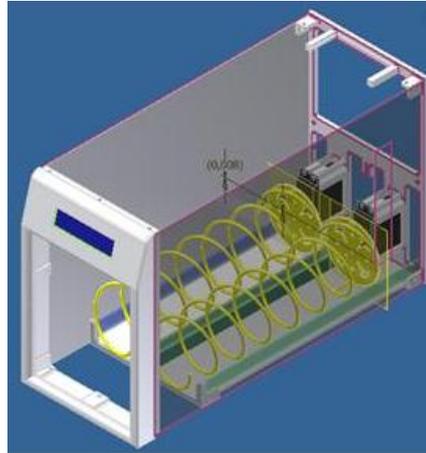


Ilustración 1. 11 Sistemas de almacenamiento de una máquina expendedora

Fuente: (Ingeniería Tecnoparque, 2010)

- ✓ Mecanismo para desplazar el producto: en el caso de estas máquinas el mecanismo está formado por un espiral, el cual puede variar el paso dependiendo del producto que se vaya a colocar, y un motor acoplado a éste que al accionarse hace girar el espiral y con ello se logra el desplazamiento del producto.



Ilustración 1. 12 Motores acoplados a las espirales de una máquina expendedora

Fuente: (Youtube, 2014)

1.2.2. Ventajas de máquinas expendedoras

Las máquinas expendedoras llevan años en el mercado y han ido evolucionando con la industria, tanto así que hoy pueden ser utilizadas para casi todo, desde chocolates y chicles hasta artículos un poco extraños como: huevos, licores, hot dogs, canguil, langostas vivas, artículos electrónicos, entre otras; el producto ya no es un impedimento para esta industria, e incluso se trata de innovar añadiéndoles juegos o brindando al cliente un espectáculo además del producto.

Por su vinculación con la tecnología las máquinas expendedoras presentan muchas ventajas:

- ✓ Puede trabajar todo el tiempo, algo que una persona no podría hacer, puesto que necesariamente requiere tiempo a diario para descansar, pero la máquina solo deja de trabajar cuando le están cargando producto o le están realizando mantenimiento.
- ✓ Recuperación casi inmediata de la inversión, ya que no conlleva el pago de un empleado, ni de un local comercial, la ganancia es casi neta por ello se recupera la inversión rápidamente.
- ✓ Aunque las máquinas expendedoras en nuestro país no son muy populares, el mercado se va familiarizando con ellas, y por esta razón es un mercado en crecimiento.
- ✓ Son de fácil movilidad, si los índices de venta no son altos, la máquina puede ser trasladada a otro lugar con mayor potenciales de venta.
- ✓ Estas máquinas no producen residuos ni desechos.
- ✓ Evitan los tiempos muertos y brindan mayor eficiencia y rendimiento.
- ✓ Permiten mayor control sobre las ventas.



Ilustración 1. 13 Máquinas expendedoras de diferentes productos

Fuente: (Tinervending, 2014)

1.2.3. Funcionamiento de las máquinas expendedoras

Para cualquier máquina expendedora se rige el siguiente algoritmo:

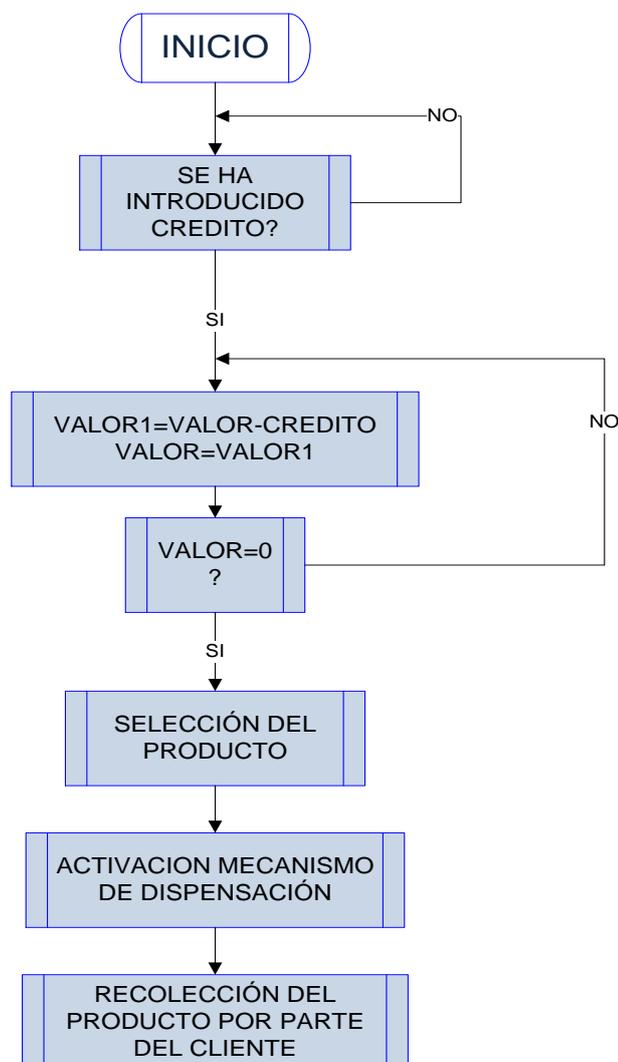


Ilustración 1. 14 Algoritmo de una máquina expendedora

Una de las partes más importantes de una máquina expendedora es el sistema de cobro, en la actualidad existen gran variedad de estos sistemas y la principal diferencia es la forma de pago que admiten como por ejemplo: monedas, billetes e incluso tarjetas de débito/credito.

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE COBRO AUTOMÁTICO

El monedero más simple funciona con una moneda patrón que se debe ubicar en la parte posterior del monedero, una vez que el usuario ingresa la moneda es comparada con la moneda patrón ubicada anteriormente, si son iguales la moneda es aceptada caso contrario es expulsada. Además, cuenta con dos accionamientos de relés independientes, uno que emite una señal al detectar la moneda y otro de contador, ambos relés cuentan con un contacto normalmente abierto y otro cerrado. Y también cuenta con una alarma que se activa si una moneda se ha trabado dentro del monedero.

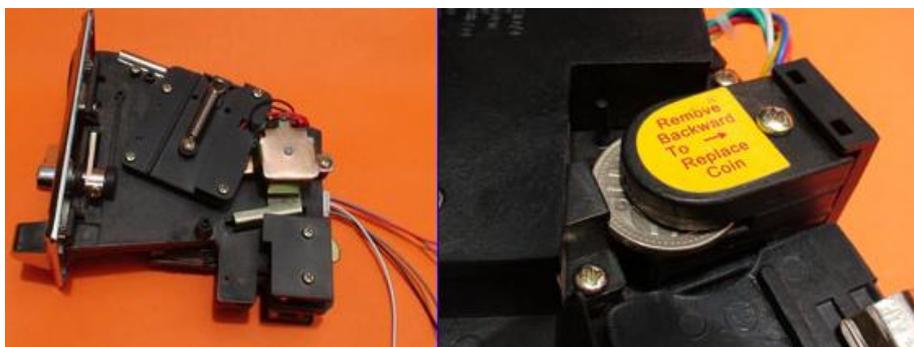


Ilustración 1. 15 Monedero electrónico

Fuente: (Monedero, 2014)

El avance tecnológico ha permitido que los monederos actuales además de reconocer varios tipos de monedas sean capaces de entregar cambio al cliente esto se logra ya que las monedas que ingresan al monedero son detectadas por varios sensores, las monedas provocan cambios de frecuencia en ellos, lo cual les permite reconocer el diámetro, grosor y aleación de la que están hechas, con estos datos las monedas pueden ser clasificadas de acuerdo a su valor.



Ilustración 1. 16 Funcionamiento de un monedero

Fuente: (Youtube, 2014)

También existen otros sistemas de cobros más modernos que admiten billetes, una vez que estos ingresan al sistema una luz se aplica sobre ellos, los rayos laser penetran el papel en unos puntos determinados y de acuerdo al papel y la tinta del billete la máquina sabe si es verdadero y cual es su denominación, además es capaz de comprobar la tinta magnética en el anverso de los billetes.

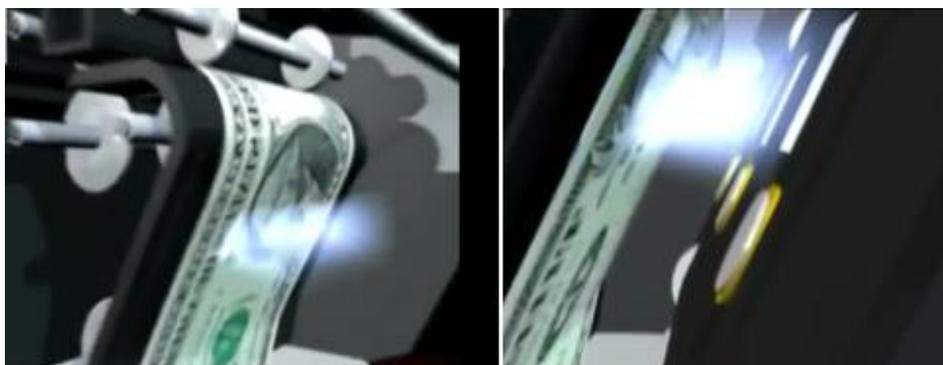


Ilustración 1. 17 Detección denominación de billetes

Fuente: (Youtube, 2014)

Una vez que ha sido ingresado el valor correcto ya sea en monedas o billetes el monedero emite una señal que permite que la máquina empiece a accionar un mecanismo para el desplazamiento del producto.



Ilustración 1. 18 Frituras en los espirales de una máquina expendedora

Fuente: (Consejoguia, 2014)

Una vez que el producto cae, el usuario puede deslizar la puerta y retirar el producto de la parte inferior de la máquina.



Ilustración 1. 19 Retiro de producto

Fuente: (Youtube, 2014)

Existen máquinas expendedoras que son más innovadoras que permiten el expendió de golosinas por peso, en el año 2010 se dió a conocer la siguiente invención tecnológica:



Ilustración 1. 20 Máquina expendedora de golosinas a granel

Fuente: (Youtube, 2014)

Una vez que se ingresa el crédito el usuario puede tomar varias de las golosinas hasta agotar el crédito ingresado, al lado derecho de la máquina se encuentra un teclado donde se puede seleccionar la golosina que se desea adquirir, entonces el granel que tiene movimiento en dos direcciones (horizontal y vertical) se dirige hasta el número seleccionado, el espiral gira hasta dejar caer las golosinas al granel. Éste tiene en su parte inferior una balanza que permite al cliente observar el peso y como se va consumiendo el crédito que ingresó.



Ilustración 1. 21 Movimiento del granel en dos direcciones

Fuente: (Youtube, 2014)



Ilustración 1. 22 Granel con golosinas

Fuente: (Youtube, 2014)

Una vez que se ha agotado el crédito el granel se dirige al lado inferior derecho para colocar las golosinas en una funda y sellarlo para que pueda ser entregado al cliente.

Actualmente hay mucha diversidad en el mercado de las máquinas expendedoras lo que permite llegar al público con más productos y mayor eficiencia.

1.3. Descripción del producto

1.3.1. Características del producto

La máquina vendedora diseñada en el presente proyecto está destinada a expender pastelillos cuyo nombre original es “cupcakes”; son postres más populares en los Estados Unidos de donde son nativos.

Los “cupcakes” (cuyo significado es taza-pastel), consisten en mini pasteles con el tamaño de un porción individual, los ingredientes a utilizarse en la masa de los mismos suele ser variados pero en realidad una de las características más atractivas de estos postres es su decoración ya que logran personalizarlos de acuerdo al evento o tema del cual son participes.



Ilustración 1. 23 Pastelillo de “Orquidea Dulce”

Fuente: (Orquidea dulce, 2012)

Estos dulces están muy de moda en Estados Unidos, tanto que existen pastelerías que se dedican únicamente a la elaboración de estos postres como es el caso de:

- ✓ Magnolia Bakery
- ✓ Buttercup bake shop
- ✓ Billy’s bakery
- ✓ Crumbs bake shop
- ✓ Babycakes
- ✓ Sprinkles cupcakes
- ✓ Sugar sweet sunshine bakery
- ✓ Baked by Melissa
- ✓ Molly’s cupcakes
- ✓ Butter Lane cupcakes
- ✓ Eleni’s New York
- ✓ Entre otras

Y programas de televisión que muestran variedad en los ingredientes que se utilizan, técnicas que los hacen más deliciosos y mucha innovación en cuanto a su decoración, entre los que tenemos:

- ✓ The cupcakes war
- ✓ Sugar stars
- ✓ Cupcake maniacs



Ilustración 1. 24 Partes de un pastelillo

Fuente: (Chispitartas, 2014)

Al ser su decoración una de sus principales características no se puede exponer a este producto a situaciones que afecten su apariencia y presentación; por lo cual debe evitar que este caiga para que llegue en perfectas condiciones al cliente. Cada pastelillo a expender está dentro de una caja con las siguientes características:

Medidas: 10x10x10 (cm)

Peso Neto: 250 gramos



Ilustración 1. 25 Producto empacado en cajas

CAPITULO II

DISEÑO MECATRÓNICO

El presente capítulo comprende el diseño mecánico de todos los elementos que se encuentran en la máquina; además de la selección de sensores, actuadores y módulo de alimentación a utilizarse dentro del sistema de control, diseño de la placa electrónica y simulaciones de la parte mecánica y electrónica en el software CAD SolidWorks y Proteus respectivamente.

2.1. Generalidades del diseño mecatrónico.

Para el diseño mecatrónico de la máquina expendedora de pastelillos se plantea un diseño integral, donde aplicaremos diferentes disciplinas de la mecatrónica simultáneamente.



Ilustración 2. 1 Mecatrónica simultánea

Fuente: (Scribd, 2006)

En el diseño mecatrónico se establece el término de ingeniería concurrente, el cual surge en 1986 en el reporte R-338 del Institute for Defense Analysis (IDA) y en este mismo reporte se da una de las definiciones de ingeniería concurrente más aceptada: *Un esfuerzo sistemático para un diseño integrado, concurrente del producto y de su correspondiente proceso de fabricación y servicio. Pretende que los*

encargados del desarrollo desde un principio, tengan en cuenta todos los elementos del Ciclo de Vida del Producto (CVP), desde el diseño conceptual hasta su disponibilidad, incluyendo calidad, costo y necesidad de los usuarios. (CIATEQ, 2014)

A continuación se presenta una interesante propuesta de desarrollo de productos mecatrónicos, de la cual tomaremos algunos aspectos aplicables para nuestro proyecto, en conjunto con la extrapolación de conceptos antes expuestos.



Ilustración 2. 2 Propuesta de ciclo de desarrollo para productos mecatrónicos

Fuente: (Scribd, 2006)

Como se expuso en el anterior capítulo del presente proyecto se requieren sistemas de transporte para expender el producto, en nuestro caso uno vertical y otro horizontal, además de un sistema de venta automática y el bastidor de la máquina para dar una solución efectiva al problema antes expuesto.

2.2. Análisis del proceso

Para empezar con el diseño del prototipo se analizará el proceso de venta que deseamos obtener; aspectos como la interfaz entre la máquina y el usuario, la forma de selección del producto por parte del cliente, transporte del mismo, mensajes para el usuario, etc. son aspectos relevantes al momento de definir el proceso de venta, por supuesto tomando en cuenta el criterio y las necesidades de la empresa auspiciante PubliCiudad que conoce todas las características de su producto.

Para el proceso de venta se requiere una interacción entre la máquina y el cliente, por lo cual el prototipo contará con una pantalla LCD (cuyo tamaño será de 16 caracteres por 2 filas), que emita mensajes y dirija paso a paso la compra. Para que se realice el pago del producto, la máquina tendrá un monedero sin opción a entregar cambio, es decir que el cliente deberá depositar el valor exacto de cada pastelillo para realizar la compra. Para que el cliente seleccione el producto de su preferencia (ya que habrá cinco opciones) el prototipo debe contar con botones que estén respectivamente identificados para cada tipo de pastelillo que se encuentre en la máquina, de esta forma al accionar un determinado botón el módulo de control identificará que sistemas mecánicos deben accionarse.

La máquina contará con cinco niveles, cada uno con 4 pastelillos, lo que brinda al cliente cinco opciones al momento de adquirir el producto; cada nivel (que se verá como una estantería) contendrá un transportador horizontal controlado electrónicamente. Para movilizar el producto en la dirección vertical y llevarlo hacia la zona de entrega existirá un sistema de

transporte vertical único para los cinco niveles horizontales. En cada nivel horizontal y en la zona de entrega de producto se ubicarán sensores, cuyas señales permitirán controlar el movimiento del sistema de desplazamiento vertical.

La zona de entrega del cliente contará con una compuerta externa manual, para que el cliente al abrirla pueda retirar su producto. Esta compuerta dispone de un elemento de seguridad manejado por el sistema de control, lo cual limita su apertura únicamente al momento que el pastelillo se encuentra en la zona de entrega (es decir, que se ha ingresado monedas y realizado la compra) caso contrario permanecerá cerrada y con el seguro accionado, lo que impide su apertura si no se ha ingresado el valor del producto y realizado la compra.

2.2.1. Requerimientos funcionales

Dentro de los requerimientos funcionales para el diseño del prototipo de la máquina expendedora de pastelillos, se ha tomado en cuenta las necesidades planteadas por la empresa “The Cupcake Factory” que tiene un amplio conocimiento del producto a expender, además de poseer varias expectativas respecto a la parte estética del prototipo; y también nuestro criterio como diseñadoras para priorizar requerimientos, analizarlos y poder escoger la solución más viable para este proyecto.

Tabla 2. 1 Requerimientos funcionales del diseño

Requerimientos funcionales "The cupcake factory"	Requerimientos por parte de las diseñadoras
<ul style="list-style-type: none"> • El prototipo debe ser capaz de distribuir pastelillos sin que sufran daño alguno. (Manejo de producto frágil) • La máquina debe realizar la venta automática de cada pastel. • La colocación de los pastelillos para su venta dentro de la máquina deberá ser manual. • El diseño debe contemplar la idea de mostrar el producto que se va a expender. • La máquina debe almacenar con seguridad el crédito para que sea retirado semanal o mensualmente. • El diseño de la máquina debe contemplar la mayor seguridad posible ante fraudes. • El prototipo debe ser lo más estético posible. • La máquina obtenida al final de este proyecto debe ser similar a las máquinas expendedoras existentes en el mercado 	<ul style="list-style-type: none"> • Para el diseño se debe tomar en cuenta el material de los elementos para cumplir con el grado sanitario requerido al manejar alimentos. • Deberá tener un sistema de cobro configurable para cambiar el número de créditos para la compra. • Debe ser fácil de transportar para cambiar su ubicación y ampliar el mercado de consumo. • El tiempo de venta no debe ser mayor a 1 minuto. • El diseño debe contemplar la seguridad y robustez propias de cualquier máquina expendedora en el mercado. • Considerar la ventilación del producto dentro de la máquina, para que el glaseado del pastelillo no resulte afectado, en caso que la máquina se encuentre en un ambiente caluroso. • Todos o la mayoría de materiales/elementos del prototipo deben ser de fácil adquisición en el mercado nacional.

2.2.2. Diagrama de flujo del proceso

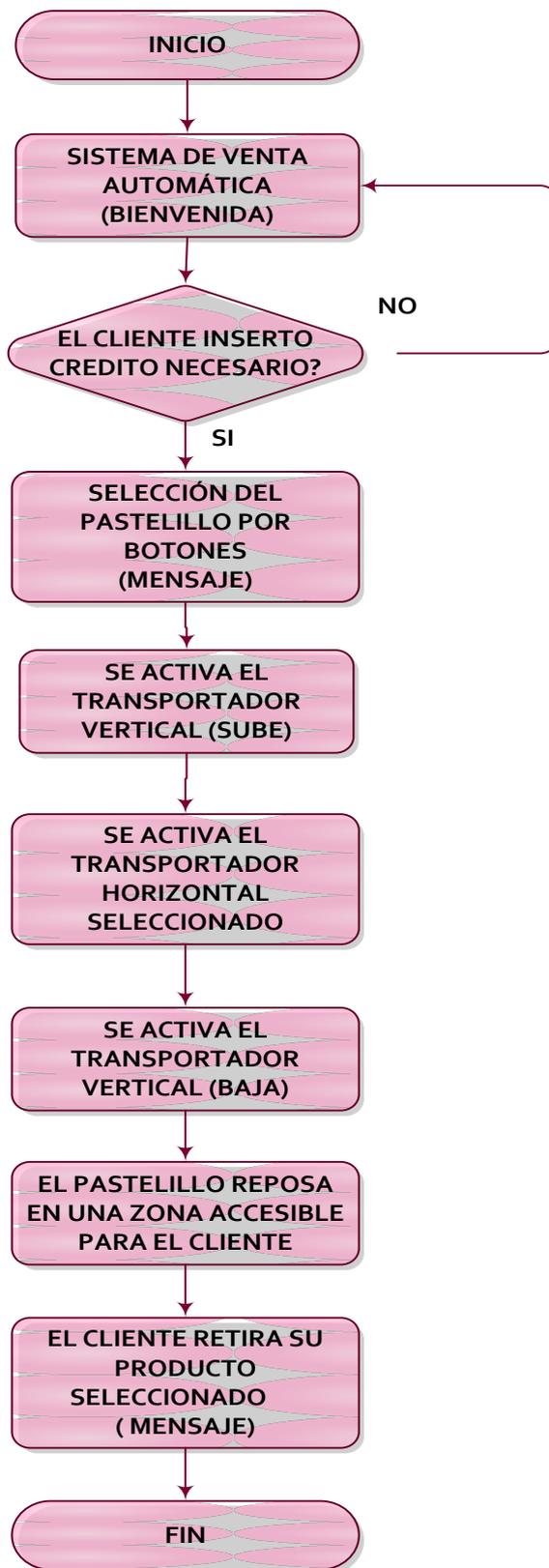


Ilustración 2. 3 Diagrama de flujo del proceso

2.2.3. Seccionamiento del proceso

Para el seccionamiento se ha considerado un proceso de venta donde el cliente interactúa con la máquina (vendedor), paga por el producto y a continuación el aparato se encarga de llevar el pastelillo desde su lugar de exhibición hasta donde pueda ser retirado por el cliente.



Ilustración 2. 4 Secciones del proceso

2.2.4. Especificaciones técnicas

A continuación se mencionarán especificaciones técnicas de máquinas expendedoras utilizadas actualmente en el mercado ecuatoriano para tomarlas como referencia y definir las características técnicas de la máquina expendedora de pastelillos.

2.2.4.1. Especificaciones técnicas de máquinas expendedoras comerciales

En el mercado ecuatoriano las máquinas expendedoras más utilizadas son las de frituras y bebidas, por lo cual tomaremos como referencia sus características técnicas.

Entre las máquinas actualmente más comunes están las de Punto Snakky del grupo Hanaska que se encuentran en varios sitios de aglomeración masiva en la ciudad de Quito.



Ilustración 2. 5 Máquina expendedora del grupo Hanaska

Fuente: (Punto café, 2014)

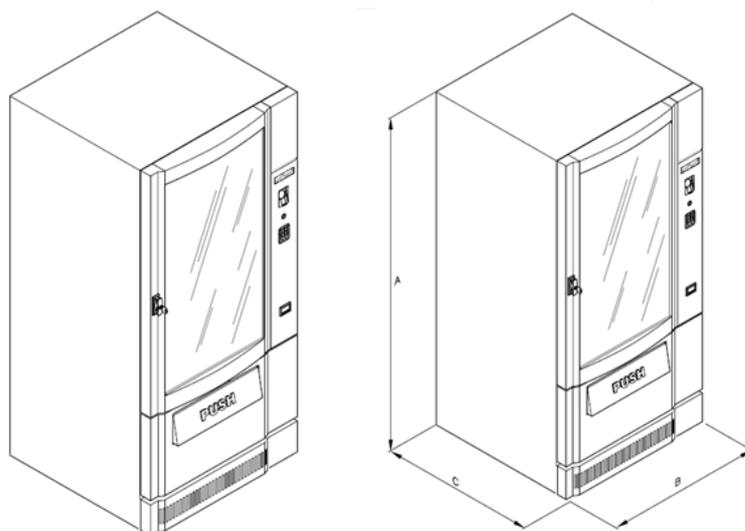


Ilustración 2. 6 Gráfico de máquina expendedora

Fuente: (BVM 685, 2014)

Tabla 2. 2 Características técnicas del BVM 685 3 grados

CARACTERISTICAS TECNICAS	BVM 685 3 GRADOS
Altura (mm)	1700
Ancho (mm)	701
Fondo (mm)	845
Peso (kg)	190
Tensión de alimentación (V)	120
Frecuencia de alimentación (Hz)	60
Potencia (kW)	De 0,29 a 0,35
Conexión a la red eléctrica	Toma SCHUKO
GRUPO REFRIGERANTE	
Grupo nevera kW	0,1838
Evaporador	Ventilato
Grupo refrigerante	Clase N
Gas refrigerante	R134a
L tubo de neón	De 18 watt

La capacidad de las bandejas es variable y depende del paso de los espirales.

DESCRIPCIÓN TÉCNICA GENERAL

- A) Teclado exterior
- B) Ficha electrónica
- C) Cajones de productos
- D) Espiral
- E) Puerta del distribuidor
- F) Grupo de frío
- G) Grupo monedero
- H) Zona de recepción
- I) Ficha de potencia
- J) Lámpara iluminación
- K) Interruptor lámpara
- L) Posee pies ajustables para facilitar su nivelación una vez colocada

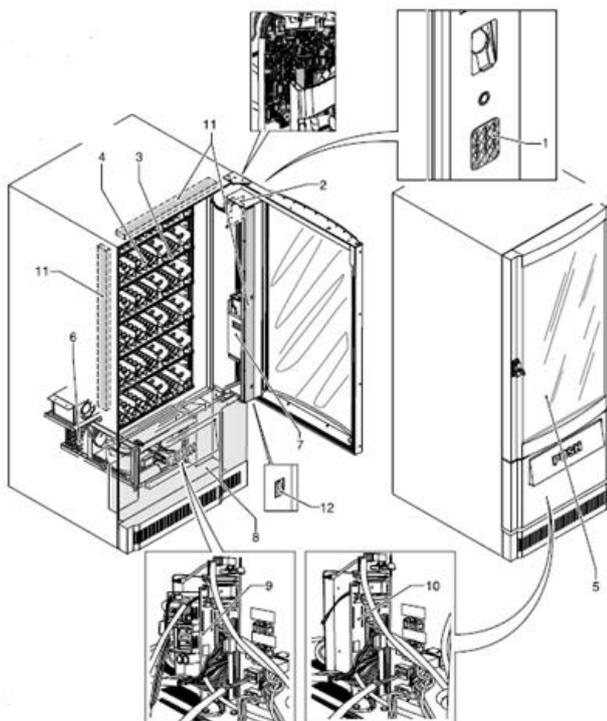


Ilustración 2. 7 Módulos de la máquina expendedora

Fuente: (BVM 685, 2014)

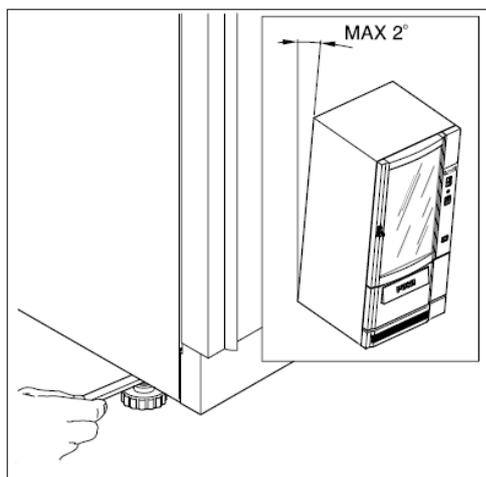


Ilustración 2. 8 Nivelación mediante pies ajustables

Fuente: (BVM 685, 2014)

2.2.4.2. Especificaciones técnicas del prototipo de una máquina expendedora de pastelillos.

Las características técnicas de este prototipo se basan directamente en una máquina expendedora de frituras, y las detallamos a continuación.

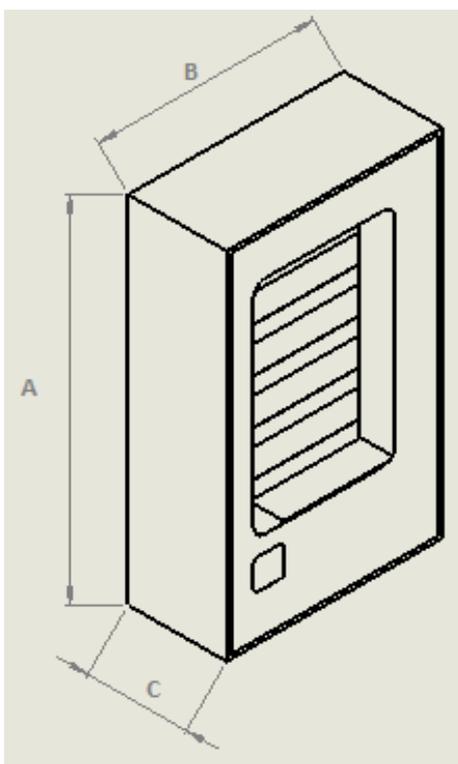


Ilustración 2. 9 Ilustración del prototipo

Tabla 2. 3 Características técnicas del prototipo

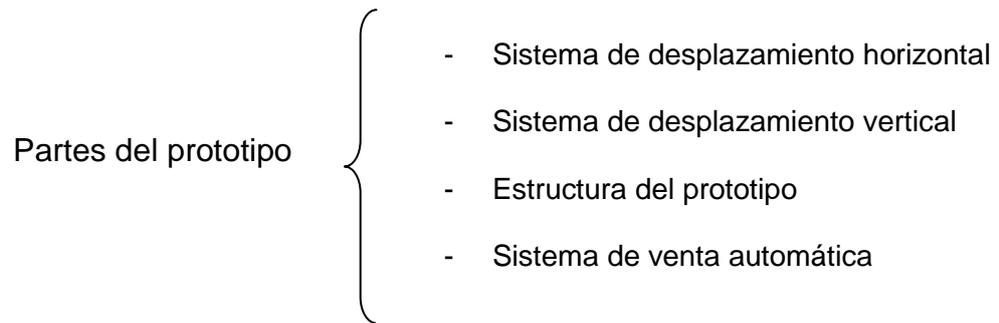
CARACTERISTICAS TECNICAS	PROTOTIPO
Altura (mm)	1750
Ancho (mm)	1050
Fondo (mm)	460
Tensión de alimentación (V)	120
Frecuencia de alimentación (Hz)	60
Potencia requerida (W)	92 W
Capacidad	20 pastelillos
Tiempo estimado de venta	De 50 a 60 segundos
Sistema de pago	Moneda única (de acuerdo a la moneda patrón colocada en el monedero)
Rango de temperatura al interior	18 a 20°C

DESCRIPCIÓN TÉCNICA GENERAL

- A) Botones para la selección del tipo de pastelillo
- B) Pantalla LCD que muestra el estado de la compra
- C) Puerta del distribuidor
- D) Grupo monedero
- E) Zona de recepción
- F) Posee pies ajustables para facilitar su nivelación una vez colocada
- G) Iluminación en el interior de la máquina para resaltar el producto
- H) Interruptor para la iluminación interior
- I) Espacio disponible para colocación de ventilador
- J) Dos cerraduras en la puerta principal
- K) Botones para la configuración del sistema de cobro

2.2.5. Planteamiento de posibles soluciones

Para cumplir todos los requerimientos funcionales y técnicos, se ha planteado una esquema del prototipo solución.



SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL

Como se planteó en puntos anteriores el prototipo requiere de un sistema que permita el desplazamiento horizontal del producto, por lo cual procedemos a realizar el análisis de varias opciones:

Diseño conceptual 1: Espiral

Este primer diseño comprende un espiral que es el mecanismo convencional de este tipo de máquinas, con el cual el producto es empujado cuando el espiral empieza a girar accionado por el motor a él acoplado, de esta forma el producto es desplazado en las máquinas expendedoras como se muestra en la siguiente figura:



Ilustración 2. 10 Espirales en una máquina expendedora

Fuente: (Expendedora epis,2014)

Ventajas:

- ✓ Sistema adaptable al tamaño del producto.
- ✓ De fácil acoplamiento al actuador del sistema (motor).
- ✓ De uso común, lo cual implica que es de fácil reemplazo en caso de avería.
- ✓ Permite una gran sujeción del producto.
- ✓ No requiere mantenimiento continuo.
- ✓ Es un sistema robusto.
- ✓ Poco número de piezas móviles.

Desventajas:

- ✓ Debido a su geometría tapan parte del producto.
- ✓ Como consecuencia de la longitud del producto a expender (diez centímetros por diez centímetros, área de la base de la caja contenedora), el espiral ocupa un gran espacio lo cual disminuye la capacidad en base a la longitud utilizada.
- ✓ El espiral debe ser personalizado por las características del producto.

Diseño conceptual 2: Banda transportadora

El sistema de banda transportadora es uno de los sistemas más comúnmente utilizado para el desplazamiento de material en dirección

horizontal. Los pastelillos se ubicarían en la parte superior y las bandas funcionarían a la vez como estanterías para exhibir los productos.

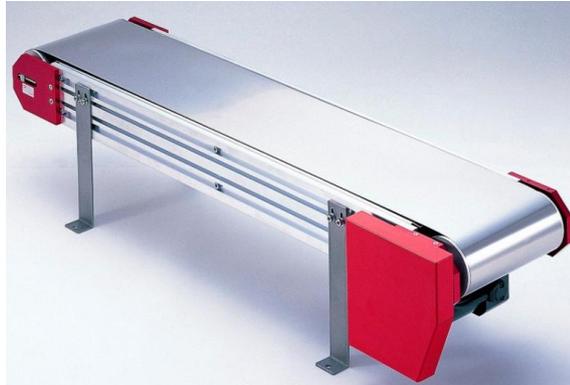


Ilustración 2. 11 Banda transportadora

Fuente: (Direct industry, 2014)

Ventajas:

- ✓ Deja que el producto se muestre completamente.
- ✓ Es robusto.
- ✓ Presenta mayor capacidad en base a su longitud.

Desventajas

- ✓ No ofrece buena sujeción del producto.
- ✓ Requiere de precisión en su manufactura.
- ✓ Requiere un mantenimiento más periódico a comparación del espiral.
- ✓ Posee gran cantidad de elementos para su funcionamiento mecánico.
- ✓ El actuador para este sistema necesita de un torque mayor comparado con el torque necesario en el mecanismo de espiral.

Análisis de los diseños conceptuales:

Para escoger la solución más adecuada analizaremos las siguientes características que tienen gran importancia en el diseño:

- ✓ Robustez: mecanismo resistente
- ✓ Precisión: ya que el mecanismo es encargado de desplazar los pastelillos uno a uno, debe tomarse en cuenta que éste sea preciso

para que logre movilizar un pastel a la vez y que la posición en la cual los deje sea lo más repetitiva posible.

- ✓ Mantenimiento: mecanismo que requiera menor mantenimiento.
- ✓ Tamaño: mecanismo que ocupe menor tamaño.
- ✓ Sujeción del producto: el mecanismo a elegir debe poseer una buena sujeción del producto.
- ✓ Capacidad: mecanismo que cuenta con mayor capacidad para almacenar el producto en base a la longitud requerida.

La siguiente tabla califica a cada mecanismo tomando en cuenta las características más relevantes para el diseño (0 como la calificación más desfavorable y 5 como la calificación más favorable).

Tabla 2. 4 Cuadro comparativo mecanismos horizontales

Características	Espiral	Banda transportadora
Robustez	4,5	3,5
Precisión	3	4,5
Mantenimimiento	5	3
Tamaño	3	4
Sujeción del producto	3	2
Capacidad de acuerdo a la longitud del mecanismo	2	5
TOTAL	20,5	22

De acuerdo a la tabla anterior el mecanismo óptimo para esta máquina es una banda transportadora para el desplazamiento horizontal del producto.

SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL

Una vez seleccionado el sistema de desplazamiento horizontal debemos elegir el sistema de desplazamiento vertical, para lo cual tenemos:

Diseño conceptual 1: tornillo sin fin

El primer diseño contempla la utilización de un tornillo sin fin como guía para el movimiento, además éste estará acoplado directamente al motor, y con una pieza roscada colocada en el tornillo sin fin, se traducirá el movimiento circular del tornillo debido al giro del motor en un movimiento lineal de la bandeja acoplada a él.

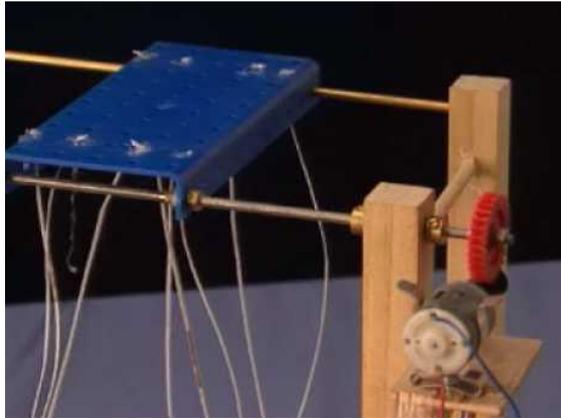


Ilustración 2. 12 Mecanismo de tornillo sin fin

Fuente: (Youtube, 2014)

Ventajas:

- ✓ Fácil acoplamiento al motor.
- ✓ Requiere un torque bajo del actuador.
- ✓ Presenta gran precisión en el desplazamiento.

Desventajas:

- ✓ Costo de manufactura elevado
- ✓ El motor para este sistema debe girar a elevadas revoluciones
- ✓ Producirá ruido durante su funcionamiento

Diseño conceptual 2: Mecanismo cadena-catarina

Este mecanismo es utilizado para transmitir movimiento de una flecha a otra, sin embargo en este caso al colocarlo de manera vertical y acoplar una bandeja a la cadena permitiría el desplazamiento vertical de la bandeja.



Ilustración 2. 13 Sistema cadena-catarina

Fuente: (Rubick, 2014)

Ventajas:

- ✓ Es capaz de transmitir grandes torques.
- ✓ Es de fácil manufactura.
- ✓ Buen agarre entre la cadena y la catarina, por lo cual asegura el movimiento a diferencia de los mecanismos con polea.

Desventajas:

- ✓ Es ruidosa en su funcionamiento.
- ✓ Requiere mantenimiento.
- ✓ Difícil acoplamiento de la cadena y la bandeja.
- ✓ Debido a su posicionamiento vertical, en este sistema aunque no es un requerimiento que la cadena esté tensionada, en nuestro caso la cadena si necesita estarlo.

Diseño conceptual 3: Cadena-catarina como polea

Este sistema funcionará como un sistema de polea, como se muestra a continuación:

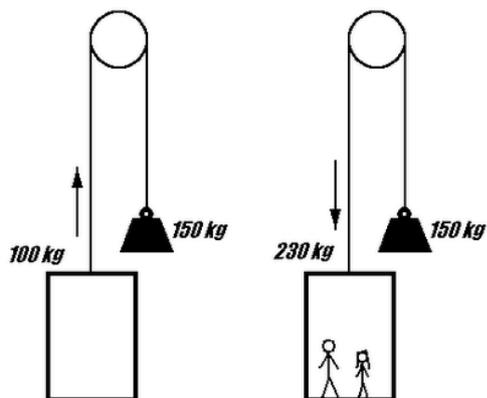


Ilustración 2. 14 Principio de funcionamiento de los ascensores

Fuente: (Daniel Lopez, 2010)

Consiste en colocar una catarina en el eje motriz y una cadena como cuerda para que el sistema funcione como un sistema de polea pero con una sujeción mayor. En este caso a un extremo de la cadena estará sujeta la bandeja y en el otro extremo el contrapeso.

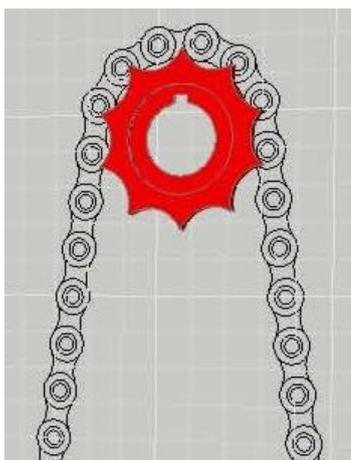


Ilustración 2. 15 Sistema cadena-catarina como polea

Fuente: (Planos, 2014)

Ventajas:

- ✓ Posee gran sujeción durante el movimiento.

- ✓ Piezas de fácil reemplazo en caso de avería.
- ✓ Brinda precisión en el posicionamiento.
- ✓ Sistema de bajo precio.
- ✓ Debido a la disponibilidad en el mercado tanto de la catarina o piñón y de la cadena, es de fácil fabricación, puesto que solo requiere la manufactura del eje motriz para colocar ahí el piñón.

Desventajas:

- ✓ Sistema ruidoso.
- ✓ Requiere de guías para el desplazamiento de la bandeja y del contrapeso, por no ser la cadena un elemento rígido.
- ✓ La cadena al momento de su ensamble debe poseer la menor inclinación posible, puesto que al existir inclinación esto aumentaría el torque que debe tener el actuador para accionar el sistema.

Análisis de los diseños conceptuales:

Para escoger el diseño más adecuado se realiza una tabla similar al sistema de desplazamiento horizontal:

Tabla 2. 5 Cuadro comparativo mecanismos verticales

Característica	Tornillo sin fin	Cadena- catarina	Cadena-catarina como polea
Costo de fabricación	3	1	4
Manufactura	4	1	2,5
Relación torque- velocidad	1,5	4	5
Tiempo de fabricación	3	1	3
Acople con el motor	5	1	3,5
TOTAL	16,5	8	18

De acuerdo a la tabla anterior el mecanismo óptimo para este prototipo es el mecanismo cadena-catarina como polea, ya que la cadena-catarina asegura la sujeción del mecanismo y el arrastre con el movimiento del motor y funciona como una polea por lo cual es necesario usar contrapeso para disminuir el torque que debe tener el motor.

2.2.6. Diseño conceptual de la máquina expendedora de pastelillos

Una vez analizadas todas las opciones tanto para el desplazamiento horizontal y vertical, y además haber seleccionado los sistemas óptimos, el prototipo será diseñado de la siguiente manera:

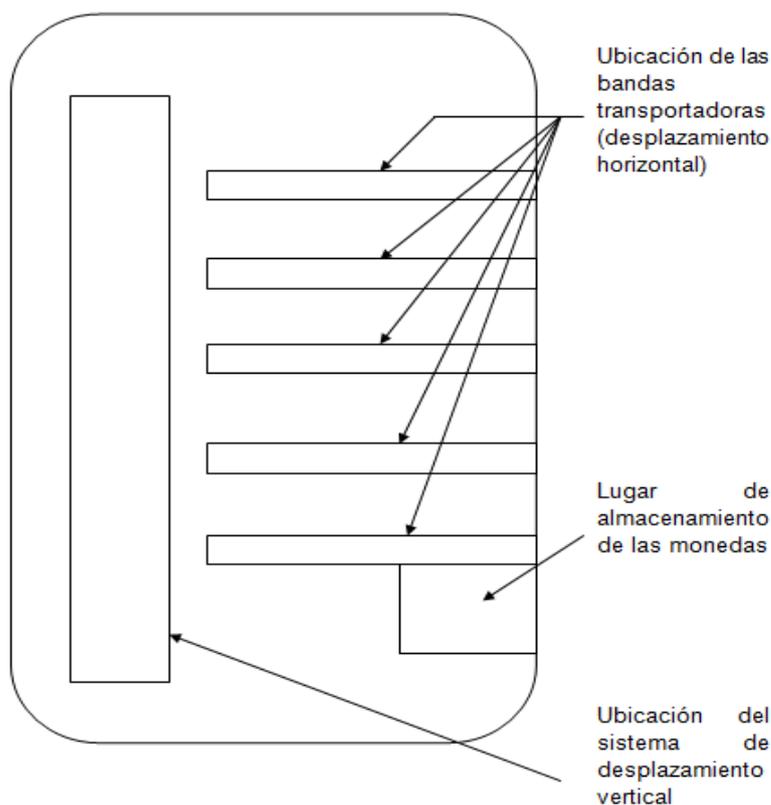


Ilustración 2. 16 Diseño del prototipo

Evaluación de cumplimiento de requerimientos:

- ✓ Requerimiento: distribuir pastelillos sin que sufran daño alguno.

Evaluación: al contar con un sistema de desplazamiento horizontal y vertical garantizamos que los pastelillos no caigan.

- ✓ Requerimiento: material de los elementos.

Evaluación: la banda transportadora será diseñada con una banda de grado alimenticio y se utilizará polímeros en los elementos que sean posibles.

- ✓ Requerimiento: venta automática de cada pastel.

Evaluación: la venta automática se controlará a través de la parte electrónica del prototipo.

- ✓ Requerimiento: la colocación de pastelillos deberá ser manual.

Evaluación: ya que es una máquina solo para expender mas no para fabricarlos la colocación debe ser periódica y manual.

- ✓ Requerimiento: mostrar el producto.

Evaluación: los pastelillos se ubicarán en las bandas transportadoras, lo cual permitirá que se muestren completamente.

- ✓ Requerimiento: sistema de cobro configurable.

Evaluación: la configuración va a ser manejada por la parte electrónica a través del diseño de hardware y software del sistema.

- ✓ Requerimiento: fácil de transportar.

Evaluación: la máquina contará con garruchas.

- ✓ Requerimiento: almacenamiento de monedas.

Evaluación: cuenta con espacio inferior para almacenarlas, y este presenta una seguridad extra a la puerta exterior.

- ✓ Requerimiento: el tiempo de venta no debe ser mayor a 1 minuto.

Evaluación: los sistemas elegidos permiten que la venta sea efectuada en un tiempo menor al requerido.

- ✓ Requerimiento: brindar mayor seguridad posible ante fraudes.

Evaluación: pruebas y correcciones al sistema de cobro para evitar fraudes.

- ✓ Requerimiento: diseño estético.

Evaluación: se cambiará el color negro comúnmente utilizado por un color marfil, además el exterior estará cubierto con publicidad del producto (publicidad de la máquina a cargo del auspiciante).

- ✓ Requerimiento: el diseño similar al de máquinas expendedoras.

Evaluación: para definir la geometría se ha tomado como referencia máquinas expendedoras del mercado nacional.

- ✓ Requerimiento: contemplar la seguridad y robustez.

Evaluación: la máquina será capaz de soportar pequeños golpes por parte de los consumidores, además de contar con seguridad en la puerta de expendio, la puerta frontal poseerá dos cerraduras y el lugar donde se almacena el dinero contará con una chapa adicional.

- ✓ Requerimiento: considerar la ventilación del producto.

Evaluación: la estructura incluirá respiraderos y espacio adecuado en la parte superior para la colocación de un ventilador.

- ✓ Requerimiento: elementos de fácil adquisición en el mercado nacional.

Evaluación: se analizará la disponibilidad de los dispositivos, piezas, repuestos en nuestro mercado.

2.3. Diseño modular

2.3.1. Diseño del sistema de desplazamiento horizontal

2.3.1.1. Fundamento teórico

La solución más óptima para el sistema de desplazamiento horizontal es una banda transportadora, que es un sistema de transporte formado por dos tambores y una banda que se mueve entre ellos. Las cintas transportadoras son utilizadas como elementos de distribución, que pueden transportar diversos tipos de materiales como: cajas, minerales, cereales, etc. Pueden ser de gran longitud y transportar cargas de forma horizontal o incluso vertical pero con cierta inclinación.



Ilustración 2. 17 Sistemas de bandas transportadoras

Fuente: (Dim, 2014)

Este tipo de sistemas presentan varias ventajas:

- ✓ Pueden transportar varios tipos de materiales
- ✓ Tienen la capacidad de transportar carga a grandes distancias
- ✓ Se adaptan fácilmente al terreno de su funcionamiento
- ✓ El material que es transportado no sufre cambio alguno

ELEMENTOS DE UNA BANDA TRANSPORTADORA

Una banda transportadora está formada por los siguientes elementos:

a) Banda

Sin duda es el elemento más importante dentro del sistema de banda transportadora, puede ser de diferentes formas y materiales; está en

contacto directo con la carga a transportar, por lo cual es indispensable conocer el producto a ser movilizado dentro de este sistema para escoger la banda adecuada, entre las que tenemos:

- ✓ Alimenticia
- ✓ Industriales
- ✓ Agroindustriales
- ✓ Mineros
- ✓ Farmacéuticos
- ✓ Cargas a altas temperaturas
- ✓ Cajas o pallets

b) Tambores:

En los transportadores con banda, existen dos tambores principales, uno motriz y otro que sirve para el ajuste de la banda.

Tambor motriz:

En el tambor motriz se coloca el motor que permite el movimiento de la banda gracias a la adherencia entre ésta y el tambor.

Tambor de ajuste:

El segundo tambor debe ser capaz de desplazarse longitudinalmente para que a través de su movimiento se logre la tensión de la banda, ya que sin la tensión no existe la adherencia necesaria de la banda para su funcionamiento.

c) Estación accionadora:

La función de esta estación es poner en movimiento la banda transportadora, existen varios tipos de estaciones accionadoras:

- ✓ Estación de accionamiento simple con vertido directo:

Es la disposición más simple para efectuar el movimiento.

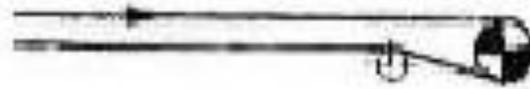


Ilustración 2. 18 Accionamiento simple con vertido directo

Fuente: (Dim, 2014)

✓ Estación de accionamiento simple con cabeza de vertido:

Se utiliza cuando la cinta o banda se encuentra en voladizo y no existe mucho espacio disponible.



Ilustración 2. 19 Accionamiento simple con cabeza de vertido

Fuente: (Dim, 2014)

✓ Estación de accionamiento con dos cabezas motrices en tándem:

Es útil para transmitir grandes potencias y debido a la distribución de los tambores disminuye la tensión en la banda.

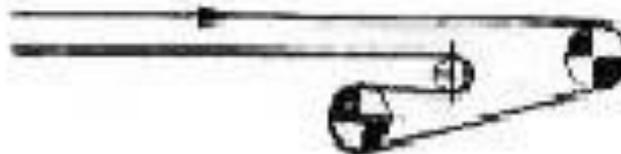


Ilustración 2. 20 Accionamiento con dos cabezas motrices en tandem

Fuente: (Dim, 2014)

✓ Estación de accionamiento con dos cabezas motrices en tándem y cabezal de vertido:

Es utilizada cuando existen problemas de peso o no hay gran espacio.



Ilustración 2. 21 Accionamiento con dos cabezas motrices en tándem y cabezal vertido

Fuente: (Dim, 2014)

d) Estación tensora:

Debido a que el sistema de banda transportadora funciona gracias a la adherencia y fricción entre la banda y los tambores la tensión es un requisito indispensable para el correcto funcionamiento del sistema, por lo cual existe varias estaciones tensoras como:

✓ Estación tensora de dos tambores:

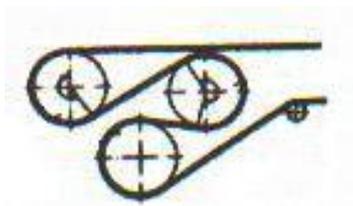


Ilustración 2. 22 Estación tensora de dos tambores

Fuente: (Dim, 2014)

✓ Estación tensora con una banda especial de apriete:

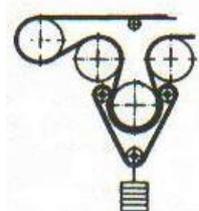


Ilustración 2. 23 Estación tensora con una banda especial de apriete

Fuente: (Dim, 2014)

2.3.1.2. Especificaciones de diseño

Esta máquina al estar destinada a expender pastelillos debe ser diseñada con criterios de grado alimenticio.

Tabla 2. 6 Especificaciones de diseño para la banda transportadora

CARACTERISTICAS	VALOR
Capacidad	4 pastelillos
Banda	De grado alimenticio
Medida mínima por producto	14 cm
Ancho de la banda	10 cm
Velocidad del sistema	Menor a 100 rpm

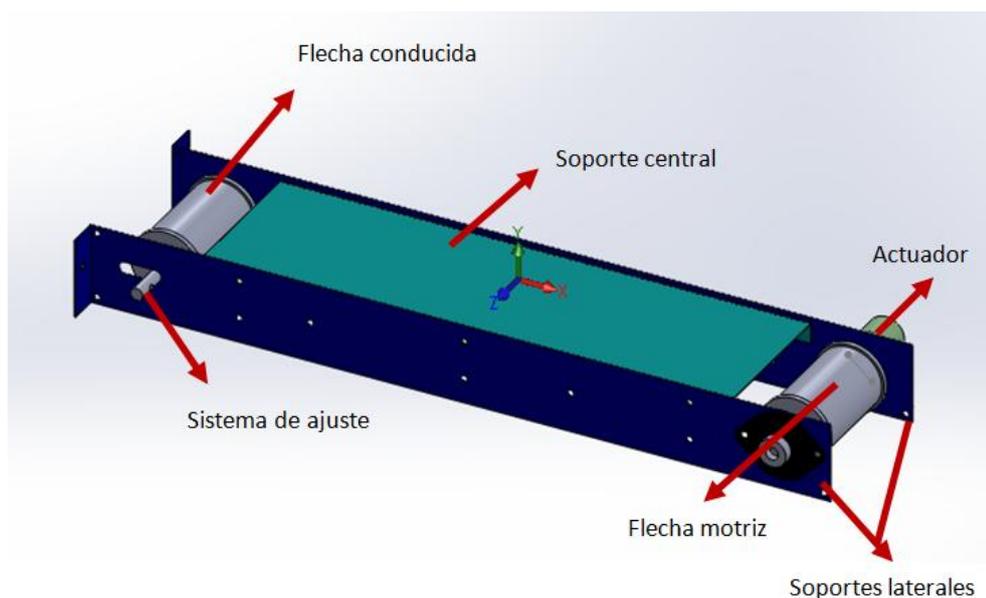


Ilustración 2. 24 Esquema de la banda transportadora

La carga que va a movilizar la banda transportadora es de un kilogramo, lo cual implica una carga muy baja, por esta razón el motor será acoplado directamente a la flecha motriz mediante prisioneros (elementos utilizados para acoplar un motor al eje siempre y cuando se transmita poca potencia).

Para el sistema de ajuste haremos que la flecha conducida pueda deslizarse a lo largo del eje x, y con este desplazamiento podremos ajustar la banda ya que la distancia entre los tambores no es fija.

El soporte central evita que la banda se cuelgue o deforme debido a la carga, ya que sirve de apoyo y de unión entre los soportes laterales.

2.3.1.3. Elementos del sistema

2.3.1.3.1. Selección de banda

Al manejar pastelillos la banda utilizada es una banda alimenticia de PVC, a continuación se adjunta la hoja técnica que proporcionará los datos necesarios para el diseño de los otros elementos del sistema:

Alimentación

Tipo de banda	Cobertura superior					Cobertura inferior					Características especiales	
	Material	Dureza °ShA	Color	Espesor mm	Acabado	Material	Dureza °ShA	Color	Espesor mm	Acabado		
Aster	A10 G2F	PVC	60	Blanco	4,00	Grabado G2		Crudo		Tejido	FDA	
	A21 HF	PVC	70	Blanco	3,00	Grabado H		Crudo		WP	FDA	
	A21 LF	PVC	70	Blanco	3,50	Grabado L		Crudo		WP	FDA	
	A21 ZK	PVC	70	Blanco	2,00	Grabado Z	PVC	90	Blanco	0,70	Grabado K	FDA
	A26 XC	PVC	70	Blanco	11,50	Grabado X	PVC	70	Blanco	1,00	Liso	FDA
	A36 X1C	PVC	70	Blanco	16,00	Grabado X1	PVC	78	Blanco	1,00	Liso	FDA
Clina (PU)	C06 K1F	PU	86	Ocre 01	0,32	Grabado K1		Crudo		WP	FDA	
	C06 UF	PU	86	Ocre 01	0,30	Liso		Crudo		WP	FDA	
	C07 UF	PU	86	Blanco	0,30	Liso		Crudo		WP	FDA	
	C07UFMT	PU	93	Blanco	0,30	Mate		Crudo		WP	FDA	
	C07 UU	PU		Verde 16	0,10	Impregn.	PU	Verde 16	0,10	Impregn.	FDA	
	C08 DF	PU	86	Blanco	0,60	Grabado D	PU		0,10	Impregn.	FDA	
	C08 UF	PU	86	Blanco	0,40	Liso	PU		0,10	Impregn.	FDA	
	C08UFMT	PU	93	Blanco	0,30	Mate		Crudo		Tejido	FDA	
	C09 UF	PU	86	Blanco	0,25	Liso	PU		0,10	Impregn.	FDA	
	C09UFMT	PU	93	Blanco	0,25	Mate	PU		0,10	Impregn.	FDA	
	C09UFMS	PU	88	Blanco	0,30	Mate		Crudo		Tejido	FDA	
	C10 FF			Crudo		Algodón-Poli				Algodón-Poli	FDA	
	C10 UF	PU	86	Blanco	0,30	Liso		Crudo		WP	FDA	
	C12 UF*	PU	86	Blanco	0,30	Liso		Crudo		WP	FDA	
C20 UF	PU	93	Blanco	1,00	Liso	PU		0,10	Impregn.	FDA		
Clina (PVC)	C07 CF	PVC	70	Blanco	0,50	Liso		Crudo		WP	FDA	
	C07 JF	Filtro		Blanco		Filtro		Crudo		Tejido	FDA	
	C11 FF			Crudo		WP		Crudo		WP	FDA	
	C12 AF	PVC	70	Blanco	1,00	Grabado A		Crudo		WP	FDA	
	C12 DF	PVC	70	Blanco	0,70	Grabado D		Crudo		WP	FDA	
	C12 CF	PVC	70	Blanco	0,50	Liso		Crudo		WP	FDA	
	C13 FF			Crudo		Tejido		Crudo		Tejido	FDA	
	C16 FF			Crudo		Algodón-Poli		Crudo		Algodón-Poli	FDA	
	C20 CF	PVC	70	Blanco	0,80	Liso		Crudo		WP	FDA	
	C20 CK	PVC	70	Blanco	1,50	Liso	PVC	90	Blanco	0,70	Grabado K	FDA
	C21 CF	PVC	70	Blanco	0,80	Liso	PU		0,10	Impregn.	FDA	
	C21 CK	PVC	70	Blanco	0,50	Liso	PVC	90	Blanco	0,70	Grabado K	FDA
	C22 CF	PVC	70	Blanco	2,00	Liso	PU		0,10	Impregn.	FDA	
C30 CF	PVC	70	Blanco	0,80	Liso	PU		0,10	Impregn.	FDA		
C30 CK	PVC	70	Blanco	1,50	Liso	PVC	90	Blanco	0,70	Grabado K	FDA	
Espot	E20 CC	PVC	73	Blanco	1,00	Liso	PVC	73	Blanco	1,00	Liso	FDA
	E30 CC	PVC	73	Blanco	2,00	Liso	PVC	73	Blanco	1,00	Liso	FDA
	E40 CC	PVC	73	Blanco	2,00	Liso	PVC	73	Blanco	1,00	Liso	FDA
	E81 CC	PVC	73	Blanco	1,00	Liso	PVC	73	Blanco	1,00	Liso	FDA
	E90 CC	PVC	73	Blanco	2,00	Liso	PVC	73	Blanco	1,00	Liso	FDA

Ilustración 2. 25 Hoja técnica de la banda seleccionada

Temperatura en continuo (puntual) del producto transportado °C	Tejidos		Espesor banda mm	Peso banda kg/m ²	a 20°C		Carga de rotura N/mm	Carga de trabajo al 1% alargamiento N/mm	Carga de trabajo al 1,5% alargamiento N/mm	Ancho máx. de fabricac. mm	Tipo de banda	
	Nº de telas	Trama			A	B						
- 5 (-15) + 80 (100)	2	Rígida	5,50	4,20	45	70	120	8	12	2000	A10 G2F	Aster
- 15 (-25) + 80 (100)	2	Rígida	5,00	4,80	80	130	200	14	20	2000	A21 HF	
- 15 (-25) + 80 (100)	2	Rígida	5,50	4,80	100	160	200	14	20	2000	A21 LF	
- 15 (-25) + 80 (100)	2	Flexible	4,50	4,70	80	100	200	18	28	2000	A21 ZK	
- 15 (-25) + 80 (100)	2	Flexible	14,90	7,30	150	200	550	25	55	600	A26 XC	
- 15 (-25) + 80 (100)	2	Flexible	19,50	7,30	230	280	550	25	55	800	A36 X1C	
- 10 (-15) + 90 (110)	1	Rígida	0,82	0,90	10	30	60	6	8	2000	C06 K1F	Clina (PU)
- 10 (-15) + 90 (110)	1	Rígida	0,80	0,90	10	30	60	6	8	2-3000	C06 UF	
- 10 (-15) + 90 (110)	1	Rígida	0,80	0,90	10	30	60	6	8	2-3000	C07 UF	
- 10 (-15) + 90 (110)	1	Rígida	0,80	0,90	10	30	60	6	8	2000	C07UFMT	
- 15 (-25) + 90 (110)	1	Rígida	0,50	0,35	8	8	60	5	7	3000	C07 UU	
- 10 (-15) + 90 (110)	1	Rígida	1,30	1,25	10	30	50	5	7	2000	C08 DF	
- 10 (-15) + 90 (110)	1	Rígida	1,10	1,25	10	30	50	5	7	2000	C08 UF	
- 10 (-15) + 90 (110)	1	Rígida	1,00	1,10	10	30	50	5	7	2000	C08UFMT	
- 10 (-15) + 90 (110)	2	Rígida	1,25	1,45	15	40	100	9	15	2000	C09 UF	
- 10 (-15) + 90 (110)	2	Rígida	1,25	1,45	15	40	100	9	15	2000	C09UFMT	
- 10 (-15) + 80 (100)	2	Rígida	1,30	1,40	15	40	80	6	8	3000	C09UFMS	
- 15 (-25) + 90 (110)	2	Flexible	1,40	1,25	10	10	110	7	10	2200	C10 FF	
- 10 (-15) + 90 (110)	2	Rígida	1,40	1,60	20	50	120	10	18	2000	C10 UF	
- 10 (-15) + 80 (105)	2	Rígida	1,60	1,90	40	60	120	10	16	2-3000	C12 UF*	
- 10 (-15) + 90 (110)	2	Rígida	2,80	3,20	80	100	200	18	25	2000	C20 UF	
- 15 (-25) + 80 (100)	1	Rígida	1,00	1,10	10	25	60	5	7	3000	C07 CF	Clina (PVC)
- 5 (-15) + 80 (100)	1	Rígida	2,90	1,90	60	80	85	8	10	2000	C07 JF	
- 15 (-25) + 80 (100)	2	Rígida	1,30	1,40	30	30	120	9	12	3000	C11 FF	
- 15 (-25) + 80 (100)	2	Rígida	2,70	3,00	40	60	120	9	13	3000	C12 AF	
- 15 (-25) + 80 (100)	2	Rígida	2,30	2,50	35	55	120	10	15	3000	C12 DF	
- 15 (-25) + 80 (100)	2	Rígida	2,10	2,50	35	55	120	10	15	3000	C12 CF	
- 5 (-15) + 80 (100)	2	Rígida	2,00	2,40	40	40	120	9	12	3000	C13 FF	
- 5 (-15) + 80 (100)	2	Rígida	2,55	2,40	40	40	160	5	8	2100	C16 FF	
- 15 (-25) + 80 (100)	2	Rígida	2,80	3,30	55	75	200	15	22	3000	C20 CF	
- 15 (-25) + 80 (100)	2	Rígida	4,10	4,85	75	90	140	9	15	2000	C20 CK	
- 15 (-25) + 80 (100)	2	Flexible	2,40	2,90	55	75	200	20	30	2000	C21 CF	
- 15 (-25) + 80 (100)	2	Flexible	2,60	3,10	75	75	200	18	28	2000	C21 CK	
- 15 (-25) + 80 (100)	2	Rígida	4,00	4,80	80	100	200	17	25	3000	C22 CF	
- 15 (-25) + 80 (100)	3	Rígida	3,70	4,40	110	140	300	22	30	3000	C30 CF	
- 15 (-25) + 80 (100)	3	Rígida	5,20	6,20	130	150	210	16	25	2000	C30 CK	
- 15 (-25) + 80 (100)	2	Flexible	4,10	5,00	140	140	200	20	28	2000	E20 CC	Espot
- 15 (-25) + 80 (100)	3	Flexible	6,20	7,70	200	250	300	30	40	2000	E30 CC	
- 15 (-25) + 80 (100)	4	Flexible	7,40	9,20	300	350	400	35	50	2000	E40 CC	
- 15 (-25) + 80 (100)	3	Flexible	7,80	9,60	400	400	800	65	95	2000	E81 CC	
- 15 (-25) + 80 (100)	3	Flexible	9,00	11,20	400	500	900	75	130	2000	E90 CC	



A36 X1C: también disponible en anchos de 500 y 600 mm

- ⊕ Antiestática
- ⊖ Antiestática cobertura superior
- ⊖ Antiestática cobertura inferior
- ⊖ Antiestática interna
- S Tejido silencioso
- FDA Alimentaria
- Bajo coeficiente de fricción
- ▼ Resistente a aceites y grasas minerales
- ▽ Resistente a aceites y grasas vegetales y animales

Ilustración 2. 26 Hoja técnica de la banda seleccionada

Carga de trabajo = 9 [N / mm]

El dato de carga de trabajo está en función de la distancia longitudinal que va a ser tensada la banda.

2.3.1.3.2. Diseño de flechas

FLECHA MOTRIZ

Para empezar con el diseño debemos determinar el torque que produce la tensión de la banda y con ello el mínimo torque para el motor:

Carga de trabajo = 9 [N / mm]

Distancia de tensión = 5 [mm]

$$\text{Tensión} = 9 \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right] * 5 [\text{mm}]$$

$$\text{Tensión} = 45 [\text{N}]$$

Diseño geométrico

A continuación se muestra la geometría de la flecha motriz y la ubicación de sus elementos:

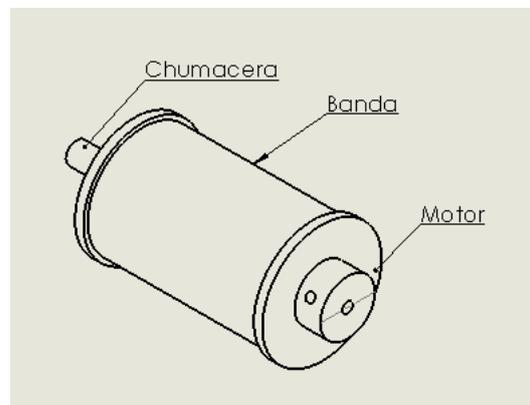


Ilustración 2. 27 Diseño geométrico de la flecha motriz

Debido a la dimensión de la caja de los pastelillos la longitud donde se va a ubicar la banda es de 100mm y el diámetro mínimo de esta sección del tambor es de 65 mm por requerimientos técnicos de la banda transportadora.

Cálculo de la fuerza distribuida aplicada en la flecha:

$$\text{Tensión} = 45 [\text{N}]$$

$$\text{Fuerza distribuida} = \text{tensión} / \text{longitud} = 45 [\text{N}] / 100 [\text{mm}]$$

$$\text{Fuerza distribuida} = 0,045 [\text{N/mm}]$$

Cálculo del torque que produce la tensión y selección del motor necesario:

Al tener los datos de tensión de la banda y el diámetro de ésta sección del tambor calculamos el torque provocado por la tensión de la banda.

$$\text{Tensión} = 45 \text{ [N]}$$

$$\text{Distancia} = D / 2 = 65 \text{ [mm]} / 2 = 32,5 \text{ [mm]}$$

$$\tau = F * d$$

$$\tau = 45\text{[N]} * 32,5\text{[mm]}$$

$$\tau = 1462,5\text{[N.mm]}$$

Al contar con el dato del torque requerido podemos seleccionar el motor:

131:1 metal Motorreductor 37Dx57L mm



Pololu

Especificaciones generales

Relación de reducción:	131:1
Libre del motor de velocidad a 6 V:	40 rpm ¹
Libre del motor de corriente 6 V:	250 mA ¹
Stall actual @ 6V:	2500 mA ¹
Stall torque @ 6V:	125 oz · en ¹
Velocidad libre del motor a 12 V:	80 rpm
Corriente libre del motor a 12 V:	300 mA
Stall corriente a 12 V:	5000 mA
Par máximo a 12 V:	250 oz · en

Este 2,22 "x 1,45" x 1,45 "motorreductor es un poderoso motor de la CC cepillado con 131:1 Caja de engranajes metálica, destinada a operar a 12 V. Estas unidades cuentan con un 0.61 "eje largo, 6 mm de diámetro en forma de D de salida. Este motorreductor está también disponible con un codificador integrado. características clave a 12 V : 80 RPM y 300 mA de funcionamiento libre, 250 oz-in (18 kg-cm) y 5 Un puesto.

Ilustración 2. 28 Datos técnicos del motor seleccionado

Fuente: (Pololu, 2014)

$$\text{Torque del motor} = 18 \text{ [kgf]} = 1,764 \text{ [N.m]}$$

Relación de torques:

Torque del motor > Torque requerido para banda

$$1,764 \text{ [N.m]} > 1,46 \text{ [N.m]}$$

Factor de Torque máximo respecto al requerido por la banda:

$$FT = \frac{1,764}{1.46} = 1.2$$

La carga que va a transportar la banda es el peso de 4 pastelillos:

Masa de cada pastelillo = 0,25 [kg]

Masa total = Masa de cada pastelillo * el número de pastelillos

Masa total = 0,25 [kg] * 4 = 1 [kg]

Peso total = Masa total * gravedad

Peso total = 1 [kg] * 9,81 [m/s²] = 9,81 [N]

Debido a que la carga que va a transportar la banda es pequeña y además la banda transportadora debe diseñarse con criterios de grado alimenticio, los tambores van a ser maquinados en nylon, y requerimos las propiedades de este polímero:

<i>Densidad (g/cm³)</i>	<i>Material</i>
0,8	Caucho de silicona (cargado con sílice hasta 1,25)
0,83	Polimetilpenteno
0,85-0,92	Polipropileno
0,89-0,93	Poliétileno de alta presión (baja densidad)
0,91-0,92	Polibuteno-I
0,91-0,93	Polisobutileno
0,92-1,0	Caucho natural
0,94-0,98	Poliétileno de baja presión (alta densidad)
1,01-1,04	Nylon 12
1,05-1,05	Nylon 11
1,04-1,06	Copolímeros de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)
1,04-1,08	Poliestireno
1,05-1,07	Polióxido de fenileno
1,06-1,10	Copolímeros de estireno-acrilonitrilo

Ilustración 2. 29 Densidades de los polímeros

Fuente: (Biblioteca digital, 2014)

Una vez ingresado el valor de la densidad del material en el software SolidWorks, podemos obtener el valor de masa del eje, el cual servirá para el cálculo de peso de la flecha:

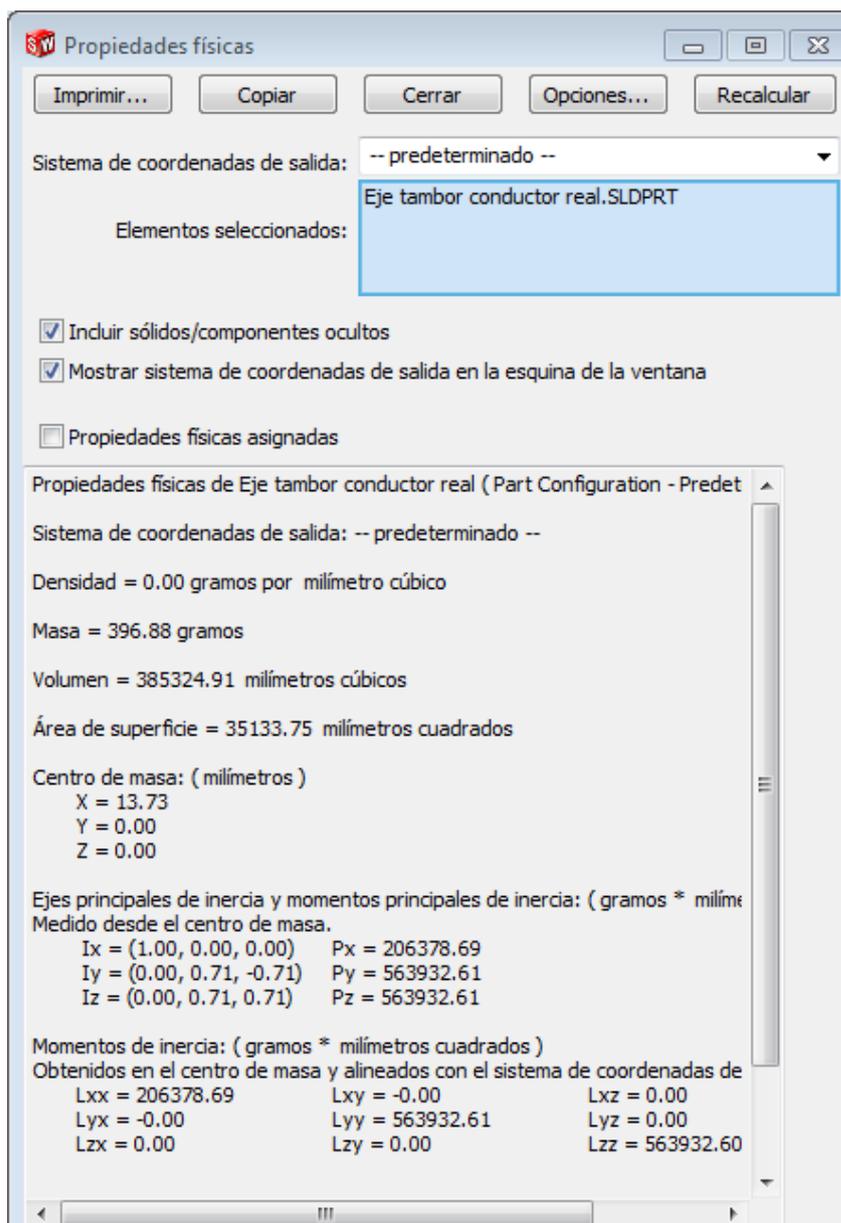


Ilustración 2. 30 Propiedades físicas de la flecha motriz

$$\text{Masa} = 396,88[\text{g}]$$

$$W = \text{Masa} * \text{gravedad}$$

$$W = 0,39688[\text{kg}] * 9,81[\text{m/s}^2] = 3,39 [\text{N}]$$

Diagrama de cuerpo libre de la flecha motriz:

En el siguiente diagrama se muestra las fuerzas y momentos que actúan sobre la flecha motriz:

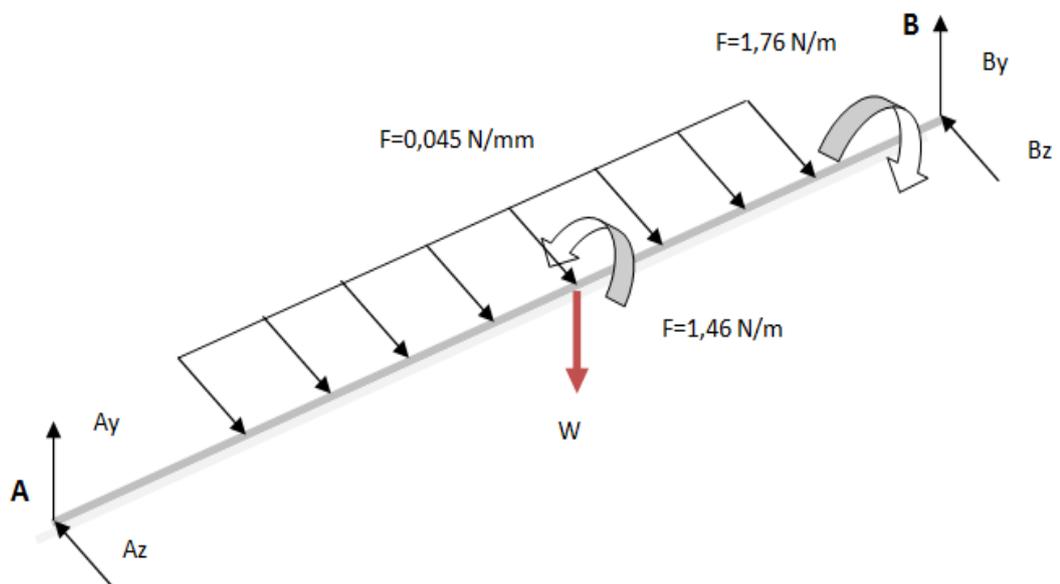


Ilustración 2. 31 Diagrama de cuerpo libre de la flecha motriz

Una vez determinadas las cargas se procede a calcular las reacciones en los rodamientos (punto A y punto B):

Con las fuerzas en Newton [N] y la distancia en milímetros [mm].

$$\sum F_y = 0$$

$$A_Y + B_Y - W = 0$$

$$A_Y + B_Y = 3,89 \text{ [N]} \quad (1)$$

$$\sum M_y = 0$$

$$A_Y (74,75) \text{ [mm]} - B_Y (61) \text{ [mm]} = 0 \quad (2)$$

Al resolver (1) y (2) el sistema de ecuaciones tenemos:

$$A_Y = 1,748 \text{ [N]}$$

$$B_Y = 2,14 \text{ [N]}$$

$$\sum F_Z = 0$$

$$F \cdot d - A_Z - B_Z = 0$$

$$0,045 \text{ [N]} \cdot 100 \text{ [mm]} - A_Z - B_Z = 0$$

$$A_Z + B_Z = 45 \text{ [N]}$$

$$A_Z = 2,06 \text{ [N]}$$

$$B_Z = 2,44 \text{ [N]}$$

Análisis en Mdsolid:

- 1) Gráficas de fuerza cortante, momento flexionante en el eje Y

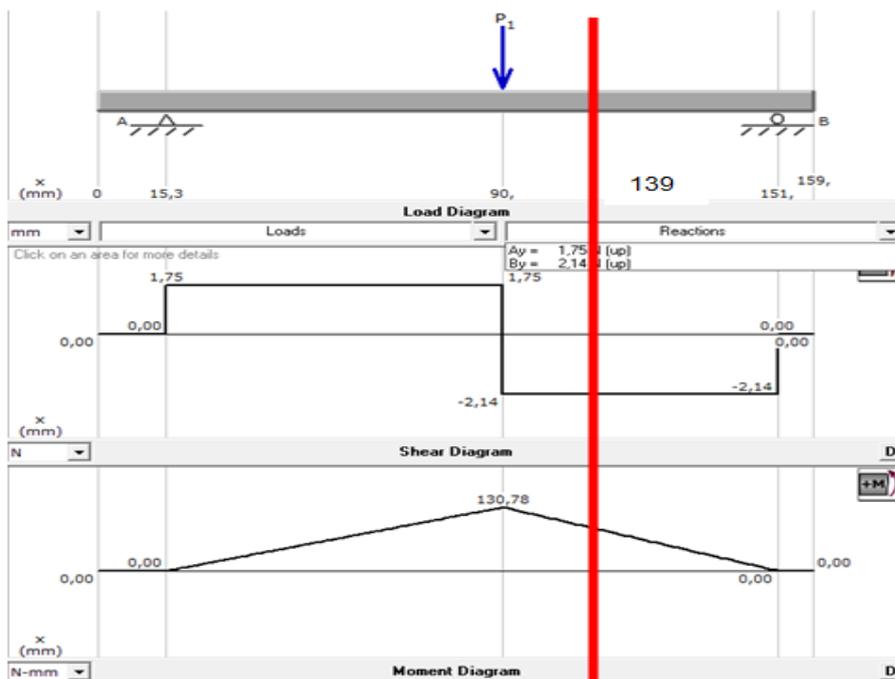


Ilustración 2. 32 Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante eje Y de la flecha motriz

2) Gráficas de fuerza cortante, momento flexionante en el eje Z

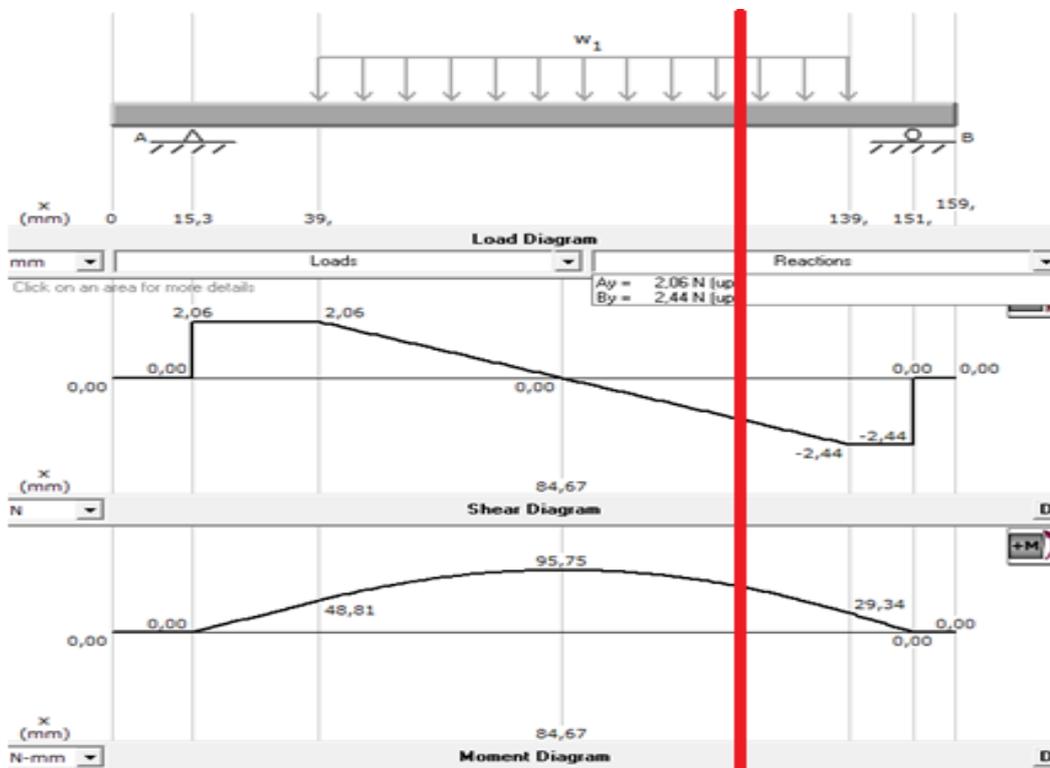


Ilustración 2. 33 Diagrama de fuerza cortante y momento flexionante eje Z de la flecha motriz

3) Gráfica de torques:

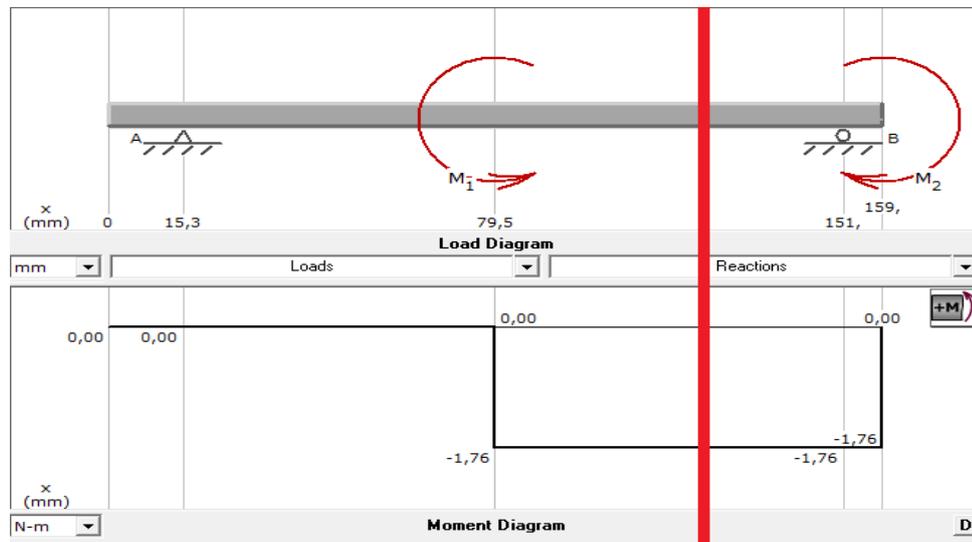


Ilustración 2. 34 Diagrama de torques de la flecha motriz

Cálculo del esfuerzo flexionante en el punto crítico:

El análisis del esfuerzo flexionante no se analizará en el punto crítico sino en $x=144$ [mm], donde existe un cambio de sección considerable y con ello concentradores de esfuerzo:

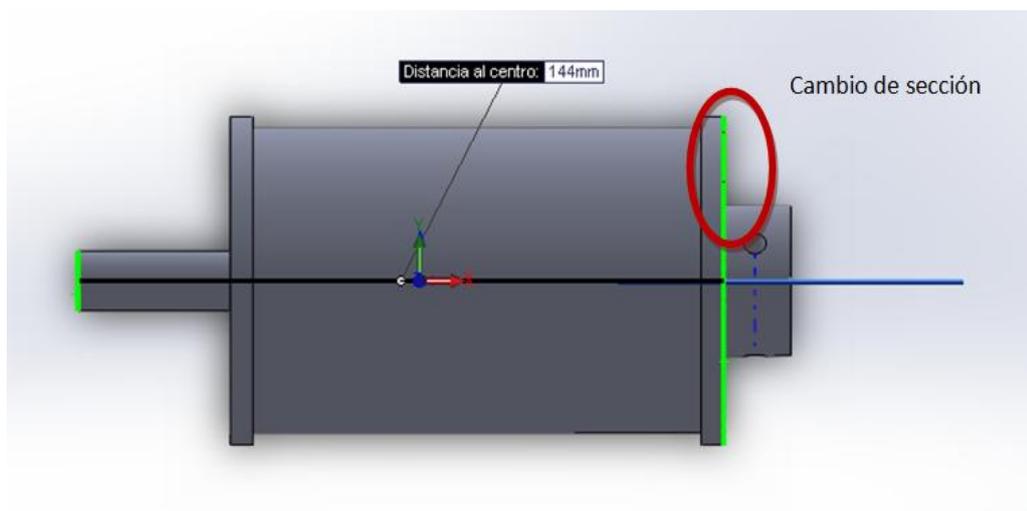


Ilustración 2. 35 Flecha motriz

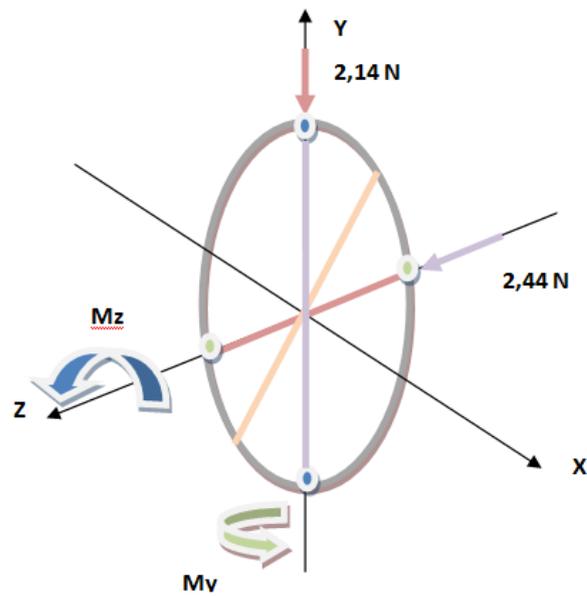


Ilustración 2. 36 Fuerzas y momentos en el punto crítico

A continuación utilizamos los datos de la gráfica de momentos tanto en el eje y, como en el eje z para calcular M_y y M_z :

Cálculo de M_y :

$$\tan\Theta = \frac{130,78[\text{N}\cdot\text{mm}]}{151-90[\text{mm}]} = 2,14[\text{N}]$$

$$2,14[\text{N}] = \frac{M_y}{151-144[\text{mm}]}$$

$$M_y = 14,98[\text{N}\cdot\text{mm}]$$

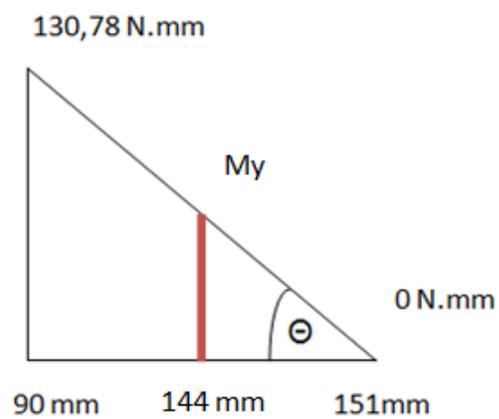


Ilustración 2. 37 Cálculo de momentos en el punto crítico

Cálculo de M_z :

$$\tan\Theta = \frac{29,34[\text{N.mm}]}{159 - 139[\text{mm}]} = 1,467[\text{N}]$$

$$1,467[\text{N}] = \frac{M_z}{159 - 144[\text{mm}]}$$

$$M_z = 22,005[\text{N.mm}]$$

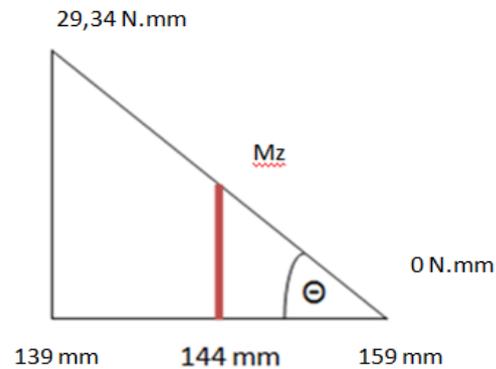


Ilustración 2. 38 Cálculo de momentos en el punto de análisis

Una vez calculado el valor de los momentos flexionantes procedemos a calcular el esfuerzo:

$$\sigma_b = \frac{MC}{I}$$

Donde:

M: es el momento resultante

C: distancia a la superficie neutra (radio)

I: momento de inercia

Momento resultante:

$$M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}$$

$$M = \sqrt{14,98^2[\text{N}^2.\text{mm}^2] + 22,05^2[\text{N}^2.\text{mm}^2]}$$

$$M = 26,657[\text{N.mm}]$$

Momento de inercia:

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$\sigma_b = \frac{M * \frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{64}}$$

$$\sigma_b = \frac{32 * M}{\pi d^3}$$

$$\sigma_b = \frac{32 * 0,026657[\text{N.m}]}{\pi * 0,065^3[\text{m}^3]}$$

$$\sigma_b = 988,715[\text{N/m}^2]$$

Una vez calculado el esfuerzo flexionante al cual se encuentra sometido la flecha lo comparamos con la resistencia a la flexión del material (nylon):

Nylon

Características	Metodo	Unidades	Cast Nylon 6
Propiedades Mecánicas			
Resistencia a la Tensión*	ISO 527	MPa	75-85
Modulo de elasticidad**	ISO 527	MPa	3900
Elogación a la ruptura	ISO 527	%	>25
Resistencia a la compresión	ISO 604	MPa	90-100
Modulo de compresión	ISO 604	MPa	2700
Resistencia a la flexión*	ISO 178	MPa	100-110
Modulo de elasticidad a la flexión	ISO 178	MPa	3300
Resistencia al impacto	ISO 180	KJ/m2	5.6
Dureza	ISO 7619	Shore D	83-85
Propiedades térmicas			
Punto de fusión	ISO 1218	°C	220
Temperatura de operación intermitente máxima***		°C	+170
Temperatura de operación continua máxima***		°C	+100
Temperatura de operación intermitente mínima***		°C	-100
Temperatura de operación continua mínima***		°C	-40
Coefficiente térmico de dilatación lineal***	ISO 11359	1/K.15-5	5-8
Propiedades Electricas			
Constante dielectrica	IEC 250	-	3.7
Resistencia dielectrica	IEC 243	KV/mm	>25
Resistividad volumétrica	IEC 93	Ohms.cm	10 15
Resistividad superficial R oa	IEC 93	Ohms	10 15
Resistencia al arco	IEC 112	CTI	CTI 600
Color			
	-	-	Natural/negro
Gravedad especifica	ISO 1183	g/cm3	1.15
Resitencia al desgaste	****PV=55	mg/Km	0.44
Coefficiente de factor fricción (Factor C)	****PV=55	-	0.39

Ilustración 2. 39 Propiedades físicas del nylon

Fuente: (Bronces y repuestos industriales, 2014)

$$\sigma_{\text{NYLON}} = 100[\text{MPa}]$$

$$\sigma_b = 1 * 10^{-3}[\text{MPa}]$$

De acuerdo a los datos anteriores podemos decir que:

$$\sigma_{\text{NYLON}} > \sigma_b$$

Análisis en SolidWorks:

1) Análisis de Esfuerzos:

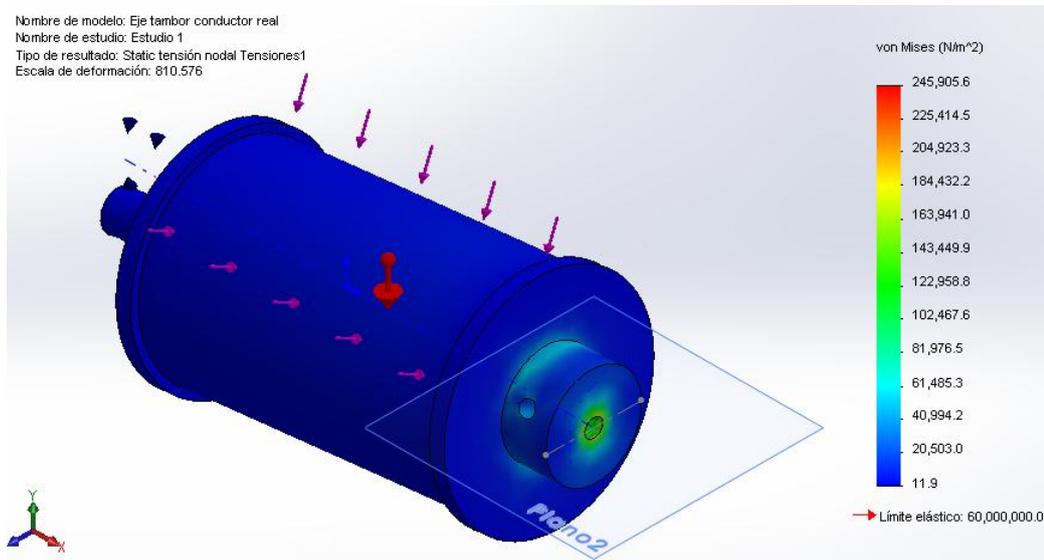


Ilustración 2. 40 Análisis de esfuerzos en el diseño de la flecha

2) Factor de seguridad:

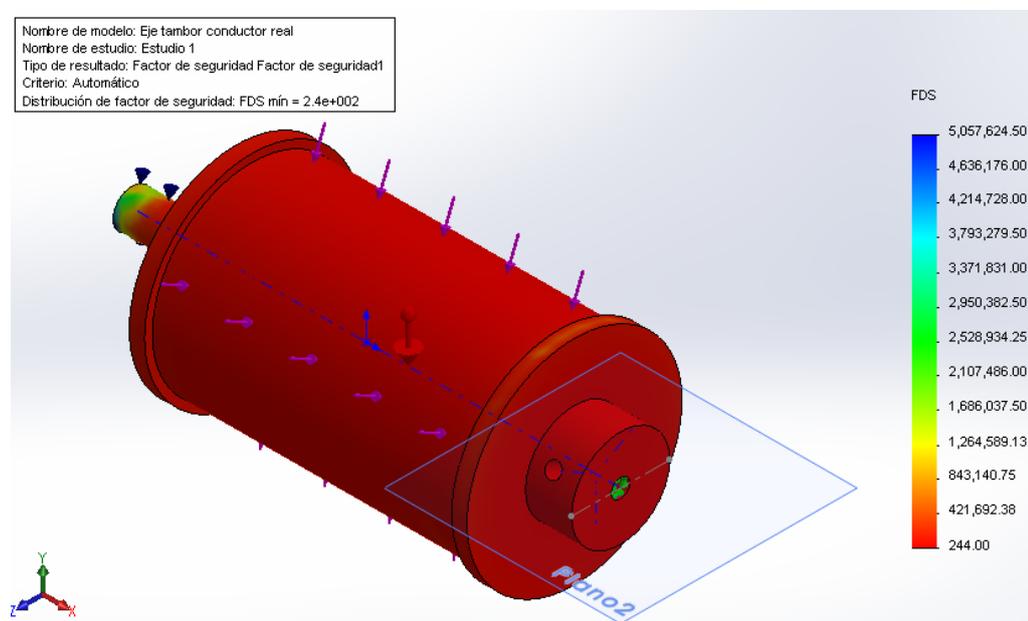


Ilustración 2. 41 Factor de seguridad en el diseño de la flecha

3) Comprobación del diseño a fatiga:

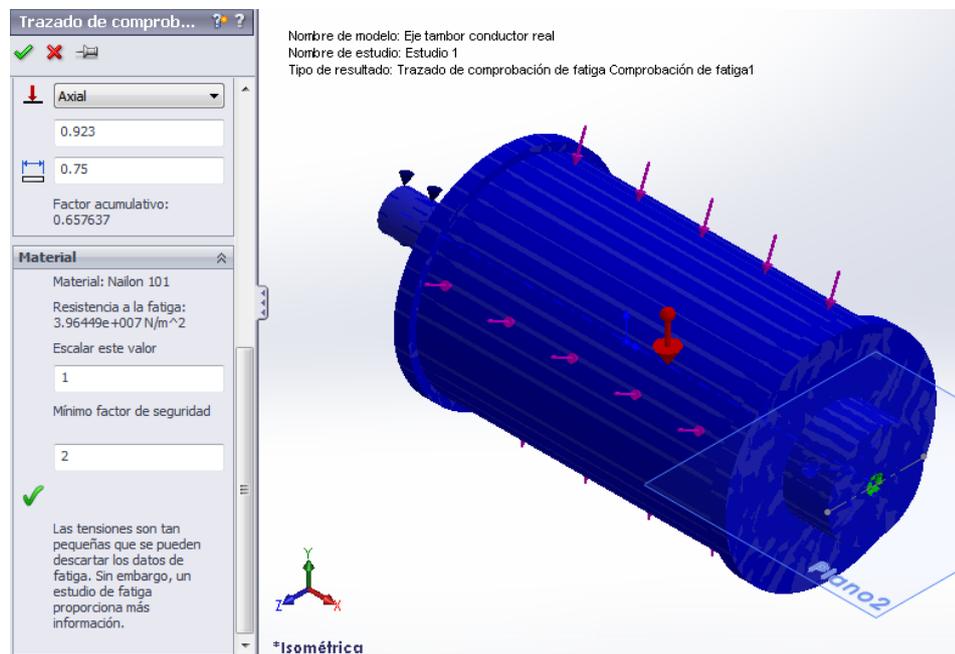


Ilustración 2. 42 Comprobación del diseño de la flecha a fatiga

FLECHA CONDUCTIDA

Este elemento de la banda transportadora va a estar soportado por dos rodamientos que acoplarán la flecha conducida y el eje fijo.

Diseño geométrico:

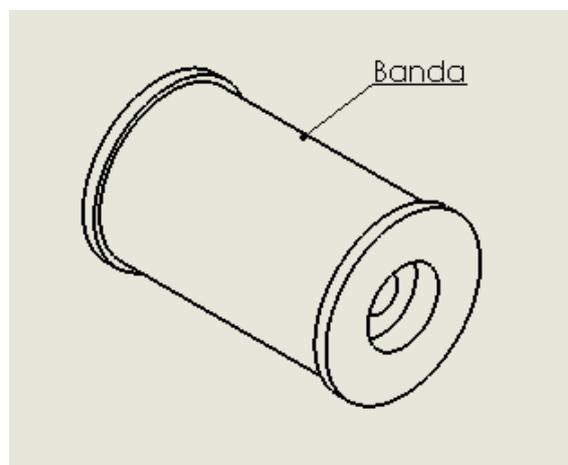


Ilustración 2. 43 Flecha conducida

Al igual que el tambor motriz la longitud del tambor donde se ubica la banda es de 100 [mm] y su diámetro 65 [mm].

Tomamos de SolidWorks el dato de la masa del tambor:

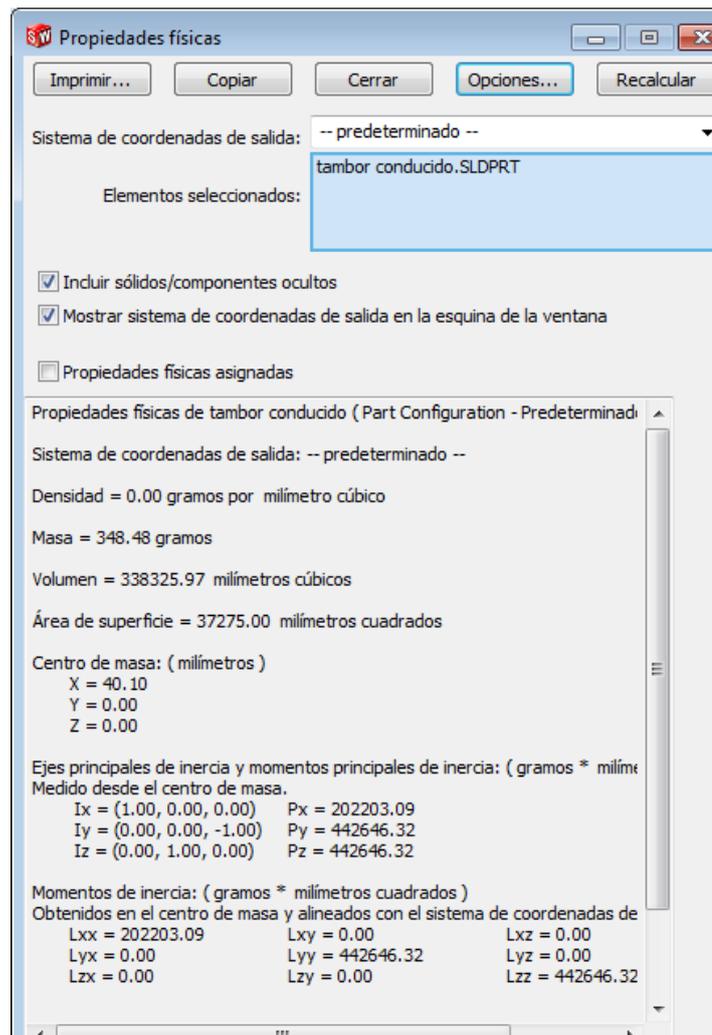


Ilustración 2. 44 Propiedades físicas de la flecha conducida

$$\text{Masa} = 348,48 \text{ [g]}$$

$$W = \text{Masa} * \text{gravedad}$$

$$W = 0,34848 \text{ [kg]} * 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} = 3,419 \text{ [N]}$$

Diagrama de cuerpo libre de la flecha conducida:

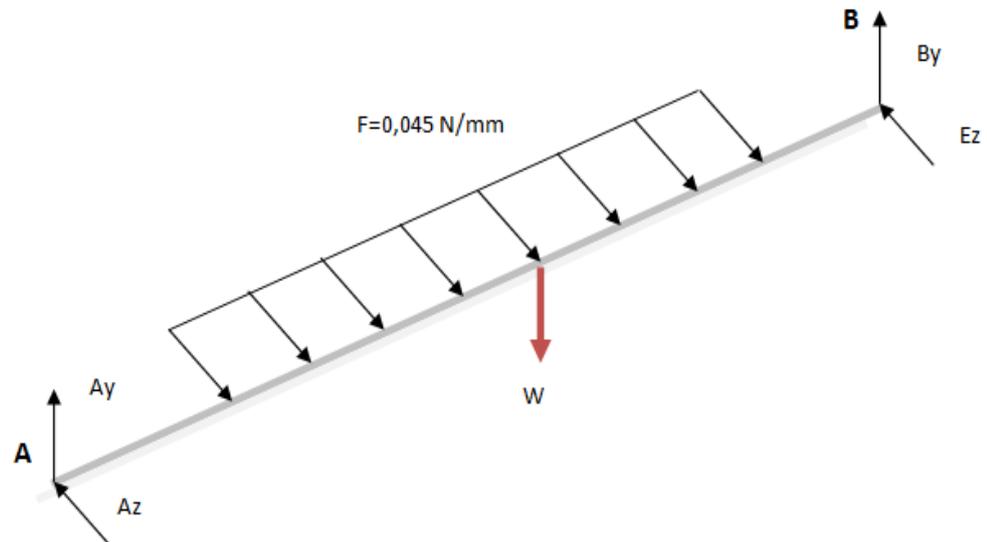


Ilustración 2. 45 Diagrama de cuerpo libre de la flecha conducida

Una vez determinadas las cargas se procede a calcular las reacciones en los rodamientos (punto A y punto B):

$$\sum F_y = 0$$

$$A_Y + B_Y - W = 0$$

$$A_Y + B_Y = 3,4186 \text{ [N]} \quad (3)$$

$$\sum M_y = 0$$

$$A_Y (50) \text{ [mm]} - B_Y (50) \text{ [mm]} = 0 \quad (4)$$

Al resolver (3) y (4) el sistema de ecuaciones tenemos:

$$A_Y = 1,7093 \text{ [N]}$$

$$B_Y = 1,7093 \text{ [N]}$$

$$\sum FZ = 0$$

$$F \cdot d - AZ - BZ = 0$$

$$0,045[\text{N}] \cdot 100[\text{mm}] - AZ - BZ = 0$$

$$AZ + BZ = 45[\text{N} \cdot \text{mm}]$$

$$AZ = 2,25 [\text{N}]$$

$$BZ = 2,25 [\text{N}]$$

Análisis en Mdsolid:

1) Gráficas de fuerza cortante, momento flexionante en el eje Y

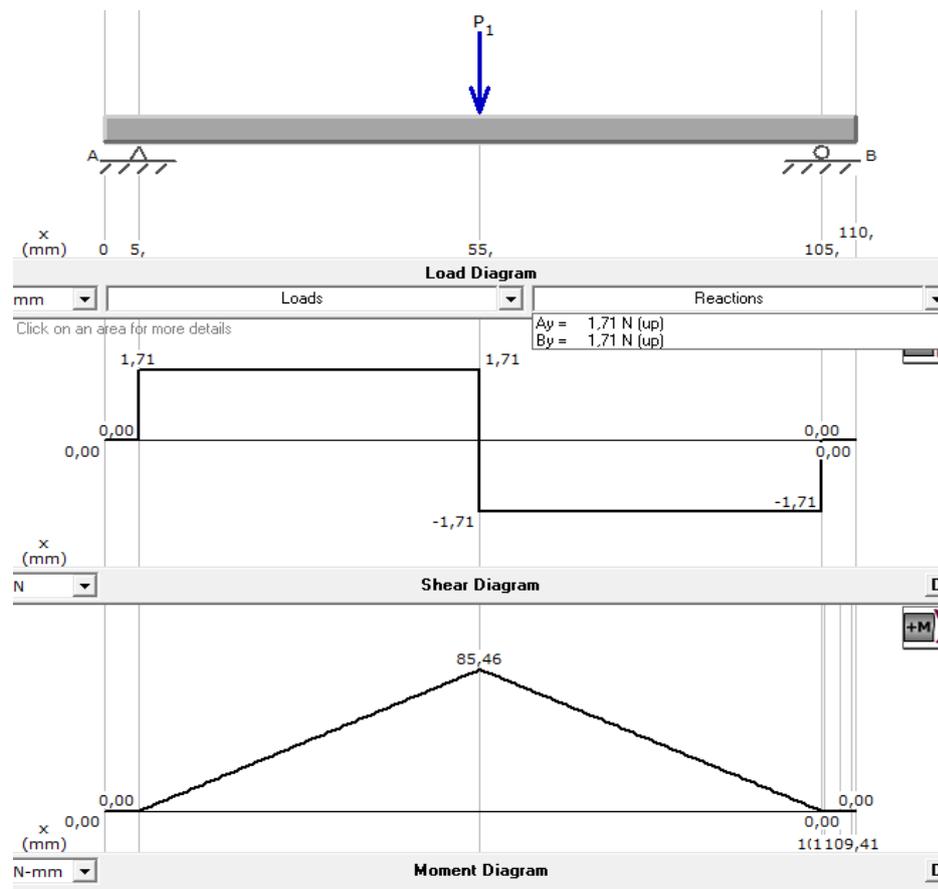


Ilustración 2. 46 Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje Y de la flecha conducida

2) Gráficas de fuerza cortante, momento flexionante en el eje Z

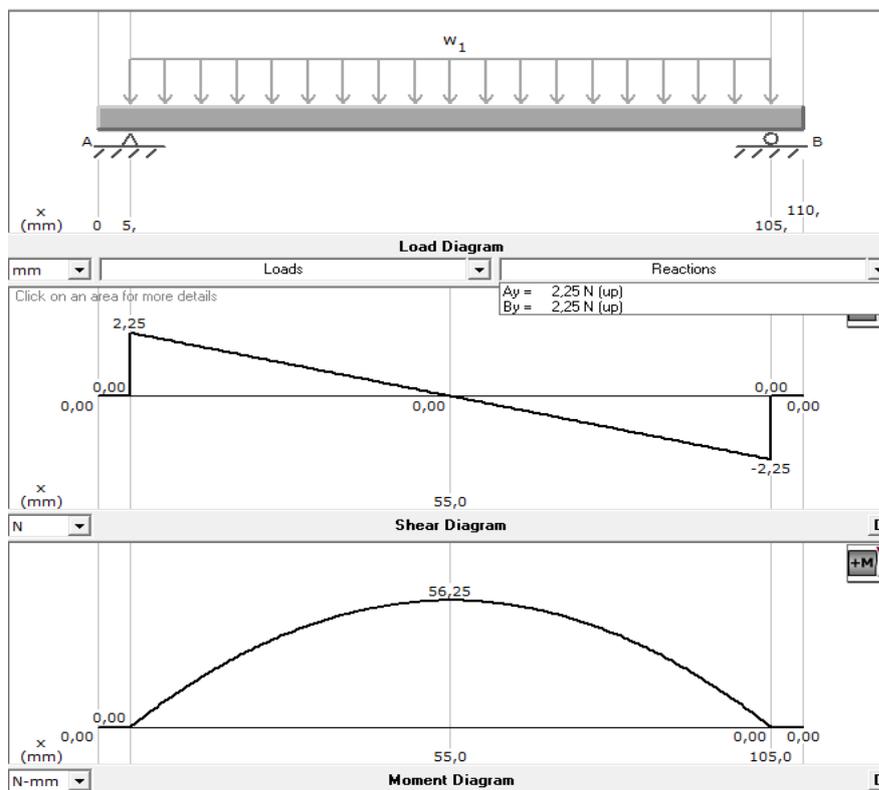


Ilustración 2. 47 Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje Z de la flecha conducida

En este caso no analizaremos el valor del esfuerzo flexionante, ni el punto crítico, ya que esta flecha está sobre un eje fijo que es la que soportará las reacciones, el peso y la tensión de la banda, por lo cual los cálculos se realizarán en la siguiente flecha, de los diagramas anteriores tomamos los valores de las reacciones para transmitirlos al eje fijo.

EJE FIJO

Este eje soportará el peso de la flecha conducida, y además posee el sistema de ajuste para tensionar la banda, por lo cual está fabricada de un material con mayor resistencia y mayor esfuerzo a la fluencia.

Diseño geométrico:

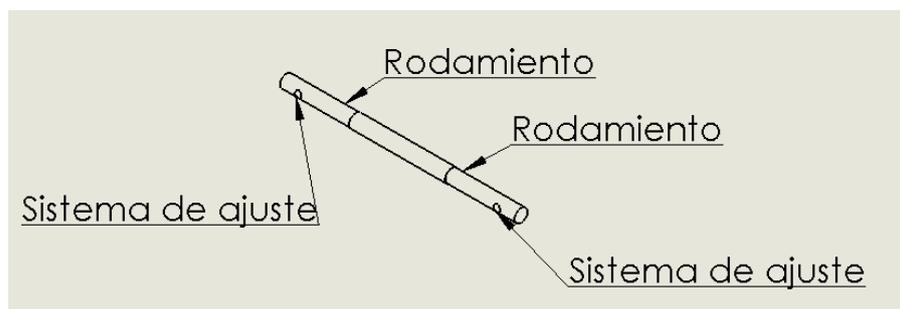


Ilustración 2. 48 Diseño geométrico eje fijo

Para colocar todas las cargas en el eje fijo tomamos el dato de la masa. A diferencia de los tambores anteriores el eje fijo estará hecho de acero de transmisión cuya densidad es: $0,00787 \text{ [g/mm}^3\text{]}$

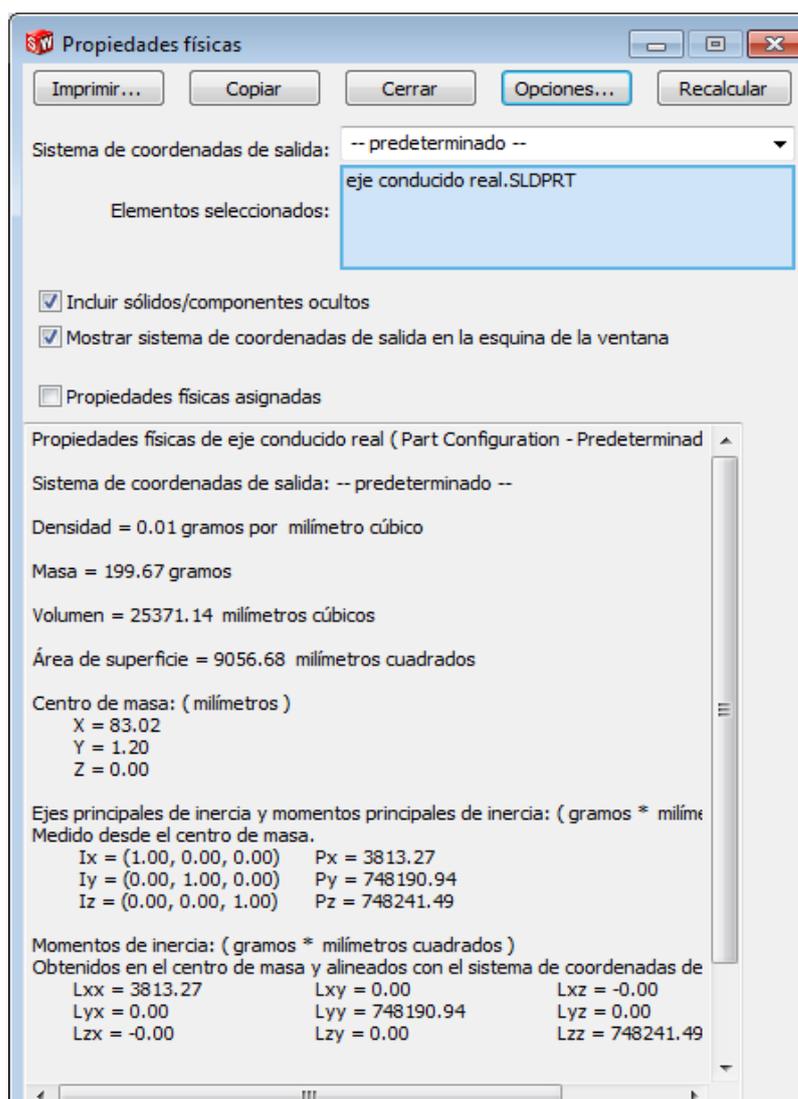


Ilustración 2. 49 Propiedades físicas del eje fijo

$$\text{Masa} = 199,67 \text{ [g]}$$

$$W = \text{Masa} \cdot \text{gravedad} = 0,19967 \text{ [kg]} \cdot 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$W = 1,9587 \text{ [N]}$$

$T1 \wedge T2$ Son fuerzas provocadas por los tornillos del sistema de ajuste y éstas a su vez por la tensión de la banda, por lo cual tenemos:

$$T1 = T2 = \frac{\text{Tensión}}{2}$$

$$T1 = T2 = \frac{45 \text{ [N]}}{2}$$

$$T1 = T2 = 22,5 \text{ [N]}$$

$$AY' = 1,7093 \text{ [N]}$$

$$BY' = 1,7093 \text{ [N]}$$

$$AZ' = 2,25 \text{ [N]}$$

$$BZ' = 2,25 \text{ [N]}$$

Diagrama de cuerpo libre de la flecha conducida:

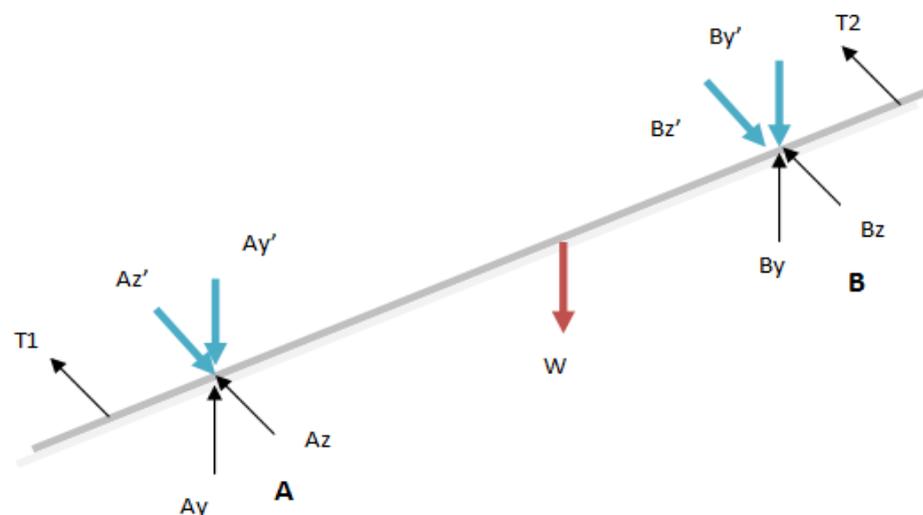


Ilustración 2. 50 Diagrama de cuerpo libre del eje fijo

A continuación calcularemos el valor de las reacciones en A y B, cuyos valores serán utilizados para seleccionar los rodamientos:

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y + B_y - W - A'_y - B'_y = 0$$

$$A_y + B_y - 1,9587[\text{N}] - 1,7093[\text{N}] - 1,7093[\text{N}] = 0$$

$$A_y + B_y = 5,3773[\text{N}] \quad (5)$$

$$\sum M_y = 0$$

$$A'_y (100)[\text{mm}] + W(50)[\text{mm}] - B_y(100)[\text{mm}] = 0$$

$$1,7093[\text{N}] * (100)[\text{mm}] + 1,9587[\text{N}] * (50)[\text{mm}] - B_y(100)[\text{mm}] = 0$$

$$B_y = 2,689[\text{N}]$$

De (5) tenemos:

$$A_y = 2,688 [\text{N}]$$

$$\sum F_z = 0$$

$$T_1 + T_2 - A'_z - B'_z - A_z - B_z = 0$$

$$22,5[\text{N}] + 22,5[\text{N}] - 2,25[\text{N}] - 2,25[\text{N}] - A_z - B_z = 0$$

$$A_z + B_z = 40,5 [\text{N}] \quad (6)$$

$$\sum M_z = 0$$

$$T1 * (43,1)[\text{mm}] - T2 * (143,1)[\text{mm}] + BZ'(100)[\text{mm}] - BZ * (100)[\text{mm}] = 0$$

$$22,5[\text{N}] * (43,1)[\text{mm}] - 22,5[\text{N}] * (143,1)[\text{mm}] + 2,25[\text{N}](100)[\text{mm}] - BZ * (100)[\text{mm}] = 0$$

$$BZ = 20,25[\text{N}]$$

De (6) tenemos:

$$AZ = 20,25 [\text{N}]$$

Análisis en Mdsolid:

- 1) Gráficas de fuerza cortante, momento flexionante en el eje Y

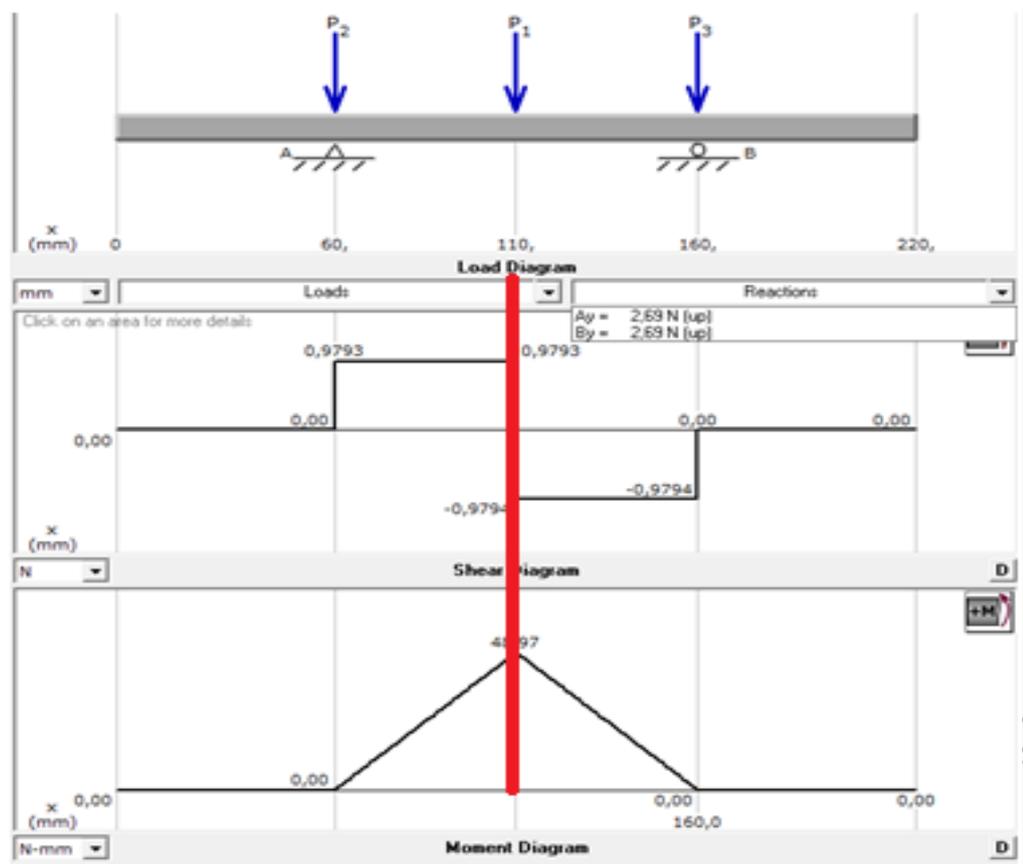


Ilustración 2. 51 Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje Y del eje fijo

2) Gráficas de fuerza cortante, momento flexionante en el eje Z

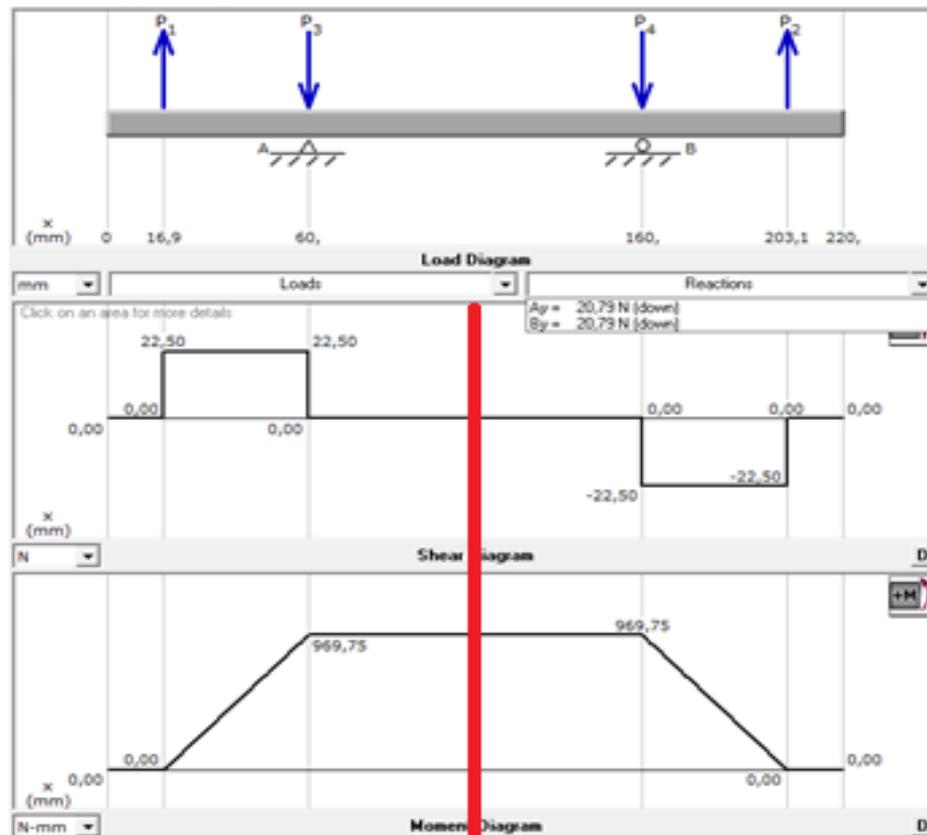


Ilustración 2. 52 Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje Z del eje fijo

Ya que es un eje fijo, hay fuerzas tanto en eje Y como en eje Z, pero no está sometido a torsión.

Cálculo del esfuerzo flexionante en el punto crítico:

Para calcular el esfuerzo flexionante en el punto crítico analizamos las cargas y momentos en este punto:

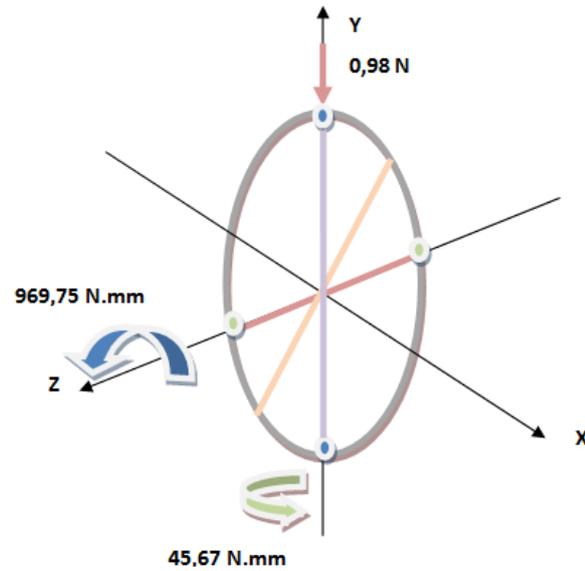


Ilustración 2. 53 Fuerzas y momentos en el punto crítico

$$\sigma_b = \frac{MC}{I}$$

Momento resultante:

$$M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}$$

$$M = \sqrt{45,67^2 [\text{N}^2 \cdot \text{mm}^2] + 969,75^2 [\text{N}^2 \cdot \text{mm}^2]}$$

$$M = 970,82 [\text{N} \cdot \text{mm}]$$

Momento de inercia:

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$\sigma_b = \frac{M \cdot \frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{64}}$$

$$\sigma_b = \frac{32 \cdot M}{\pi d^3}$$

$$\sigma_b = \frac{32 \cdot 0,970[\text{N.m}]}{\pi \cdot 0,00635^3[\text{m}^3]}$$

$$\sigma_b = 38620[\text{N/m}^2]$$

Una vez calculado el esfuerzo flexionante al cual se encuentra sometido la flecha lo comparamos con la resistencia a la flexión del material (acero de transmisión):

$$\sigma_{\text{ACERO}} = 248[\text{MPa}]$$

$$\sigma_b = 38 \cdot 10^{-3}[\text{MPa}]$$

De acuerdo a los datos anteriores podemos decir que:

$$\sigma_{\text{ACERO}} > \sigma_b$$

Análisis en SolidWorks:

1) Análisis de Esfuerzos:

Nombre de modelo: eje conducido real
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 1

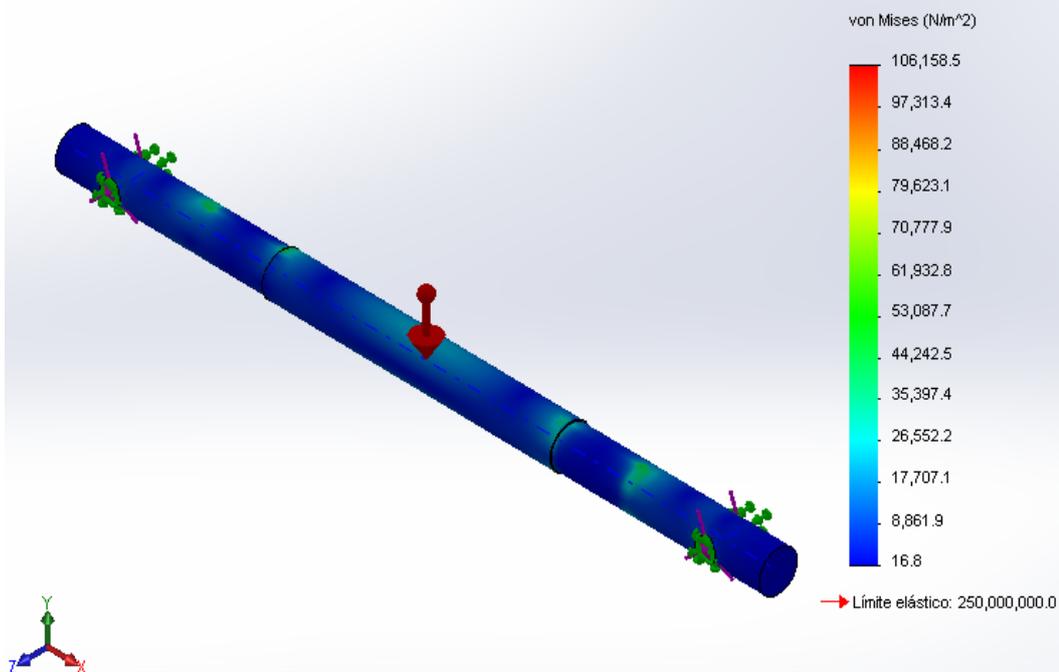


Ilustración 2. 54 Análisis de esfuerzos en el diseño de la flecha

2) Factor de seguridad:

Nombre de modelo: eje conducido real
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Automático
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2.4e+003

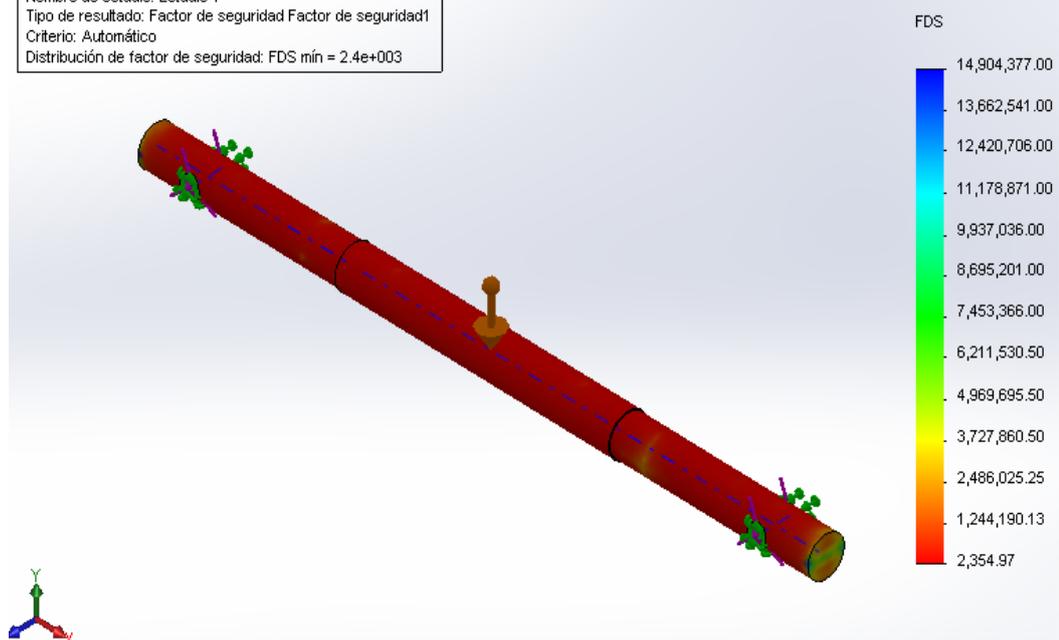


Ilustración 2. 55 Factor de seguridad en el diseño de la flecha

3) Comprobación del diseño a fatiga:

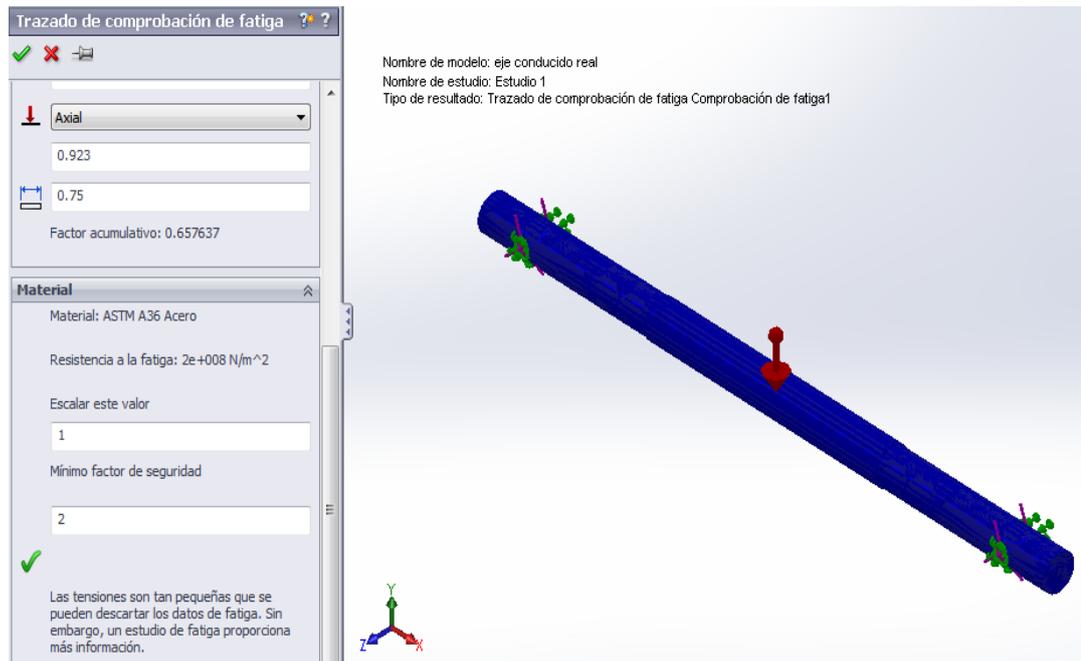


Ilustración 2. 56 Comprobación del diseño del eje fijo a fatiga

2.3.1.3.3. Selección de rodamientos

RODAMIENTO DE LA CHUMACERA:

La chumacera seleccionada contará con el 99 % de confiabilidad. Para seleccionar la chumacera que se va a utilizar en la banda utilizamos las reacciones en el punto en que se va a ubicar la chumacera que son:

$$A_Y = 1,748 \text{ [N]}$$

$$A_Z = 2,06 \text{ [N]}$$

A continuación calculamos la fuerza resultante en A:

$$F_{RA} = \sqrt{A_Y^2 + A_Z^2}$$

$$F_{RA} = \sqrt{1,748^2 [\text{N}^2] + 2,06^2 [\text{N}^2]}$$

$$F_{RA} = 2,7 [\text{N}]$$

Para seleccionar el rodamiento adecuado procedemos a calcular la carga dinámica:

$$L_{10^6} = k \left(\frac{C}{P} \right)^n$$

Donde:

L_{10^6} : Horas de trabajo.

K: factor de corrección de confiabilidad (0,21 para 99% de confiabilidad).

C: carga dinámica.

P: carga equivalente aplicada al rodamiento.

n: depende de la geometría del rodamiento, 3 para rodamientos de esferas o bolas y $\frac{10}{3}$ para rodamientos de rodillos.

El primer paso es calcular L_{10^6} :

$$L_{10^6} = \frac{h * N}{10^6}$$

h: horas de trabajo

N: revoluciones del motor

$$L_{10^6} = \frac{1 * 10^9 [\text{horas}] * \left[\frac{60 \text{ _min}}{1 \text{ _hora}} \right] * 80 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right]}{10^6}$$

$$L_{10^6} = 4800000$$

Y finalmente calculamos la carga dinámica:

$$L_{10^6} = k \left(\frac{C}{P} \right)^3$$

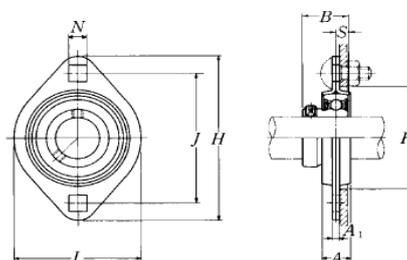
$$4800000 = 0,21 * \left(\frac{C}{2,7[N]} \right)^3$$

$$C = 766,25[N]$$

$$C = 0,76[kN]$$

La chumacera y rodamiento seleccionados son:

Chumacera tipo brida ovalada, alojamiento de acero prensado
Con tornillo de fijación



Diámetro del eje mm pulg.	Número de la chumacera	Dimensiones nominales										Tamaño del perno mm pulg.	Carga máx. recomendada		Número del rodamiento
		mm					pulg.						N radial	lbf axial	
		H	J	A ₁	N	A	L	B	S	H ₁ min.					
12 ½	ASPFL201 ASPFL201-008	81 3 ³ / ₁₆	63.5 2 ¹ / ₂	4 0.157	7.1 ⁹ / ₃₂	14 ⁹ / ₁₆	59 2 ⁵ / ₁₆	22 0.8661	6 0.236	49 1 ⁵⁹ / ₆₄	M 6 ¼	2 700 600	1 350 300	AS201 AS201-008	
15 ⁹ / ₁₆ ⁵ / ₈	ASPFL202 ASPFL202-009 ASPFL202-010	81 3 ³ / ₁₆	63.5 2 ¹ / ₂	4 0.157	7.1 ⁹ / ₃₂	14 ⁹ / ₁₆	59 2 ⁵ / ₁₆	22 0.8661	6 0.236	49 1 ⁵⁹ / ₆₄	M 6 ¼	2 700 600	1 350 300	AS202 AS202-009 AS202-010	

Ilustración 2. 57 Catálogo de chumaceras / selección

Fuente: (Catalogo NTN de chumaceras, 2009)

RODAMIENTOS EN EL EJE CONDUcido

Para acoplar la flecha fija y el tambor conducido utilizaremos rodamientos los cuales serán seleccionados con las cargas calculadas en el eje fijo.

$$AY = 2,688 [N]$$

$$AZ = 20,25 [N]$$

A continuación calculamos la fuerza resultante en A:

$$F_{RA} = \sqrt{A_Y^2 + A_Z^2}$$

$$F_{RA} = \sqrt{2,688^2 [N^2] + 20,25^2 [N^2]}$$

$$F_{RA} = 20,427 [N]$$

Para seleccionar el rodamiento adecuado procedemos a calcular la carga dinámica:

$$L_{10^6} = k \left(\frac{C}{P} \right)^n \qquad L_{10^6} = \frac{h * N}{10^6}$$

$$L_{10^6} = \frac{1 * 10^9 [\text{horas}] * \left[\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \right] * 80 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right]}{10^6}$$

$$L_{10^6} = 4800000$$

Y finalmente calculamos la carga dinámica:

$$L_{10^6} = k \left(\frac{C}{P} \right)^3$$

$$4800000 = 0,21 * \left(\frac{C}{20,427 [N]} \right)^3$$

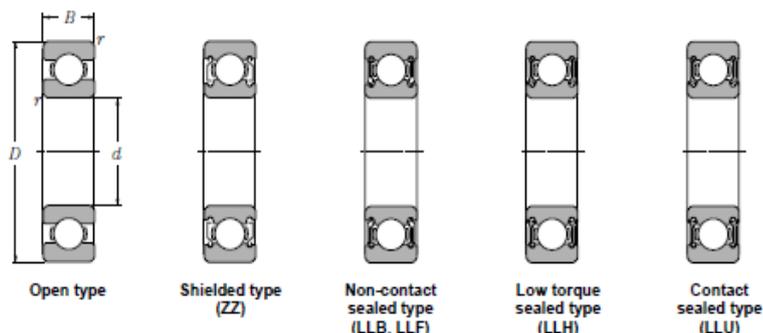
$$C = 5797,115 [N]$$

$$C = 5,797 [kN]$$

De acuerdo a la carga el rodamiento seleccionado es:

• Deep Groove Ball Bearings

NTN



d 10 • 20mm

d	Boundary dimensions				Basic load ratings				Limiting speeds				Bearing numbers				
	mm				kN		kgf		rpm				open type	non-sealed type	non-contact type	low torque type	contact type
	D	B	r _{s, min}	r _{rs, min}	C _r	C _{or}	C _r	C _{or}	grease open type ZZ	oil open type Z LB	LLH	LLU					
10	15	3	0.1	• •	0.855	0.435	87	44	10,000	12,000	•	•	6700	•	•	•	•
	19	5	0.3	• •	1.83	0.925	187	94	32,000	38,000	•	• 24,000	6800	ZZ	LLB	•	• LLU
	22	6	0.3	0.3	2.7	1.27	275	129	30,000	36,000	•	• 21,000	6900	ZZ	LLB	•	• LLU
	26	8	0.3	• •	4.55	1.96	485	200	29,000	34,000	25,000	21,000	6000	ZZ	LLB	LLH	LLU
	30	9	0.6	0.5	5.10	2.39	520	244	25,000	30,000	21,000	18,000	6200	ZZ	LLB	LLH	LLU
	35	11	0.6	0.5	8.20	3.50	835	355	23,000	27,000	20,000	16,000	6300	ZZ	LLB	LLH	LLU
12	18	4	0.2	• •	0.930	0.530	95	54	8,300	9,500	•	•	6701	•	•	•	•
	21	5	0.3	• •	1.92	1.04	195	106	29,000	35,000	•	• 20,000	6801	ZZ	LLB	•	• LLU
	24	6	0.3	0.3	2.89	1.46	295	149	27,000	32,000	•	• 19,000	6901	ZZ	LLB	•	• LLU
	28	7	0.3	• •	5.10	2.39	520	244	26,000	30,000	•	•	16001	•	•	•	•
	28	8	0.3	• •	5.10	2.39	520	244	26,000	30,000	21,000	18,000	6001	ZZ	LLB	LLH	LLU
		32	10	0.6	0.5	6.10	2.75	620	280	22,000	26,000	20,000	16,000	6201	ZZ	LLB	LLH
	37	12	1	0.5	9.70	4.20	990	425	20,000	24,000	19,000	15,000	6301	ZZ	LLB	LLH	LLU

Ilustración 2. 58 Catálogo de rodamientos / selección

Fuente: (Catalogo NTN de rodamientos, 2009)

2.3.1.3.4. Diseño de la estructura de la banda transportadora

Una vez diseñado las flechas conductora y conducida empezaremos el diseño geométrico de los soportes laterales, para ello tomamos en cuenta la capacidad de la banda transportadora (número de pasteles que deben ubicarse en ella).

Capacidad de la banda transportadora: 4 cajas

Medida requería por caja: 15,6 [cm]

Medida necesaria para las 4 cajas: 62,4 [cm]

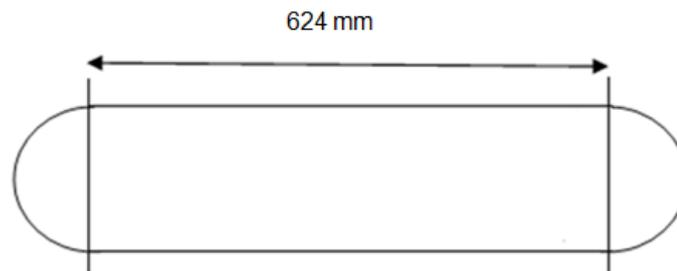


Ilustración 2. 59 Medida del soporte lateral para cumplir los requerimientos

Finalmente para saber cuál debe ser la longitud mínima que debe tener el soporte lateral tomamos en cuenta el radio de ambos ejes.

$$\text{Distancia requerida} = R + 624[\text{mm}] + R$$

$$\text{Distancia requerida} = 35[\text{mm}] + 624[\text{mm}] + 35[\text{mm}]$$

$$\text{Distancia requerida} = 694[\text{mm}]$$

La mínima longitud de los soportes laterales debe ser 694 mm, sin embargo la banda transportadora necesita un sistema de ajuste, por lo cual la longitud debe ser mayor para que pueda realizarse el desplazamiento de uno de los ejes para tensar la banda (30 [mm]), y en el lado de la flecha motriz se requiere que el soporte sobresalga de la flecha al menos 15 [mm], para la colocación y la chumacera.

$$\text{Distancia total} = 694[\text{mm}] + 30[\text{mm}] + 15[\text{mm}]$$

$$\text{Distancia total} = 739[\text{mm}]$$

De lo cual la longitud del soporte lateral será de 740 [mm]; el diámetro máximo de los tambores es de 70 [mm], los soportes laterales deben cubrir dicha longitud y sobrepasarlos con al menos 5 [mm] tanto en la parte superior como en la parte inferior, para evitar rozamiento entre los tambores, la banda y el piso, por lo cual el ancho de los soportes laterales será de 80 [mm].

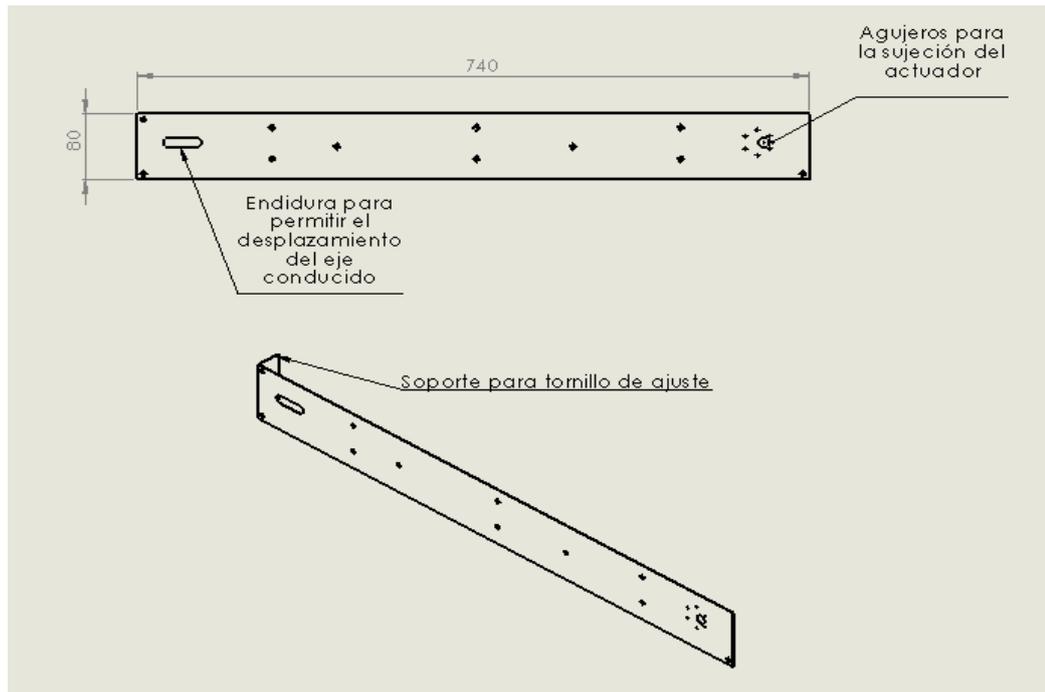


Ilustración 2. 60 Soporte lateral derecho

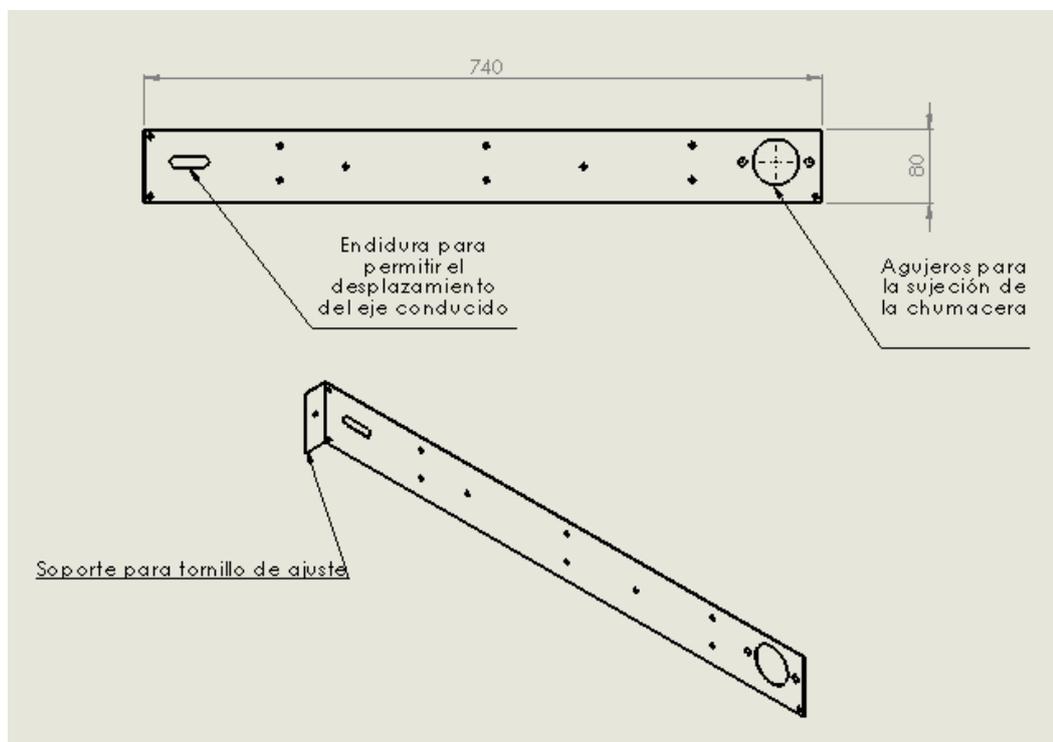


Ilustración 2. 61 Soporte lateral izquierdo

Una vez dimensionados los soportes laterales, procedemos a dimensionar el soporte central que será el encargado de soportar el peso de

la carga y mantener una distancia fija entre los soportes laterales. Éste debe ubicarse en la parte central sin rozar a ninguno de los dos tambores:

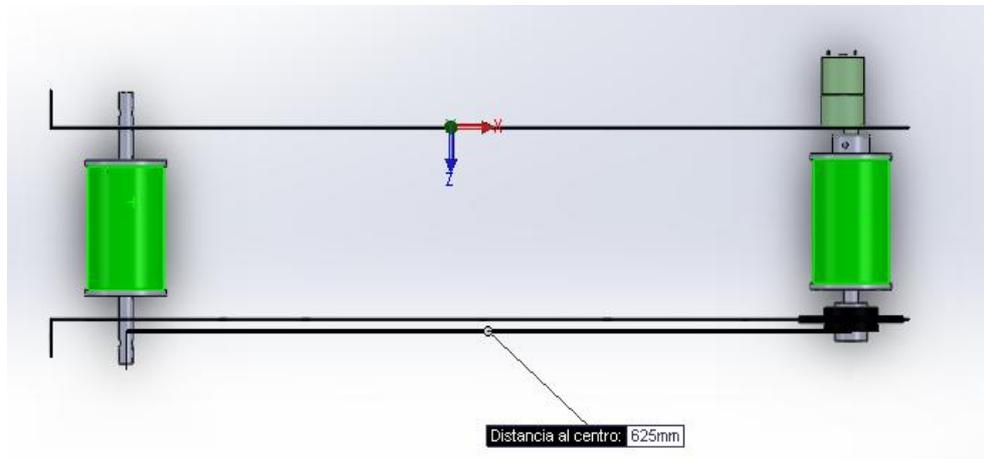


Ilustración 2. 62 Máxima longitud para el soporte central

La máxima longitud que podría tener el soporte central es 625 milímetros menos las longitudes de los radios de ambos tambores (70 [mm]):

$$L = 625[mm] - 70[mm]$$

$$L = 555[mm]$$

De la longitud anterior disminuimos 25 [mm] para evitar interferencia y rozamiento con los tambores, por lo cual la longitud final del soporte central es de 530 [mm].

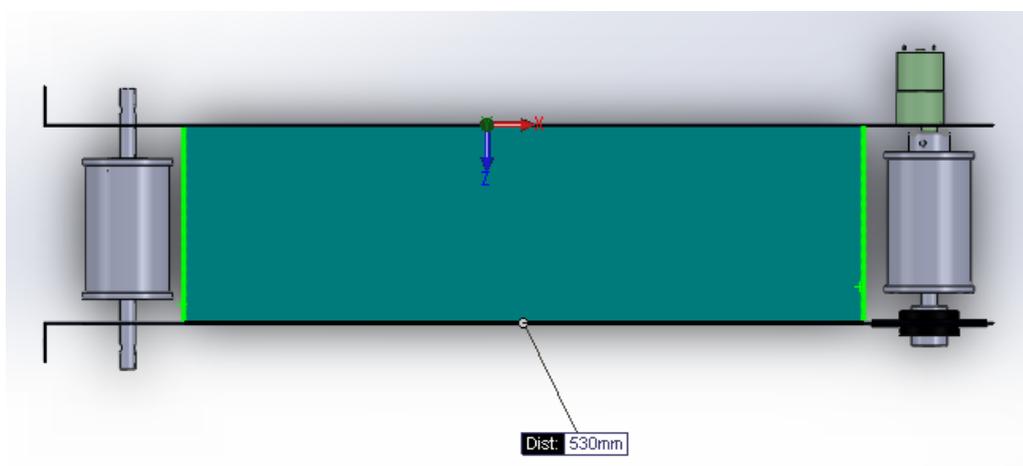


Ilustración 2. 63 Longitud del soporte central

Y su geometría se define a continuación:

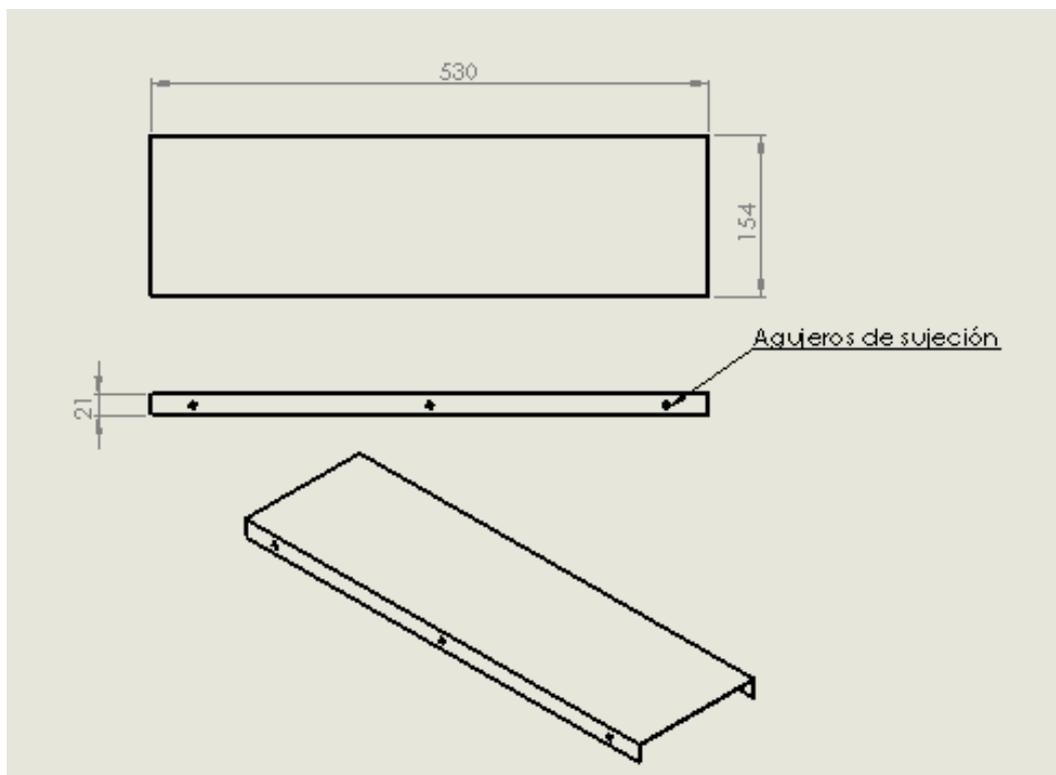


Ilustración 2. 64 Geometría del soporte central

DISEÑO POR RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS SOPORTES

a) Soportes laterales:

Los soportes laterales están sometidos a compresión, en un extremo están las reacciones producidas por el rodamiento de la chumacera y en el otro extremo las fuerzas provocadas por los tornillos de ajuste. Debido a las magnitudes de la tensión y de las reacciones, para el diseño se considerará la tensión y se considerará a las segundas despreciables para el análisis.



Ilustración 2. 65 Fuerzas en los soportes laterales

A continuación se analizará si los soportes laterales sufrirán pandeo, para lo cual calcularemos la carga crítica para este soporte:

$$P_{CR} = \frac{\pi^2 * E * I}{(k * L)^2}$$

Donde:

Pcr: carga crítica

E: módulo de Young del material (20,6e10 N/m²)

I: menor momento de inercia

K: factor de corrección

L: Longitud Cálculo del momento de inercia:

$$I_{xx} = \frac{bh^3}{12}$$

$$I_{xx} = \frac{0,08[m] * (0,75)^3 [m^3]}{12}$$

$$I_{xx} = 0,002813 [m^4]$$

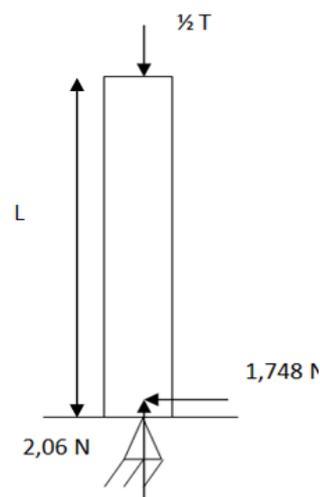


Ilustración 2. 66 Cargas en el soporte lateral

$$I_{YY} = \frac{bh^3}{12}$$

$$I_{YY} = \frac{0,75[m] * (0,08)^3 [m^3]}{12}$$

$$I_{YY} = 0,000032 [m^4]$$

$$P_{CR} = \frac{\pi^2 * E * I}{(k * L)^2}$$

$$P_{CR} = \frac{\pi^2 * 20,6 * 10^6 \left[\frac{N}{m^2} \right] * 0,000032 [m^4]}{(2 * 0,75) [m]^2}$$

$$P_{CR} = 289 * 10^6 [N]$$

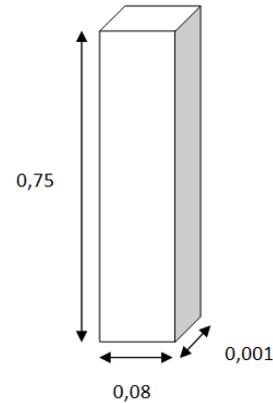


Ilustración 2. 67 Medidas del soporte lateral

A continuación calculamos en esfuerzo con la carga crítica:

$$\sigma_{CR} = \frac{P_{CR}}{A}$$

Donde:

A: es el área transversal

$$\sigma_{CR} = \frac{2,89 * 10^6 [N]}{0,08 * 0,001 [m^2]}$$

$$\sigma_{CR} = 361 * 10^9 [N/m^2]$$

$$\sigma_{y,acero} = 0,248 * 10^9 [N/m^2]$$

Si $\sigma_{CR} < \sigma_{y,acero}$ la aplicación de la ecuación de Euler es apropiada.

Debido a $\sigma_{CR} > \sigma_{y,acero}$ la carga P se determinará por compresión simple.

Compresión simple:

$$\sigma_y = \frac{P}{A}$$

$$0,248 * 10^9 [\text{N/m}^2] = \frac{P}{(0,08 * 0,001) [\text{m}^2]}$$

$$P = 19840 [\text{N}]$$

$$P = 20 [\text{kN}]$$

Como podemos observar la carga permisible es mucho más elevada que la carga aplicada a este soporte que es de 22,5 [N], por lo cual el soporte lateral no fallará por pandeo.

b) Soporte central:

A continuación analizaremos el caso crítico para calcular la deflexión en el soporte central.

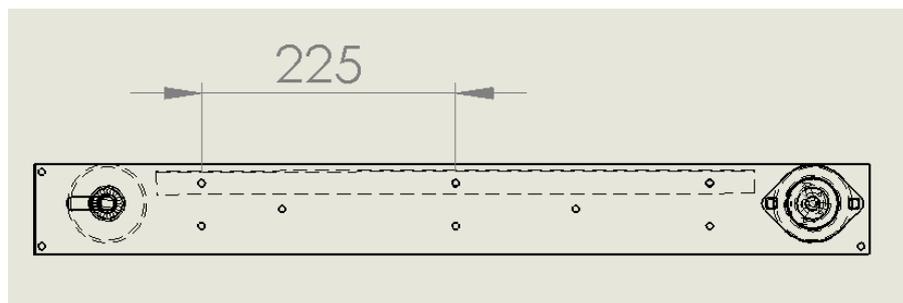


Ilustración 2. 68 Soporte central

Debido a la distancia entre los dos apoyos del soporte central es de 225 [mm], la máxima carga que se soportaría en esta sección es la de dos pastelillos:

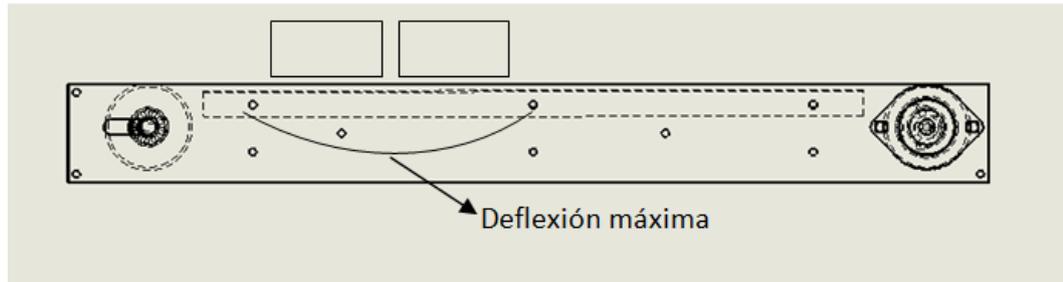


Ilustración 2. 69 Análisis de deflexión en el soporte central

Masa de cada pastelillo = 0,25 [kg]

Masa total = 0,25 [kg] * 2 = 0,5 [kg]

Peso total = 0,5 [kg] * 9,81 [m/s²] = 4,905 [N]

La carga total que soportará en la sección crítica, es muy baja por lo cual la deflexión que existirá en este elemento es despreciable.

2.3.1.3.5. Actuador del sistema

Para efectuar el movimiento de la banda transportadora utilizaremos un motor DC que posea caja reductora para garantizar mayor torque. Al inicio del análisis se estableció el valor de tensión y el momento provocado por ésta, que a su vez permitía establecer cuál sería el torque mínimo que debe tener el motor seleccionado.

De acuerdo a los datos de torque producido por la tensión se escogió un motor y analizaremos a continuación si cumple con los otros requerimientos:

De la hoja de cálculo sabemos que proporciona un torque de 1,76 [N.m], en cuanto al torque requerido este motor cumple con el requerimiento, posee además una caja reductora lo cual lo hace más fuerte comparado con

un motor de igual torque pero sin caja reductora. Cuenta con una velocidad de 80 [RPM], que en el caso de la banda transportadora es una velocidad elevada, sin embargo la velocidad a la que trabaje este motor puede ser regulada por la parte de control, mediante la variación y calibración del valor del PWM, por lo tanto este motor posee todas las características necesarias para el funcionamiento adecuado de la banda transportadora.

131:1 metal Motorreductor 37Dx57L mm



Pololu



Elemento Pololu #: 1107 253 en stock

Escala de precios	Precio unitario (dólares EE.UU.)
1	24.95
10	21.20
50	18.66

Cantidad:

[backorders](#) permitidos

Este 2,22 "x 1,45" x 1,45 "motorreductor es un poderoso motor de la CC cepillado con 131:1 Caja de engranajes metálica, destinada a operar a 12 V. Estas unidades cuentan con un 0.61 "eje largo, 6 mm de diámetro en forma de D de salida. Este motorreductor está también disponible [con un codificador integrado](#) . características clave a 12 V : 80 RPM y 300 mA de funcionamiento libre, 250 oz-in (18 kg-cm) y 5 Un puesto.

Seleccione Opciones:

Descripción [Especificaciones \(12\)](#) [Fotos \(6\)](#) [Recursos \(0\)](#) [Preguntas frecuentes \(0\)](#)

Dimensiones

Tamaño:	37D x 57L mm
Peso:	7,3 oz
Diámetro del eje:	6 mm

Especificaciones generales

Relación de reducción:	131:1
Libre del motor de velocidad a 6 V:	40 rpm ¹
Libre del motor de corriente 6 V:	250 mA ¹
Stall actual @ 6V:	2500 mA ¹
Stall torque @ 6V:	125 oz · en ¹
Velocidad libre del motor a 12 V:	80 rpm
Corriente libre del motor a 12 V:	300 mA
Stall corriente a 12 V:	5000 mA
Par máximo a 12 V:	250 oz · en

Notas:

¹ Este motor funcionará a 6 V, pero está pensado para funcionar a 12 V.

Ilustración 2. 70 Hoja técnica del motor seleccionado

Fuente: (Pololu, 2014)

2.3.2. Diseño del sistema de desplazamiento vertical

2.3.2.1. Especificaciones de diseño

Las especificaciones para el diseño del ascensor se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 2. 7 Especificaciones de diseño del sistema de desplazamiento vertical

Especificaciones de Diseño	
Área para el sistema	0.25m x 0.25m
Altura máxima	1.72m
Capacidad de transporte de la cabina	250 gr
Dimensiones del pastelillo empacado para su transporte	0.1m x 0.1m x 0.1m
Velocidad del sistema	menor a 100 RPM

2.3.2.2. Elementos del sistema

2.3.2.2.1. Diseño de la bandeja transportadora

La cabina transportadora es el elemento indispensable del sistema transportador vertical, debido a que este elemento recibe cada pastelillo empacado para transportarlo a la zona donde se encuentra la compuerta externa.

En el diseño de la cabina transportadora se ha considerado las dimensiones del pastelillo empacado para que la bandeja cuente con el espacio suficiente.



Ilustración 2. 71 Pastelillo empacado en su caja de 10cm x 10cm x 10cm

Tomando en cuenta las dimensiones del pastelillo empacado y el área que deberá ocupar la estructura se ha realizado el siguiente diseño geométrico de la bandeja para ser construida en acero laminado A-36 de 0.9mm de espesor.

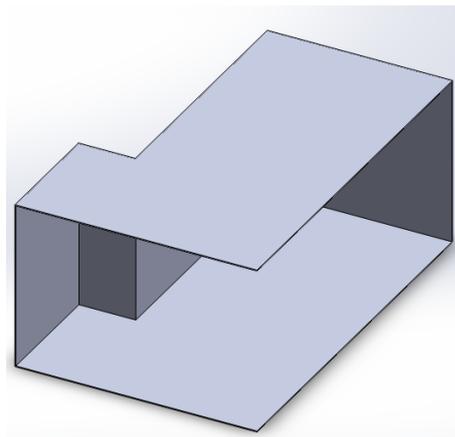


Ilustración 2. 72 Cabina de transporte

2.3.2.2.2. Selección del piñón y la cadena

Se ha seleccionado un mecanismo con piñón y cadena debido a que es un mecanismo robusto y sin deslizamiento. La cadena es un elemento confiable en una máquina y tiene también la funcionalidad de una correa.

El mayor representante de este mecanismo es la bicicleta, un sistema de transporte muy popular que ha aprovechado el mecanismo de cadena – catarina para cumplir su objetivo de transmitir energía por medio de fuerzas extensibles.

Aprovechando la ventaja de tener fácil adquisición de componentes de bicicletas en el mercado, se ha revisado piñones y cadenas que puedan servir para nuestros objetivos en el diseño del ascensor, como sistema de desplazamiento vertical para la máquina expendedora. Entre la gran variedad de bicicletas se ha encontrado implementos para bicicletas mono-velocidad, que tienen esbeltos piñones de 14/15/16 dientes acompañados con una cadena de transmisión de $\frac{1}{2} \times \frac{3}{32}$ [in].

Las cadenas de bicicletas son generalmente clasificadas en dos tipos: $\frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$ y $\frac{1}{2} \times \frac{3}{32}$. El primer número ($\frac{1}{2}$) es el paso de la cadena, los números de este último ($\frac{1}{8}$ y $\frac{3}{32}$, respectivamente) indican el ancho interior en pulgadas.

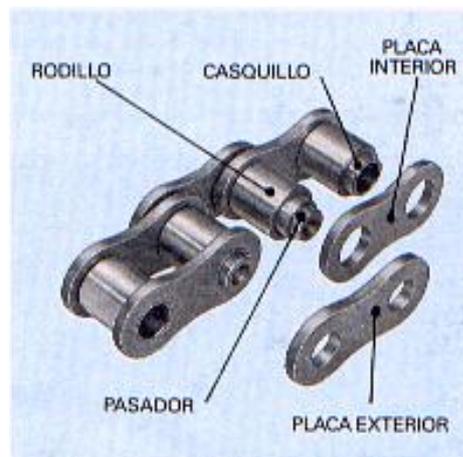


Ilustración 2. 73 Partes de una cadena

Fuente: (Bmx, 2011)

A continuación se presenta los piñones CS-MX66 del catálogo de SHIMANO, donde se puede observar el piñón sencillo de 14 dientes apto para nuestra aplicación que debe ir acompañado de una cadena $\frac{1}{2} \times \frac{3}{32}$ según las especificaciones del catálogo.

SHIMANO DXR - con diseño de nivel alto y especificaciones para competición BMX.
Diseñado para cumplir con las exigencias de las actuales previsiones olímpicas. Ideal para el uso en las pistas de competición locales.



CS-MX66 Piñones	BR-MX70 FRENO V
<ul style="list-style-type: none"> • Piñón sencillo: 14/15/16/18D • Longitud de la Cadena: 1/2x3/32 	<ul style="list-style-type: none"> • Sólo freno trasero • Brazo de freno forjado en frío

Ilustración 2. 74 Cadena y piñón seleccionados del catálogo de SHIMANO

Fuente: (SHIMANO, 2012)

Para obtener datos específicos de la cadena se ha consultado en catálogos de un fabricante de cadenas de bicicletas CONNEX, donde nos advierten varios datos sobre cadenas $\frac{1}{2} \times \frac{3}{32}$ para uso en mono-velocidad, al igual que el piñón que hemos seleccionado.

Recomendamos las cadenas de esta serie para todas las bicis de touring, citybikes y BMX con piñones estrechos. Son para todos los sistemas de 14, 9, 8, 7, 6, 5 y 1 velocidades en los sistemas de bujes con cambio interno. Los modelos 708, 721 y 700 son compatibles además con todos 7, 6 y 5 velocidades con sistema desviador. Incluido conector de snap on y la 7R8 con un conector Spring clip.

Dimensiones: $\frac{1}{2} \times \frac{3}{32}$ "
 Longitud del bulón: 7,4 mm, 8,8 mm (solo 7R8)
 Anchura interna: 2,4 mm
 Número de piñones: 7, 6, 5, 1
 Fuerza de expulsar el bulón: > 1200 N
 Peso (110 eslabones): 339 g, 430 g (solo 7R8)
 Conector: Snap On/Spring Clip (solo 7R8)

15

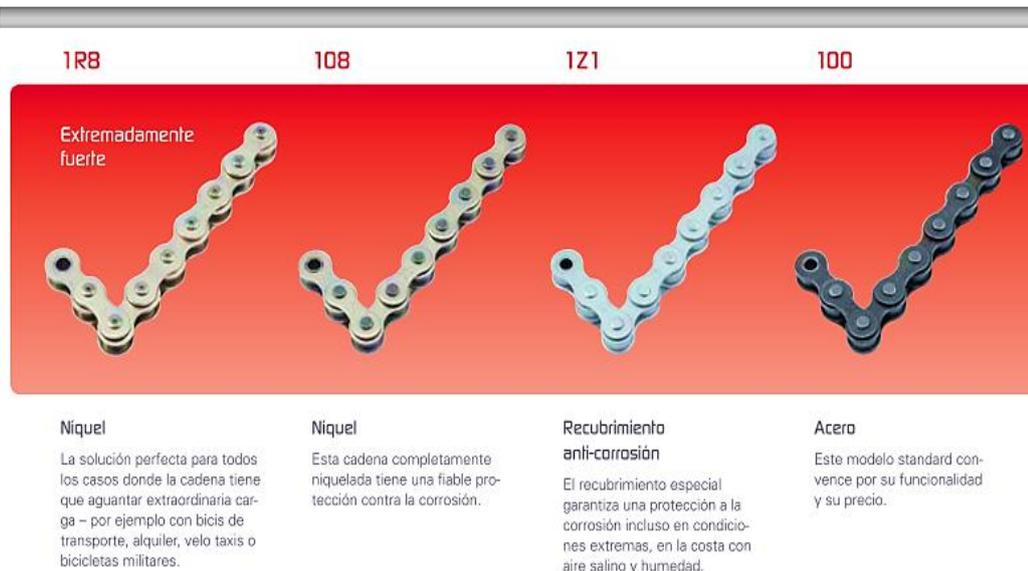


Ilustración 2. 75 Catálogo de cadenas CONNEX

Fuente: (CONNEX, 2011)

La cadena para nuestra aplicación es de acero con recubrimiento anti-corrosión.

2.3.2.2.3. Análisis de cargas

Para el mecanismo del ascensor se plantea una cadena-piñón trabajando sin catarina, por lo cual no existe relación de transmisión de potencia, sino más bien se propone estos elementos sin deslizamiento para que realicen un trabajo de polea fija.

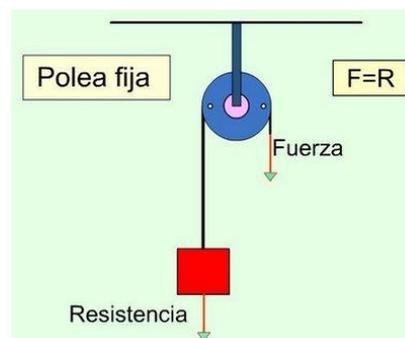


Ilustración 2. 76 Polea fija

Fuente: (Máquinas y Mecanismos, 2014)

El mecanismo de polea es ampliamente usado en ensamblaje de elevadores, a continuación se extrapola diferentes configuraciones polea-cable planteadas por el equipo de ingeniería en ascensores de Mitsubishi Electric.

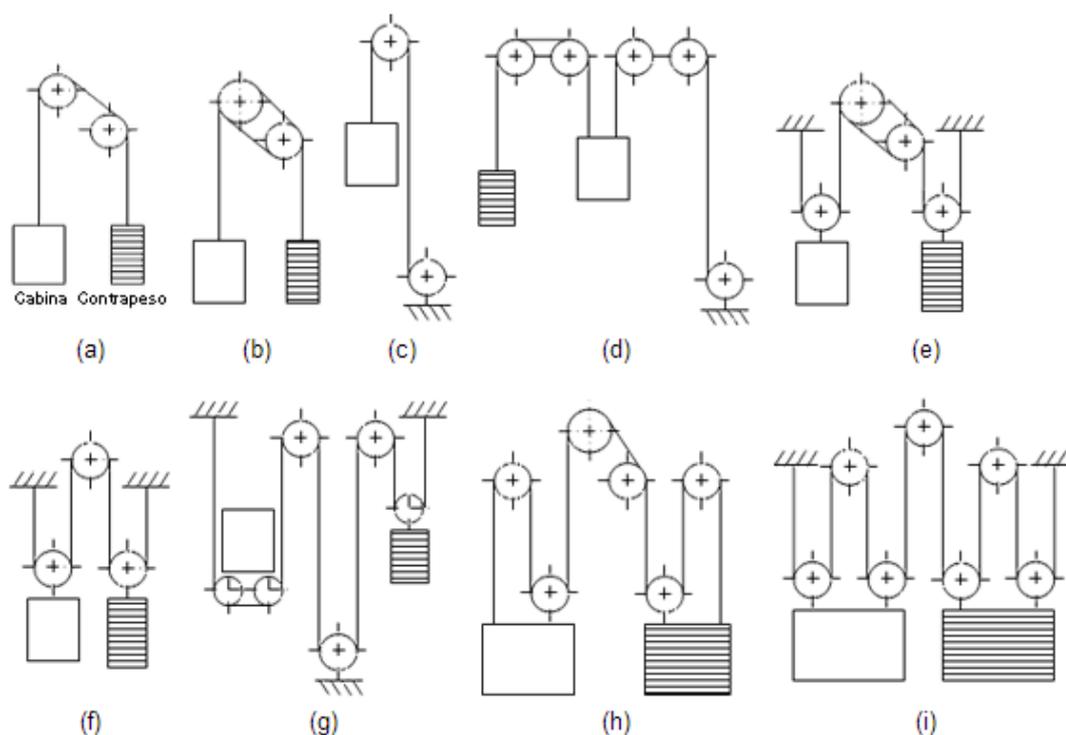


Ilustración 2. 77 Sistemas de cables del ascensor

Fuente: (Mitsubishi electric, 2014)

Fig.	Cables	Método de cables	Uso principal
a	1:1	Semienrollado (Solo enrollado)	Ascensores de velocidad media y baja
b	1:1	Totalmente enrollado (Doble enrollado)	Ascensores de alta velocidad
c	1:1	Tambor enrollador	Ascensores de uso doméstico
d	1:1	Tambor enrollador	Ascensores pequeños de baja velocidad
e	2:1	Totalmente enrollado (Doble enrollado)	Ascensores de alta velocidad
f	2:1	Semienrollado (Solo enrollado)	Ascensores de carga
g	2:1	Semienrollado (Solo enrollado)	Ascensores sin sala de máquinas
h	3:1	Semienrollado (Solo enrollado)	Ascensores de carga de gran tamaño
i	4:1	Semienrollado (Solo enrollado)	Ascensores de carga de gran tamaño

Ilustración 2. 78 Sistemas de cables en ascensores

Fuente: (Mitsubishi electric, 2014)

En nuestro sistema elevador tenemos también la cabina de transporte del producto y el contrapeso que ayudara al sistema a transportar la carga. De esta forma, el motor que desplaza la cabina únicamente ha de alzar la diferencia entre la carga y el contrapeso. Además, el contrapeso aumenta la aceleración al subir, a la vez que la disminuye al bajar.

El contrapeso tiene como objetivo equilibrar el peso de la cabina y de una parte de la carga nominal, haciendo referencia a la solicitud de patente en España con número de publicación 2 103 159 por parte de Otis Elevator Company, Ten Farm Springs Farmington, Connecticut 06032, US, procedemos a determinar el contrapeso en nuestro diseño del elevador.

Contrapeso= peso de la cabina + 50% de la carga nominal

Carga nominal: 2.45 [N] (peso del pastelillo empacado)

Peso de la cabina: 22.54 [N]

Contrapeso= 23.765 [N]

La polea fija puede analizarse matemáticamente del mismo modo que el balancín simétrico, ya que la polea es circular. En el cálculo de la tensión no se considera el rozamiento porque en cadenas este factor en la fuerza de la tensión no es relevante.

En nuestro caso el piñón disponible en el mercado que hemos seleccionado para esta aplicación tiene 14 dientes con un diámetro externo de 64mm, como se aprecia en el siguiente modelo realizado en SolidWorks 2012.

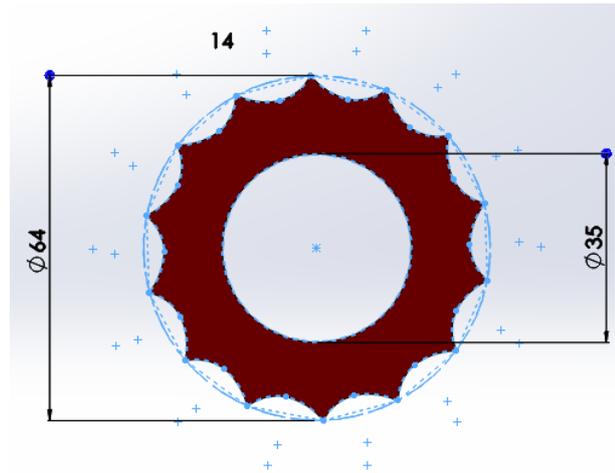


Ilustración 2. 79 Piñón de cadena con 14 dientes

Ahora que ya conocemos las cargas aplicadas sobre el piñón, procedemos a analizarlo como balancín con el software MDSolids 3.5 para determinar el momento para que el sistema de polea este en equilibrio. Las cargas que se toman son:

$$P1 = 23.77 \text{ [N]} \quad (\text{Contrapeso})$$

$$P2 = 25 \text{ [N]} \quad (\text{Peso conjunto de la cabina y la carga nominal})$$

Análisis en Mdsolid

Cargas en la polea:

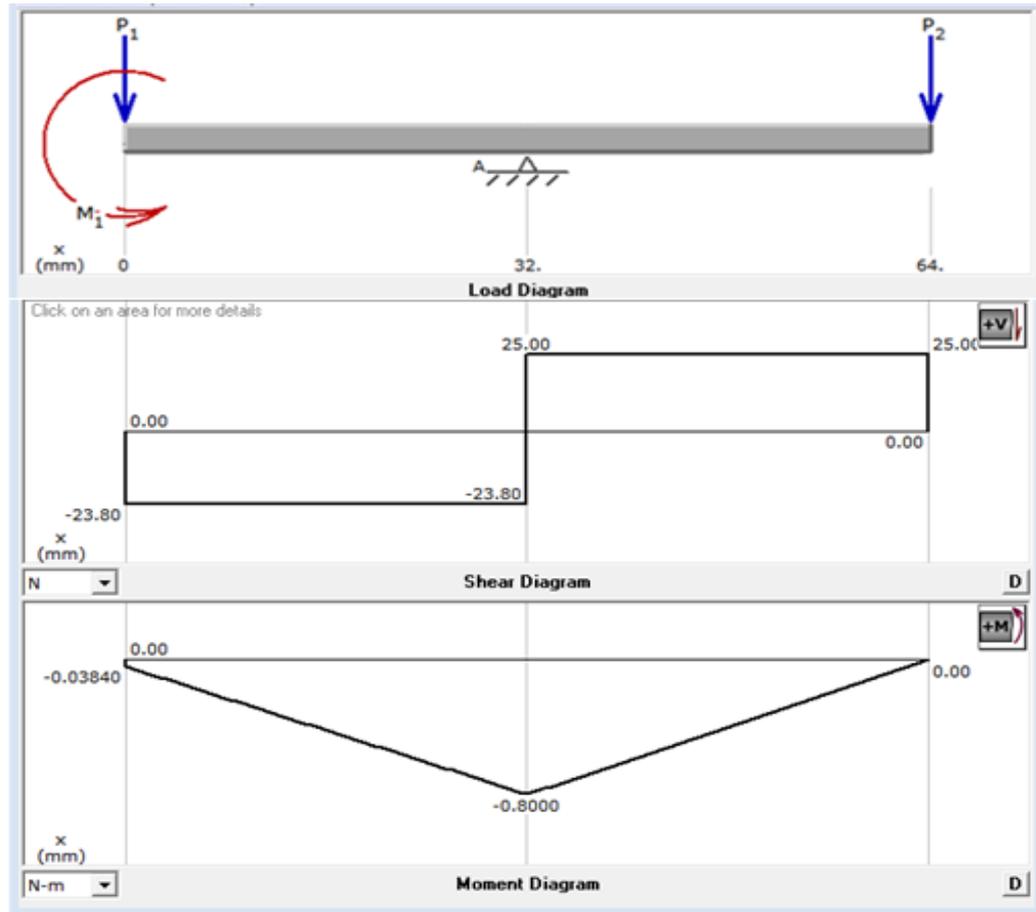


Ilustración 2. 80 Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en la polea

$$\sum F_y = 0$$

$$P_1 + P_2 - A_Y = 0$$

$$23,75[N] + 25[N] = A_Y$$

$$A_Y = 48,77[N]$$

$$\sum M_y = 0$$

$$- P_1 * X + P_2 * X - M_1 = 0$$

$$- 23,77[N] * (0,032)[m] + 25[N] * (0,032)[m] - M_1 = 0$$

$$M_1 = 0,0384[N.m]$$

2.3.2.2.4. Diseño de la flecha

Sabiendo el momento que debemos ejercer sobre la polea, procedemos a analizar la flecha. La flecha ha sido diseñada geoméricamente para que funcione de manera adecuada con los componentes relacionados en el sistema.

La flecha presenta la siguiente geometría con sus elementos asociados:

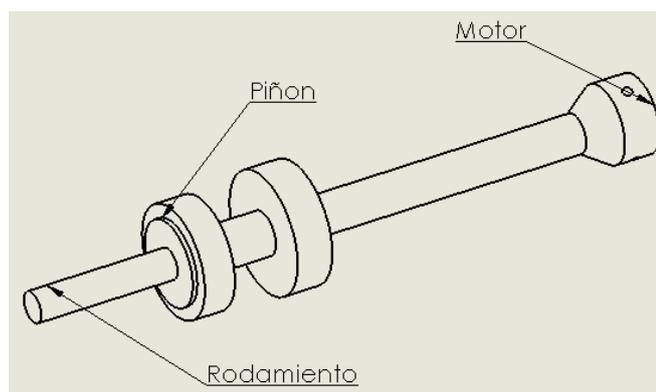


Ilustración 2. 81 Diseño geométrico de la flecha del ascensor

Para el material de la flecha se ha escogido aluminio fundido porque este material es más liviano respecto al acero.

A continuación se presenta las características del aluminio:

Propiedad	Aluminio	Acero
Módulo de elasticidad, kg/cm ²	700,000	2.1 x 10 ⁶
Módulo de rigidez cortante, kg/cm ²	280,000	840,000
Módulo de Poisson	0.33	0.28
Peso, kg/cm ³	0.0027	0.008
Coefficiente de expansión lineal	23 x 10 ⁻⁶	13 x 10 ⁻⁶

Ilustración 2. 82 Propiedades del aluminio y del acero

Fuente: (Constructor civil, 2011)

Una vez determinado el material y la geometría de la flecha, se ha usado la herramienta de propiedades físicas en SolidWorks para conocer la masa de la flecha.

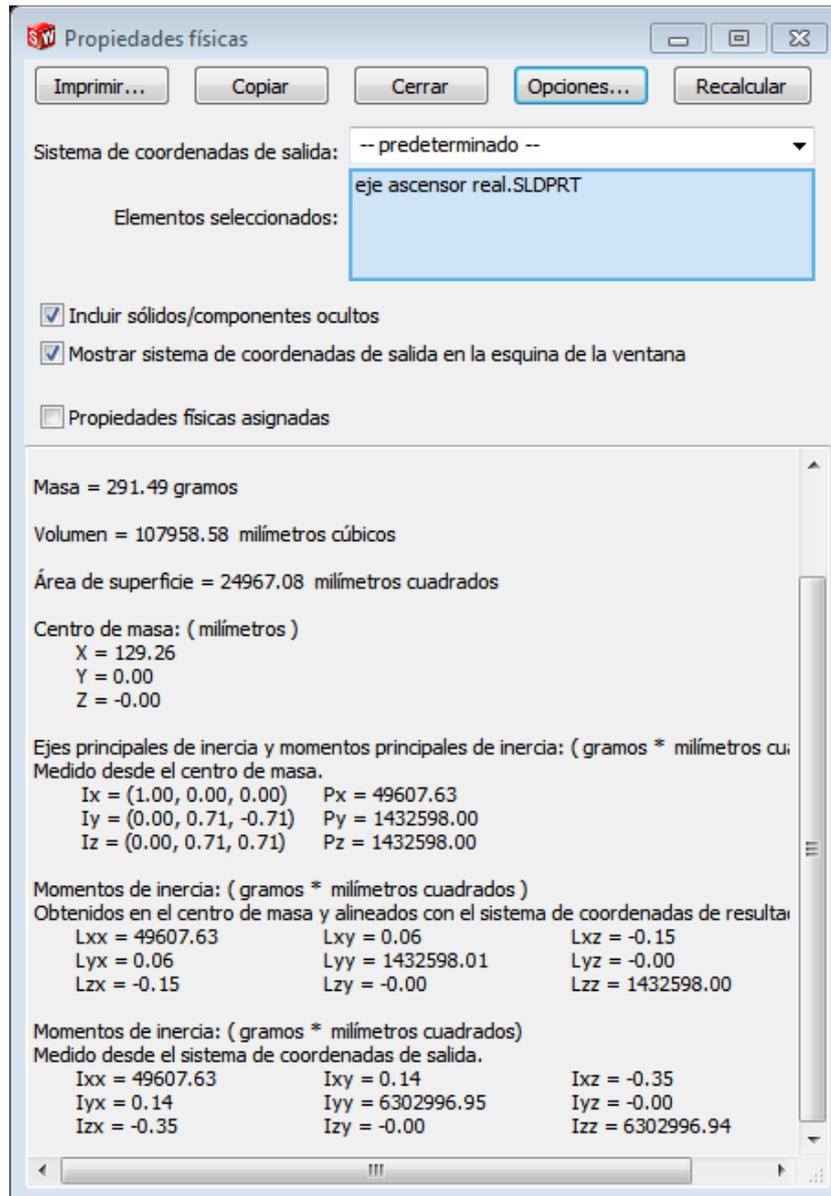


Ilustración 2. 83 Propiedades físicas de la flecha del ascensor

Con el dato de masa de la flecha, procedemos a calcular el peso de la flecha:

$$\text{Masa} = 291,49 \text{ [g]}$$

$$W = \text{Masa} * \text{gravedad}$$

$$W = 0,291 \text{ [kg]} * 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} = 2,855 \text{ [N]}$$

Diagrama de cuerpo libre:

El diagrama de cuerpo libre de la flecha se muestra a continuación:

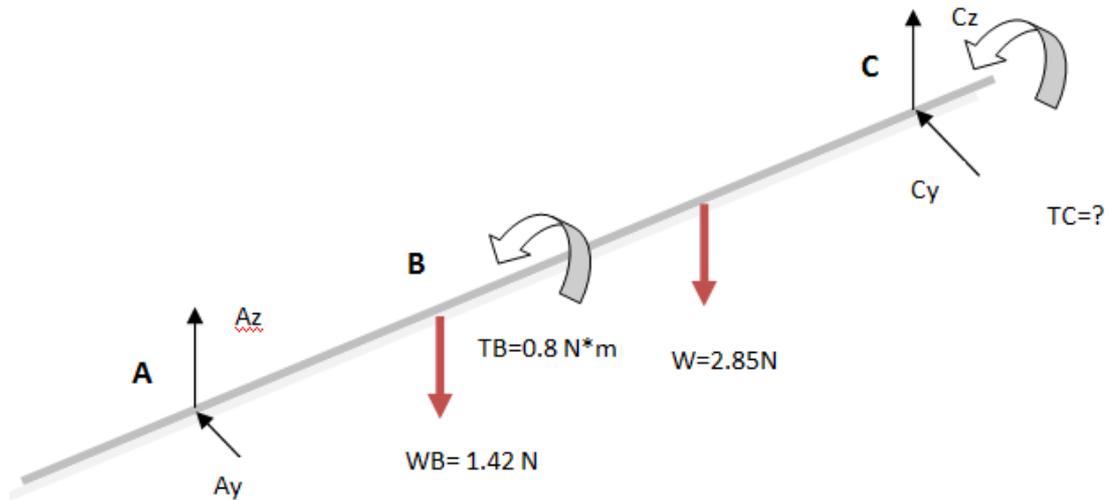


Ilustración 2. 84 Diagrama de cuerpo libre de la flecha del ascensor

$$\sum T = 0$$

$$- TB - TC = 0$$

$$- 0,8[\text{N.m}] - TC = 0$$

$$TC = -0,8[\text{N.m}]$$

Con este resultado podemos concluir que el torque necesario para el sistema debe ser mayor a 0.8 [N.m].

Análisis en Mdsolid:

En el eje Y las reacciones de los apoyos son nulas debido a que no existen cargas en ese eje, mientras que en el plano Z procedemos a calcular las reacciones con el software de MDSolids.

a) Gráficas en el eje Z:

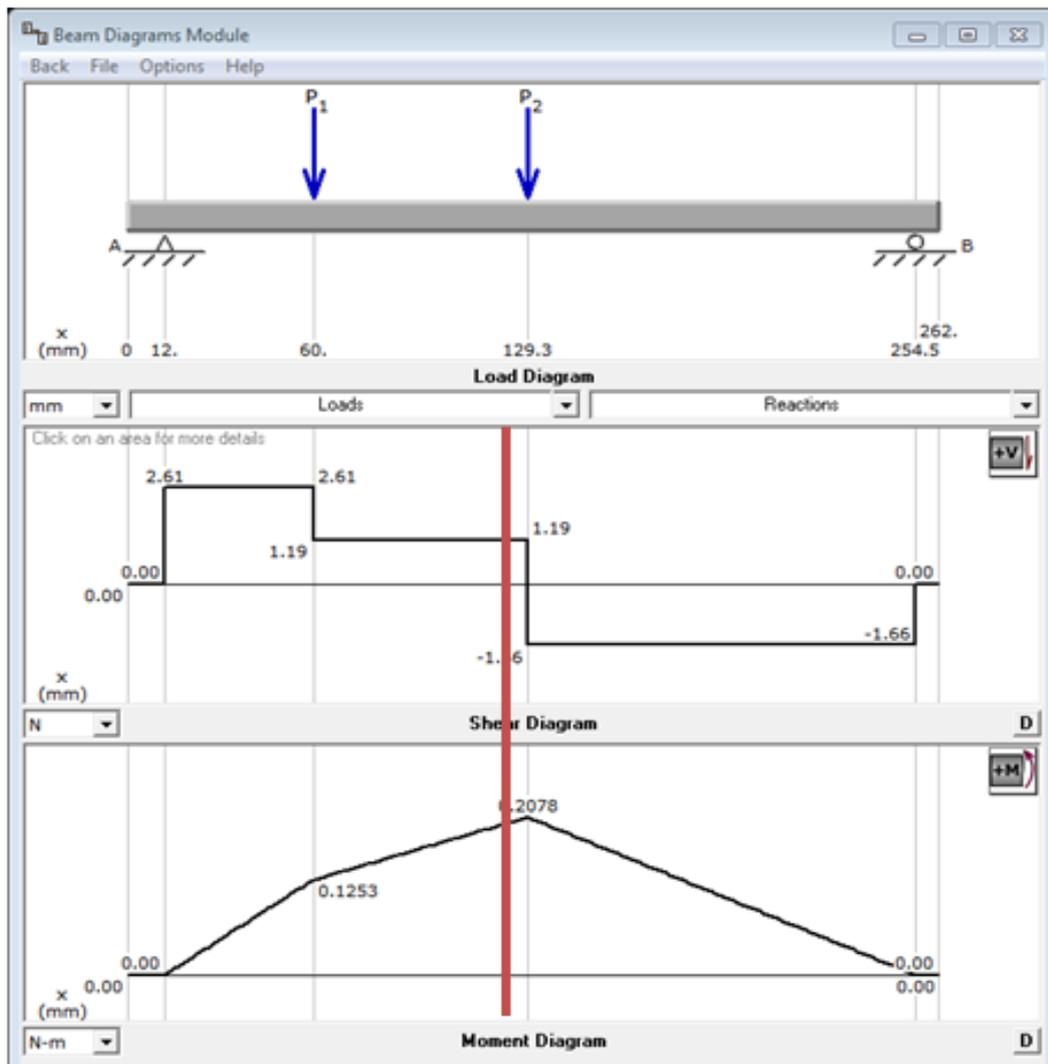


Ilustración 2. 85 Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante de la flecha en el eje Z

$$\sum MC = 0$$

$$P_1 \cdot X + P_2 \cdot X - AZ \cdot X = 0$$

$$1,42[\text{N}] \cdot (0,1945)[\text{m}] + 285[\text{N}] \cdot (0,1252)[\text{m}] - AZ \cdot (0,2425)[\text{m}] = 0$$

$$AZ = 2,61[\text{N}]$$

$$\sum F_z = 0$$

$$-WB - W + AZ + CZ = 0$$

$$-1,42[\text{N}] - 2,85[\text{N}] + 2,61[\text{N}] + CZ = 0$$

$$CZ = 1,66[\text{N}]$$

Las reacciones en la flecha Z de los apoyos son:

$$AZ = 2,61 [\text{N}]$$

$$CZ = 1,66 [\text{N}]$$

En el punto C, la carga de 1.66 [N] soportara el motor empotrado a la estructura, mientras que en el punto A seleccionaremos el rodamiento de la chumacera.

Cálculo del esfuerzo flexionante en el punto crítico:

El análisis del esfuerzo flexionante no se analizará en el punto crítico sino en $x=115$ [mm], por existir un cambio de sección considerable y con ello concentradores de esfuerzo:

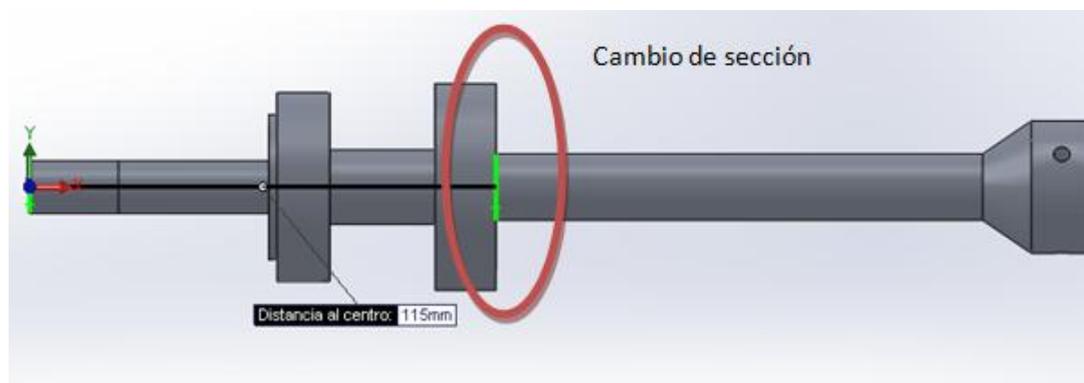


Ilustración 2. 86 Esquema de la flecha del ascensor

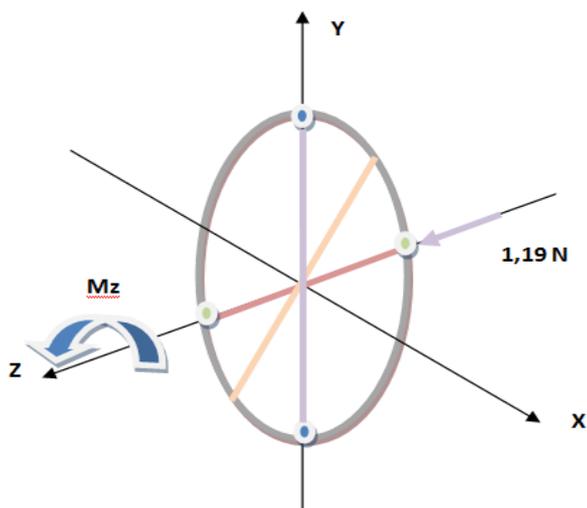


Ilustración 2. 87 Fuerzas y momentos en el punto crítico

A continuación utilizamos los datos de la gráfica de momentos tanto en el eje y, y en eje z para calcular M_y y M_z :

Cálculo de M_y :

$$\tan\theta = \frac{(207,8 - 125,3)[\text{N}\cdot\text{mm}]}{(129,3 - 60)[\text{mm}]} = 1,19[\text{N}]$$

$$1,19[\text{N}] = \frac{(M_y - 125,3)}{(115 - 60)[\text{mm}]}$$

$$M_y = 190,77[\text{N}\cdot\text{mm}]$$

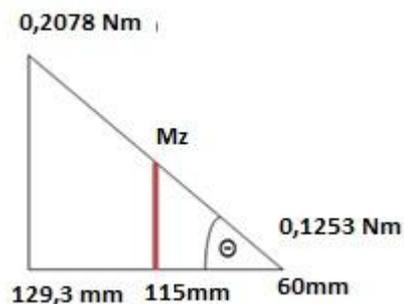


Ilustración 2. 88 Cálculo de momentos en el punto de análisis

Una vez calculado el valor del momento flexionante procedemos a calcular el esfuerzo:

$$\sigma_b = \frac{MC}{I}$$

Donde:

M: es el momento resultante

C: distancia a la superficie neutra (radio)

I: momento de inercia

Momento de inercia:

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$\sigma_b = \frac{M * \frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{64}}$$

$$\sigma_b = \frac{32 * M}{\pi d^3}$$

$$\sigma_b = \frac{32 * 0,19[\text{N.m}]}{\pi * 0,016^3}$$

$$\sigma_b = 472491,24[\text{N/m}^2]$$

$$\sigma_b = 0,47[\text{MPa}]$$

Una vez calculado el esfuerzo flexionante al cual se encuentra sometido la flecha lo comparamos con la resistencia a la flexión del material (aluminio):

$$\sigma_{\text{ALUMINIO}} = 169[\text{MPa}]$$

$$\sigma_b = 0,47[\text{MPa}]$$

De acuerdo a los datos anteriores podemos decir que:

$$\sigma_{\text{ALUMINIO}} > \sigma_b$$

Análisis en SolidWorks:

A continuación se presenta los resultados de los estudios de esfuerzos, de factor de seguridad y de fatiga de la flecha, que se han realizado en SolidWorks como parte de nuestro diseño asistido por computadora CAD:

Análisis de Esfuerzos:

Nombre de modelo: eje ascensor real
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 3554.84

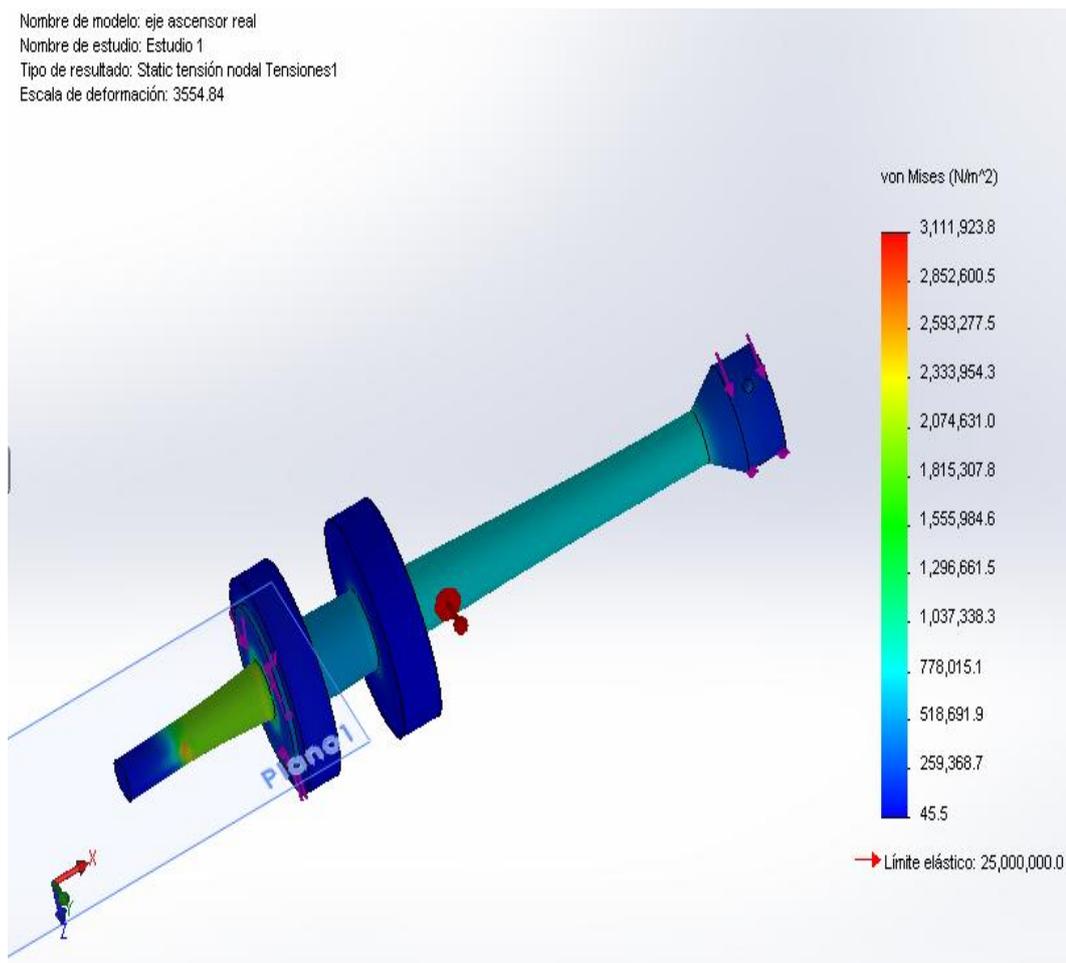


Ilustración 2. 89 Análisis de esfuerzos en el diseño de la flecha

Factor de seguridad:

Nombre de modelo: eje ascensor real
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Automático
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 8

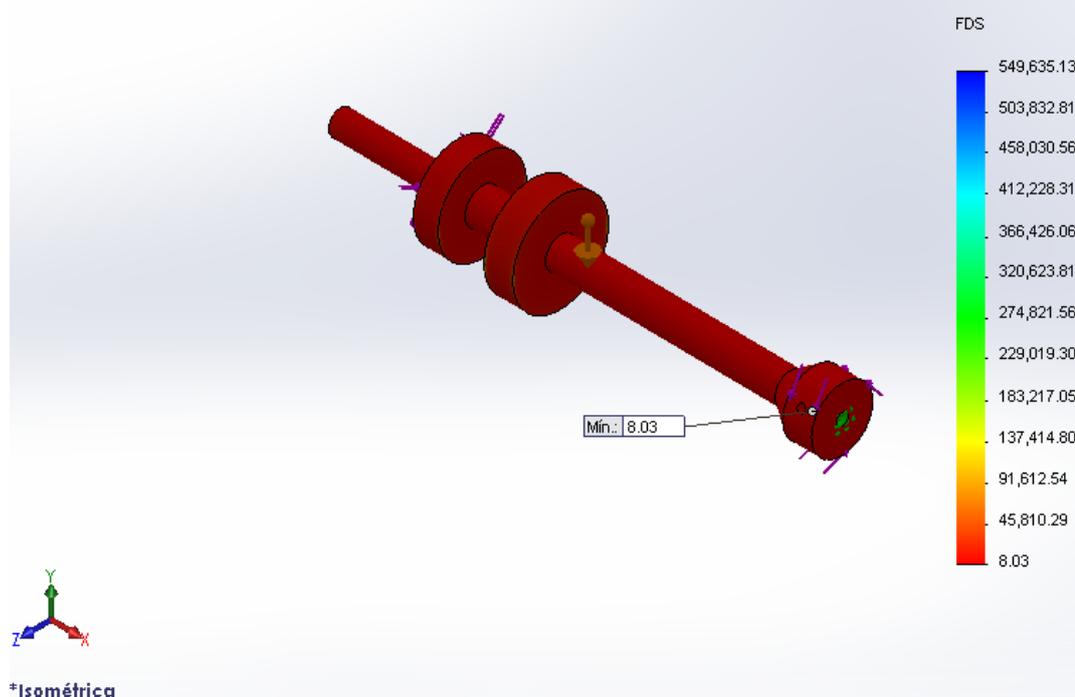


Ilustración 2. 90 Factor de seguridad en el diseño de la flecha

Comprobación del diseño a fatiga:

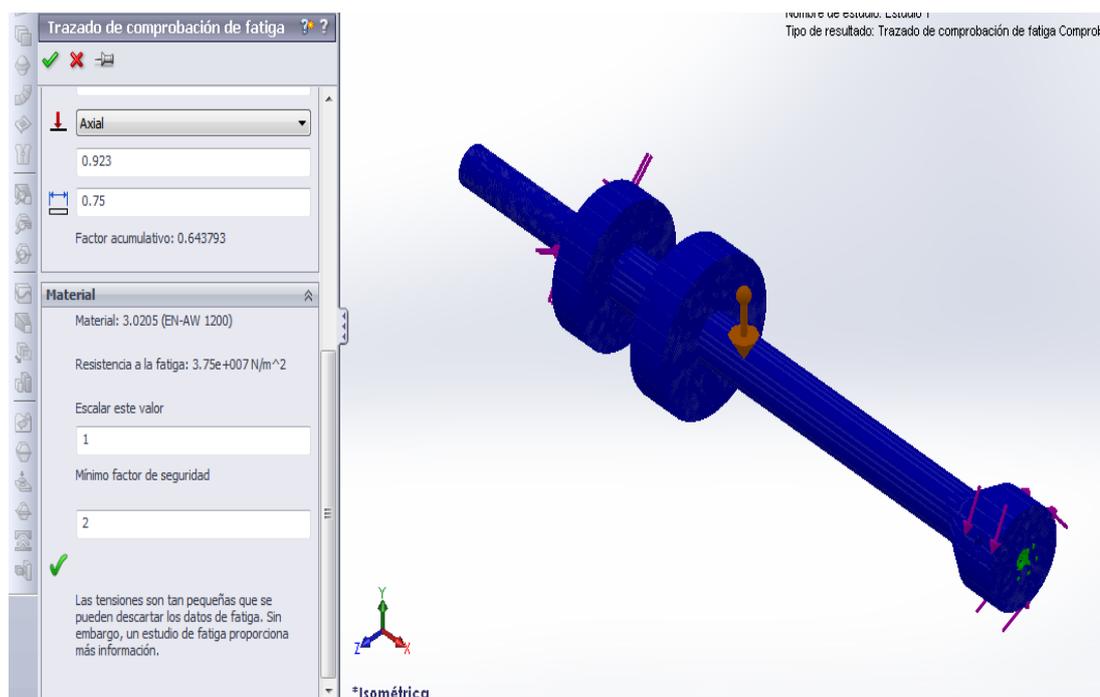


Ilustración 2. 91 Comprobación del diseño de la flecha a fatiga

2.3.2.2.5. Selección de la chumacera

Las chumaceras son unidades compuestas de un rodamiento de bolas insertado en varios tipos de alojamientos. El alojamiento puede ser apernado a la estructura de la maquinaria y el anillo interior, puede ser montado sobre los flechas fácilmente por medio de tornillos de fijación o prisioneros.

Esto significa que la chumacera puede soportar equipos rotativos sin poseer un diseño especial para permitir su montaje. Una variedad de alojamientos estandarizados de diferentes formas se encuentra disponible, incluyendo los de tipo pie o puente y los de tipo brida. El diámetro exterior del rodamiento es esférico, tal como lo es el diámetro interior del alojamiento, permitiéndose la posibilidad de un auto-alineamiento con la flecha.

Para la lubricación, la grasa está contenida y sellada dentro del rodamiento y la intromisión de partículas contaminantes se evita por medio de un doble sello.

Al igual que los rodamientos, las chumaceras son estandarizadas.

Para seleccionar el rodamiento de bolas de la chumacera se toman los datos de las reacciones que se calcularon en el punto A de análisis de la flecha. Llegando a la conclusión que la fuerza axial sobre el rodamiento es nula, mientras la fuerza radial es 2.61 [N].

Debido a que no existe fuerza axial, la carga equivalente P aplicada sobre el rodamiento es la fuerza radial.

$$P = 2,61 \text{ [N]}$$

Para seleccionar el rodamiento adecuado procedemos a calcular la carga dinámica basándonos en la siguiente ecuación de vida de los rodamientos:

$$L_{10^6} = k \left(\frac{C}{P} \right)^n$$

$$L_{10^6} = \frac{h \cdot N}{10^6}$$

$$L_{10^6} = \frac{1 \cdot 10^9 [\text{horas}] \cdot \left[\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \right] \cdot 80 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right]}{10^6}$$

$$L_{10^6} = 4800000$$

Y finalmente calculamos la carga dinámica:

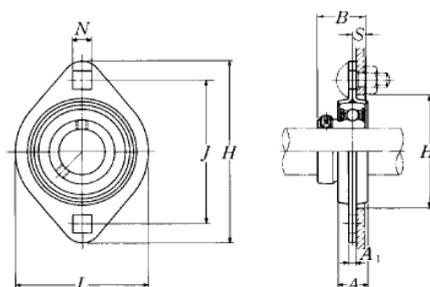
$$L_{10^6} = k \left(\frac{C}{P} \right)^3$$

$$4800000 = 0,21 \cdot \left(\frac{C}{2,61 [\text{N}]} \right)^3$$

$$C = 740.7 [\text{N}]$$

Con el resultado de la carga dinámica, se ha seleccionado la siguiente chumacera en el catálogo del fabricante NTN.

Chumacera tipo brida ovalada, alojamiento de acero prensado
Con tornillo de fijación



Diámetro del eje mm pulg.	Número de la chumacera	Dimensiones nominales									Tamaño del perno mm pulg.	Carga máx. recomendada		Número del rodamiento
		H	J	A ₁	N	A	L	B	S	H ₁ min.		N radial	lbf axial	
12 ½	ASPFL201	81	63.5	4	7.1	14	59	22	6	49	M 6	2 700	1 350	AS201
	ASPFL201-008	3 ⅜	2 ½	0.157	⅝	⅝	2 ⅜	0.8661	0.236	1 ⅝	¼	600	300	AS201-008
15 ⅝ ⅝	ASPFL202	81	63.5	4	7.1	14	59	22	6	49	M 6	2 700	1 350	AS202
	ASPFL202-009	3 ⅜	2 ½	0.157	⅝	⅝	2 ⅜	0.8661	0.236	1 ⅝	¼	600	300	AS202-009
	ASPFL202-010													AS202-010

Ilustración 2. 92 Catálogo chumaceras / selección

Fuente: (Catalogo NTN de chumaceras, 2009)

2.3.2.2.6. Diseño de la estructura del sistema

La estructura del sistema de desplazamiento vertical se ha diseñado como se muestra a continuación:

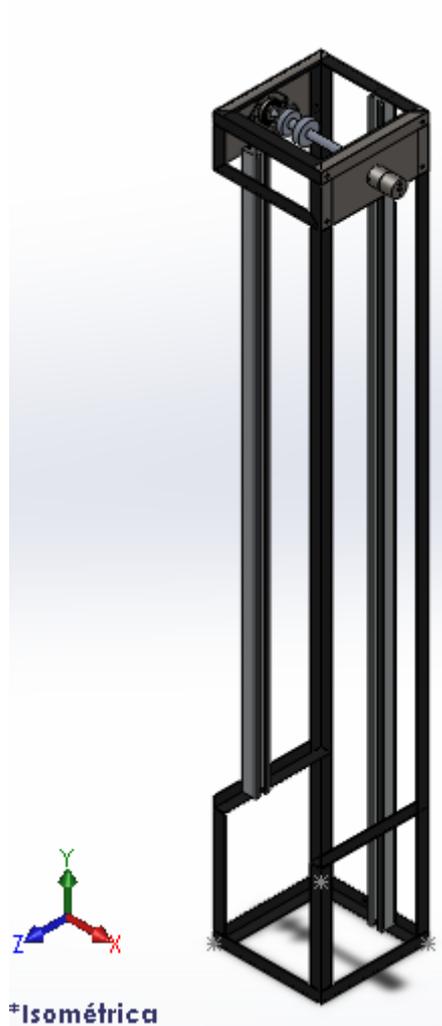


Ilustración 2. 93 Estructura del ascensor

Esta estructura tiene 1.695m de alto en un área cuadrada de 0.25m x 0.25m, la cual deberá tener sujeción al piso y a la pared de fondo del bastidor de nuestra máquina expendedora para que quede completamente fija en su posición de trabajo, donde la cabina receptara los pastelillos para transportarlos al área donde el cliente pueda tener acceso a su producto después de haberlo comprado.

La estructura ha sido construida con perfiles estructurales de hierro en forma de L 0,0254[m] * 0,0254[m]

A continuación se presenta las fuerzas y momentos en la estructura:

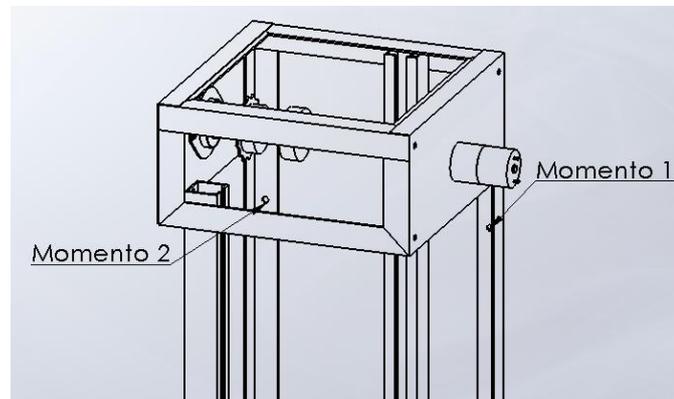


Ilustración 2. 94 Momentos en la estructura del ascensor

Los momentos se producen en los puntos de sujeción con pernos de la estructura a la pared del fondo del bastidor. El momento 1 representado en la ilustración anterior es provocado por la reacción de la flecha en la placa del motor, donde el motor sirve de soporte para la flecha, y a su vez esa fuerza está soportando la placa del motor empotrada a la estructura. Con el resultado del análisis de fuerzas en la flecha procedemos a calcular el momento 1.

$$M1 = F1 \cdot d1$$

$$F1 = CZ = 1,66 \text{ [N]} \text{ (Fuerza determinada en el diseño del eje)}$$

$$D1 = 0,125 \text{ [m]}$$

$$M1 = 1,66 \text{ [N]} \cdot 0,125 \text{ [m]} = 0,21 \text{ [N.m]}$$

El Momento 2 a su vez se produce por la reacción de la chumacera frente a la carga de la flecha, la reacción de la chumacera también se transporta en forma de momento hacia la estructura, al igual que en el cálculo anterior procedemos a calcular el momento 2 mediante las fuerzas calculadas en la flecha.

$$M2 = F2 \cdot d2$$

$$F2 = AZ = 2,61 \text{ [N]} \text{ (Fuerza determinada en el diseño del eje)}$$

$$D2 = 0,125 \text{ [m]}$$

$$M2 = 2,61 \text{ [N]} \cdot 0,125 \text{ [m]} = 0,33 \text{ [N.m]}$$

En la base de la estructura tenemos las fuerzas FA y FB sobre 2 de los elementos estructurales que están fijados al piso del bastidor mediante tornillos y el momento 3 en la flecha z y x provocado por las fuerzas de los pernos al piso.

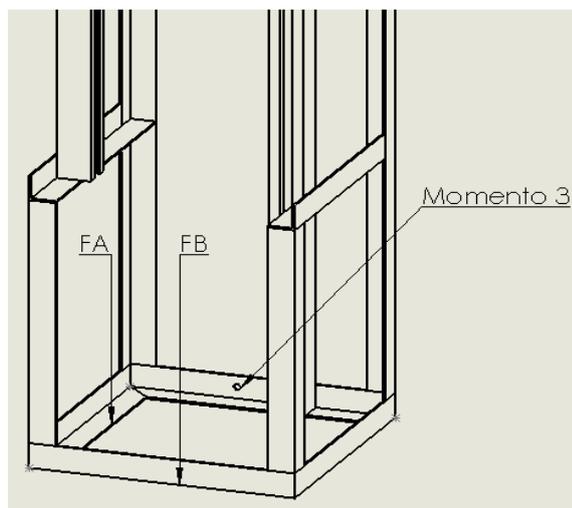


Ilustración 2. 95 Fuerzas y momento en la base de la estructura del ascensor

Las fuerzas que se ejercen sobre la base están en función del peso de la estructura, por lo cual vamos a determinar el peso de la estructura con todos sus elementos mediante software SolidWorks y añadimos el peso de la cabina, el contrapeso y el producto.

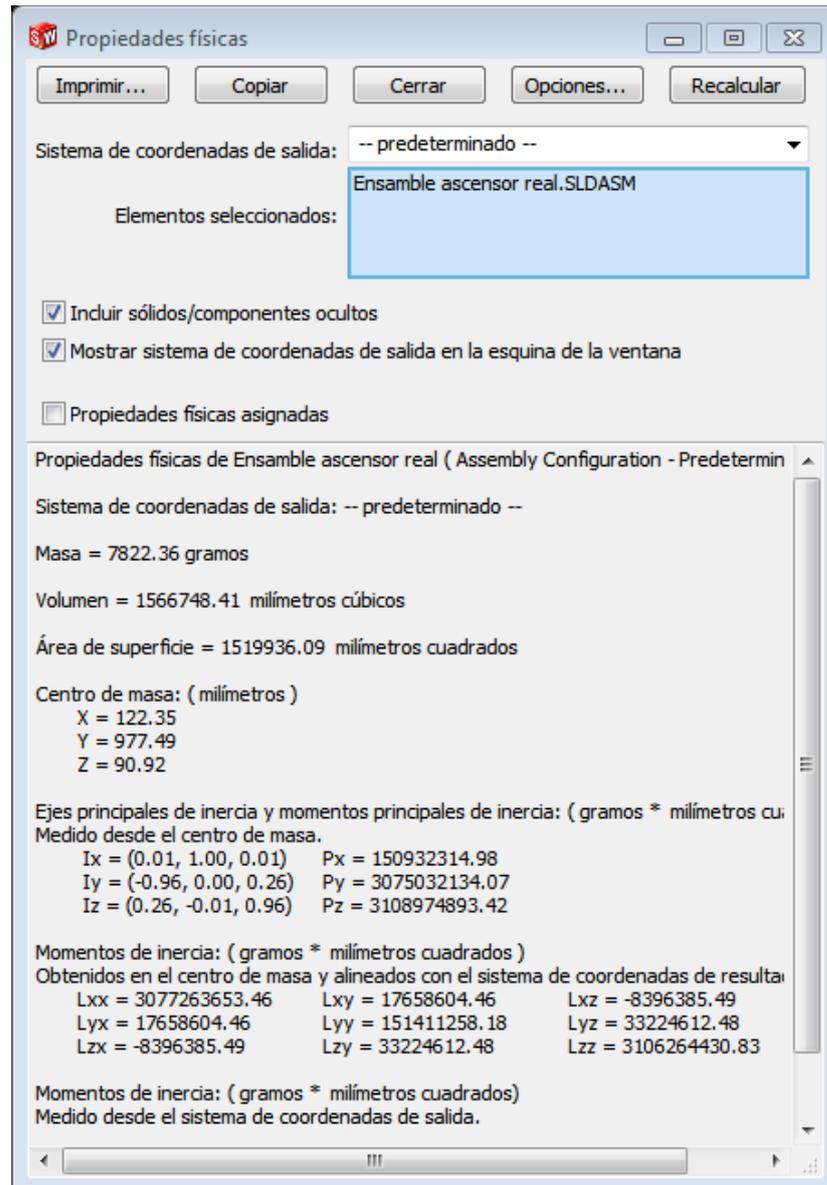


Ilustración 2. 96 Propiedades físicas del ensamble del ascensor

Con la información presentada determinamos que el peso de la estructura con sus elementos es:

$$W_{\text{est}} = 76,66 \text{ [N]}$$

Mientras que con cálculos anteriores determinamos el peso de la cabina, el producto y el contrapeso:

$$W_{\text{contrapeso}} = 23,77 \text{ [N]}$$

$$W_{\text{cabina + prod}} = 25 \text{ [N]}$$

El peso total que soporta la estructura es:

$$W = W_{\text{est}} + W_{\text{contrapeso}} + W_{\text{cabina}} + W_{\text{prod}}$$

$$W = 76,66 \text{ [N]} + 23,77 \text{ [N]} + 25 \text{ [N]} = 125,43 \text{ [N]}$$

Con las propiedades físicas del ensamble presentadas, se obtienen los datos del centro de masa, llegando a la conclusión que es una estructura estable, debido a que el centro de masa se encuentra espacialmente dentro de la estructura, en la flecha x la estructura es simétrica, por lo cual se llega a la conclusión que la fuerza FA corresponde a la mitad del peso total.

$$F_A = W / 2 = 62,715 \text{ [N]}$$

Debido a que tenemos 2 pernos sujetando la estructura al piso, se determina que la fuerza FB corresponde también a la mitad del peso total.

$$F_B = W / 2 = 62,715 \text{ [N]}$$

El momento 3 tiene componentes en X y Z debidos a las fuerzas FA y FB.

$$\text{Momento } 3X = F_B * d_B$$

$$\text{Momento } 3X = 62,715 \text{ [N]} * 0,25 \text{ [m]} = 15,67 \text{ [N.m]}$$

$$\text{Momento } 3Z = F_A * d_A$$

$$\text{Momento } 3Z = 62,715 \text{ [N]} * 0,1 \text{ [m]} = 6,27 \text{ [N.m]}$$

Estos resultados de momentos y fuerzas serán considerados para el diseño del bastidor de la máquina.

2.3.2.2.7. Actuador del sistema

El actuador de nuestro sistema de desplazamiento vertical será un motor DC por su facilidad de control mediante dispositivos electrónicos. El torque mínimo según los cálculos antes efectuados es 0.8Nm, pero

considerando que la eficiencia de los motores no es del 100%, ya que depende de su modo de fabricación y además se requiere un rango superior de potencia en el motor para que soporte cualquier tipo de sobrecarga; el motor que seleccionaremos deberá tener un torque superior a 0.8 [N.m].

Otro factor de selección del motor es la velocidad, ya que según las especificaciones técnicas del sistema, este debe tener una velocidad menor a 100 [RPM].

Con estos datos procedemos a seleccionar el motor de acuerdo al catálogo de motores DC metálicos con caja de reducción incorporada en la página web de POLOLU.

$$T = 0,8 \text{ [N]} * [m] = 113,35 \text{ [oz.in]}$$

Mechanical Components » Motors and Gearboxes » Pololu Metal Gearmotors »
37D mm Gearmotors

Gear Ratio	No-Load Speed @ 12 V	Stall Torque @ 12 V	Stall Current @ 12 V	With Encoder	Without Encoder
1:1	11,000 RPM	5 oz-in	5 A	motor without gearbox	
19:1	500 RPM	84 oz-in	5 A	37Dx52L mm	37Dx52L mm
30:1	350 RPM	110 oz-in	5 A	37Dx52L mm	37Dx52L mm
50:1	200 RPM	170 oz-in	5 A	37Dx54L mm	37Dx54L mm
70:1	150 RPM	200 oz-in	5 A	37Dx54L mm	37Dx54L mm
100:1	100 RPM	220 oz-in	5 A	37Dx57L mm	37Dx57L mm
131:1	80 RPM	250 oz-in	5 A	37Dx57L mm	37Dx57L mm

Ilustración 2. 97 Selección del motor en el catálogo de POLOLU

Fuente: (Pololu, 2014)

2.3.2.2.8. Sensores del sistema

Los sensores son elementos de un sistema que lo conectan con su entorno físico. La función de los sensores es obtener señales eléctricas en respuesta a magnitudes de entrada no eléctricas, mientras la función de los actuadores es realizar una determinada acción en respuesta a la señal de un

sensor. (Pallás Areny, R. (1993). *Adquisición y distribución de señales*. Barcelona-España: MARCOMBO. Pág 27)

A continuación se presenta la clasificación de sensores publicada por Ramón Pallas en su libro “Sensores y Acondicionadores de Señales”.

<i>Criterio</i>	<i>Clases</i>	<i>Ejemplos</i>
Aporte de energía	Moduladores Generadores	Termistor Termopar
Señal de salida	Analógicos Digitales	Potenciómetro Codificador de posición
Modo de operación	De deflexión De comparación	Acelerómetro de deflexión Servoacelerómetro

Ilustración 2. 98 Ilustración de los sensores

Fuente: (Sensores y Acondicionadores de Señal, 2003)

Por lo general, aunque no siempre, los sensores requieren de un acondicionamiento de señal para adaptarlo a un sistema específico. El sistema de desplazamiento vertical debe contar con sensores para detectar en cuál de los 5 niveles debe parar para receptar el pastel y transportarlo. Con este propósito se ha realizado pruebas con varios sensores como el CNY70, Reed Switch, el interruptor magnético y el sensor óptico tipo slot para seleccionar de manera conveniente los sensores del sistema.

A continuación se presenta un resumen tabulado de los sensores probados con los resultados del voltaje de salida de cada sensor sometido a las respectivas pruebas de su funcionamiento.

Tabla 2. 8 Funcionamiento de los sensores probados para el sistema de desplazamiento vertical

SENSOR	RANGO	DESCRIPCION	ILUSTRACION	VOLTAJE DE ENTRADA	VOLTAJE DE SALIDA
Sensor optoreflexivo infrarrojo CNY70	10 mm	Sensor de corto alcance que posee un receptor y un emisor, la salida de este es un foto transistor por lo cual debe realizarse un circuito como el de corte y saturación de un transistor a la salida de este sensor.		5V	1.3 V
Reed Switch	15 mm	Es un interruptor magnético normalmente abierto que se acciona cuando está próximo a un imán y cierra un circuito.		5V	5V
Interruptor magnético	20 mm	Es similar al reed switch, ya que una de las partes es un imán y la otra el sensor magnético normalmente abierto, la diferencia es el empaquetado y su mayor alcance.		5V	5V
Sensor óptico tipo slot	3,1 mm	El funcionamiento es similar al optoreflexivo ya que posee al un lado un emisor de luz y al otro lado un fototransistor, el objeto a detectarse debe pasar por el medio cortando el haz de luz y permitiendo así el accionamiento del fototransistor.		5V	3.5 V

En base al comportamiento de los sensores probados, se ha seleccionado el Interruptor magnético para detectar la posición de cada nivel en el sistema, debido a que tiene el mayor rango de detección, además que la señal de salida no necesita amplificación, porque su comportamiento es básicamente como un interruptor, que alimentándolo con 5VDC, es automáticamente una señal digital de control. Respecto a su instalación posee una gran ventaja, al ser un sensor empaquetado, tiene la opción de atornillar a una superficie o simplemente adherirlo mediante adhesivos.



Ilustración 2. 99 Sensores del sistema de desplazamiento vertical

El principio de funcionamiento de este sensor se basa en el campo magnético, consta de 2 empaquetados, un imán permanente empaquetado y el otro empaquetado contiene dos placas ferromagnéticas herméticamente cerrados en el interior con cables conductores para la conexión correspondiente; al acercar el imán se crea un campo magnético que cierra el circuito para permitir el paso de corriente, una vez que el imán se aleja el interruptor vuelve a quedar normalmente abierto.

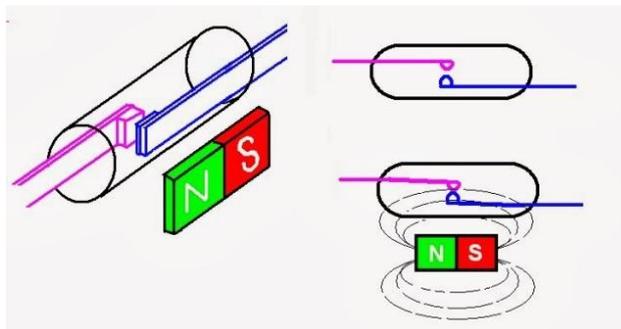


Ilustración 2. 100 Principio de operación del interruptor magnético

Fuente: (Copa, 2014)

El imán permanente empaquetado se ubicara en la cabina del ascensor, mientras que el empaquetado con los conductores se ubicara en la pared del bastidor a la altura de cada nivel y en la zona de entrega del pastelillo.

2.3.3. Diseño de la estructura del prototipo

2.3.3.1. Especificaciones de diseño

A continuación analizaremos los espacios necesarios que deben existir en la estructura:

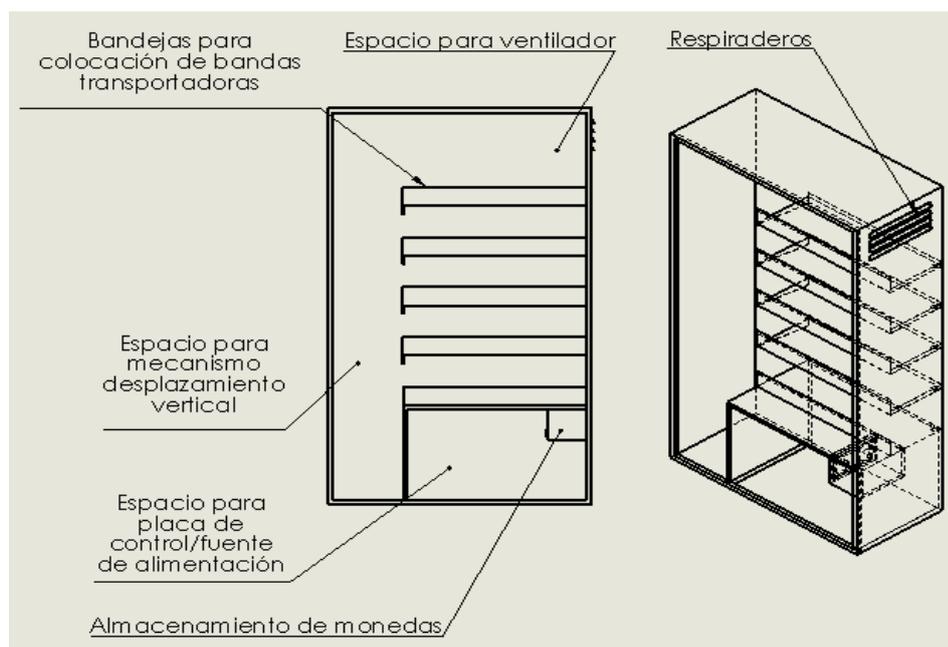


Ilustración 2. 101 Vista del prototipo sin la puerta

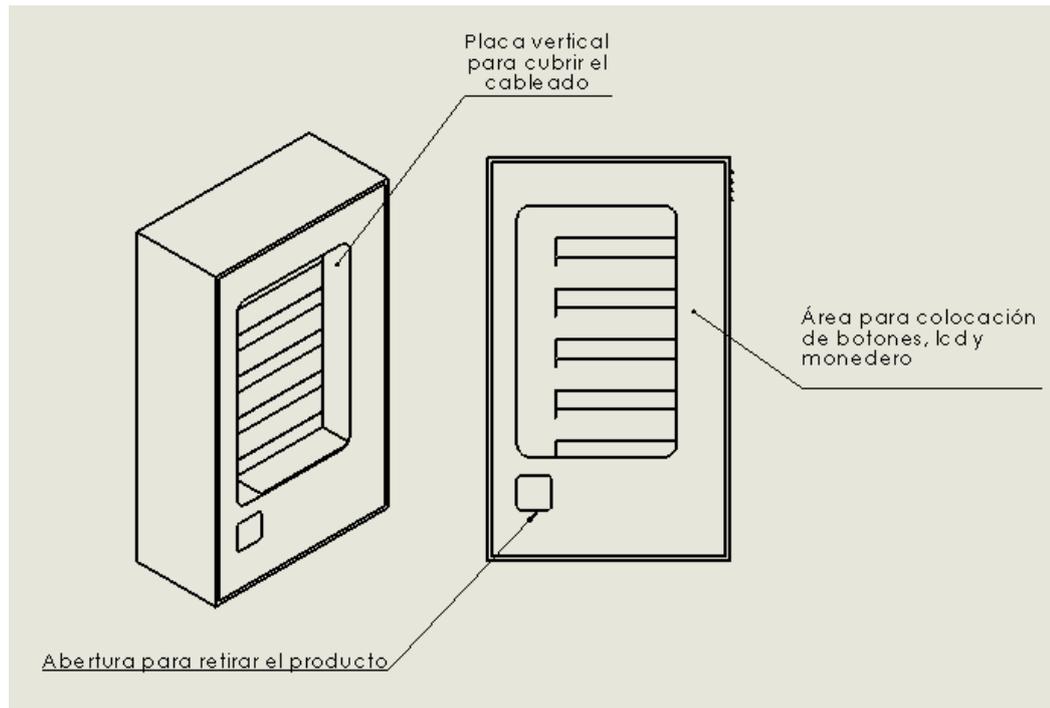


Ilustración 2. 102 Vista del prototipo con puerta

Las bandejas deben ser capaces de soportar el peso de cada banda transportadora más el peso de la carga y sus dimensiones deben ayudar a ocultar la banda transportadora. En el espacio superior del prototipo se encuentra un espacio para ubicar un ventilador si fuera necesario, para evitar que se produzcan elevadas temperaturas en el interior de la estructura. Los botones se ubican al lado derecho por convención y similitud a otras máquinas expendedoras. El lugar en el que se va a ubicar la placa de control es grande para que circule suficiente cantidad de aire y se evite el calentamiento excesivo de la placa electrónica.

Los respiraderos ubicados en el lado derecho de la máquina servirán para la circulación del aire en el interior. Aunque la profundidad de la máquina está dada por el ancho de las bandas transportadoras, se aumentará esta medida para incrementar el peso de la estructura y evitar posibles caídas en la apertura de la puerta debido a la relación entre el área frontal y la profundidad.

Especificaciones para las bandejas que soportan las bandas transportadoras:

Tabla 2. 9 Requerimientos para diseño de las bandejas

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Medidas mínimas requeridas frontales	750 x 80 mm
Profundidad mínima	231 mm
Capacidad a soportar	6 kg
Requerimientos de posición	Empotramiento lateral y trasero
Ubicación	Sección derecha de la máquina

Especificaciones para la mesa inferior:

Tabla 2. 10 Requerimientos para diseño de la mesa inferior

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Medidas mínimas requeridas frontales	750 x 80 mm
Profundidad mínima	231 mm
Soporte frontal adicional	186 mm
Capacidad a soportar	6 kg
Requerimientos de posición	Empotramientos laterales y trasero
Ubicación	Sección inferior-derecha de la máquina

Especificaciones para la carcasa:

Tabla 2. 11 Requerimientos para diseño de la carcasa

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Medidas mínimas requeridas frontales	1750 x 1050 mm
Profundidad mínima	480 mm
Capacidad a soportar (peso sistemas de desplazamiento)	45 kg
Requerimientos	Soportes para ubicar garruchas en la parte inferior
	Vidrio laminado en la parte delantera, para visualización del producto

Especificaciones para la puerta:

Tabla 2. 12 Requerimientos para diseño de la puerta

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Medidas mínimas requeridas	1050 x 1750 mm
Requerimientos de espacio	Espacio para colocación de botones, LCD, monedero
	Puerta para el despacho del producto
	Colocación del sensor y motor para asegurar y controlar la puerta de despacho del producto

2.3.3.2. Elementos del armazón

2.3.3.2.1. Bandejas

Dentro de la estructura existirán cinco bandejas que se empotrarán al lado derecho y al fondo del bastidor, cuya geometría se muestra a continuación:

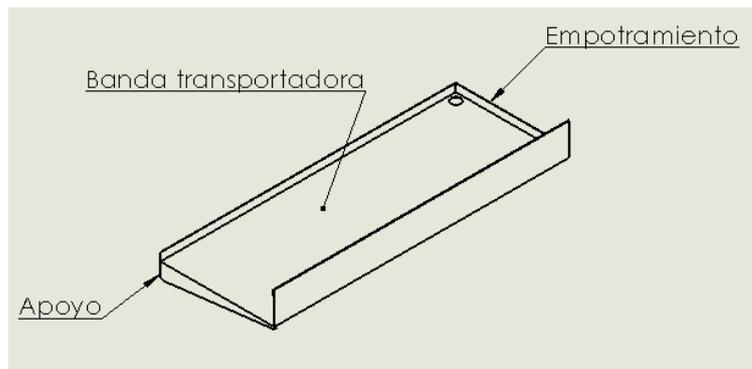


Ilustración 2. 103 Geometría de la bandeja

Ya que la bandeja está empotrada en un extremo y apoyada en el otro, se analizará como una viga con un extremo apoyado y uno fijo con carga uniforme:

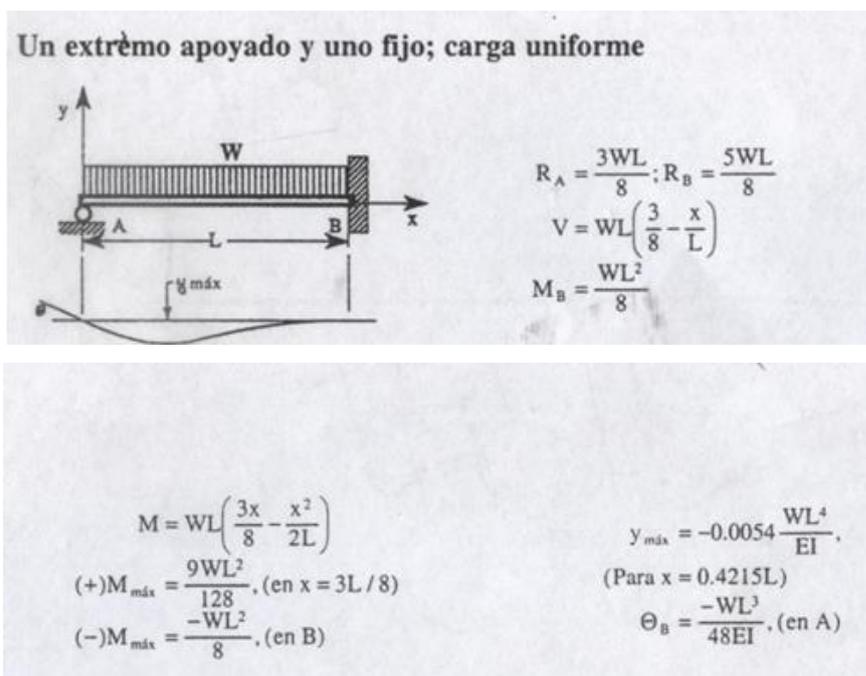


Ilustración 2. 104 Vigas en voladizo

Fuente: (Mecánica de Materiales, 2004)

Cálculo de la carga:

Masa banda transportadora = 5 [kg]

Masa del pastelillo = 0,25 [kg]

Longitud de la viga = 750 [mm]

Masa total = 5[kg] + (0,25 [kg] * 4 = 6 [kg]

Peso total = Masa total * gravedad

$$\text{Peso total} = 6 \text{ [kg]} * 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} = 58,86 \text{ [N]}$$

Peso distribuido = Peso total / longitud

$$\text{Peso distribuido} = 58,86 \text{ [N]} / 750 \text{ [mm]}$$

$$\text{Peso distribuido} = 0,07848 \text{ [N/mm]} = 0,447 \text{ [lb/in]}$$

Cálculo de reacciones:

$$R_A = \frac{3WL}{8}$$

$$R_A = \frac{3 * 0,447 \text{ [lb/in]} * 29,528 \text{ [in]}}{8}$$

$$R_A = 4,95 \text{ [lb]} = 22,07 \text{ [N]}$$

$$R_B = \frac{5WL}{8}$$

$$R_B = \frac{5 * 0,447 \text{ [lb/in]} * 29,528 \text{ [in]}}{8}$$

$$R_B = 8,25 \text{ [lb]} = 36,788 \text{ [N]}$$

Cálculo del momento en B:

$$M_B = -\frac{WL^2}{8}$$

$$M_B = -\frac{0,447 \text{ [lb/in]} * 29,528^2 \text{ [in}^2\text{]}}{8}$$

$$M_B = -48,72 \text{ [lb.in]} = 5,52 \text{ [N.m]}$$

Además de ser el momento en B es el momento máximo de la viga.

Cálculo de momentos de inercia:

$$I_{XX} = \frac{bh^3}{12}$$

$$I_{XX} = \frac{29,528 \text{ [in]} * (0,039)^3 \text{ [in}^3\text{]}}{12}$$

$$I_{XX} = 14,59 * 10^{-5} \text{ [in}^4\text{]}$$

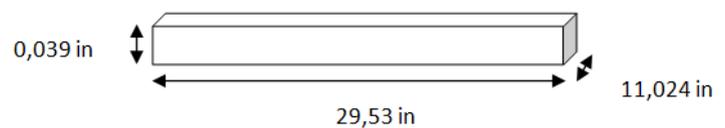


Ilustración 2. 105 Medidas de la bandeja

Cálculo de la máxima deflexión:

$$Y_{MAX} = -\frac{0,0054WL^4}{EI}$$

Donde:

W: carga distribuida

L: longitud de la viga

E: módulo de Young del material

I: menor momento de inercia de la viga

$$Y_{MAX} = -\frac{0,0054 * 0,447[\text{lb/in}] * 29,528^4[\text{in}^4]}{2,98 * 10^7[\text{lb/in}^2] * 14,59 * 10^{-5}[\text{in}^4]}$$

$$Y_{MAX} = 0,422[\text{in}] = 10,7[\text{mm}]$$

Debido al valor del desplazamiento se colocará soportes de mayor espesor en el lado izquierdo (apoyo) de la bandeja para disminuir el desplazamiento.

2.3.3.2.2. Parte inferior

La parte inferior dentro de la máquina expendedora cumple varias funciones:

- ✓ Soporte para la última banda
- ✓ En él debe ubicarse el contenedor de las monedas
- ✓ En su parte inferior va a ubicarse la placa electrónica y la fuente de alimentación eléctrica

Al servir como soporte para una de las bandas transportadoras su geometría y ancho en la parte superior es similar a los soportes anteriores.

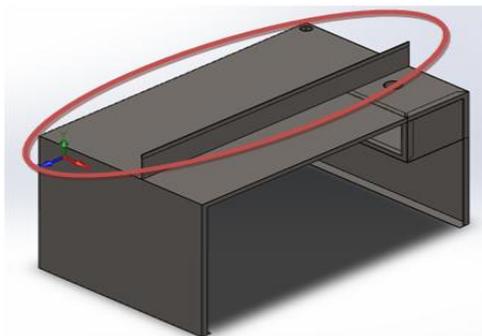


Ilustración 2. 106 Geometría de la parte inferior

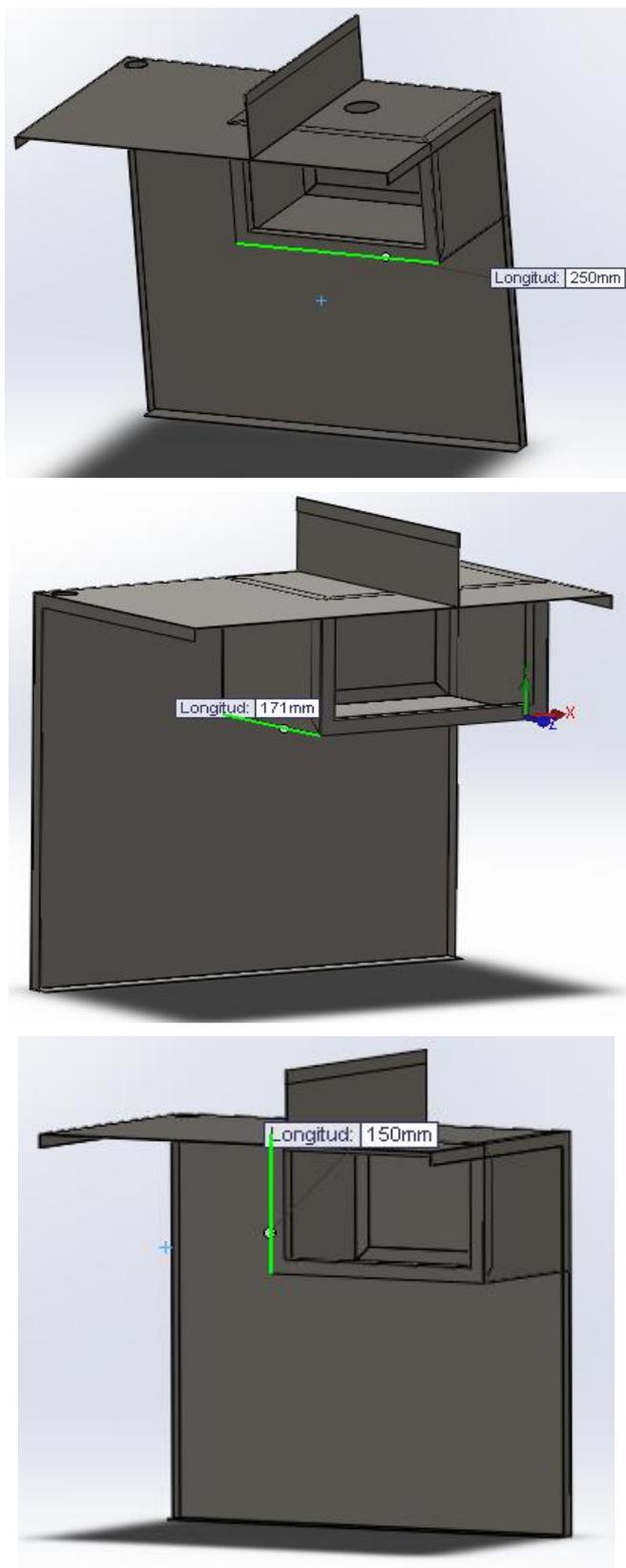


Ilustración 2. 107 Medidas del lugar para el almacenamiento de las monedas

Estas medidas se han considerado para que pueda ingresar en este lugar un recipiente de tal manera que la recolección y el retiro del dinero pueda ser más cómodo y rápido.

La altura del soporte inferior es de 440 [mm], esta medida fue determinada en base a la altura de la máquina, la ubicación del primer soporte y la distancia que debe existir entre cada bandeja.

Debido a las funciones que va a cumplir la parte inferior su forma de empotramiento será diferente a las bandejas para brindar un mayor soporte y además cubrir la parte inferior.

Las medidas requeridas para que cumpla con los requerimientos de diseño son:

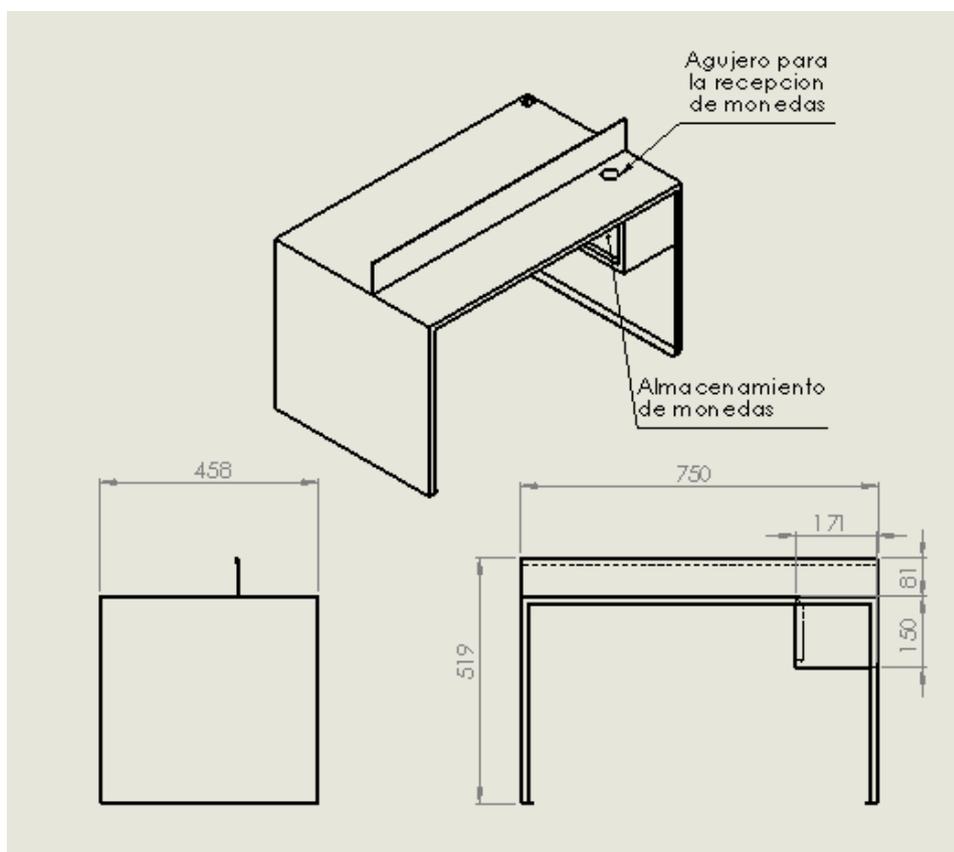


Ilustración 2. 108 Medidas requeridas en la parte inferior

2.3.3.2.3. Puerta

La puerta está sujeta al armario por dos bisagras y calcularemos las fuerzas en las bisagras provocadas por el peso de la puerta:

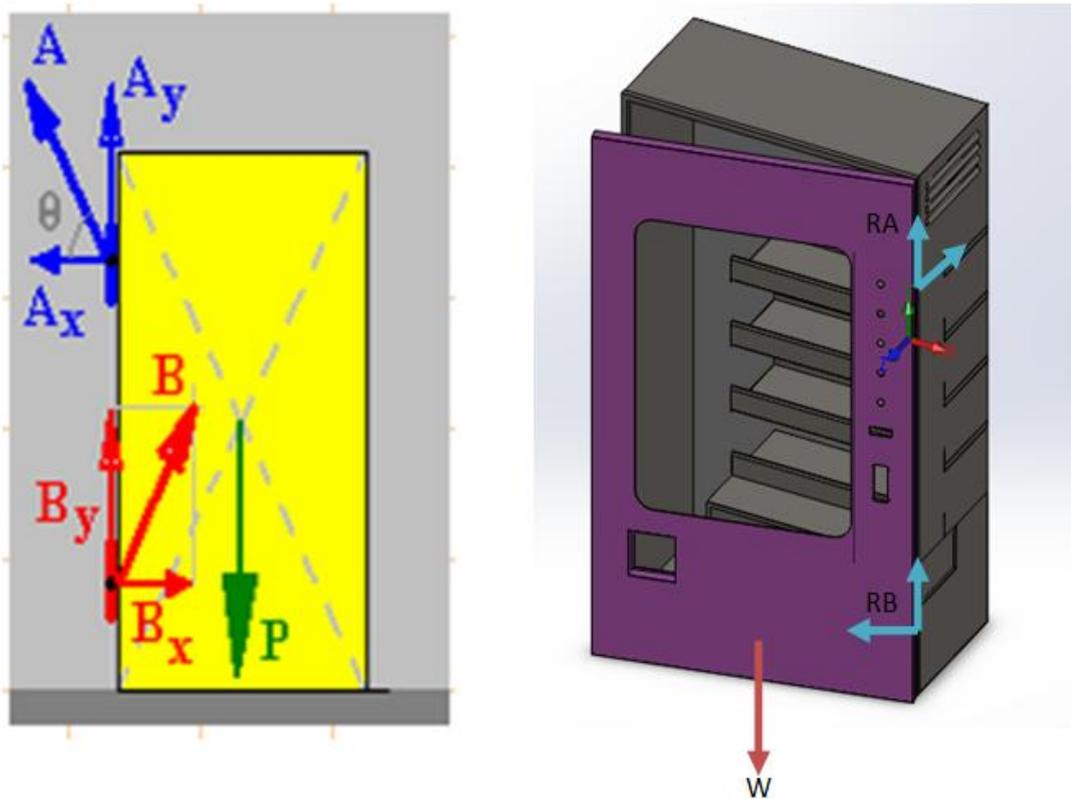


Ilustración 2. 109 Fuerzas en las bisagras

Fuente: (Perso, 2014)

Para calcular las reacciones en las bisagras debemos contar con el dato del peso de la puerta, el cual va a ser tomado de SolidWorks:

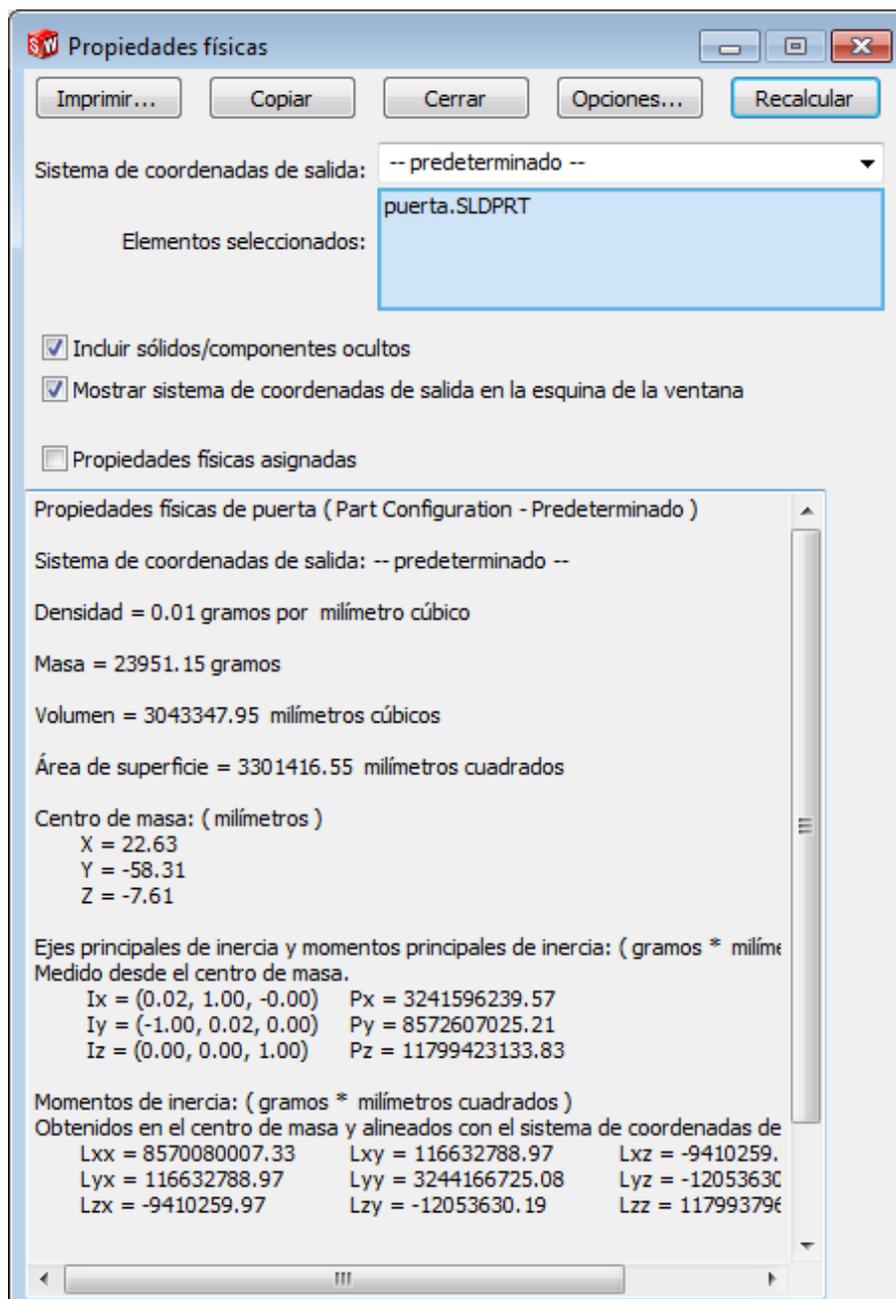


Ilustración 2. 110 Propiedades físicas de la puerta

Masa de la puerta = 23, 95 [kg]

Calculo de la masa del vidrio:

Espesor: 6 [mm]

Densidad (vidrio laminado): 2500 [kg/m³]

$$\text{Volumen} = 0,72[\text{m}] * 1[\text{m}] * 0,006[\text{m}]$$

$$\text{Volumen} = 0,00432[\text{m}^3]$$

$$\text{Masa} = \text{Densidad} * \text{Volumen}$$

$$\text{Masa} = 2500 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 0,00432[\text{m}^3]$$

$$\text{Masa} = 10,8[\text{kg}]$$

$$\text{Masa total} = \text{Masa puerta} + \text{Masa vidrio}$$

$$\text{Masa total} = 23,95 [\text{kg}] + 10,8 [\text{kg}]$$

$$\text{Masa total} = 34,75 [\text{kg}]$$

$$\text{Peso total} = \text{Masa total} * \text{gravedad}$$

$$\text{Peso total} = 34,75 [\text{kg}] * 9,81$$

$$[\text{m/s}^2] \text{ Peso total} = 340,89 [\text{N}]$$

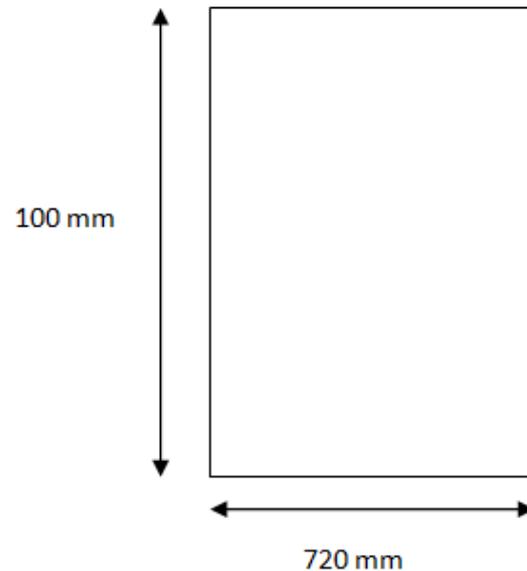


Ilustración 2. 111 Dimensiones del vidrio a ser colocado en la parte frontal

Cálculo de reacciones en el eje Y:

$$\sum F_y = 0$$

$$2R - W = 0$$

$$R = \frac{W}{2}$$

$$R_y = 170,45[\text{N}]$$

Cálculo de reacciones en el eje X:

$$\sum M_A = 0$$

$$-R_{BX} * 1,69[\text{m}] + W * 0,52[\text{m}] = 0$$

$$R_{BX} = 104,89[\text{N}]$$

$$R_{AX} = R_{BX}$$

$$R_{AX} = 104,89[\text{N}]$$

$$R_{BX} = 104,89[\text{N}]$$

2.3.3.2.4. Estructura

Tantos las bandejas en voladizo, el mecanismo de desplazamiento vertical y soporte inferior transmiten a la estructura fuerzas y momentos que

se detallan a continuación y van a servir para calcular las reacciones en la parte inferior del armario:

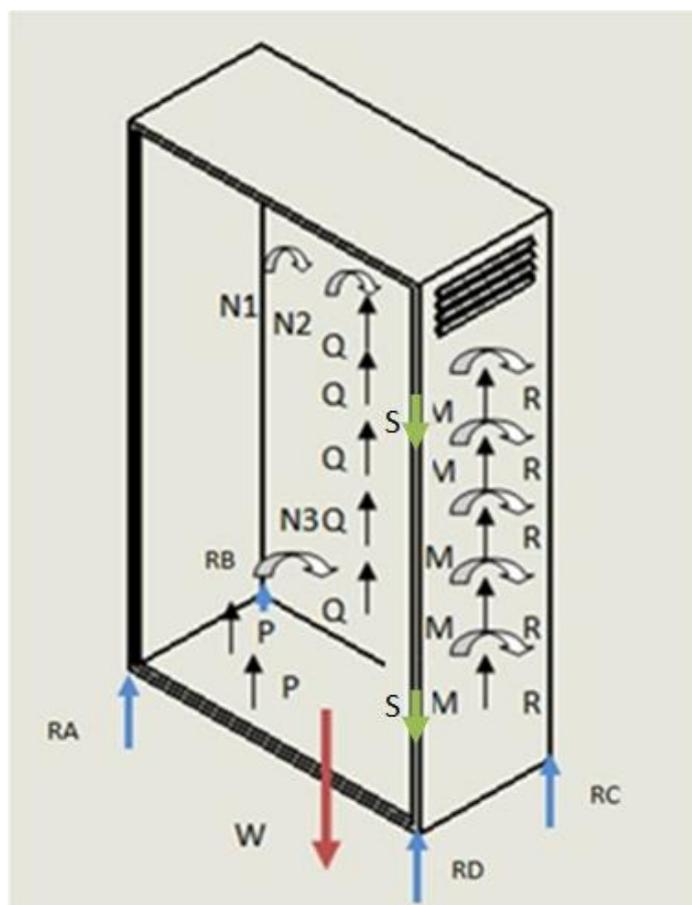


Ilustración 2. 112 Diagrama de fuerzas en la estructura

Donde:

R: reacción provocada por el empotramiento de la viga en voladizo

M: momento generado por el empotramiento de la viga en voladizo

Q: reacción provocada por el apoyo de la viga en voladizo

P: reacción provocada por la sujeción del ascensor a la estructura

N1: momento provocado por la sujeción del ascensor a la estructura

N2: momento provocado por la sujeción del ascensor a la estructura

N3: momento provocado por la sujeción del ascensor a la estructura

W: peso de la estructura

RA, RB, RC, RD: reacciones en los apoyos de la estructura

S: reacciones de las bisagras

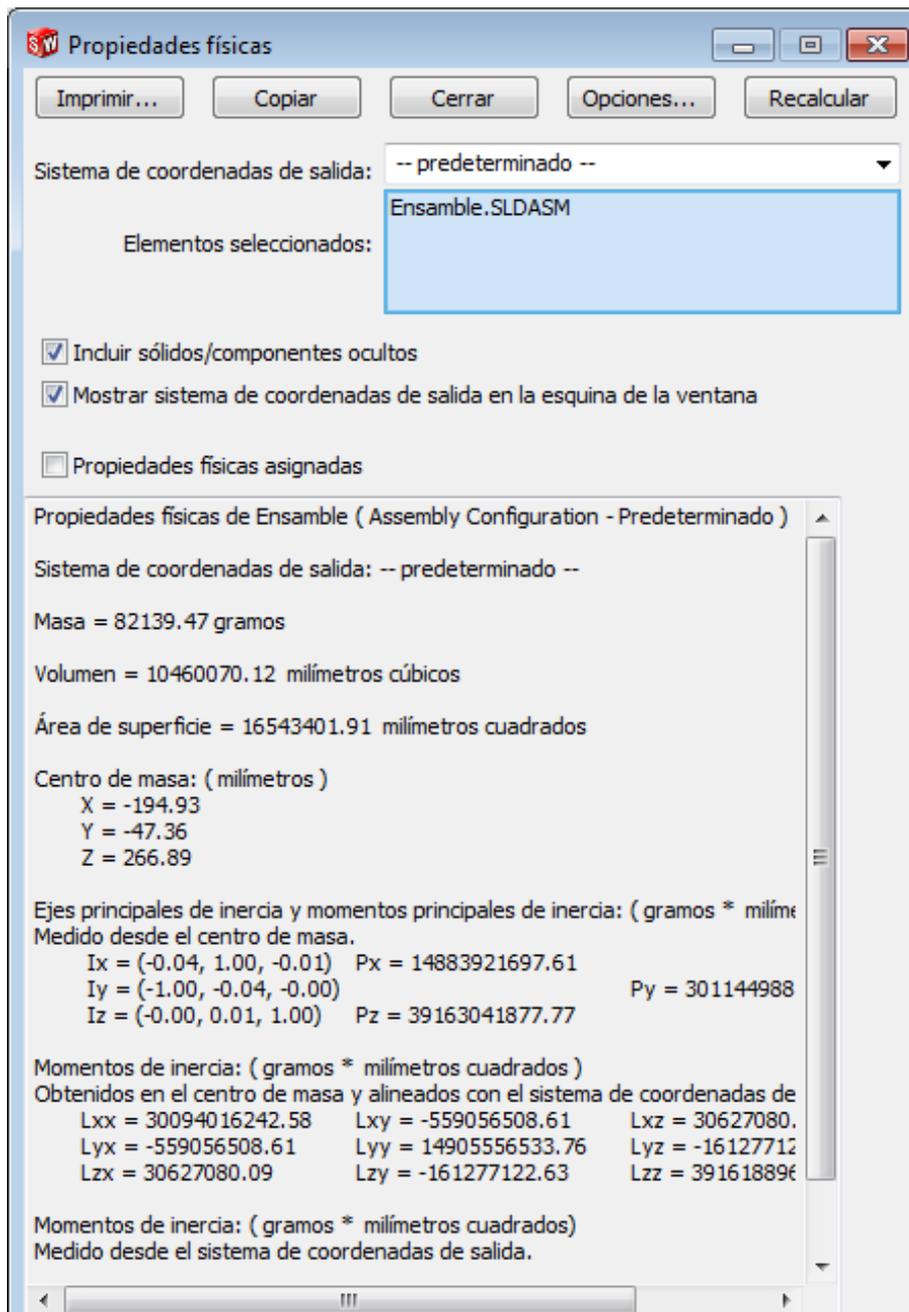


Ilustración 2. 113 Propiedades físicas de la estructura

$$\text{Masa} = 82139,47[\text{g}]$$

$$W = 82,14[\text{kg}] * 9,81[\text{m/s}^2]$$

$$W = 805,7934[\text{N}]$$

Cálculo de las fuerzas:

$$R = 36,7[\text{N}]$$

$$Q = 22,07[\text{N}]$$

$$P = 62,715[\text{N}]$$

$$M = 5,52[\text{N.m}]$$

$$N1 = 0,21[\text{N.m}]$$

$$N2 = 0,33[\text{N.m}]$$

$$S = 170,45[\text{N}]$$

$$\Sigma Fy = 0$$

$$5R + 5Q - W + RA + RB + RC + RD + 2P + 2S = 0$$

$$5 * 36,7[\text{N}] + 5 * 22,07[\text{N}] - 805,79[\text{N}] + RA + RB + RC + RD + 2 * 62,715[\text{N}] + 340,89[\text{N}] = 0$$

$$RA + RB + RC + RD = 45,62[\text{N}]$$

$$\Sigma Ma = 0$$

$$-W * 0,57337[\text{m}] + 5R * 1,05[\text{m}] + 5Q * 0,3[\text{m}] + P * 0,165[\text{m}] + RD * 1,05[\text{m}] + RC * 1,05[\text{m}] + P * 0,04[\text{m}] + RB * 0,48[\text{m}] + 2S * 1,05[\text{m}] = 0$$

$$-461,97[\text{N.m}] + 192,675[\text{N.m}] + 33,105[\text{N.m}] + 10,3479[\text{N.m}] + 1,05RD + 1,05RC + 2,51 + 0,48RB + 357,9345 = 0$$

$$0,48RB + 1,05RD + 1,05RC = -132,09[\text{N.m}]$$

$$\Sigma Mc = 0$$

$$W * 0,47663[m] - 5Q * 0,75[m] - P * 0,875[m] - RA * 1,05[m] - RB * 1,05[m] + RC * 0,48[m] - P * 1 - 2S * 0,48[m] = 0$$

$$- 384,065[N.m] - 82,7625[N.m] - 54,875[N.m] - 1,05RA - 1,05RB + 0,48RC - 62,715[N.m] - 163,627[N.m] = 0$$

$$1,05RA + 1,05RB - 0,48RC = -748,04[N.m]$$

$$\Sigma Mb = 0$$

$$- W * 0,26689[m] - P * 0,125[m] - P * 0,25[m] - RA * 0,48[m] + 5R * 1,05[m] + 5Q * 0,3[m] + RD * 1,05[m] + RC * 1,05[m] - 2S * 0,48[m] = 0$$

$$- 215,058[N.m] - 7,839[N.m] - 15,6787[N.m] - 0,48RA + 192,675[N.m] + 33,105[N.m] + 1,05RD + 1,05RC - 163,627[N.m] = 0$$

$$0,48RA - 1,05RC - 1,05RD = -176,43[N.m]$$

Solucionando el sistema tenemos:

$$RA = 1138,25[N]$$

$$RB = -1780,99[N]$$

$$RC = 152,40[N]$$

$$RD = 535,97[N]$$

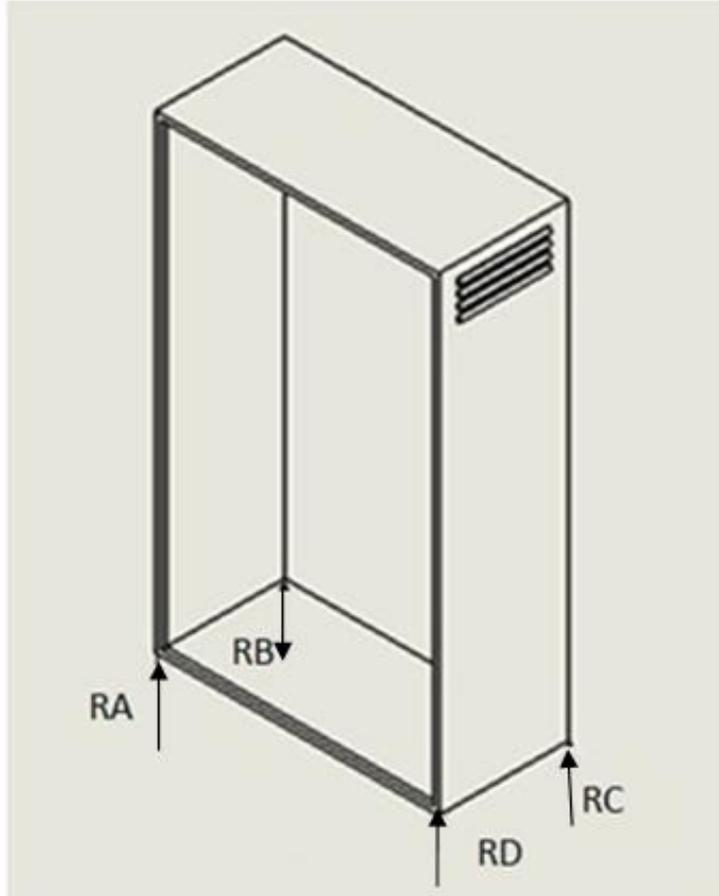
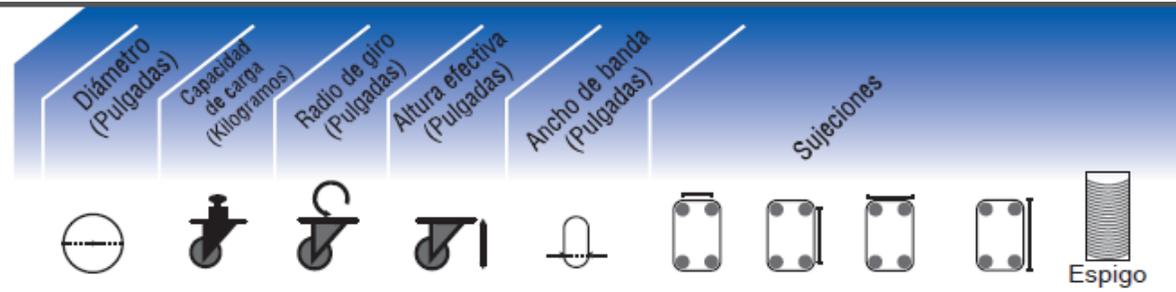


Ilustración 2. 114 Reacciones en los apoyos de la estructura

Con el valor de las reacciones en cada esquina de la estructura seleccionamos las garruchas adecuadas capaces de soportar las cargas antes calculadas. Las garruchas a ser seleccionadas deben tener dos características:

- ✓ Freno: debe poseer freno para evitar su desplazamiento una vez que se colocado en el lugar de expendio.
- ✓ Espigo: brinda un nivel de nivelación ajustable.



Serie 03

	Diámetro (Pulgadas)	Capacidad de carga (Kilogramos)	Radio de giro (Pulgadas)	Altura efectiva (Pulgadas)	Ancho de banda (Pulgadas)	Sujeciones				Espigo
Rod 1 1/2 BL 03 A Negro-Blanca	1-1/2	32	7/8	2-5/16	3/4	1-1/8	1-13/16	1-11/16	2-3/8	
Rod 1 1/2 PU 03 A Negro-Naranja Colson	1-1/2	40	7/8	2-5/16	13/16	1-1/8	1-13/16	1-11/16	2-3/8	
Rod 1 1/2 PU 03 A Negro-Naranja Freno Colson	1-1/2	40	7/8	2-5/16	13/16	1-1/8	1-13/16	1-11/16	2-3/8	
Rod 1 1/2 PU 03 E 5/16 Negro-Naranja Colson	1-1/2	40	7/8	2-5/16	13/16					5/16
Rod 1 1/2 PU 03 E 5/16 Negro-Naranja Freno Colson	2	40	1-3/4	2-15/16	13/16					5/16
Rod 2 PU 03 A Negro-Naranja Colson	2	50	1-3/4	2-15/16	1	1-3/8	2	2	2-3/4	
Rod 2 PU 03 A Negro-Naranja Freno Colson	2	50	1-3/4	2-15/16	1	1-3/8	2	2	2-3/4	
Rod 2 PU 03 E 3/8 Negro-Naranja Colson	2	50	1-3/4	2-15/16	1					3/8
Rod 2 PU 03 E 3/8 Negro-Naranja Freno Colson	2	50	1-3/4	2-15/16	1					3/8
Rod 2 1/2 BL 03 A Negro-Blanca	2-1/2	72	2-1/2	4-1/8	1-1/4	1-3/4	3	2-5/8	3-3/4	
Rod 2 1/2 BL 03 A Negro-Blanca Freno	2-1/2	72	2-1/2	4-1/8	1-1/4	1-3/4	3	2-5/8	3-3/4	
Rod 2 1/2 PU 03 A Negro-Naranja Colson	2-1/2	80	2-1/2	4-1/8	1-1/4	1-3/4	3	2-5/8	3-3/4	
Rod 2 1/2 PU 03 A Negro-Naranja Freno Colson	2-1/2	80	2-1/2	4-1/8	1-1/4	1-3/4	3	2-5/8	3-3/4	
Rod 2 1/2 PU 03 E 3/8 Negro-Naranja Colson	2-1/2	80	2-1/2	4-1/8	1-1/4					3/8
Rod 2 1/2 PU 03 E 3/8 Negro-Naranja Freno Colson	2-1/2	80	2-1/2	4-1/8	1-1/4					3/8
Rod 3 BL 03 A Negro-Blanca	3	85	2-7/8	4-1/8	1-1/4	1-3/4	3	2-5/8	3-3/4	
Rod 3 BL 03 A Negro-Blanca Freno	3	85	2-7/8	4-1/8	1-1/4	1-3/4	3	2-5/8	3-3/4	
Rod 3 PU 03 A Negro-Naranja Colson	3	105	2-7/8	4-1/8	1-1/4	1-3/4	3	2-5/8	3-3/4	
Rod 3 PU 03 A Negro-Naranja Freno Colson	3	105	2-7/8	4-1/8	1-1/4	1-3/4	3	2-5/8	3-3/4	
Rod 3 PU 03 A Negro-Naranja Freno	3	105	2-7/8	4-1/8	1-1/4	1-3/4	3	2-5/8	3-3/4	
Rod 3 PU 03 E 3/8 Negro-Naranja Colson	3	105	2-7/8	4-1/8	1-1/4					3/8
Rod 3 PU 03 E 3/8 Negro-Naranja Freno Colson	3	105	2-7/8	4-1/8	1-1/4					3/8

*Medidas nominales

Ilustración 2. 115 Catálogo de garruchas / selección

Fuente: (Catálogo IMSA, 2012)

2.3.3.2.4.1. Actuador

En la puerta de expendio del producto se encuentra un motor que permite el desplazamiento de una aldaba que mantiene cerrada la puerta de expendio siempre que no se haya realizado ninguna compra, y únicamente se activa cuando se ha realizado una compra y el producto se encuentra en la parte inferior.

El motor que se va a utilizar transmite su movimiento rotatorio a una caja de engranes que a la vez se conecta a un rack que transforma el movimiento rotatorio del motor a una movimiento lineal, el motor se conecta con una varilla que será el cerrojo de la puerta de expendio.



Ilustración 2. 116 Actuador de la puerta de expendio

Fuente: (Mercadolibre, 2014)

2.3.3.2.4.2. Sensor

La puerta de la estructura posee una abertura que permite el expendio del producto; para brindar seguridad la puerta de distribución posee un sensor para detectar si la puerta de expendio se encuentra abierta o cerrada, lo que a su vez permite dar la señal de activación del motor de la trampa para apertura de la puerta.

En la puerta de expendio del producto se colocará dos sensores magnéticos, mismos que fueron utilizados en el sistema de desplazamiento

vertical; estos se colocarán en la parte superior de esta puerta para que puedan ser activados únicamente cuando ésta se encuentre cerrada.

2.3.3.2.5. Dispositivos electrónicos

En la puerta de la estructura se encuentran varios dispositivos electrónicos entre los que tenemos:

- ✓ Pulsadores
- ✓ LCD display
- ✓ Monedero

Pulsadores:

Son dispositivos que permiten el accionamiento o desactivación de cierto suceso dependiendo de su conexión, pueden ser normalmente abierto o normalmente cerrados (NO o NC).

En este caso permitirán la selección del sabor o tipo de pastelillo una vez que se haya ingresado el crédito total, el pulsador está conectado a un circuito que permite el envío de la señal de selección al microcontrolador para que el expendio se pueda realizar de manera correcta.



Ilustración 2. 117 Pulsador

Fuente: (Sourcingmap, 2014)

LCD display:

Las siglas LCD significan “Liquid Cristal Display” que en español quiere decir “Pantalla de cristal líquido”, es delgada y está formada por un

número de píxeles que se encuentran frente a una fuente de luz, existen de varios tipos 8x1, 16x2, 20x4, que representan el número de caracteres por el número de filas, en este caso utilizaremos un LCD 16x2 con fondo verde, caracteres negros y retroalimentación verde:

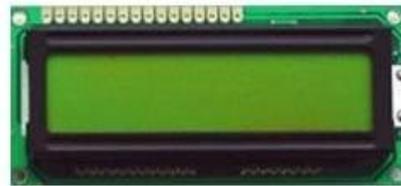
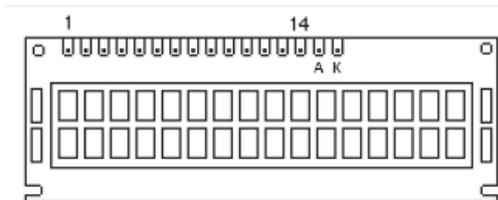


Ilustración 2. 118 LCD display 16x2

Este dispositivo posee 16 pines, los cuales describimos a continuación:



Pin No	Name	Description
1	Vss	GND
2	Vdd	+5v
3	Vo	Contrast Control
4	RS	Register Select
5	R/W	Read/Write
6	E	Enable (<i>Strobe</i>)
7	D0	Data <i>LSB</i>
8	D1	Data
9	D2	Data
10	D3	Data
11	D4	Data
12	D5	Data
13	D6	Data
14	D7	Data <i>MSB</i>

Ilustración 2. 119 Distribución de pines LCD display 16x2

Fuente: (Electronicavm, 2011)

Para realizar el control del LCD los pines que deben ir conectados al microcontrolador son los pines 4, 6, las líneas 7 al 14 son los pines por donde ingresa la instrucción de los caracteres alfanuméricos que se van a mostrar por el LCD, el control puede realizarse mediante estos 8 pines o los 4 pines más significativos que son del 11 al 14. En los pines 15 y 16 se ubica un led interno de retroalimentación que deberá ser accionada para la iluminación de la pantalla.

En este dispositivo se mostrará un mensaje permanente con el nombre de la empresa, una vez que empiece la compra el crédito ingresado será visualizado en la pantalla, además de dar la instrucción para elegir el sabor deseado y finalmente un mensaje de agradecimiento.

Monedero:

Este dispositivo permite la admisión de monedas para realizar la compra, el monedero a ser utilizado es el “Likang front inserting coin selector” LK400M:



Ilustración 2. 120 Monedero LK400M

Fuente: (Aliexpress, 2014)

La conexión y los ajustes principales se muestran en la figura siguiente, posee dos cables de alimentación (VCC y GROUND), y un cable que es la señal de salida, la cual puede ser normalmente abierta o normalmente cerrada dependiendo de la configuración del monedero, esta señal será enviada al microcontrolador ya que ésta cambia de estado cada vez que una moneda ingresa al sistema.

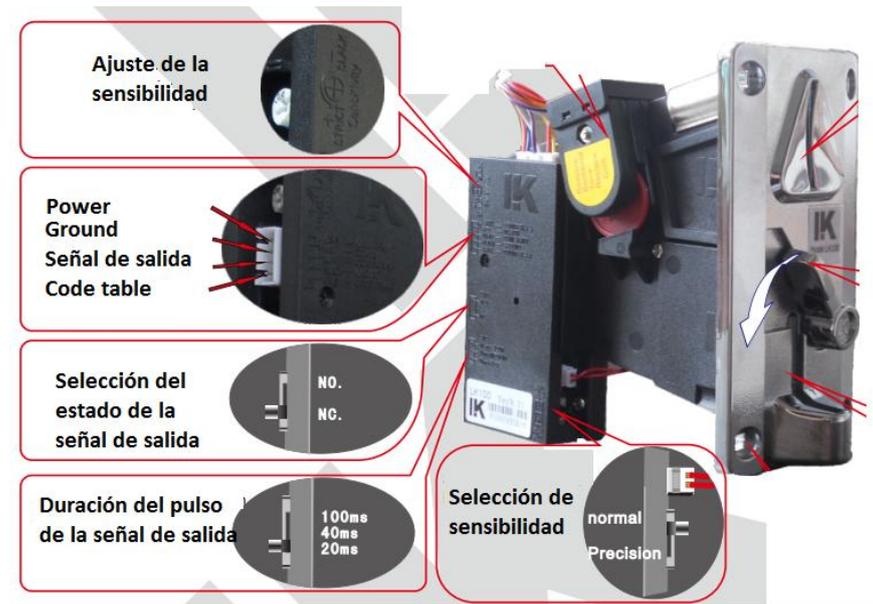


Ilustración 2. 121 Guía para la configuración del monedero

2.3.4. Sistema de venta automática

2.3.4.1 Fundamento Teórico

Desde el punto de vista de la teoría de control, un sistema o proceso está formado por un conjunto de elementos relacionados entre sí que ofrecen señales de salida en función de señales o datos de entrada.

Es importante resaltar el hecho de que no es necesario conocer el funcionamiento interno, o cómo actúan entre sí los diversos elementos, para caracterizar el sistema. Para ello, sólo se precisa conocer la relación que existe entre la entrada y la salida del proceso que realiza el mismo (principio de caja negra). El aspecto más importante de un sistema es el conocimiento de su dinámica, es decir, cómo se comporta la señal de salida frente a una variación de la señal de entrada. Un conocimiento preciso de la relación entrada/salida permite predecir la respuesta del sistema y seleccionar la acción de control adecuada para mejorarla. De esta manera, conociendo cuál es la dinámica deseada, se ajustará la acción de control para conseguir el objetivo final.

En vista de todo lo expuesto, se puede definir un sistema de control como el conjunto de elementos que interactúan para conseguir que la salida de un proceso se comporte de una manera determinada, mediante una acción de control.⁶

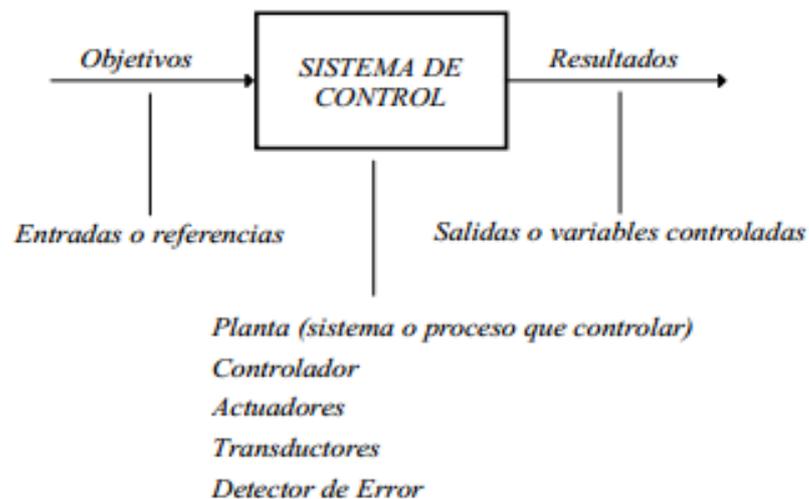


Ilustración 2. 122 Diagrama de un sistema de control

Fuente: (Franja, 2014)

De manera esquemática el proceso de diseño de un sistema de control según el libro “Sistemas de Control Moderno” escrito por Richard Dorf y Robert Bishop es el siguiente.

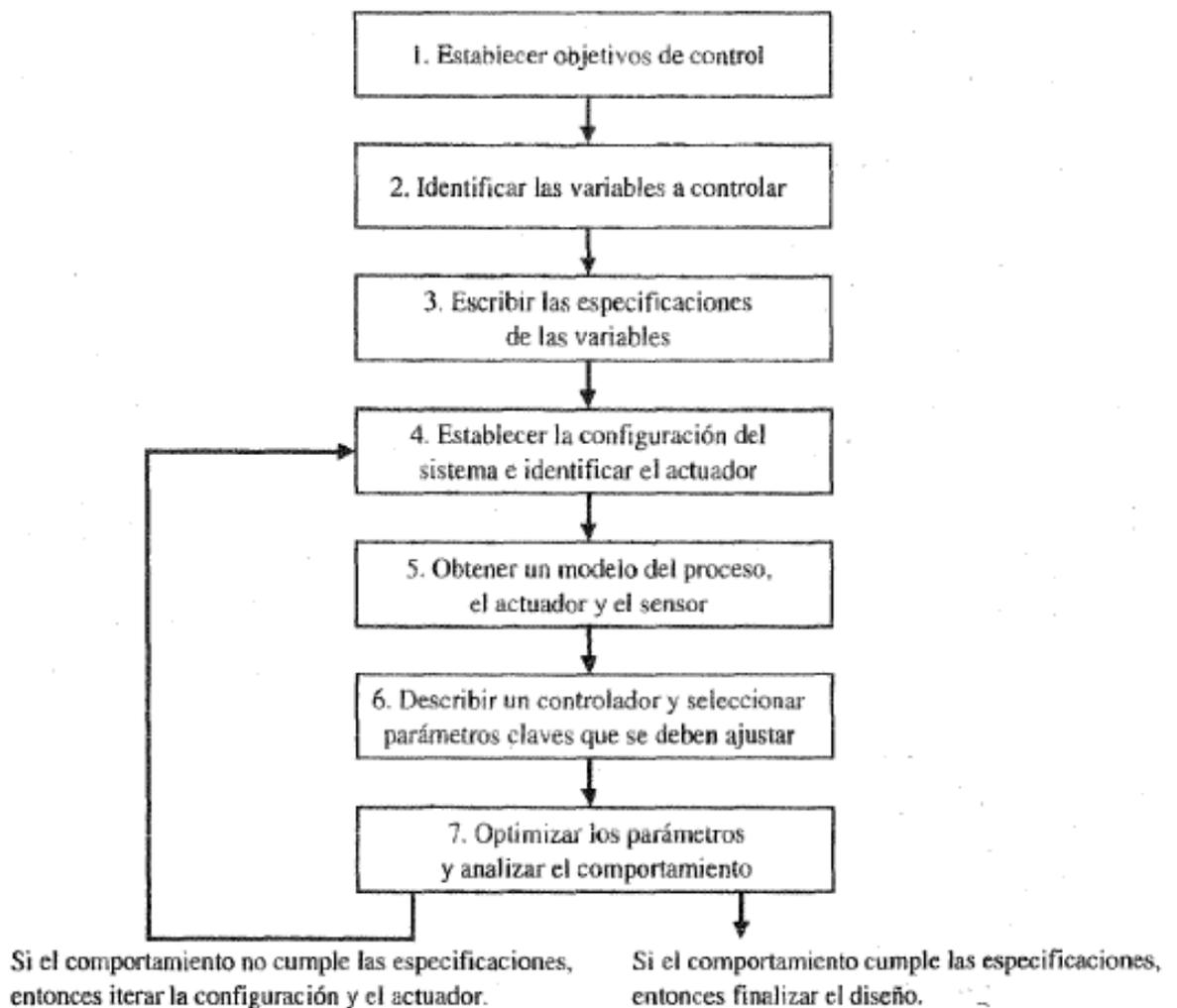


Ilustración 2. 123 Proceso de diseño de un sistema de control

Fuente: (Sistemas de Control Moderno, 2005)

SISTEMAS DE CONTROL COMBINACIONALES O SECUENCIALES

Los sistemas combinacionales y secuenciales pueden clasificarse como sistemas de control basados en instrucciones lógicas. Los datos de entrada y salida al sistema son binarios e indican que los sensores tienen dos estados o valores (por ejemplo: válvula abierta o cerrada, un indicador activado o no, o un interruptor pulsado o no). Las decisiones tomadas por el sistema de control son del tipo ON/OFF y se basan en las condiciones de los datos de entrada.

El control electrónico es un ejemplo claro, donde los niveles lógicos (0,1) establecen un control ON-OFF sobre el sistema, este tipo de control es uno de los más básicos, con un bajo costo de instalación, fácil mantenimiento y usado ampliamente con señales digitales.

Tipos de Señales

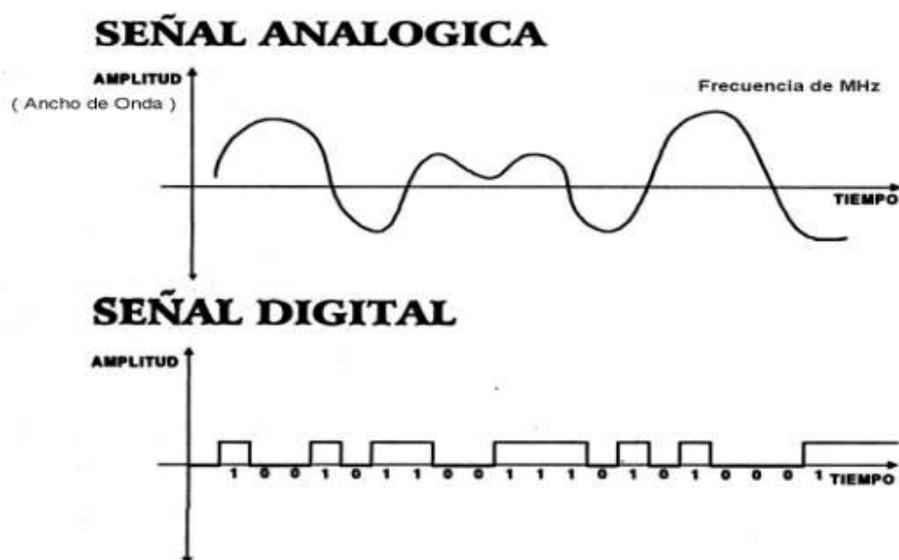


Ilustración 2. 124 Tipos de señales

Fuente: (Hardside, 2014)

✓ Señales Analógicas

La señal analógica es aquella que presenta una variación continua con el tiempo, es decir, que a una variación suficientemente significativa del tiempo le corresponderá una variación igualmente significativa del valor de la señal (la señal es continua).

Toda señal variable en el tiempo se representa en el ámbito de sus valores (espectro) de frecuencia. De este modo, cualquier señal es susceptible de ser representada descompuesta en su frecuencia fundamental y sus armónicos. El proceso matemático que permite esta descomposición se denomina análisis de Fourier. Las señales analógicas

predominan en nuestro entorno (variaciones de temperatura, presión, velocidad, distancia, sonido etc.) y son transformadas en señales eléctricas, mediante el adecuado transductor, para su tratamiento electrónico.

✓ Señales Digitales

Una señal digital es aquella que presenta una variación discontinua con el tiempo y que sólo puede tomar ciertos valores discretos. Su forma característica es ampliamente conocida: la señal básica es una onda cuadrada (pulsos) y las representaciones se realizan en el dominio del tiempo. Sus parámetros son:

Altura de pulso (nivel eléctrico)

Duración (ancho de pulso)

Frecuencia de repetición (velocidad pulsos por segundo)

2.3.4.2 Especificaciones de diseño

Las especificaciones funcionales del diseño del sistema de control se muestran a continuación:

Tabla 2. 13 Especificaciones de diseño del sistema de control

Requerimientos	Datos
Datos de cobro configurables	Número de créditos y valor del crédito
Fuente de alimentación	5 voltios y 12 voltios DC
Control de velocidad de los motores	Controlado mediante la variación del valor de PWM en el software
Selección del producto	Mediante pulsadores para cada nivel de la máquina
Tiempo de venta	Menor a un minuto
Diseño de PCBs	De acuerdo a la norma IPC22-21

2.3.4.3 Elementos del sistema

2.3.4.3.1 Señales de entrada del sistema

Las señales de entrada proporcionan información del comportamiento físico del sistema. A continuación se presenta la tabulación respectiva, con cada función en la máquina expendedora. Esta tabulación nos permitirá conocer el tipo de señales que estarán presentes en el sistema.

Tabla 2. 14 Señales de entrada en el sistema de venta automática

Número de señales	Sensor/Dispositivo	Función
6 Señales digitales	Interruptor magnético	Detectar el nivel / ubicación de la cabina en el sistema de desplazamiento vertical
5 Señales digitales	Pulsadores	Seleccionar el nivel del pastel deseado
1 Señal digital	Sensor infrarrojo	Detectar las monedas ingresadas en la máquina
1 Señal digital	Interruptor magnético	Detectar si la compuerta pequeña está cerrada o abierta
1 Señal digital	Interruptor	Permite el cambio de modo venta a modo configuración
2 Señales digitales	Pulsadores	Configuración del número de créditos y valor del crédito

2.3.4.3.2 Señales de salida del sistema.

Las señales de salida regulan el comportamiento de los actuadores o dispositivos electrónicos que responden ante las señales de entrada del sistema. A continuación se presenta la tabulación respectiva con cada función en la máquina expendedora.

Tabla 2. 15 Señales de salida del sistema de venta automática

Número de señales	Actuador/Dispositivo	Función
6 Señales digitales	LCD	Presentar mensajes al usuario/cliente de la máquina
5 Señales digitales	Motor con caja reductora (131:1) 12VDC	Dispensar el pastelillo desde las bandas transportadoras a la cabina del ascensor
2 Señales digital	Motor con caja reductora (131:1) 12VDC	Transportar el pastelillo desde el nivel de las bandas hasta el nivel de entrega del producto (requiere de dos señales para realizar el cambio de giro)
2 Señales digital	Motor 12VDC	Abrir o cerrar la compuerta pequeña en la zona de entrega del producto (requiere de dos señales para realizar el cambio de giro)
1 Señal digital	Luz piloto de pulsadores	Enciende la luz piloto de los pulsadores solamente cuando se haya seleccionado un pastelillo

2.3.4.3.3 Selección del controlador

Nuestro sistema de control será electrónico de tipo ON/OFF con señales digitales, y de acuerdo al número de entradas y salidas del sistema procedemos a comparar microcontroladores para elegir el más adecuado para este proyecto.



Ilustración 2. 125 Microcontroladores, versión encapsulado PDIP

Fuente: (Microcontroladores, 2009)

Un microcontrolador es un circuito integrado, que incorpora en su interior los bloques básicos para formar un sistema embebido o una PC en menor escala, es decir es un chip en cuyo interior encontramos una CPU, Memoria, Reloj, Puertos de Comunicación y Módulos Periféricos de E/S. Cada uno de estos bloques internos, cumple una función específica y permite al diseñador un mejor control de los procesos del sistema; el CPU se dice que es un microprocesador en pequeño y de menor potencia, la memoria que sirve para almacenar el Firmware o programa a ejecutar, el Reloj provee una señal de sincronización para todas las tareas del sistema, los Puertos de comunicación le permiten al microcontrolador tener comunicación bi-direccional con otros microcontroladores o un PC, por ejemplo puerto RS232, USB, ISP, I2C, y los Módulos Periféricos de E/S que

permiten el intercambio de información de tipo digital o análoga con el exterior del sistema, es dentro de estos periféricos que se pueden encontrar: Puertos Digitales E/S, Conversores Análogo digital, Contadores, Temporizadores, Módulos PWM, entre otros.

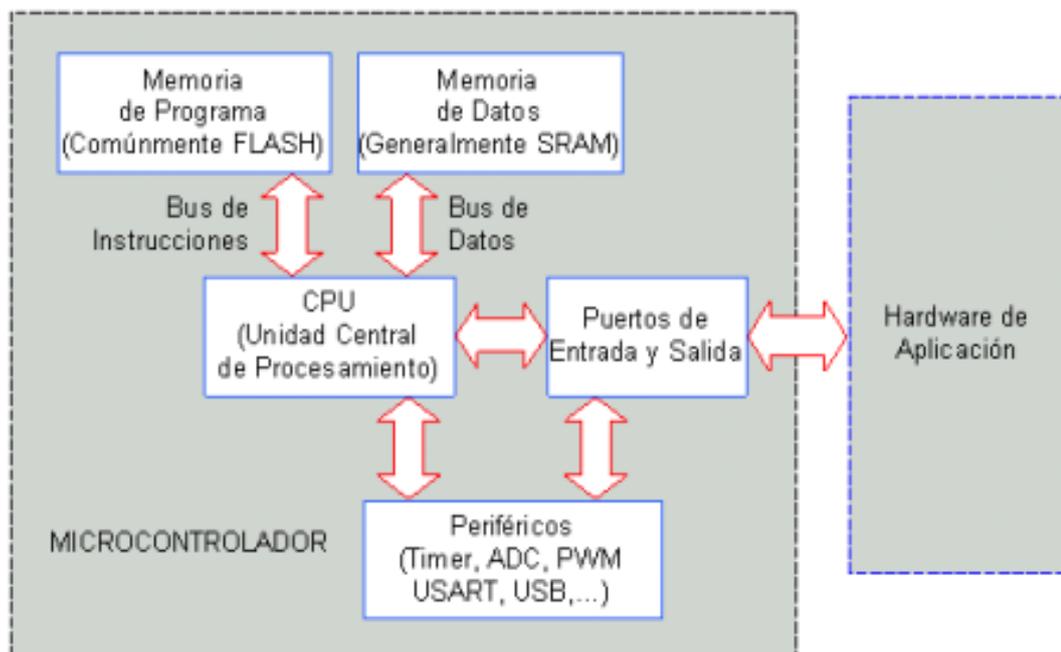


Ilustración 2. 126 Estructura genérica de un microcontrolador

Fuente: (Exa, 2014)

Además de su estructura, un microcontrolador posee ciertas características de desarrollo, como son: su lenguaje de programación, el IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) para la escritura de programas, la forma en que se programa la memoria interna, el hardware externo necesario para realizar esta grabación. Son estas características las que hacen la diferencia al momento de la elección correcta de un modelo de microcontrolador.

Existen decenas de empresas fabricantes de microcontroladores, entre las que podemos nombrar: Intel, Motorola, Texas Instrument, Microchip, Cypress, Atmel, entre otras. Pero dentro de toda esta gama de microcontroladores se destacan dos familias: la familia AVR y la familia PIC, cuya popularidad es alta entre diseñadores de sistemas embebidos que

requieren un rendimiento alto y bajo costo, y eligen uno u otro ya sea por su nivel de integración, por su arquitectura, la disponibilidad de recursos o su lenguaje de programación.

Para nuestros objetivos se han considerado el PIC 16F877A de Microchip y el ATMEGA 164P de Atmel; para la selección se ha realizado una tabla comparativa de las características de estos 2 microcontroladores.

El microcontrolador 16F877A muy popular debido a la trayectoria de Microchip en la evolución del microcontrolador se basa en la tecnología CMOS y pertenece a la familia de microcontroladores de 8 bits (bus de datos), mientras que el AVR ATMEGA 164P actualmente usado en la mayoría de sistemas de control de simples equipos electrónicos (televisores, lavadoras, máquinas eléctricas), hasta complejos sistemas automáticos (alarmas, telecomunicaciones) tiene como gran ventaja su bajo consumo de potencia con tecnología CMOS y también 8 bits (bus de datos).

A continuación se presenta la distribución de pines proporcionada por los fabricantes en ambos microcontroladores empaquetados DIP de 40 pines.

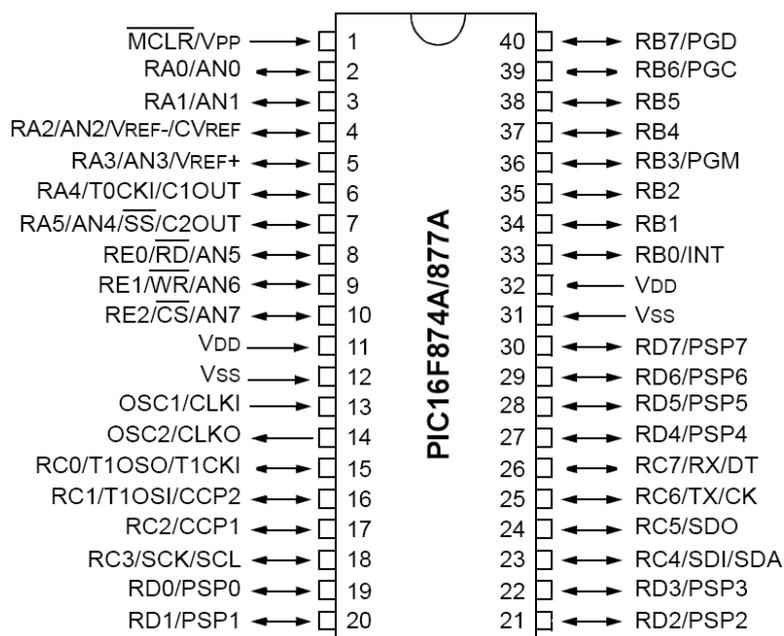


Ilustración 2. 127 Distribución de pines PIC16F877A

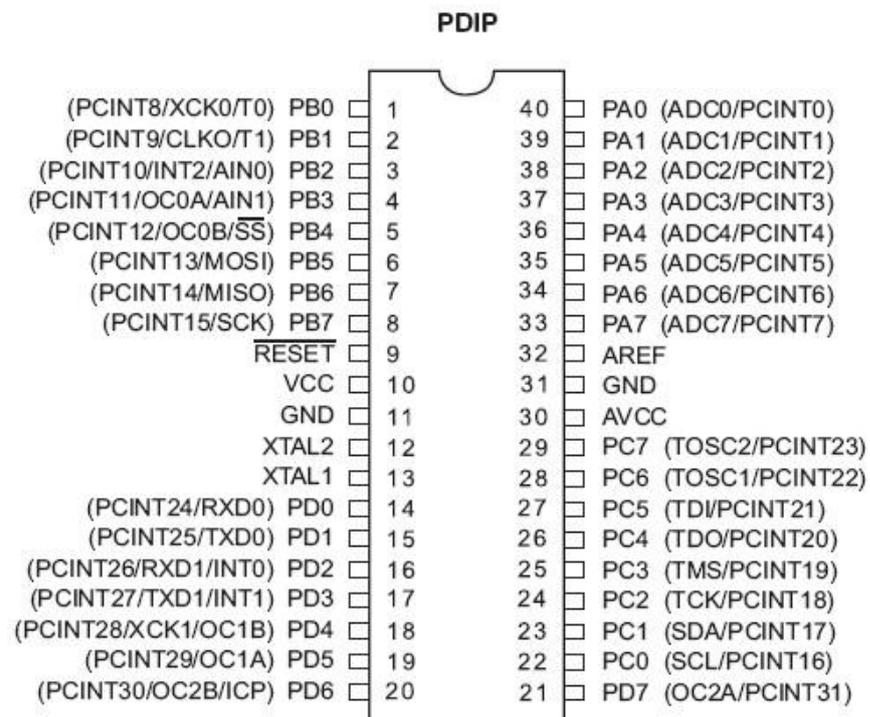


Ilustración 2. 128 Distribución de pines ATMEGA 164P

Tabla 2. 16 Tabla comparativa entre PIC 16F877A y ATMEGA 164P

CARACTERÍSTICAS GENERALES	PIC 16F877A	ATMEGA 164P
Frecuencia máxima	20 MHz	20 MHz
Oscilador interno (RC)	No	Si
Rango de Voltaje	2 - 5.5V	2.7 - 5.5V
Corriente máxima	200 mA	200 mA
Corriente máxima entre sus pines	25 mA	40 mA
Memoria de programa (flash)	8 Kb	16 Kb
RAM de datos	368 bytes	1 Kb
EEPROM de datos	256 bytes	512 bytes
Juego de instrucciones (RISC)	35	131
Arquitectura	Harvard	Harvard

Continua 

Registros	10	32
Perro guardián (WD)	Si	Si
Retención de datos	100 años	100 años
Canales PWM	2	6
Tipo de Empaque	DIP (Dual Inline Package)	DIP (Dual Inline Package)

PERIFERICOS

Puertos Programables	5 (A, B, C, D, E)	4 (A, B, C, D)
Timers	Timer 0 (Contador/Temporizador de 8 bits)	Timer 0 (Contador/Temporizador de 8 bits)
	Timer 1 (Contador/Temporizador de 16 bits)	Timer 1 (Contador/Temporizador de 16 bits)
	Timer 2 (Contador/Temporizador de 8 bits)	Timer 2 (Contador/Temporizador de 8 bits)

Continua



Convertidor A/D	10 bits hasta 8 canales (AN0-AN7)	10 bits hasta 8 canales (ADC0-ADC7)
Puertos Serie	SSP (Puerto serie sincrónico) USART (Puerto serie universal) ICSP (Puerto serie para programación y depuración)	SPI (Interface a periféricos seriales) USART (Puerto serie universal) TWI (Interface serial con 2 líneas)

Fuente: (Repositorio EPN, 2010)

En base a la tabla antes expuesta, optamos por el microcontrolador ATMEGA 164P, ya que éste supera al PIC en memoria flash, RAM y EEPROM, además que su mayor cantidad de registros (32) disminuye las necesidades de almacenamiento de datos mejorando su velocidad. Las instrucciones de tipo RISC (Reduced Instruction Set Computer), permite que el set de instrucciones y el bus de la memoria de programa puedan diseñarse de manera tal que todas las instrucciones tengan una sola posición de memoria de programa de la misma longitud. Además, como los buses son independientes, el CPU del microcontrolador puede estar accediendo a los datos para completar la ejecución de una instrucción, y al mismo tiempo estar leyendo la próxima instrucción a ejecutar.

2.3.4.3.4 Hardware del sistema de control

En esta sección se presentara las configuraciones para cada sensor, actuador o dispositivo electrónico que tiene nuestro sistema electrónico de control.

- ✓ Hardware de los interruptores magnéticos:

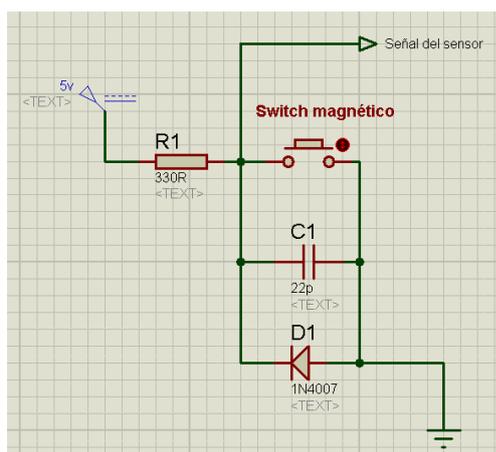


Ilustración 2. 129 Configuración de los interruptores magnéticos

Cada interruptor magnético tiene la configuración anti rebote, debido a que es una señal ON/OFF y se desea que el microcontrolador adquiera esta señal de forma correcta. Contiene un capacitor cerámico para asegurar el

nivel lógico de 5V y un diodo rectificador que direcciona la corriente. La señal del sensor que se direcciona al microcontrolador es nombrada del S1 al S5 respectivamente para cada nivel, mientras que el sensor del piso inferior es llamado S6 en el diagrama de conexiones.

En la puerta de expendio también se ha colocado estos sensores con la misma configuración para detectar si la puerta está cerrada o abierta.

- ✓ Hardware de los pulsadores con luz piloto de selección del pastelillo:

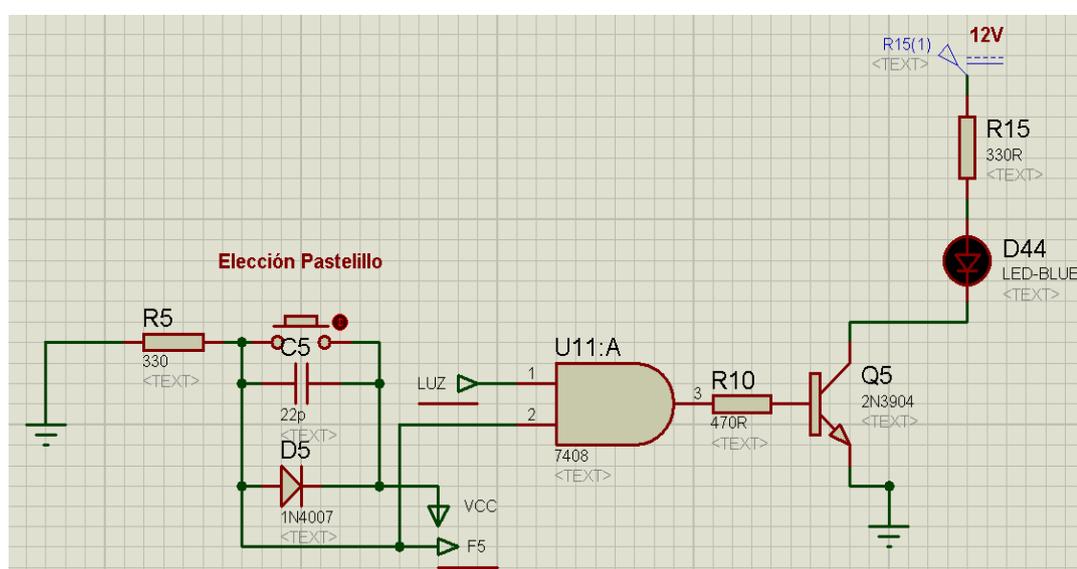


Ilustración 2. 130 Configuración de los pulsadores de selección con luz piloto

Cada pulsador tiene la configuración anti rebote, al igual que la configuración de los interruptores magnéticos, donde VCC es cinco voltios de corriente continua y las señales de control direccionadas al microcontrolador son desde F1 a F5 dependiendo del nivel seleccionado.

Para la luz piloto tenemos una señal llamada LUZ que es una señal de salida del microcontrolador activada por programación en conjunto con la señal del pulsador de selección que ingresan a una compuerta lógica AND,

luego de lo cual un transistor en corte y saturación permite encender la luz piloto.

El cálculo de la resistencia de base para que el transistor funcione en corte y saturación es el siguiente:

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B}$$

La intensidad de base I_B corresponde a la intensidad de salida de la compuerta AND, que es 8 [mA] según la hoja de datos del integrado 7408; mientras que el voltaje $V_{BE} = 0.7V$ según la hoja de datos del transistor 2N3904.

$$R_B = \frac{5V - 0.7V}{8mA}$$

$$R_B = 537.5 \Omega$$

Por seguridad la resistencia de la base debe ser menor a 537.5Ω , para cerciorarnos de que ingrese la suficiente intensidad al transistor, por lo cual tomaremos como 470Ω .

- ✓ Hardware de los motores con caja reductora 131:1, 12VDC

Los motores con caja reductora son los actuadores de las bandas transportadoras y del ascensor, que conectados al integrado L293D (puente H) son controlados mediante el microcontrolador; para controlar su velocidad se genera una señal modulada en el ancho de pulso (PWM).

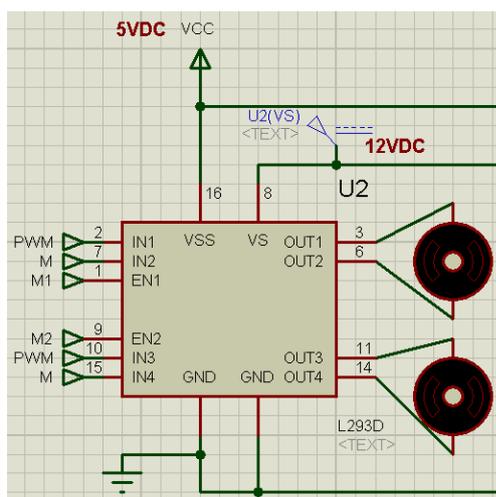


Ilustración 2. 131 Configuración de los motores con caja reductora a 12 voltios DC

Se dispone de 3 integrados L293D para controlar los motores, conectados 2 motores en cada integrado. Las señales de entrada para activar cada motor provienen del decodificador 3 a 8 bits 74LS138 con la siguiente configuración.

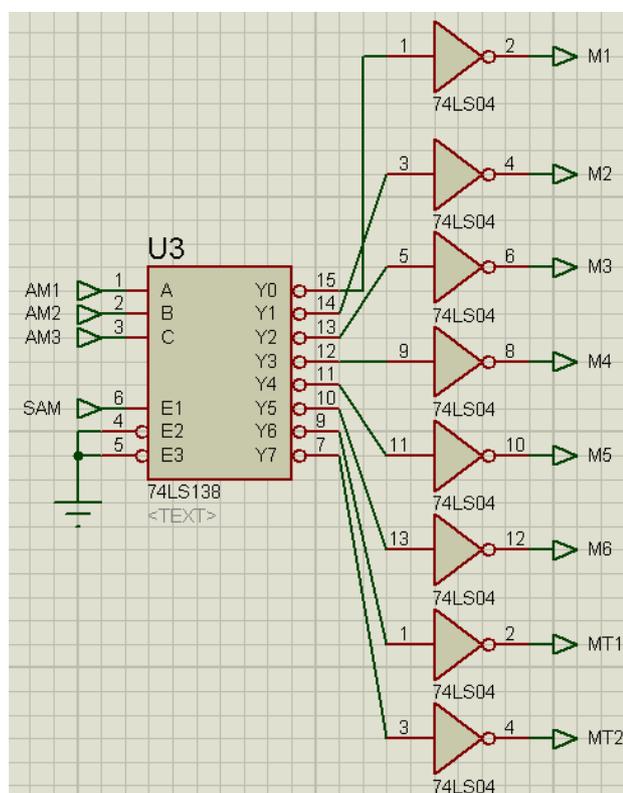


Ilustración 2. 132 Configuración del decodificador para los motores

Las señales AM1, AM2, AM3 y SAM provienen del microcontrolador; con las tres entradas (AM1, AM2 y AM3) que posee el circuito podemos realizar 8 combinaciones diferentes, de 000 a 111 que nos activaran una de las salidas Yn.

La relación de pines de este integrado es la siguiente:

A, B, C: Entradas de selección, según la combinación binaria que coloquemos tendremos activada la salida Yn correspondiente.

E1, E2, E3: Entradas de validación, la primera activa a nivel alto y las dos siguientes a nivel bajo, condiciones de funcionamiento para el decodificador.

Y0, Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7: Salidas del decodificador activas a nivel bajo (0V), solo puede activarse una salida a la vez.

Debido a que su salida es en nivel bajo (0V) se ha invertido la señal a nivel alto (5V) con la ayuda de una compuerta negadora 74LS04 como se puede observar en la ilustración anterior.

La tabla de verdad que rige el comportamiento del decodificador es:

Tabla 2. 17 Tabla de verdad del integrado 74LS138 (H: nivel alto y L: nivel bajo)

ENTRADAS						SALIDAS							
E1	E2	E3	C	B	A	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
X	H	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
X	X	H	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
L	X	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	H	L	H	H	L	H	H	H	H	H
H	L	L	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H
H	L	L	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H
H	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H
H	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L

- ✓ Hardware del sensor infrarrojo

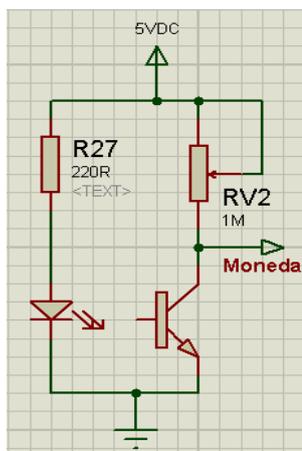


Ilustración 2. 133 Configuración del sensor infrarrojo

El sensor infrarrojo emisor-receptor cuenta con una resistencia de protección para el diodo, mientras que en el fototransistor se conecta una resistencia variable para calibrar la señal de salida del sensor.

La señal del sensor que se direcciona al microcontrolador para las diversas acciones de control es nombrada Moneda, ya que detecta la presencia del crédito ingresado por el cliente.

- ✓ Hardware del motor 12VDC

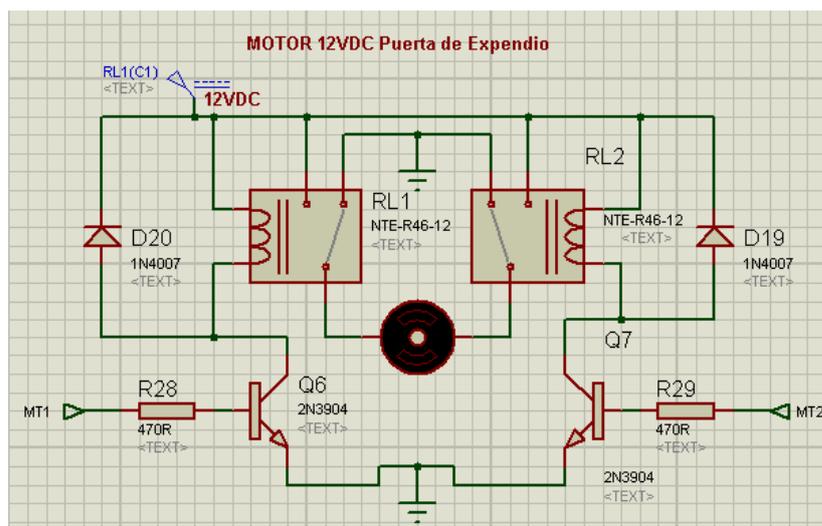


Ilustración 2. 134 Configuración del motor 12 voltios DC (motor para la puerta de expendio)

Para este circuito se ha colocado un transistor NPN en corte y saturación, de modo que realice la función de interruptor con los relés a 12V, los mismos que nos permiten realizar el cambio de polaridad en el motor de 12VDC de la puerta de expendio para permitir su apertura de modo que el cliente acceda a su producto, así como también para asegurar la puerta y bloquearla mientras no haya una compra efectuada.

Las bobinas de los relés tienen en paralelo un diodo de protección para evitar las corrientes inversas, mientras que las resistencias de base del transistor se han calculado de la siguiente manera:

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B}$$

La intensidad de base I_B corresponde a la intensidad de salida de la compuerta NOT, que es 8 mA según la hoja de datos del integrado 7404; mientras que el voltaje $V_{BE} = 0.7V$ según la hoja de datos del transistor 2N3904.

$$R_B = \frac{5V - 0.7V}{8mA}$$

$$R_B = 537 \Omega$$

Por seguridad la resistencia de la base debe ser menor a 537 Ω , para cerciorarnos de que ingrese la suficiente intensidad al transistor, por lo cual tomaremos como 470 Ω .

✓ Hardware del LCD

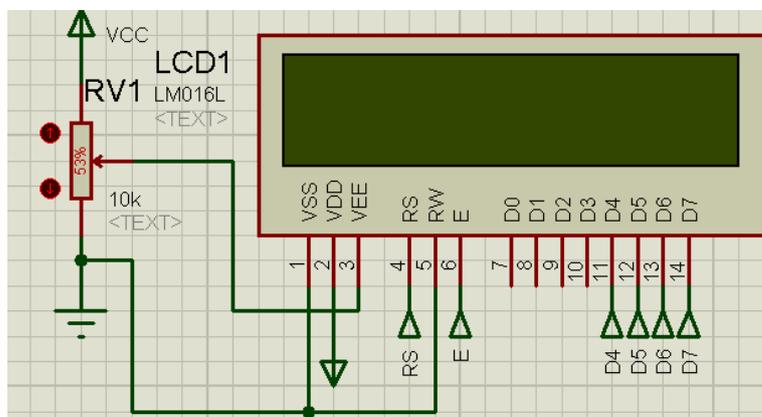


Ilustración 2. 135 Configuración del LCD

El LCD cuenta con un potenciómetro para regular su contraste, mientras que desde el microcontrolador se envían señales a los pines RS, E, D4, D5, D6, D7, de modo que se muestren los mensajes deseados.

En esta sección se ha presentado las conexiones de los principales elementos del sistema de control. El diagrama de conexiones completo con todos los elementos del sistema se encuentra en la sección de anexos.

2.3.4.3.5 Software del sistema de control

Para el diseño del software del sistema de control se ha realizado la programación del microcontrolador en BASIC, la potencialidad de este lenguaje es la de combinar comandos para aplicarlos en funciones de alto nivel, cabe recordar que todos los sistemas operativos utilizan este lenguaje, por lo que este es denominado lenguaje universal de programación.

Con este tipo de lenguaje es posible decidir qué tipo de variable vamos a utilizar, de igual forma se puede proceder a realizar diversas estructuras de control, interrupciones y varias instrucciones. Nuestra

aplicación ha sido desarrollada en BASCOM, este es un IDE (Ambiente Integrado de Desarrollo) de aplicaciones para microcontroladores de la familia AVR de ATMEL, este incluye un compilador de lenguaje de programación BASIC a código máquina. En otras palabras, es una aplicación que sirve para crear programas en lenguaje BASIC para microcontroladores AVR que permite grabar el programa en la memoria FLASH del microcontrolador. El IDE BASCOM es fabricado por la empresa MCS Electronics. (Microcontroladores, 2010)

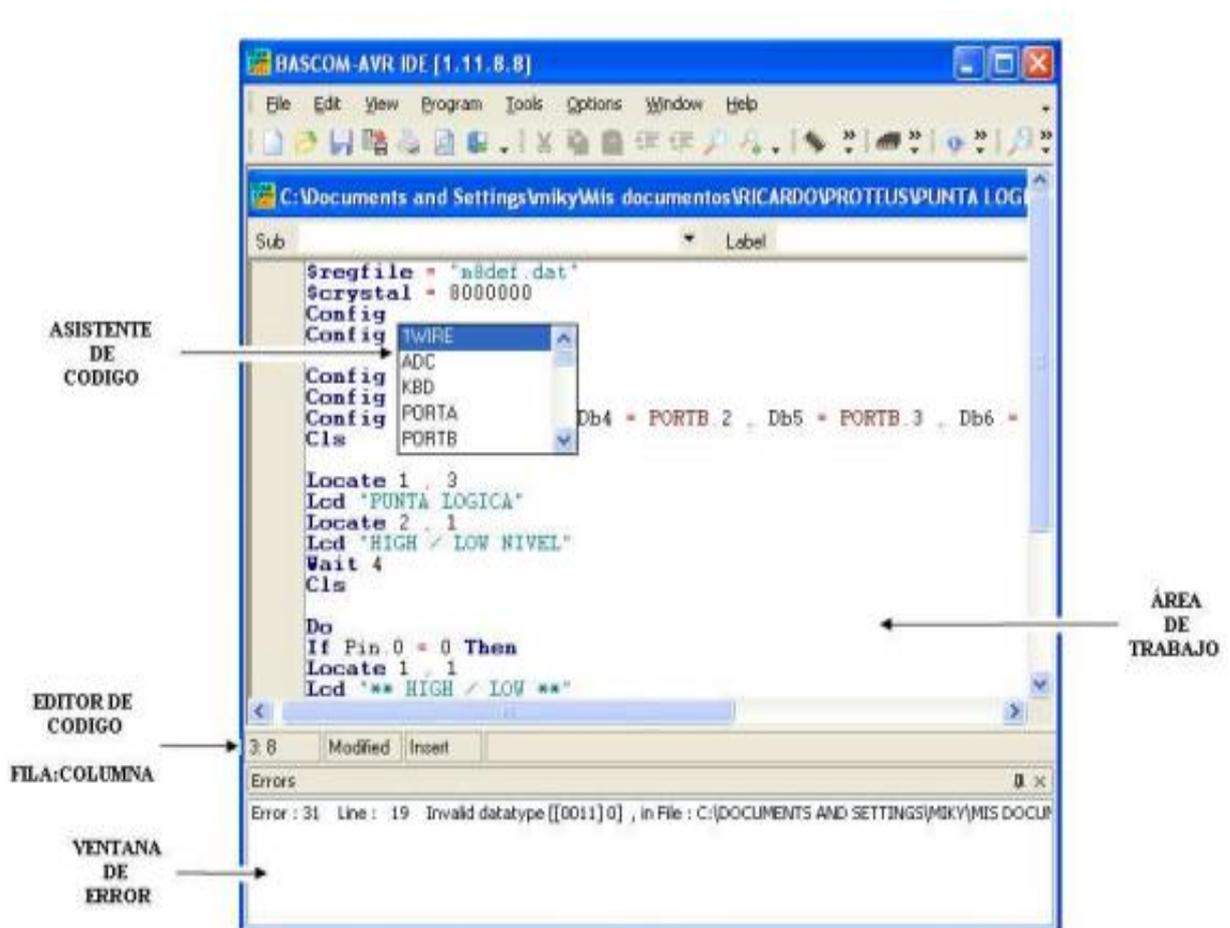


Ilustración 2. 136 Interfaz del IDE BASCOM

Fuente: (Repositorio EPN, 2010)

Para programar en BASCOM se debe definir el AVR a utilizar, en nuestro caso es el ATMEGA 164P y para nuestra aplicación se ha usado el oscilador interno de 8 MHz incorporado en el microcontrolador, una vez

definidos estos parámetros fundamentales, proseguimos a configurar los puertos (A,B,C,D) como salidas o entradas de acuerdo a nuestra conveniencia.

```

$regfile = "m164pdef.dat"
$crystal = 8000000

'CONFIGURACION DE LOS PUERTOS COMO ENTRADA O SALIDA
Config PORTA = Input

Config PORTB.0 = Input
Config PORTB.1 = Input
Config PORTB.2 = Input
Config PORTB.3 = Input
Config PORTB.4 = Input
Config PORTB.5 = Output
Config PORTB.6 = Output
Config PORTB.7 = Output

Config PORTC.0 = Output
Config PORTC.1 = Output

```

Ilustración 2. 137 Configuración de pines del microcontrolador como entrada o salida

A continuación se procede a configurar los parámetros del timer 1 para generar un PWM que nos ayudara a controlar la velocidad de los motores de las bandas transportadoras y del ascensor. Además se ha configurado los pines del LCD para que se muestren los mensajes al cliente de la máquina expendedora.

Para la señal del sensor infrarrojo que detecta las monedas se ha activado la interrupción INT0; esta interrupción permite ejecutar una subrutina en cualquier momento, sin importar el orden de la línea de código del programa principal que se está ejecutando. Es decir que cuando un cliente ingrese una moneda, el microcontrolador le dará preferencia a esa señal para ejecutar las acciones de control pertinentes al caso.

Cada pin que estamos usando del microcontrolador tiene un alias asignado, es decir un nombre específico en relación a su función dentro del

sistema de control, esto es de gran utilidad para efectos de programación, sobretodo en aplicaciones de código extenso.

```
'CONFIGURACION PARAMETROS PARA PWM
Config TIMER1 = Pwm , Pwm = 8 , Compare A Pwm = Clear Up , Compare B Pwm = Clear Up , Prescale = 1

'CONFIGURACION LCD
Config Lcd = 16 * 2
Config Lcdbus = 4
Config Lcdpin = Pin , Db4 = PORTC.1 , Db5 = PORTC.2 , Db6 = PORTC.3 , Db7 = PORTC.4 , Rs = PORTD.7 , E = PORTC.0
Cursor Off
Cls

'ACTIVACION DE LAS INTERRUPCIONES
On INTO Monedero
Enable Interrupts
Enable INTO
Config INTO = Rising

'CONFIGURACION ALIAS
S1 Alias PINA.0
S2 Alias PINA.1
S3 Alias PINA.2
```

Ilustración 2. 138 Configuración de alias, PWM, LCD y activación de interrupciones

El sistema de control implementado está basado en subprogramas o subrutinas dentro del programa principal, este artificio de programación permite obtener una mayor eficacia en la lectura y ejecución del código por parte del microcontrolador, por lo cual se declara las subrutinas necesarias y además se ha declarado las variables que se van a usar en todo el programa según su tipo (enteros, decimales, bit, etc.).

```

'DECLARACION DE SUBROUTINAS
Declare Sub Rutina_configuracion()
Declare Sub Filas()
Declare Sub Ascensor_subida()
Declare Sub Sensores()
Declare Sub Ascensor_bajada()
Declare Sub Apagado_de_motores()
Declare Sub Bandas()
Declare Sub Final()
Declare Sub Inicio()
Declare Sub Cont_monedas()
Declare Sub Cred_comp()
Declare Sub Motor_trampa()
Declare Sub Piso_inferior()
Declare Sub Sensor_puerta()

'CONFIGURACION DE VARIABLES
Dim Contador As Integer
Dim Monedas As Integer
Dim Tmensaje As Integer
Dim Transformacion As Single
Dim Tpulso As Integer
Dim Tespera As Integer
Dim Tmotor As Integer
Dim Tproducto As Integer
Dim Valor As Single
Dim Credito As Integer
Dim Contadorprom As Integer
Dim Transformacionprom As Single
Dim A As Bit , B As Bit , C As Bit , D As Bit
Dim W As Bit , Y As Bit , Z As Bit

```

Ilustración 2. 139 Declaración de subrutinas y variables

Para cumplir con las especificaciones de diseño se ha implementado una subrutina de configuración, donde mediante pulsadores se puede seleccionar el valor del crédito y el número de créditos, al determinar estos parámetros el programa automáticamente guarda estos datos en la memoria EEPROM del microcontrolador para que el sistema trabaje siempre con estos valores, a menos que se cambie la configuración.

```

Rutina_configuracion:
Locate 1 , 1
Lcd "Num. creditos: " ; Contador
Locate 2 , 1
Lcd "V. credito : " ; Fusing(transformacion , "#.##")
Waitms 90
  If Conf_contador = 1 Then
    Incr Contador
    Waitms Tpulso
    If Contador = 10 Then
      Contador = 0
    End If
  Writeeprom Contador , &H00
  Contadorprom = Contador
  End If

  If Conf_vcredito = 1 Then
    Incr Credito
    Waitms Tpulso
    If Credito = 1 Then
      Transformacion = 0.25
    End If
    If Credito = 2 Then
      Transformacion = 0.50
    End If
    If Credito = 3 Then
      Transformacion = 1.00
    End If
    If Credito >= 4 Then
      Credito = 0
    End If
  Writeeprom Transformacion , &H50
  Transformacionprom = Transformacion
  End If
Return

```

Ilustración 2. 140 Programación de la rutina de configuración

A continuación presentamos parte del código del programa principal, en el cual se llama a cada subrutina para su ejecución dependiendo de las condiciones de control. El programa principal se encuentra dentro de una sentencia DO-LOOP, lo cual permite que el código sea reiterativo, es decir que puede ejecutarse cada que las condiciones de control lo ameriten.

```

PROGRAMA PRINCIPAL
*****
Do
If Configuracion = 0 Then
    If Monedas = 0 AND A = 0 Then
        Call Inicio
    End If
    If Monedas <> 0 AND A = 0 AND Z = 0 Then
        Call Cont_monedas
    End If

    If Contador > 0 AND Monedas >= Contador AND Y = 0 Then
        Call Cred_comp
        Luz = 1
        Call Filas
    End If

    If A = 1 Then
        Call Ascensor_subida
    End If

    If B = 1 Then
        Call Sensores
    End If

    If C = 1 Then
        Call Bandas
    End If

```

Ilustración 2. 141 Extracto del programa principal basado en subrutinas

Para grabar el programa en el microcontrolador se procede a compilarlo, consecuentemente se crea un archivo con extensión .hex en lenguaje máquina para ser grabado en la memoria flash del microcontrolador.

2.3.4.3.6 Alimentación eléctrica

Para la alimentación eléctrica de la máquina expendedora de pastelillos se requiere de dos tipos de corriente:

- ✓ Alterna
- ✓ Continua

La corriente alterna es requerida para la alimentación de la luz en el interior de la máquina y para el ventilador de la parte superior de la estructura. Para estos elementos bastará con la alimentación eléctrica doméstica puesto que los requerimientos son 110VAC con frecuencia de 60Hz.

La máquina debe contar con una segunda fuente de corriente continua, es decir que transforme los 110 voltios de corriente alterna a corriente continua, a los valores de voltaje que se muestran a continuación:

Tabla 2. 18 Requerimientos de la fuente de corriente continua

Voltaje DC (voltios)	Corriente continua (A)	Propósito
5	1	Parte de control
12	4	Parte de potencia

2.3.4.3.7 Cableado eléctrico/electrónico

Para determinar el diámetro y la sección de los conductores que transportan la energía eléctrica hasta los diferentes dispositivos, actuadores y sensores de nuestro sistema de control presentamos como precedente la tabla de conductores normalizados AWG, que es el estándar americano para dimensionamiento de un conductor en función de la corriente que atravesara el mismo.

Tabla 2. 19 Valores normalizados de cables AWG

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Número espiras por cm.	Kg. por Km.	Resistencia (Ω/Km.)	Capacidad (A)
0000	11,86	107,2			0,158	319
000	10,40	85,3			0,197	240
00	9,226	67,43			0,252	190
0	8,252	53,48			0,317	150
1	7,348	42,41		375	1,40	120
2	6,544	33,63		295	1,50	96
3	5,827	26,67		237	1,63	78
4	5,189	21,15		188	0,80	60
5	4,621	16,77		149	1,01	48
6	4,115	13,30		118	1,27	38
7	3,665	10,55		94	1,70	30
8	3,264	8,36		74	2,03	24
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
10	2,588	5,26		46,8	3,23	15
11	2,305	4,17		32,1	4,07	12
12	2,053	3,31		29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63		23,3	6,49	7,5

Continua 

14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,150	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2,0
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6
21	0,7230	0,41	12,8	3,64	41,46	1,2
22	0,6438	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92
23	0,5733	0,26	16,0	2,29	56,4	0,73
24	0,5106	0,20	18,0	1,82	85,0	0,58
25	0,4547	0,16	20,0	1,44	106,2	0,46
26	0,4049	0,13	22,8	1,14	130,7	0,37
27	0,3606	0,10	25,6	0,91	170,0	0,29
28	0,3211	0,08	28,4	0,72	212,5	0,23
29	0,2859	0,064	32,4	0,57	265,6	0,18
30	0,2546	0,051	35,6	0,45	333,3	0,15
31	0,2268	0,040	39,8	0,36	425,0	0,11
32	0,2019	0,032	44,5	0,28	531,2	0,09
33	0,1798	0,0254	56,0	0,23	669,3	0,072

Continua 

34	0,1601	0,0201	56,0	0,18	845,8	0,057
35	0,1426	0,0159	62,3	0,14	1069,0	0,045
36	0,1270	0,0127	69,0	0,10	1338,0	0,036
37	0,1131	0,0100	78,0	0,089	1700,0	0,028
38	0,1007	0,0079	82,3	0,070	2152,0	0,022
39	0,0897	0,0063	97,5	0,056	2696,0	0,017
40	0,0799	0,0050	111,0	0,044	3400,0	0,014
41	0,0711	0,0040	126,8	0,035	4250,0	0,011
42	0,0633	0,0032	138,9	0,028	5312,0	0,009
43	0,0564	0,0025	156,4	0,022	6800,0	0,007
44	0,0503	0,0020	169,7	0,018	8500,0	0,005

Fuente: (Electrónica fácil, 2014)

Para seleccionar los conductores se ha realizado mediciones directamente en el circuito con los respectivos elementos para determinar la corriente que se está manejando y de esta forma seleccionar el calibre de cable AWG adecuado.

Tabla 2. 20 Selección de cableado AWG

Especificación de cableado	Medición de corriente	Selección de conductor AWG	Diámetro en mm del conductor
Cableado de interruptores magnéticos	0.35 A	Conductor 24 AWG contenido en cable UTP	0,5106
Cableado de pulsadores con luz piloto	0.3 A	Conductor 24 AWG contenido en cable UTP	0,5106
Cableado de motores con caja reductora 12VDC	1.2 A (picos máximos de corriente)	Conductor 21 AWG	0,7230
Cableado de motor 12VDC	3.7 A	Conductor 16 AWG	1,291
Cableado de LCD	0.2 A	Conductor 27 AWG en bus de datos	0,3606
Cableado de sensor infrarrojo	0.1 A	Conductor 24 AWG contenido en cable UTP	0,5106
Cable de alimentación AC	2 A aprox.	Conductor 18 AWG	1,024
Otros		Conductor 24 AWG contenido en cable UTP	0,5106

2.3.4.4 Simulaciones del sistema de control

La simulación de nuestro sistema de venta automática ha sido realizada en el software de Proteus 7.7, a continuación se presenta las pantallas capturadas del mismo.

Mientras este encendido el sistema, la pantalla LCD mostrara un mensaje de bienvenida para el cliente.



Ilustración 2. 142 Pantalla de bienvenida del sistema

Cuando el cliente ingresa el crédito necesario para realizar una compra aparece la siguiente pantalla y se enciende la luz piloto del nivel que se haya seleccionado.

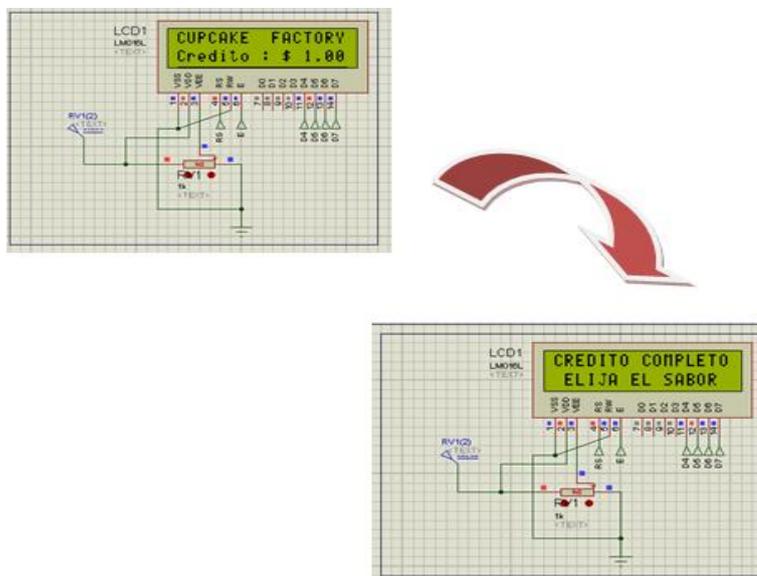


Ilustración 2. 143 Pantalla de credito y selección del pastelillo

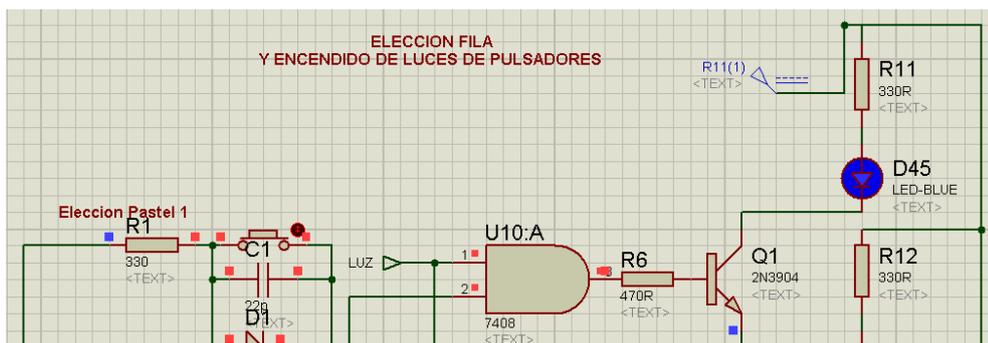


Ilustración 2. 144 Luz piloto del nivel del pastelillo seleccionado

Al seleccionar el pastelillo el LCD mostrara un mensaje que indica que la compra se esta procesando, mientras la banda transportadora entra en funcionamiento y tambien el ascensor para transportar el producto hacia la zona de entrega del pastelillo al cliente.



Ilustración 2. 145 Mensaje de compra en proceso

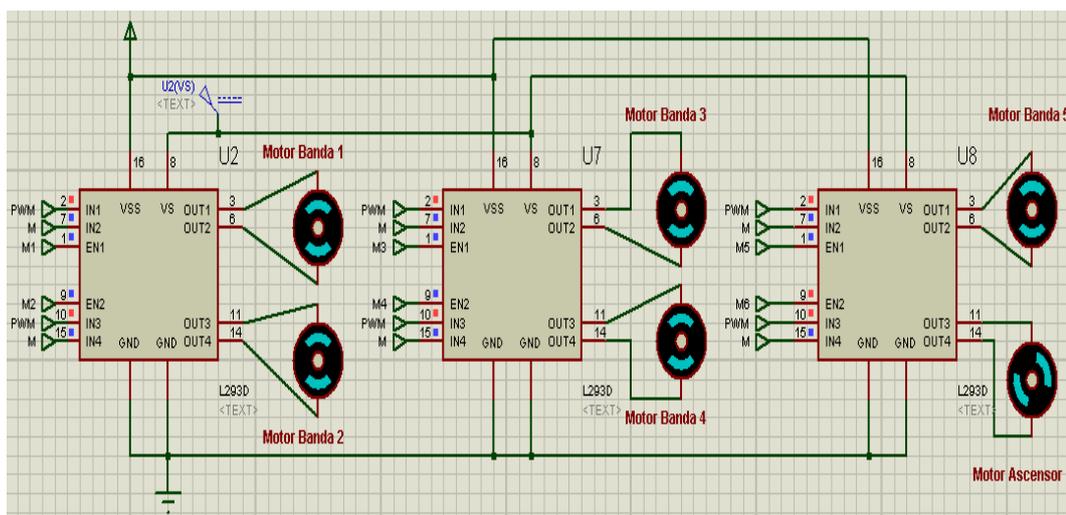


Ilustración 2. 146 Activación de motores de bandas transportadoras y ascensor

Una vez que el pastelillo se encuentra disponible para el cliente, se activara el motor que asegura la puerta de expendio para permitir al cliente que la abra y tome su producto, además se podrá observar el siguiente mensaje en la pantalla LCD.



Ilustración 2. 147 Mensaje para retirar el producto.

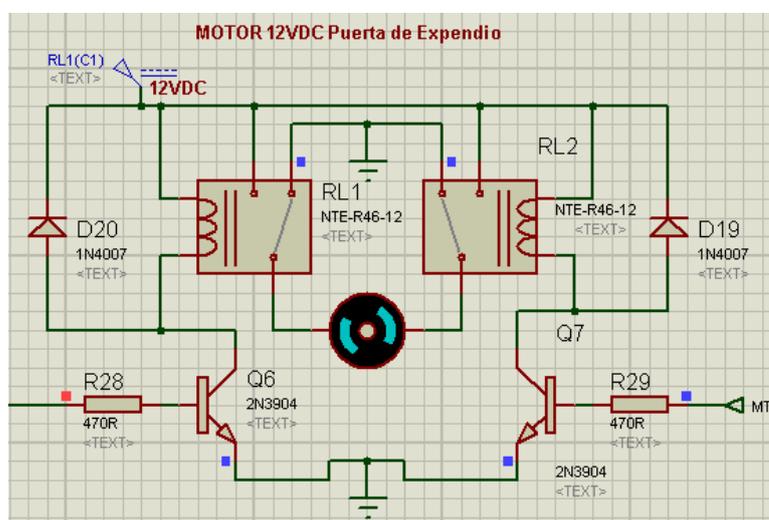


Ilustración 2. 148 Activación del motor para abrir la compuerta externa

Después de un tiempo de espera del sistema, para que el cliente retire su producto, se asegurara nuevamente la compuerta externa a través del motor 12VDC y el LCD mostrara un mensaje cordial al cliente.



Ilustración 2. 149 Mensaje al final de la compra

De esta manera se finaliza el proceso de venta automática y el sistema queda disponible para realizar nuevas ventas. Cabe recalcar que controlando la apertura de la compuerta externa mediante el sistema de control estamos brindando una opción de seguridad y robustez al prototipo, cumpliendo una de las especificaciones funcionales.

Se ha simulado también, la opción de configuración para determinar el número de créditos y el valor de cada crédito mediante pulsadores. En el valor del crédito se puede seleccionar entre 0.25, 0.50 y 1.0 (valor en dólares de monedas que circulan en el país), mientras que, para determinar el número de créditos que la máquina debe aceptar para realizar una venta se puede seleccionar entre números del 1 al 9. Estos parámetros de configuración son totalmente programables en el microcontrolador.



Ilustración 2. 150 Configuración del valor y numero de credits

2.3.4.5 Diseño de PCB

El principal documento que cubre el diseño de PCB es el IPC-2221. Esta norma reemplazó al antiguo estándar IPC-D-275 (también Std 275 Militar) que ha sido usado durante medio siglo. Algunos países también tienen sus propios y variados estándares para muchos aspectos del diseño y fabricación de PCB pero por lo general las normas del IPC, son aceptadas como normas industriales alrededor de todo el mundo.

Para el diseño del PCB se ha considerado la norma IPC2221:

Pistas o conductores:

El ancho de la pista será determinado por el flujo de corriente que circulará por ésta y la máxima temperatura que se deberá disipar; se debe recordar, que cada pista tiene una cierta cantidad de resistencia y que ésta disipará el calor como tal; de la misma manera que la placa o cualquier punto de la suelda.

Los cálculos basados en el valor de la corriente y la máxima temperatura para determinar el ancho de las pistas son bastante complejos e inexactos. Fueron establecidos en base a una serie de mediciones y gráficas no lineales recogidas durante casi un medio siglo.

Corriente (Amp)	Ancho de la pista para placas de		Resistencia mΩ/plg
	1 oz (mils)	2 oz (mils)	
1	10	5	52
2	30	15	17.2
3	50	25	10.3
4	80	40	6.4
5	110	55	4.7
6	150	75	3.4
7	180	90	2.9
8	220	110	2.3
9	260	130	2.0
10	300	150	1.7

**Ilustración 2. 151 Relación entre la corriente y el ancho de pista
(mil=milésima de pulgada)**

Fuente: (Repositorio ESPE, 2014)

El espesor de una placa de cobre en diseños PCB, se especifica normalmente en onzas por pie cuadrado, siendo el de una onza el más

común. En el mercado también se encontrará placas de 0.5 [oz], 2 [oz] y 4 [oz] de espesor. Es recomendable utilizar las placas de mayor espesor para corrientes altas.

Pads:

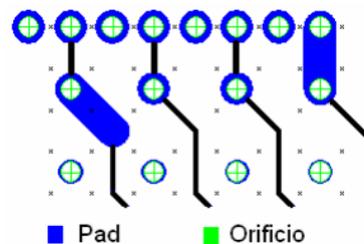


Ilustración 2. 152 Relación entre el tamaño del orificio y el pad

Fuente: (Repositorio ESPE, 2014)

Hay un parámetro importante conocido como la relación del pad/hole. Ésta es la relación del tamaño del pad y el tamaño del orificio de perforación. Cada fabricante tendrá su propia especificación mínima para esto. Una regla muy útil establece que el pad debe ser por lo menos 1.8 veces el diámetro del orificio; o por lo menos 0.5mm más grande.

Distancia entre conductores eléctricos (clearance):

Las distancias entre componentes eléctricos es muy importante a la hora de diseñar un PCB; pistas o conductores muy juntos tienen alto riesgo de provocar un cortocircuito o tal vez una señal errónea para el sistema. La norma IPC2221 nos muestra una tabla de espacios recomendados entre conductores eléctricos de un PCB que presentamos en la ilustración siguiente.

Voltage Between Conductors (DC or AC Peaks)	Minimum Spacing						
	Bare Board				Assembly		
	B1	B2	B3	B4	A5	A6	A7
0-15	0.05 mm	0.1 mm	0.1 mm	0.05 mm	0.13 mm	0.13 mm	0.13 mm
16-30	0.05 mm	0.1 mm	0.1 mm	0.05 mm	0.13 mm	0.25 mm	0.13 mm
31-50	0.1 mm	0.6 mm	0.6 mm	0.13 mm	0.13 mm	0.4 mm	0.13 mm
51-100	0.1 mm	0.6 mm	1.5 mm	0.13 mm	0.13 mm	0.5 mm	0.13 mm
101-150	0.2 mm	0.6 mm	3.2 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.4 mm
151-170	0.2 mm	1.25 mm	3.2 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.4 mm
171-250	0.2 mm	1.25 mm	6.4 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.4 mm
251-300	0.2 mm	1.25 mm	12.5 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.8 mm	0.8 mm
301-500	0.25 mm	2.5 mm	12.5 mm	0.8 mm	0.8 mm	1.5 mm	0.8 mm
> 500 See para. 6.3 for calc.	0.0025 mm /volt	0.005 mm /volt	0.025 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt

B1 - Internal Conductors
 B2 - External Conductors, uncoated, sea level to 3050 m
 B3 - External Conductors, uncoated, over 3050 m
 B4 - External Conductors, with permanent polymer coating (any elevation)
 A5 - External Conductors, with conformal coating over assembly (any elevation)
 A6 - External Component lead/termination, uncoated
 A7 - External Component lead termination, with conformal coating (any elevation)

Ilustración 2. 153 Espacio entre conductores eléctricos de un PCB

Fuente: (IPC 2221)

Tamaño Estandarizado de PCB:

Según la norma IPC 2221 se muestra diferentes formatos estandarizados del tamaño de un PCB, estos se nombran asignándoles una letra y un número de acuerdo a las dimensiones de largo y ancho que pueden tomar los circuitos impresos, en nuestro caso se ha tomado el tamaño B2 (170mm x 120mm).

Board No.	Printed Board Size ± 0.4 [0.016]
A1	80 x 60 [3.15 x 2.36]
A2	80 x 120 [3.15 x 4.724]
A3	80 x 180 [3.15 x 7.087]
A4	80 x 240 [3.15 x 9.449]
B1	170 x 60 [6.693 x 2.36]
B2	170 x 120 [6.693 x 4.724]
B3	170 x 180 [6.693 x 7.087]
B4	170 x 240 [6.693 x 9.449]
C1	260 x 60 [10.24 x 2.36]
C2	260 x 120 [10.24 x 4.724]

Extractor Hole Size
 3 ± 0.10 [0.12 \pm 0.00394]

Ilustración 2. 154 Tamaños estandarizados del PCB

Fuente: (IPC 2221)

La norma IPC 2221 contiene especificaciones explícitas sobre como diseñar y como realizar el montaje de los elementos en un circuito impreso, debido a su extensión hemos mencionado solamente los aspectos más relevantes, sin embargo a continuación citamos una lista de consideraciones que hemos tomado en cuenta para diseñar y ensamblar nuestra placa de circuitos impresa.

- ✓ El circuito a implementar en un PCB debe ser probado antes en protoboard para verificar funcionamiento y parámetros de funcionamiento.
- ✓ Se debe contar con el diseño esquemático donde consten todas las conexiones a realizar

- ✓ Debe contar con protecciones eléctricas, generalmente fusibles que protegen los elementos electrónicos/eléctricos.
- ✓ Se debe tomar en cuenta la relación de “pad-hole” adecuada, así como las distancias entre conductores.
- ✓ Para enviar a fabricar la placa electrónica se debe especificar el tamaño y material, a continuación se muestra un cuadro de características de algunos materiales comunes.

TIPO	MATERIAL BASE	CARACTERISTICAS PRINCIPALES
FR-2	Papel laminado impregnado de resina fenólica retardante de llama	Bajo costo Aplicaciones electrónica de consumo
FR-4	Capas laminadas de fibras de vidrio, impregnadas de resina epoxidica	Costo aceptable Es el material más utilizado
CEM-1	Material formado por láminas de papel impregnadas de resina epóxica y recubiertas en ambas caras por láminas de vidrio impregnadas de resina de la misma clase.	Costo menor al fr-4 superior al fr-2 Material poco duradero Se utiliza en electrónica profesional
CEM-3	Material formado por fibra de vidrio impregnada por resina.	Material más duradero que el cem-1

Ilustración 2. 155 Materiales de placas para circuitos impresos

Fuente: (Uned, 2014)

- ✓ Dedicar diferentes áreas del PCB a la parte de control y a la parte de potencia o realizar placas individuales para control y potencia.
- ✓ Definir el número de capas que tendrá el diseño del PCB, tomando en cuenta que mientras más capas tenga el diseño se podrá optimizar el tamaño de la placa.
- ✓ Especificar ancho de pista o conductor para cada conexión, verificando las corrientes que pasan a través de las pistas
- ✓ El diseño debe ser impreso en tamaño real, ya que una reducción o ampliación puede anular el diseño, porque que los componentes no podrán ser ensamblados en la placa.
- ✓ Generar una lista de todos los componentes
- ✓ La placa electrónica debe contener un plano de tierra

- ✓ Evitar soldaduras frías y verificar continuidad después de soldar componentes.
- ✓ Ubicar los circuitos integrados longitudinalmente de acuerdo al lado mayor de la placa.
- ✓ Ubicar componentes de conexión externa (borneras) en los lados extremos de la placa para facilitar conexiones.
- ✓ Los componentes de potencia deben tener disipadores de calor.
- ✓ Los agujeros de fijación (Agujeros con fines mecánicos de sujeción de placa) tienen un diámetro mínimo de 3.2mm.

Las principales características de nuestro circuito impreso son las siguientes:

Tabla 2. 21 Parametros del diseño del PCB

Características del diseño del PCB	
Relación Pad-orificio	1,8:1 mínimo
Ancho de pista	Control (10 mils mín.) Potencia (80 mils mín.)
Diámetro de agujeros de sujeción	3 mm
Material de la placa	FR4
Tamaño de la placa	170 x 120mm (B2)
Distancia mínima entre pistas	0.05 mm mínimo
Plano de Tierra	Si
Capa antisolder	Si
Número de capas de diseño	2
Impresión del diseño de componentes sobre la placa	Si

De acuerdo a los parámetros anteriores y a la norma IPC 2221 se ha diseñado el PCB y a continuación se muestra el diseño en 3D.

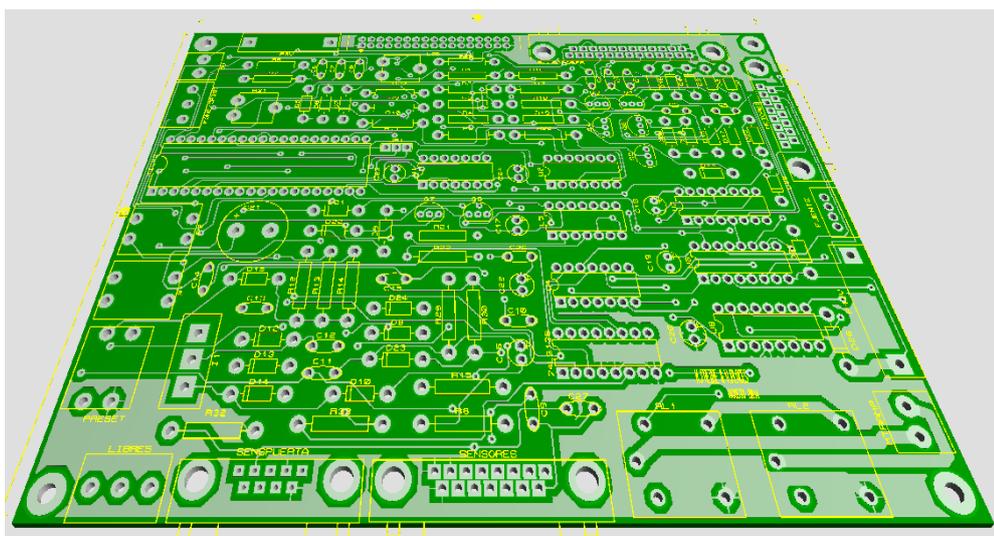


Ilustración 2. 156 Diseño del PCB en 3D (Software ARES)

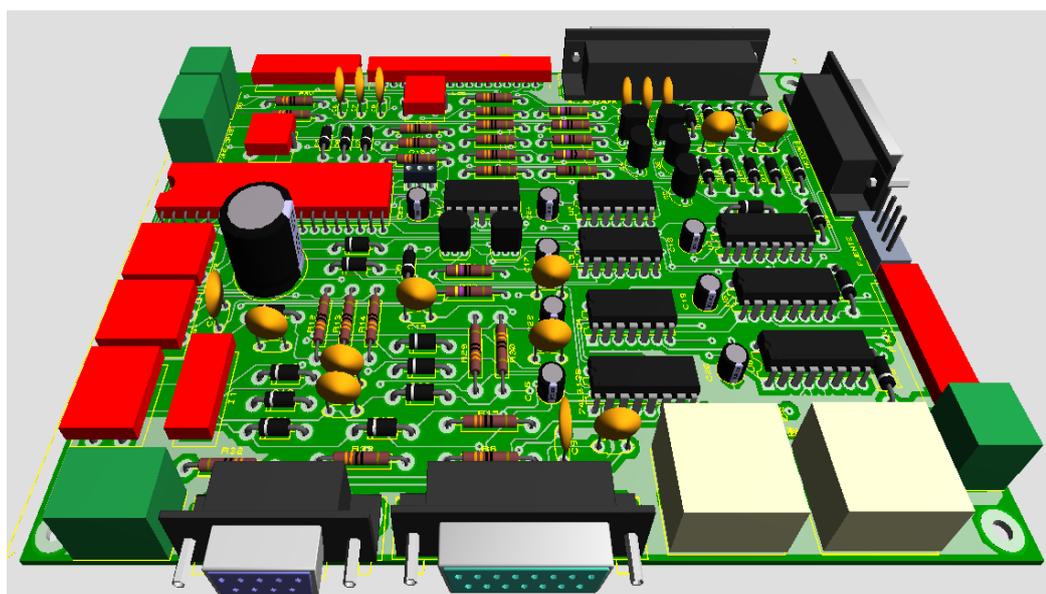


Ilustración 2. 157 Implementación de componentes en el PCB (Software ARES)

CAPITULO III

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

El presente capítulo comprende las pruebas realizadas al prototipo tanto de dimensionamiento y funcionales para detectar problemas y aplicar los correctivos necesarios. Las pruebas serán realizadas de forma modular y en conjunto, determinando el porcentaje de error en las pruebas cuantitativas.

3.1. Pruebas

Se realizó pruebas a cada uno de los módulos para detectar problemas y poder solucionarlos, tanto los problemas modulares como los problemas del conjunto.

3.1.1. Pruebas de dimensionamiento

Es importante recalcar que estas pruebas fueron realizadas a los sistemas mas no a las piezas que lo conforman, el objetivo de estas pruebas es comparar la medida de los sistemas en el diseño y una vez construidas; para saber si al ensamblar todo el conjunto ocurrirán problemas debido al tamaño de algún sistema.

SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL

Las pruebas de dimensionamiento se hicieron en primera instancia al sistema de desplazamiento horizontal obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3. 1 Dimensiones del sistema de desplazamiento horizontal de acuerdo al diseño

Medida [mm]	
Longitud	740
Alto	80
Ancho	250,2

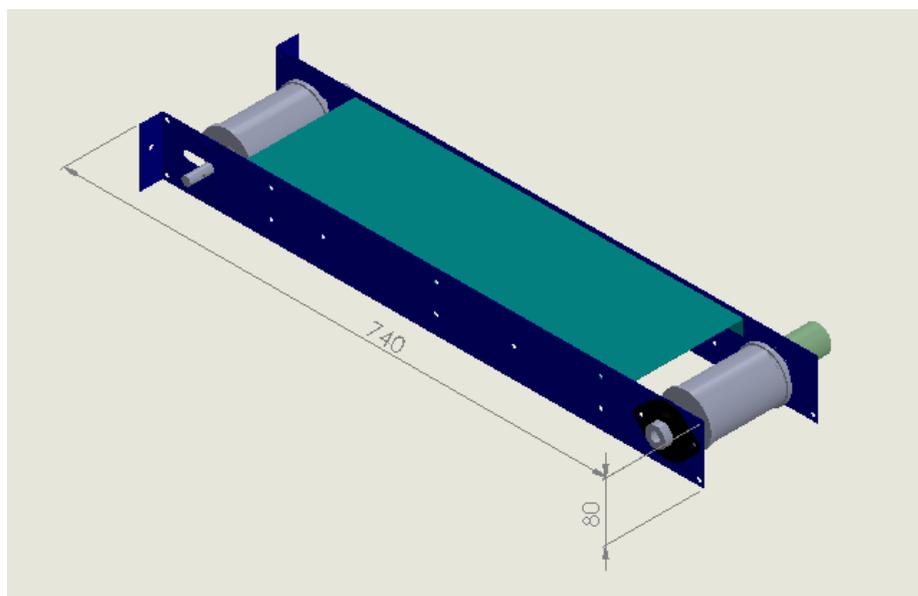


Ilustración 3. 1 Medidas de la banda transportadora

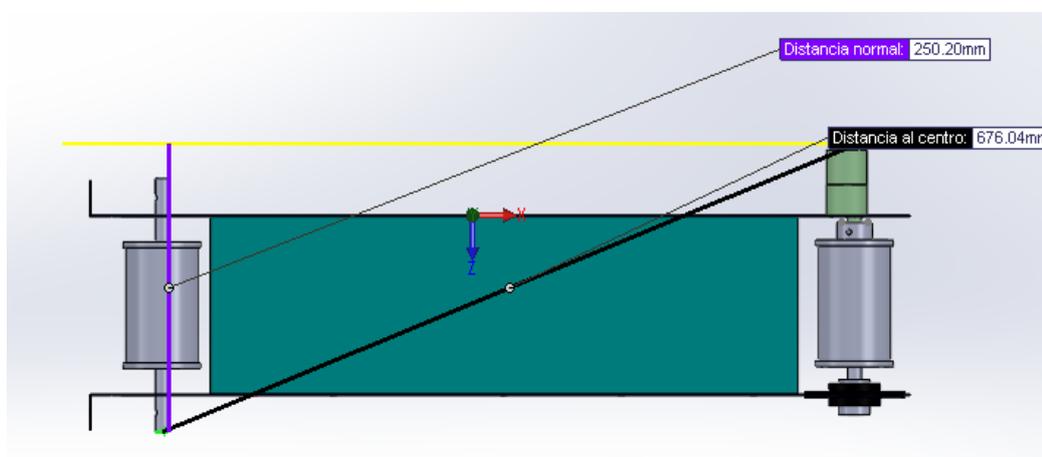


Ilustración 3. 2 Medida del ancho de la banda transportadora de acuerdo al diseño

Ahora tomamos las mismas medidas en cada una de las bandas transportadoras construidas:

Banda 1

Tabla 3. 2 Dimensiones de la banda transportadora 1 construida

Medida [mm]	
Longitud	746
Alto	81
Ancho	257

Banda 2

Tabla 3. 3 Dimensiones de la banda transportadora 2 construida

Medida [mm]	
Longitud	742
Alto	80
Ancho	257

Banda 3

Tabla 3. 4 Dimensiones de la banda transportadora 3 construida

Medida [mm]	
Longitud	741
Alto	82
Ancho	261

Banda 4

Tabla 3. 5 Dimensiones de la banda transportadora 4 construida

Medida [mm]	
Longitud	742
Alto	80
Ancho	261

Banda 5

Tabla 3. 6 Dimensiones de la banda transportadora 5 construida

Medida [mm]	
Longitud	742
Alto	82
Ancho	255

Una vez tomadas las medidas de las cinco bandas transportadoras, las analizaremos en base a las medidas planteadas en el diseño:

Tabla 3. 7 Tabla de variaciones entre las medidas de diseño y las medidas reales del sistema

VARIACIONES ENTRE LAS MEDIDAS [mm]					
	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Longitud	6	2	1	2	2
Alto	1	0	2	0	2
Ancho	6,8	6,8	10,8	10,8	4,8

A continuación calculamos el error porcentual cometido con la siguiente expresión matemática:

$$e[\%] = \frac{V_{\text{real}} - V_{\text{medido}}}{V_{\text{real}}} * 100\%$$

Tabla 3. 8 Errores porcentuales de las medidas del sistema de desplazamiento horizontal

ERRORES PORCENTUALES DE LAS MEDIDAS [%]					
	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Longitud	0,8	0,27	0,13	0,27	0,27
Alto	1,25	0	2,5	0	2,5
Ancho	2,7	2,7	4,3	4,3	1,9

Como observamos en la tabla anterior la falta de precisión en la construcción de las bandas transportadoras han ocasionado un error desde el 0,13% hasta el 4,3%

Las medidas de las bandas transportadoras son importantes para compararlas con las medidas de las bandejas, ya que se van a ubicar allí, por lo cual procedemos a realizar las mismas pruebas a las bandejas del armario principal.

Tabla 3. 9 Dimensiones de las bandejas en el armario principal

Medida [mm]	
Longitud	750
Alto	80
Ancho	288

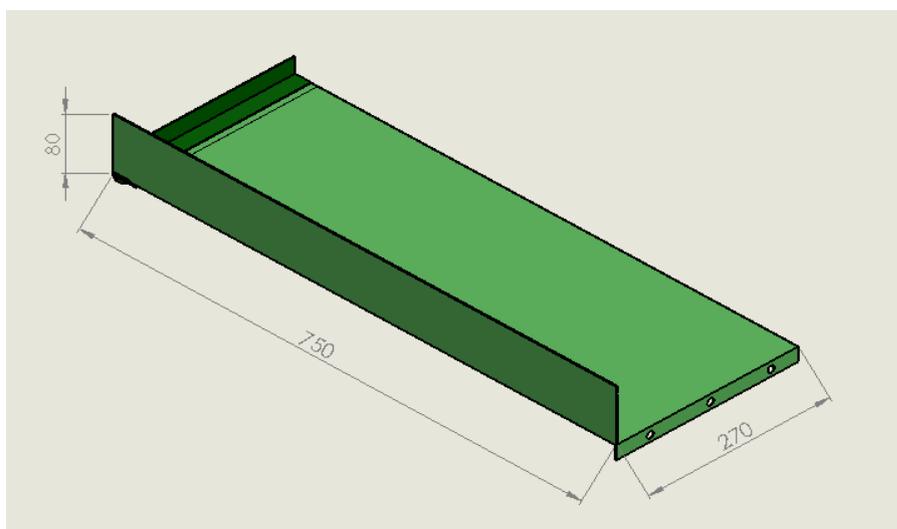


Ilustración 3. 3 Medidas de la bandeja de acuerdo al diseño

Y a continuación se muestra las medidas reales de las bandejas en la carcasa.

Bandeja 1

Tabla 3. 10 Dimensiones de la bandeja 1

	Medida [mm]
Longitud	756
Alto	82
Ancho	274

Bandeja 2

Tabla 3. 11 Dimensiones de la bandeja 2

	Medida [mm]
Longitud	753
Alto	82
Ancho	274

Bandeja 3

Tabla 3. 12 Dimensiones de la bandeja 3

	Medida [mm]
Longitud	752
Alto	82
Ancho	270

Bandeja 4

Tabla 3. 13 Dimensiones de la bandeja 4

	Medida [mm]
Longitud	753
Alto	82
Ancho	273

Bandeja 5

Tabla 3. 14 Dimensiones de la bandeja 5

	Medida [mm]
Longitud	753
Alto	81
Ancho	272

Una vez tomadas las medidas de las cinco bandejas, las analizaremos en base a las medidas planteadas en el diseño:

Tabla 3. 15 Tabla de variaciones entre las medidas de diseño y las medidas reales del sistema

VARIACIONES ENTRE LAS MEDIDAS [mm]					
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Bandeja 4	Bandeja 5
Longitud	6	3	2	3	2
Alto	2	2	2	2	2
Ancho	4	4	0	3	2

Tabla 3. 16 Errores porcentuales de las medidas en las bandejas

ERRORES PORCENTUALES DE LAS MEDIDAS [%]					
	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Bandeja 4	Bandeja 5
Longitud	0,8	0,4	0,26	0,4	0,26
Alto	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Ancho	1.48	1.48	0	1.1	0.74

Los errores cometidos en la construcción de las bandejas del armario son bajos, y las medidas reales de las mismas son mayores a las medidas de las bandas transportadoras que se van a colocar allí, por lo cual son aceptables para el prototipo.

SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL

Para el sistema de desplazamiento vertical se tomarán las mismas consideraciones que para el sistema de desplazamiento horizontal.

Tabla 3. 17 Dimensiones del sistema de desplazamiento vertical de acuerdo al diseño

Medida [mm]	
Longitud	250
Alto	1695
Ancho	250

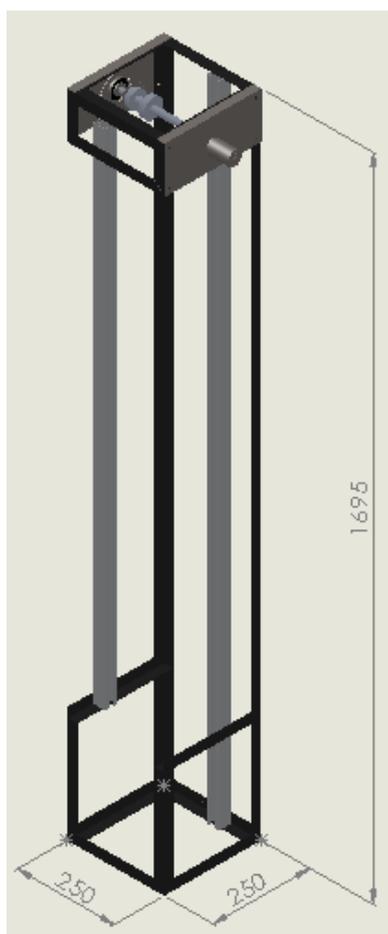


Ilustración 3. 4 Medidas del sistema de desplazamiento vertical de acuerdo al diseño

Ahora comparamos las medidas de diseño con las medidas reales del sistema de desplazamiento vertical.

Tabla 3. 18 Dimensiones del sistema de desplazamiento vertical construido

Medida [mm]	
Longitud	253
Alto	1690
Ancho	248

Tabla 3. 19 Tabla de variaciones entre las medidas de diseño y las medidas reales del sistema de desplazamiento vertical

VARIACIONES ENTRE LAS MEDIDAS [mm]	
Longitud	3
Alto	5
Ancho	2

Tabla 3. 20 Errores porcentuales de las medidas en el sistema de desplazamiento vertical

ERRORES PORCENTUALES DE LAS MEDIDAS [%]	
Longitud	1.2
Alto	0.3
Ancho	0.8

La medida más crítica para este sistema es su longitud y su ancho, por la forma y medidas de su espacio correspondiente en el armario principal, que tienen las siguientes medidas:

Tabla 3. 21 Dimensiones del espacio para el sistema de desplazamiento vertical

Medida [mm]	
Longitud	285
Alto	1755
Ancho	440

De acuerdo a las tablas mostradas observamos que el espacio destinado para el sistema de desplazamiento vertical es mayor dimensionalmente ante el sistema, por lo cual es posible su ubicación en este espacio.

3.1.2. Pruebas funcionales

Las pruebas funcionales se han realizado con los sistemas mecánicos totalmente construidos y con el diseño electrónico del sistema de venta automática implementado en protoboard, debido a que la placa electrónica profesional será fabricada luego de esta sección de pruebas, para aplicar cualquier correctivo necesario en la parte electrónica.

A continuación se realizó pruebas a cada sistema para observar su funcionamiento y poder corregir errores.

3.1.2.1. Pruebas del sistema de desplazamiento horizontal

En el sistema de desplazamiento horizontal se realizaron varias pruebas que se detallan a continuación:

1) Funcionamiento con sobre carga:

La primera prueba realizada en el sistema de desplazamiento horizontal fue colocar sobre la banda transportadora una carga mucho más alta que la carga de trabajo.

La carga que va a estar soportando continuamente la banda transportadora es el peso de los cuatro pastelillos que se ubicarán en ella (9,81 [N]), sin embargo para esta prueba se colocó varios pesos. Cabe mencionar que las pruebas que se mostrarán posteriormente se realizaron con las mismas condiciones, y éstas se detallan a continuación:

Tabla 3. 22 Condiciones para las pruebas de las bandas transportadoras

Condiciones	Valor
Voltaje de alimentación al motor	12 [V]
Corriente en la fuente de alimentación	8 [A]
Posición (distribución) de la carga	puntual
Inclinación de la banda transportadora	0°

Tabla 3. 23 Pruebas realizadas con carga a la banda transportadora

PESOS [N]	FUNCIONA	OBSERVACIONES
19,62	SI	La banda transportadora funciona sin problema
49,05	SI	La banda transportadora funciona sin problema
98,1	SI	Debido al aumento de carga la velocidad de la banda disminuye aunque la fuente de alimentación no ha cambiado
147,15	SI	La banda transportadora funciona pero el ruido del motor al ser accionado ha aumentado, debido a que la carga en la banda demanda un torque mayor para que funcione el sistema
196,2	NO	El torque del motor no es suficiente para movilizar esta carga en la banda transportadora.

2) Velocidad tangencial de la banda:

Otro aspecto a definir es la velocidad tangencial del motor de la banda transportadora, ya que si se alimenta directamente con 12 voltios el desplazamiento y la caída de los pastelillos es muy rápida y podrían sufrir algún daño, como ya se mencionó en el capítulo anterior la forma de variar la velocidad de un motor DC es variar el valor del PWM (%), y con ello la potencia del motor, para determinar la velocidad más adecuada se realizó pruebas variando el valor del PWM y observando con que valor el deslizamiento del pastelillo es el más adecuado.



Ilustración 3. 5 Pruebas de velocidad de las bandas transportadoras

Tabla 3. 24 Resultados de las pruebas de velocidad tangencial de la banda transportadora

VELOCIDAD (RPM)	PWM (%)	OBSERVACIÓN
ACEPTABLE / NO ACEPTABLE		
≤40	≤50	NO ACEPTABLE
48	60	ACEPTABLE
56	70	ACEPTABLE
64	80	ACEPTABLE
72	90	NO ACEPTABLE
80	100	NO ACEPTABLE

Las bandas tienen un rango de velocidad aceptable con un PWM entre el 60% y 80%, se recomienda usar un 70% de PWM.

3) Tiempo para la dispensación de un producto:

Una vez determinada la velocidad más adecuada para el funcionamiento de la banda transportadora se debe definir el tiempo que toma un pastelillo en desplazarse desde la banda hasta la cabina receptora, para controlar este tiempo de activación de cada banda mediante software.

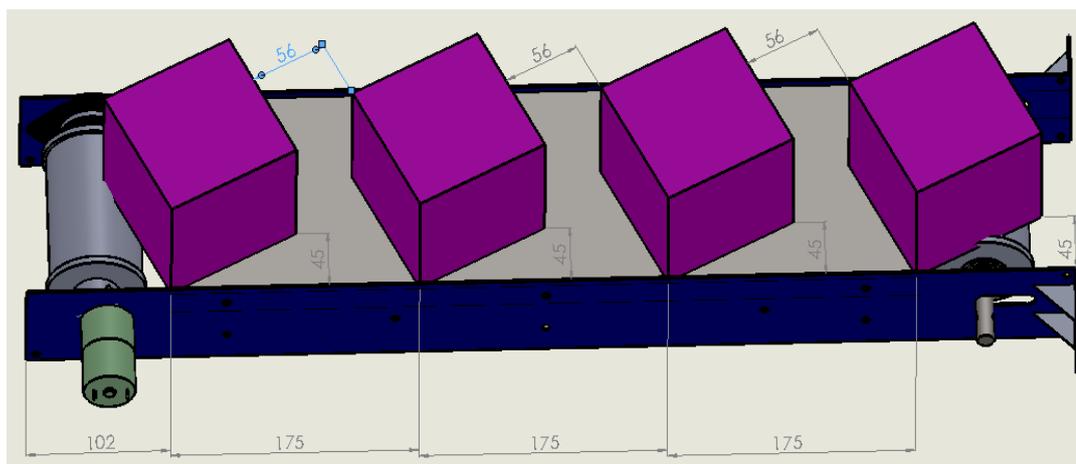


Ilustración 3. 6 Pruebas para determinar el tiempo de activación de las bandas transportadoras

Este tiempo debe ser el adecuado para que el pastelillo que está más próximo a la cabina se deslice hacia ésta y deje a la siguiente caja en la posición apropiada para que al activarse nuevamente la banda transportadora ésta pueda deslizarse sin ningún problema como lo hizo el producto anterior.

La distancia y ubicación de cada pastelillo en la banda transportadora son factores importantes para el correcto funcionamiento del sistema, por lo cual como condición para esta prueba, en la siguiente imagen se determina el espacio donde debe ubicarse cada pastelillo a lo largo de cada una de las bandas.

Los pastelillos están posicionados aproximadamente a 26° respecto a la horizontal, debido a que la inclinación nos ayuda a garantizar que los pasteles tengan una suave transición entre la cabina del ascensor y la banda transportadora.



**Ilustración 3. 7 Ubicación del producto en las bandas transportadoras
(medidas en mm)**

A continuación se tabula los resultados de las pruebas realizadas con un 70% de PWM y la cabina del ascensor estática.

Tabla 3. 25 Resultados para el tiempo de dispensación de un producto

BANDAS TRANSPORTADORAS	TIEMPO DE DISPENSACIÓN DE UN PRODUCTO (s)
Banda 1	1.645
Banda 2	1.550
Banda 3	1.580
Banda 4	1.600
Banda 5	1.630

3.1.2.2. Pruebas del sistema de desplazamiento vertical

Las pruebas realizadas en el sistema de desplazamiento vertical fueron las siguientes:

1) Velocidad del sistema:

Una vez colocados en la posición adecuada tanto la cabina receptora como el contrapeso, se procede al igual que las bandas transportadoras a realizar pruebas variando el PWM del motor del sistema y con ello su velocidad. Las pruebas y observaciones al variar la velocidad del motor se hicieron en base a dos aspectos:

- Velocidad para el transporte adecuado del pastelillo
- Corriente en el arranque y el funcionamiento del motor

En esta prueba fue relevante la corriente que consume el motor por las masas tanto de la cabina como del contrapeso, lo que conlleva una mayor inercia a vencer por el actuador; con esta prueba analizaremos la variación de la corriente en el motor del sistema al variar el valor del PWM.

Tabla 3. 26 Resultados de pruebas de velocidad del ascensor

VELOCIDAD (RPM)	PWM (%)	CORRIENTE DE ARRANQUE (A)	CORRIENTE DE FUNCIONAMIENTO (A)
64	80	1.75	0.9
72	90	1.62	1.1
80	100	1.43	1

En base a los resultados expuestos y las observaciones del comportamiento del sistema en las pruebas realizadas variando el PWM, se ha determinado que este sistema funcionara con un PWM del 100%, ya que la inercia que debe vencer es alta debido a las masas y al rozamiento de las guías del contrapeso y la cabina, por lo cual no es conveniente restringir la potencia del motor.

- 2) Ubicación de la cabina que recibe el pastelillo con respecto a la banda transportadora:

Los pasteles se ubicarán en las bandas transportadoras y al accionarse éstas los pastelillos deben deslizarse sin ningún problema por lo cual se ha realizado pruebas para saber dónde debe ubicarse la cabina receptora en relación a la banda. Y se ha tomado tres posiciones como referencia:

Parte inferior:

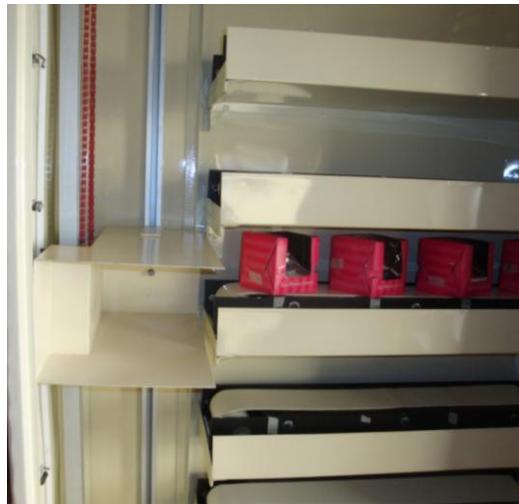


Ilustración 3. 8 Ubicación de la cabina receptora en la parte inferior de la banda transportadora

Al ubicar la bandeja receptora en una parte tan baja, los pastelillos sufren una caída de una altura considerable por lo cual la mayoría de las cajas se voltean al llegar a la cabina receptora.



Ilustración 3. 9 Desplazamiento del pastelillo con la cabina receptora en la parte inferior

Parte central:



Ilustración 3. 10 Ubicación de la cabina receptora en la parte media de la banda transportadora

En esta ubicación se disminuye la altura de caída de los pastelillos por lo cual ya no se voltean al caer, y la pequeña altura favorece su desplazamiento en la cabina receptora.



Ilustración 3. 11 Desplazamiento del pastelillo con la cabina receptora en la parte central de la banda transportadora

Parte superior:



Ilustración 3. 12 Ubicación de la cabina receptora en la parte superior de la banda transportadora

El ubicar la cabina receptora al mismo nivel de la banda haría que el pastelillo no sufra caída alguna, sin embargo el espacio que existe entre la cabina receptora y el lugar donde termina la banda no permite que haya un deslizamiento del producto desde la banda hacia la cabina, lo cual hace que una de las esquinas de la caja del producto caiga en esta abertura y que no avance hacia la cabina, descartando por completo esta posición.



Ilustración 3. 13 Desplazamiento del pastelillo con la cabina en la parte superior de la banda transportadora

Según los resultados expuestos, la cabina receptora debe ubicarse en la posición central respecto a cada banda para permitir una mejor transición del producto entre la banda transportadora y la cabina.

3.1.2.3. Pruebas del sistema de venta automática

Dentro del sistema de control se realizaron varias pruebas detalladas a continuación:

SISTEMA DE COBRO (MONEDERO)

Una de las partes más importantes en el sistema de venta automática es el monedero ya que posee dos funciones esenciales:

- Detectar que la moneda que se ha ingresado sea igual a la moneda patrón (evitar fraudes ingresando monedas de otra denominación).
- Enviar una señal eléctrica cuando ha ingresado la moneda (ésta señal serviría al sistema de control para contabilizar el crédito ingresado).

En base a estas dos funciones se procede a realizar pruebas en el monedero, estas serán de dos tipos:

- 1) Identificación de la moneda ingresada de acuerdo a la moneda patrón.

Para saber si el monedero es capaz de detectar la igualdad entre la moneda patrón y la moneda ingresada se ha realizado tres pruebas colocando monedas de denominaciones diferentes como patrón.

Una vez colocada la moneda patrón, se ha ingresado en el monedero varias monedas de diferentes denominaciones unas iguales a la moneda patrón y otras diferentes para identificar la capacidad de aceptación de la moneda correcta por parte del monedero.

Tabla 3. 27 Resultados de la identificación de monedas por parte del monedero

Denominación de la moneda patrón	Monedas de prueba iguales al patrón	Monedas de prueba desiguales al patrón	Monedas aceptadas por el monedero	Monedas devueltas por el monedero	Porcentaje de error (%)
\$ 0.25	5	5	5	5	0
\$ 0.50	5	5	5	5	0
\$ 1.00	5	5	5	5	0

El monedero detecto correctamente todas las monedas ingresadas de acuerdo al patrón, las monedas iguales al patrón fueron receptadas, mientras que las monedas diferentes al patrón fueron devueltas.

- 2) Activación de la señal de control una vez que ingresa una moneda al sistema:

La siguiente prueba es para verificar la activación de la señal en el monedero cuando ingresa una moneda al sistema. Para realizar esta prueba es importante primero conectar la señal del monedero al circuito de

acondicionamiento dado por el fabricante, esta conexión se muestra a continuación:

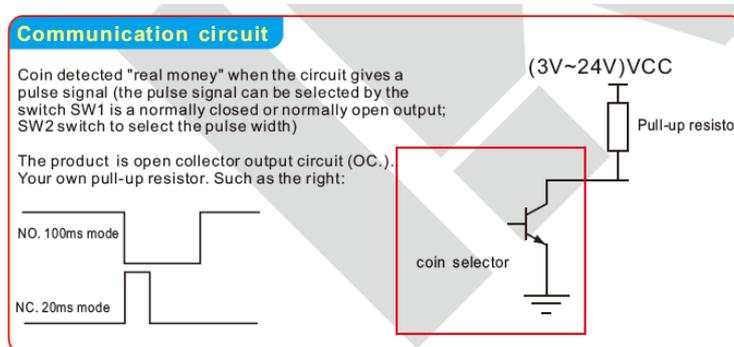


Ilustración 3. 14 Circuito de acondicionamiento para la señal del monedero

Al realizar esta conexión y una vez colocada la moneda patrón se ingresan varias monedas al sistema, para observar si el número de activaciones de la señal del monedero es igual al número de monedas ingresadas y con ello determinar la confiabilidad de este dispositivo.

Tabla 3. 28 Resultados de pruebas de la señal de control del monedero

Denominación de la moneda patrón	Monedas de prueba iguales al patrón	Monedas aceptadas al por monedero	Señales activadas el por monedas	Porcentaje de error en la señal de control (%)
\$ 0.25	10	10	6	40
\$ 0.50	10	10	5	50
\$ 1.00	10	10	5	50

De acuerdo a los resultados expuestos, la señal de control del monedero tiene un error del 50%, lo cual quiere decir que la mitad de las monedas (5/10) ingresadas no se registraron en el sistema de control.

LECTURA DE SENSORES

Otra prueba importante en la parte electrónica de la máquina fue la lectura de las señales enviadas por los sensores para la activación o parada del sistema de desplazamiento vertical y para la apertura o cierre de la puerta de expendio. Los sensores en este sistema son interruptores normalmente abiertos que se activan con la aproximación de un imán por lo cual su señal de respuesta es rápida para los fines de este proyecto.

Tabla 3. 29 Resultados de pruebas de la señal de control de sensores

Sensores	Experimentos	Señales activadas por experimentos	Porcentaje de error en la señal (%)
Nivel 0	10	10	0
Nivel 1	10	10	0
Nivel 2	10	10	0
Nivel 3	10	10	0
Nivel 4	10	10	0
Nivel 5	10	10	0
Puerta de expendio (sensor 1)	10	10	0
Puerta de expendio (sensor 2)	10	10	0

El error en la lectura de las señales de los sensores es nulo debido a que esto depende del software, que al estar formado por subrutinas hace que el barrido de los puertos donde están las señales de los sensores sea rápida y con ello el apagado del motor del sistema de desplazamiento vertical ocurre de manera inmediata una vez que se ha activado el sensor en cada uno de los niveles.

FUNCIONAMIENTO INTEGRAL DEL HARDWARE Y EL SOFTWARE

Una vez efectuadas las pruebas de funcionamiento en cada sistema se procede a realizar las pruebas de conjunto que consistirán en probar tanto el software y el hardware de la parte electrónica funcionando conjuntamente con los sistemas mecánicos de la máquina.

- 1) Configuración del número de créditos necesarios y el valor del crédito para efectivizar una venta:

Estas pruebas consisten en comprobar si con el cambio de estado del interruptor el sistema cambia de fase de venta a la fase de configuración; además de evidenciar el cambio del número de créditos y el valor del crédito en el LCD al accionar los pulsadores destinados para esta función. Un requerimiento indispensable en la configuración, es que los datos ingresados se almacenen en la memoria EEPROM del microcontrolador, y para verificar que ello ocurra se han hecho diez experimentos en los que primero se ha ingresado ambos datos requeridos en la configuración:



Ilustración 3. 15 Configuración del número de créditos y valor del crédito

Después del ingreso de los datos se retira la energía del sistema, y al energizarlo nuevamente y colocarlo en modo configuración se observa que los datos que se muestran en ese momento son los mismos que se habían configurado antes de apagarlo, lo cual implica que los datos se han guardado exitosamente en la memoria EEPROM.

De acuerdo a la tabla mostrada a continuación de los resultados de las pruebas se evidencia que la fase de configuración del sistema funciona correctamente con un 0% de error.

Tabla 3. 30 Resultados de pruebas en la fase de configuración del sistema

Variable	Experimentos	Configuraciones exitosas	Verificación de datos en EEPROM	Porcentaje de error (%)
Número de créditos	10	10	Si	0
Valor del crédito	10	10	Si	0

2) Contabilización de las monedas ingresadas:

El siguiente paso es comprobar que al ingresar monedas al sistema, en la pantalla LCD se deja de mostrar el mensaje de bienvenida para cambiar al mensaje de contabilización de créditos:



Ilustración 2. 158 Contabilización de los créditos ingresados

Una vez verificado que el sistema contabiliza las monedas ingresadas, se verifica que al ingresar el número de monedas determinado en la configuración aparece el siguiente mensaje:



Ilustración 2. 159 Pantalla una vez ingresado el valor total del pastelillo

Tabla 3. 31 Resultados de pruebas de contabilización de monedas ingresadas

Denominación de la moneda patrón	Experimentos	Mensaje de contabilización del crédito	de Mensaje de crédito completo	Porcentaje de error (%)
\$ 0.25	10	6	6	40
\$ 0.50	10	5	5	50
\$ 1.00	10	5	5	50

En esta prueba se acarrea con los errores del 50% producidos por el monedero, ya que cuando el monedero no emite la señal de control, el sistema no contabiliza ese crédito y por ende no muestra los mensajes correspondientes.

3) Elección del pastelillo:

Una vez que se ha completado el valor del producto el sistema le pide al usuario elegir el sabor o tipo de pastelillo (cinco opciones) a través de los botones ubicados en la puerta principal de la carcasa, para esto se realizaron pruebas con cada pulsador, accionándolos y verificando que se encienda la luz de cada uno de ellos además de constatar que al microcontrolador llegue la señal adecuada para que proceda al accionamiento del sistema de desplazamiento vertical.

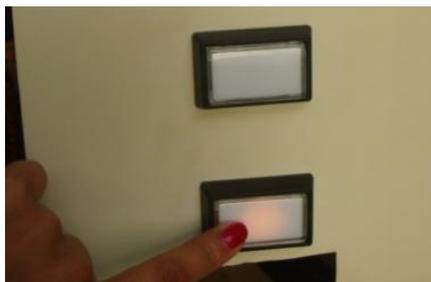


Ilustración 2. 160 Accionamiento de los botones en cada fila

Tabla 3. 32 Resultados de pruebas de la elección del pastelillo

Botones	Experimentos	Luces y señales activadas por experimentos	Porcentaje de error en la señal (%)
Botón 1	10	10	0
Botón 2	10	10	0
Botón 3	10	10	0
Botón 4	10	10	0
Botón 5	10	10	0

4) Desactivación o parada del sistema de desplazamiento vertical:

En esta prueba se desea verificar que la cabina receptora se dirija al nivel que ha sido seleccionado por el cliente sin importar que a su paso active los sensores de otros niveles; por ejemplo, si el usuario ha elegido los pastelillos del quinto nivel (nivel más alto), la cabina receptora que se ubica siempre en la parte más abaja para evitar robos del producto, debe subir desde el nivel más bajo hasta el más alto, activando a su paso los sensores de los niveles uno, dos, tres, y cuatro, sin embargo estas señales no deben ser relevantes en este caso, es decir que el software debe ser capaz de ignorarlas y esperar la activación del sensor del nivel seleccionado, en este ejemplo el quinto nivel; y en ese momento desactivar el motor del sistema de desplazamiento vertical.



Ilustración 3. 16 Parada del sistema de desplazamiento vertical en el nivel seleccionado

Una vez que se ha activado la banda transportadora y el pastel se encuentra ahora en la cabina receptora, ésta debe bajar desde el quinto nivel hasta el nivel más bajo para que el cliente pueda tomar el producto, y ocurre lo mismo que en su ascenso, el software debe ignorar nuevamente las activaciones de los sensores de los niveles cuatro, tres, dos, y uno y esperar la activación del nivel cero para nuevamente apagar el sistema.

Tabla 3. 33 Resultados de pruebas de la desactivación del ascensor

Sensores	Experimentos	Desactivaciones del ascensor	Porcentaje de error (%)
Nivel 0	10	10	0
Nivel 1	10	10	0
Nivel 2	10	10	0
Nivel 3	10	10	0
Nivel 4	10	10	0
Nivel 5	10	10	0

Según los resultados tenemos un 0% de error en la parada del sistema de desplazamiento vertical en cualquiera de los niveles.

5) Funcionamiento de la puerta de expendio



Ilustración 3. 17 Puerta de expendio con motor y sensores

Para asegurar esta puerta la varilla estará levantada cuando no se haya realizado una compra, evitando la apertura de la puerta de expendio y con ello el posible robo del producto.

Pero una vez que la cabina que lleva el producto se encuentra en el nivel cero, el motor acoplado a la varilla debe activarse para hacer descender la varilla y poder abrir la puerta de expendio.

Una vez retirado el producto se debe accionar nuevamente el motor acoplado a la varilla pero esta vez invirtiendo la polaridad para lograr el movimiento en sentido opuesto de la varilla, pero aquí surge un inconveniente puesto que el software requiere de una condición para activar el motor, y esta es la activación o desactivación del sensor ubicado en la portezuela, sin embargo las condiciones del sistema antes de retirar el producto y después de hacerlo son las mismas como se explica a continuación.

Tabla 3. 34 Condiciones para la activación del motor de la puerta de expendio

	Ubicación de la bandeja	Estado del sensor de la puerta de expendio
Antes de retirar el producto	Nivel 0	Activado
Después de retirar el producto	Nivel 0	Activado

Como las condiciones son iguales en ambos casos, se ha incrementado un tiempo después que la cabina llega al nivel cero para que el software espere la activación del sensor de la puerta de expendio.

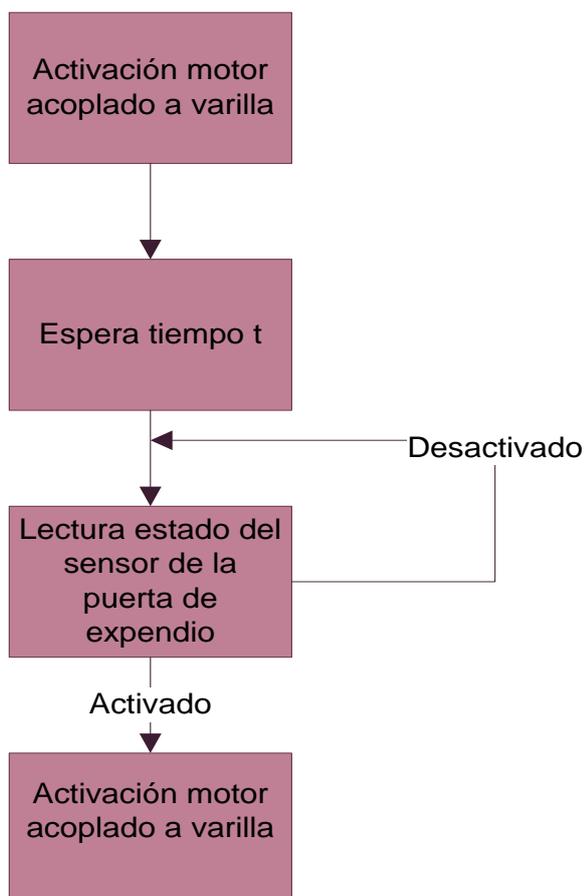


Ilustración 3. 18 Diagrama de flujo para la activación del motor trampa

La prueba se enfoca a cerciorarnos que este proceso se realice correctamente verificando que la varilla asciende cuando el producto ha sido tomado y la puerta se encuentra cerrada.

Tabla 3. 35 Pruebas de funcionamiento de la puerta de expendio

Experimentos	Permite abrir la puerta	Sensores detectan la puerta cerrada	Espera el tiempo	Cierra la puerta
10	Si	Si	Si	Si

En los 10 experimentos realizados no se detecta ningún error en el funcionamiento de la puerta de expendio.

6) Visualización del mensaje de bienvenida:

Una de las grandes ventajas de este sistema de distribución es su funcionamiento ininterrumpido las 24 horas del día; por lo cual esta prueba tiene el objetivo de verificar que el mensaje de bienvenida expuesto en el LCD se muestre de manera constante durante un tiempo prolongado siempre y cuando no se haya realizado ninguna compra y con ello garantizaremos que la máquina está siempre apta para la recepción de monedas que hagan efectiva la venta de manera ininterrumpida.



Ilustración 3. 19 Mensaje de bienvenida permanente en el prototipo

Tabla 3. 36 Pruebas de visualización del mensaje de bienvenida

Tiempo	Muestra el mensaje de bienvenida
12 horas	Si

De acuerdo a la prueba realizada el mensaje de bienvenida se muestra siempre en el LCD.

7) Validación para cada nivel:

La máquina contará con cinco niveles y cada uno de ellos con cuatro pastelillos; y la última prueba está destinada a la verificación del correcto funcionamiento para cada nivel y para todos los pastelillos.

Esta prueba se llevó a cabo realizando varias compras del producto y seleccionando al azar los niveles a activarse hasta haber comprado todos los pastelillos que se encontraban en la máquina y cerciorarnos que todos fueron despachados de manera correcta.

Tabla 3. 37 Resultados de la validación para cada nivel

	Pastelillo 1	Pastelillo 2	Pastelillo 3	Pastelillo 4
Nivel 1	✓	✓	✓	✓
Nivel 2	✓	✓	✓	✓
Nivel 3	✓	✓	✓	✓
Nivel 4	✓	✓	✓	✓
Nivel 5	✓	✓	✓	✓

Según la prueba realizada todos los pastelillos fueron despachados correctamente.

3.2. Análisis de resultados

3.2.1. Identificación de problemas y deficiencias de la máquina.

De acuerdo a los resultados y observaciones de las pruebas realizadas en el prototipo se han identificado los siguientes problemas:

1. Monedero no envía la señal de control para contabilizar los créditos ingresados

Este problema depende únicamente del monedero, ya que según sus especificaciones el monedero está en condición de receptor las monedas iguales al patrón ingresado y además brindar la señal de control que indica que una moneda correcta ha ingresado al sistema, lamentablemente es un fallo de fábrica que limita al monedero en el sistema de venta automática.

Al no contabilizar las monedas ingresadas correctamente (50% de fallas), la máquina se expone a acciones de vandalismo, actos que deseamos evitar, por lo cual para este problema se deberá buscar una solución que garantice la contabilización del crédito ingresado.

2. Ubicación de la cabina que recepta el pastelillo con respecto a la banda transportadora

La ubicación definida en la prueba antes expuesta es muy general y subjetiva "Parte central", esto no define cuantitativamente una medida que garantice la correcta transición del pastelillo entre la banda transportadora y la cabina del ascensor.

Además los sensores ubicados en el sistema de desplazamiento vertical deben tener exactamente una posición adecuada para que el imán de la cabina pueda activarlo, la posición del sensor depende de los resultados de esta prueba que por el momento no brindan una información completa.

Se debe dar una solución en cuanto a la prueba y los resultados que arroja, para que estos puedan servir para definir una posición exacta de la cabina de transporte para receptor el pastelillo.

3. Tiempo para la dispensación de un producto

Según las observaciones del prototipo, el tiempo para la dispensación de un producto en cada banda es diferente y es vulnerable a variaciones, por lo cual se considera necesario verificar los resultados expuestos anteriormente y corregir el tiempo de dispensación en cada banda, de ser necesario.

3.2.2. Medidas correctivas

Según los problemas expuestos en la sección 3.2.1 se dará solución a cada uno.

Problema 1: Monedero no envía la señal de control para contabilizar los créditos ingresados.

Solución 1:

Para corregir este problema se ha implementado un sensor infrarrojo de presencia en el agujero del cajón donde se almacena el crédito ingresado, de tal manera que cuando una moneda ingrese al cajón sea contabilizado por el sistema de control.

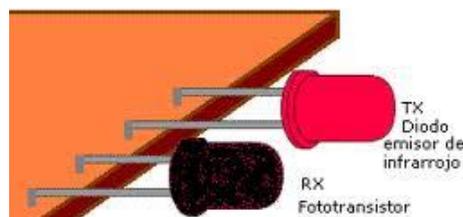


Ilustración 3. 20 Sensor Infrarrojo emisor - receptor

Fuente: (Sensor, 2014)

Este sensor emisor – receptor está colocado frente a frente, de modo que al ingresar la moneda intercepte el rayo infrarrojo y la señal de control nos advierta que ha ingresado una moneda al sistema.

Con este sensor se ha determinado un error del 5%, muy por debajo del error inicial en esta etapa del proceso de registro de la moneda ingresada.

Tabla 3. 38 Resultados de pruebas de contabilización de monedas ingresadas con el sensor infrarrojo

Denominación de la moneda patrón	Experimentos	Mensaje de contabilización del crédito	de Mensaje de crédito completo	Porcentaje de error (%)
\$ 0.25	20	19	19	5
\$ 0.50	20	19	19	5
\$ 1.00	20	19	19	5

Problema 2: Ubicación de la cabina que recepta el pastelillo con respecto a la banda transportadora

Solución 2:

Este problema ha sido solucionado realizando mediciones precisas de la altura a la que debe ser colocada la cabina del ascensor para receptar los pastelillos en cada uno de los niveles.

Para definir las medidas exactas se toma como punto de referencia el piso del ascensor, y se toma la medida en cada nivel hasta la pared inferior de la cabina de transporte, como se muestra en la siguiente figura.



Ilustración 3. 21 Ejemplo de medición para la ubicación de la cabina

A continuación se presenta la tabla de datos recolectada en pruebas personalizadas para cada nivel.

Tabla 3. 39 Posición de la cabina del ascensor para cada nivel

Distancias Especificas	Medida (cm)
Distancia piso del ascensor – nivel 0	0.3
Distancia piso del ascensor – nivel 1	20
Distancia piso del ascensor – nivel 2	41.8
Distancia piso del ascensor – nivel 3	63.5
Distancia piso del ascensor – nivel 4	86
Distancia piso del ascensor – nivel 5	107

Problema 3: Tiempo para la dispensación de un producto.

Solución 3:

Para verificar los tiempos de dispensación de cada producto y corregirlos en caso de ser necesario, mediante pruebas personalizadas se recomienda probar con la placa de control profesional, ya que con esto queda todo completamente definido en el prototipo y se procede con la calibración final del sistema.

3.3. Puesta a punto y calibración final del prototipo

La calibración final de la máquina expendedora de pastelillos se realizará con toda la parte mecánica y electrónica (hardware, software y PCB) diseñada y construida completamente, además de haber implementado las soluciones a los problemas o deficiencias hallados en la sección de pruebas.

Para determinar los parámetros o variables a tomar en cuenta en la calibración final se ha realizado diez experimentos para observar y verificar el funcionamiento integral de la máquina. Después de esta observación se concluye que los parámetros que necesitan ser calibrados son:

- Señal del sensor infrarrojo
- Tiempos de dispensación de cada producto
- Valor de la resistencia para ajuste del brillo del LCD

1. Calibración de la señal del sensor infrarrojo

Esta señal requiere ser calibrada mediante el potenciómetro de precisión conectado al receptor del sensor, que se encuentra en la placa electrónica de control, para que su señal de activación sea 5V.

Tabla 3. 40 Calibración del sensor infrarrojo de presencia de monedas

Calibración del sensor infrarrojo	
Valor de la resistencia regulada	13.4 K Ω
Voltaje de la señal de control	5 VDC

2. Calibración de tiempos de dispensación de cada producto

Para realizar la calibración de tiempos para la dispensación de cada producto en los diferentes niveles se ha realizado varias pruebas, con el requisito que los 4 pastelillos de cada nivel se dispensen correctamente. Los resultados mediante varias pruebas realizadas se presentan a continuación:

Tabla 3. 41 Calibración final para el tiempo de dispensación de un producto

BANDAS TRANSPORTADORAS	TIEMPO DE DISPENSACIÓN DE UN PRODUCTO (s)
Banda 1	1.430
Banda 2	1.330
Banda 3	1.450
Banda 4	1.400
Banda 5	1.300

3. Valor de la resistencia para ajuste del contraste del LCD

Como se mencionó en capítulos anteriores el LCD necesita de un potenciómetro para variar la resistencia, y de esta manera ajustar el brillo de la pantalla, por lo cual en la placa electrónica se ubica un potenciómetro de precisión para ajustar correctamente el contraste del LCD, ubicado en la puerta de la máquina expendedora para mostrar mensajes al cliente.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se presenta los costos incurridos en la realización de este proyecto, desglosados por cada sistema modular que contiene la máquina, así como también los gastos en pruebas para el desarrollo del prototipo y algunas herramientas que adquirimos para la fabricación de la máquina expendedora de pastelillos. Además se realiza un análisis beneficio – costo que sustenta la realización de este proyecto.

4.1 Presentación de costos.

A continuación se presenta la tabulación de los costos desglosados para pruebas de desarrollo del prototipo, herramientas y cada módulo de la máquina expendedora de pastelillos.

Tabla 4. 1 Costos de herramientas

COSTOS DE HERRAMIENTAS		
Local	Descripción	Monto
MEGAKYWI	Brocas	\$ 2.38
Hipermarket	Brocas	\$ 0.99
Aceros MG	Cuchilla	\$ 11.20
Ferretería Alemana S.A.	Juego de machuelos	\$ 3.92
TOTAL		\$ 18.49

Tabla 4. 2 Costos de pruebas para el desarrollo del prototipo

COSTOS DE PRUEBAS PARA EL DESARROLLO DEL PROTOTIPO		
Local	Descripción	Monto
Gran Colombia Resortes	Resorte	\$ 6.72
Arenas	Engranés-Poleas	\$ 4.20
APM	Circuitos Integrados	\$ 3.47
Ferretería	Spray/abrazadoras	\$ 3.16
Metálicas Nacionales	Estructura	\$ 22.00
Mecánicas Rojas	Ejes	\$ 50.40
Construfer	Pernos	\$ 1.14
Tecnirama	Motor a pasos	\$ 8.00
Reindauto	Prisioneros	\$ 0.70
Selectronic	Motor a pasos	\$ 5.00
Reciclometal	Motor a pasos	\$ 5.60
Electro Sonido	Transistores	\$ 7.78
Arenas SF	Motor DC	\$ 8.00
Torno	Maquinado	\$ 2.00
Bandas & bandas	Banda	\$ 20.16
Taller	Ejes	\$ 3.64
Arenas	Motor	\$ 7.50
Arenas	Bandas, poleas	\$ 2.50
APM	CNY70	\$ 1.99
All.uC	2 sensores	\$ 0.95
Cuero Pint	Reata	\$ 1.68
Ferretería	Pegamento	\$ 0.60
Oscarlujos	Motor trampa	\$ 8.00
Selectronic	Relés 12V	\$ 1.90
APM	Finales de carrera	\$ 0.96
TOTAL		\$ 178.05

Tabla 4. 3 Costos del sistema de desplazamiento horizontal

COSTOS DEL SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL		
Local	Descripción	Monto
Guerrero Barreno	Chumaceras	\$ 20.50
Castillo Hermanos	Pernos-prisioneros	\$ 1.08
Castillo Hermanos	Pernos-arandelas	\$ 2.86
Reindauto	Tornillos	\$ 0.65
APM	Motor DC	\$ 31.25
APM	Motor DC	\$ 31.25
APM	Motor DC	\$ 31.25
APM	Compra 2 Motores	\$ 63.00
Ferretería PC	Material eje 2"	\$ 6.80
Aceros MG	Rodamientos	\$ 3.99
Aceros MG	Rodamientos-eje	\$ 19.72
Reindauto	Arandela	\$ 10.80
Reindauto	Arandela	\$ 1.50
Mecánica Rojas	Mecanizado banda	\$ 56.00
Omega Electrónica	Puente H	\$ 5.06
Reindauto	Tuerca-Tornillo	\$ 0.56
Reindauto	Tornillo-tuerca	\$ 5.54
Construfer	Desoxidante	\$ 2.25
Guerrero Hugo	Duralón	\$ 141.00
Reindauto	Prisionero	\$ 1.00
Colegio Don Bosco	Maquinado ejes	\$ 65.00
Reindauto	Prisioneros	\$ 1.75
Castillo Hermanos	Arandelas-espárragos	\$ 8.19
Ferretería	Arandelas	\$ 0.40
Bandas y Bandas	1 Banda	\$ 20.00
Bandas y Bandas	3 Bandas	\$ 60.00
Bandas y Bandas	1 Banda	\$ 20.00
Castillo Hermanos	Barra Roscada	\$ 8.96
Taller	Soldadura	\$ 10.00
Ferretería	Eje	\$ 0.70

Continua 

Tornero	Maquinado	\$ 2.50
KYWI	Lijas y pintura antiox.	\$ 6.50
Ferretería	Tiñer	\$ 1.60
Ferretería	Arandelas	\$ 1.62
Comercial Rocha	Material lona negro	\$ 26.90
Taller "Edguitar"	Trabajos varios	\$ 25.00
TOTAL		\$ 695.18

Tabla 4. 4 Costos del sistema de desplazamiento vertical

COSTOS DEL SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL		
Local	Descripción	Monto
Construbicis	1 Piñón	\$ 15.00
Mecánica Industrial	Maquinado eje aluminio	\$ 13.00
Castillo Hermanos	Pernos	\$ 2.14
Aceros HGB	Chumacera	\$ 6.83
Aceroscenter	Angulo	\$ 6.50
PRONALVID	Riel y rodachin	\$ 29.72
Fundiciones	Aluminio	\$ 22.50
Ferretería	Pernos	\$ 0.40
Ferretería	Pernos	\$ 0.50
Mecánica Industrial	Agujeros	\$ 4.50
Construbicis	2 Cadenas	\$ 18.00
APM	Motor ascensor	\$ 32.95
Cortadora de metal	Bandeja ascensor	\$ 4.00
Metalmecánica Dionisio	Fabricación bandeja	\$ 39.20
Oxicorte	Material contrapeso	\$ 3.90
Taller industrial A	Piso del ascensor, corte bandeja	\$ 22.40
Tornero	Maquinado de contrapeso	\$ 5.00
Taller bicicletas	Unión cadena	\$ 2.00
Taller Edguitar	Fabricación estructura	\$ 40.00
TOTAL		\$ 268.54

Tabla 4. 5 Costos del bastidor

COSTOS DEL BASTIDOR		
Local	Descripción	Monto
Ruedas y Garruchas	4 Garruchas	\$ 25.89
Ferretería	Chapa, Pernos	\$ 3.60
Ferretería V y Asociados	Bisagras	\$ 1.30
ASDIENT	Cerradura	\$ 2.33
ASDIENT	Cerradura y manijas	\$ 5.35
Metalmecánica Dionisio	Armario Metálico	\$ 728.00
Metalmecánica Dionisio	Servicio colocación herrajes	\$ 31.36
Ferretería	Tuercas de seguridad	\$ 2.50
Metalmecánica	Servicio lima y agujeros	\$ 8.00
Ferretería	Pernos	\$ 0.60
Cerrajero	Remaches puerta peq.	\$ 2.00
Koloreart	Pintura fallas	\$ 7.50
Super Alarmas	Motor puerta expendio	\$ 10.00
Ferretería	Pernos y conector triple	\$ 1.60
Vidriería	Vidrio laminado	\$ 45.00
Iluminación	Luz fluorescente	\$ 25.00
Ferretería	Manija y manguera	\$ 2.50
TOTAL		\$ 902.53

Tabla 4. 6 Costos del sistema de venta automatica

COSTOS DEL SISTEMA DE VENTA AUTOMATICA		
Local	Descripción	Monto
APM	Microcontrolador	\$ 10.05
Tecompertes	LCD	\$ 8.51
Selectronic	Pulsadores	\$ 10.02
Electro Sonido	Sensor magnético	\$ 3.92
Tecompertes	Sensores	\$ 12.32
APM	Integrados	\$ 5.55
Distribuidora Eléctrica	Cables y cinta	\$ 16.27
Industrial		
Selectronic	Elementos electrónicos	\$ 3.96
Electrónica Don Bosco	Integrados 7404 y L293	\$ 3.00
Polielektric	Cinta espiral y cable	\$ 4.14
Polielektric	Tomacorriente	\$ 4.20
Electrosonido	Transistor y reed switch	\$ 4.60
Electrosonido	Relés, zócalos	\$ 4.05
Electrónicas	Elementos electrónicos	\$ 5.50
Polielektric	Conector alimentación 110	\$ 0.30
Tecompertes	diodos fast	\$ 3.08
Smelektronik	PCB	\$ 69.14
Electrónicas	2 Fuente de voltaje DC	\$ 35.00
Electrónicas	Canaletas	\$ 3.00
Electrónicas	Monedero	\$ 25.00
Electrónicas	Elementos electrónicos	\$ 25.00
TOTAL		\$ 256.61

Tabla 4. 7 Resumen de costos del Prototipo

RESUMEN DE COSTOS DEL PROTOTIPO	
Descripción	Costo
Pruebas de desarrollo del prototipo	\$ 178.05
Bandas transportadoras (5)	\$ 695.18
Ascensor	\$ 268.54
Sistema de venta automática	\$ 256.61
Bastidor	\$ 902.53
Herramientas	\$ 18.49
TOTAL	\$ 2319.4

4.2 Análisis Beneficio – Costo

La razón beneficio – costo, también llamada "índice de rendimiento" es una expresión usada generalmente en el contexto de la administración, organización de empresas, negocios y gestión.

Es un método de Evaluación de Proyectos, que se basa en el "Valor Presente", y que consiste en dividir el Valor Presente de los Ingresos entre el Valor Presente de los egresos.

$$B/C = \frac{\text{Valor presente de Ingresos}}{\text{Valor presente de Egresos}}$$

Cuando se utiliza ésta herramienta de evaluación en proyectos privados de inversión, se hace la siguiente interpretación:

$B/C > 1$: los beneficios son superiores a los costos. El proyecto es viable porque genera aportes económicos aunque no se toma en cuenta la rentabilidad.

$B/C = 1$: los beneficios son iguales a los costos. Es indiferente realizar o no la inversión desde el punto de vista financiero. El proyecto es auto sostenible, concepto que se aplica a los proyectos sociales para que su desarrollo sea ideal.

$B/C < 1$: los beneficios son inferiores a los costos. El proyecto no es viable porque no genera aportes económicos.

Para determinar el beneficio que se obtiene en el desarrollo de este proyecto, procedemos a determinar la razón beneficio/costo, mediante el cual tendremos un indicador financiero de la viabilidad de implementar una máquina expendedora de pastelillos en centros de aglomeración masiva en lugar de ubicar una isla o local comercial para comercializar los pastelillos.

A continuación se presentan todos los beneficios a manera de ingresos que genera la máquina expendedora de pastelillos.

Tabla 4. 8 Ingresos que genera la máquina expendedora respecto a un local comercial

INGRESOS	
Descripción	Ingreso Anual
Ahorro de alquiler de local comercial aprox.	\$ 12,000.00
Ahorro de mobiliario	\$ 2,500.00
Ventas proyectadas	\$ 10,800.00
Ahorro de energía eléctrica	\$ 600.00
Ahorro por salarios de vendedores	\$ 10,800.00
Ahorro por publicidad en local comercial	\$ 250.00
TOTAL	\$ 36,950.00

La tabla de ingresos presentada anteriormente está realizada en base a los beneficios que representa la máquina expendedora respecto a ubicar una isla en un centro comercial grande de la ciudad (según datos proporcionados por la empresa patrocinadora). La proyección de ventas se ha realizado tomando en cuenta que la máquina expenderá 15 pastelillos diarios de los 20 disponibles para la venta, y la máquina estará habilitada los 7 días a la semana en horario ininterrumpido (horario de centro comercial). El costo del pastelillo se ha tomado como \$2.00, valor de venta al público actualmente.

A continuación se presenta el resumen de costos que implica fabricar una máquina expendedora, tomando en cuenta el valor de ingeniería, mano de obra, servicios de taller, servicios básicos, etc.

Tabla 4. 9 Costos para la fabricación de una máquina expendedora de pastelillos

COSTOS PARA LA FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA EXPENDEORA	
Descripción	Costo
Bandas transportadoras (5)	\$ 695.18
Ascensor	\$ 268.54
Sistema de venta automática	\$ 256.61
Bastidor	\$ 902.53
Herramientas	\$ 18.49
Honorarios por diseño ingenieril.	\$ 3,000.00
Honorarios por mano de obra calificada	\$ 2,000.00
Servicios básicos	\$ 120.00
Servicios de taller	\$ 100.00
Alquiler de espacio físico	\$ 300.00
Transporte	\$ 100.00
TOTAL	\$ 7,761.35

Una vez definido el costo de la máquina expendedora de pastelillos se ha realizado un resumen de egresos para la empresa The Cupcake Factory al implementar la máquina como medio de comercialización de su producto.

Tabla 4. 10 Resumen de Egresos

EGRESOS	
Descripción	Egreso Anual
Costo de la máquina expendedora	\$ 7,761.35
Mantenimiento	\$ 100.00
Consumo de Energía Eléctrica	\$ 480.00
Alquiler de espacio para ubicar la máquina	\$ 3,600.00
Costo neto del producto terminado	\$ 3,240.00
Costo de empaques	\$ 1,350.00
Costo de publicidad para la máquina	\$ 320.00
Salario mensajero- estibador	\$ 1,560.00
TOTAL	\$ 18,411.35

Con los datos presentados, procedemos a calcular la razón Beneficio-Costo de la máquina expendedora.

$$B/C = \frac{\text{Valor presente de Ingresos}}{\text{Valor presente de Egresos}}$$

$$B/C = \frac{36950}{18411.35}$$

$$B/C = 2.006$$

Con este breve análisis de la relación Beneficio-Costo podemos predecir que el proyecto es completamente viable y rentable para la empresa auspiciante, ya que al año, la empresa recuperara su inversión y además tendrá una amplia ganancia económica del 100%. Mientras que en los posteriores años el margen de rentabilidad de su negocio mejorara notablemente debido a que la inversión ya estará saldada.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente capítulo contiene las conclusiones y recomendaciones que se han logrado después de la realización del presente proyecto, en base a la experiencia y criterios teóricos.

5.1 Conclusiones

- ✓ Para implementar el control y automatización en el prototipo, es necesario contar con sensores en el sistema de desplazamiento vertical y en la puerta de expendio que son quienes dan al sistema las señales para que se active el actuador correspondiente; además estos dispositivos nos permiten comprobar la ubicación de la cabina receptora y el estado de la puerta de expendio, parámetros importantes para garantizar el accionamiento de los sistemas mecánicos y con ello garantizar la efectividad de la venta y sobre todo evitar hurtos del producto.
- ✓ El prototipo realizado en este proyecto tiene un valor aproximado a la mitad del costo de importar una máquina con diseño a medida de iguales características técnicas, ya que este tipo de máquinas no existen en el mercado nacional ni internacional.
- ✓ Para la selección de los sistemas de desplazamiento tomamos en cuenta el requerimiento de fácil mantenimiento de cada uno de ellos, por lo cual para el desplazamiento horizontal escogimos bandas transportadoras cuyo mantenimiento es simplemente verificar el

sistema de ajuste (Empernar) cada 3 o 6 meses dependiendo de sus horas de funcionamiento; el sistema de desplazamiento vertical no requiere de un mantenimiento exhaustivo, solo demanda la colocación de lubricante en la cadena; y en cuanto a la parte electrónica requiere una limpieza periódica de la placa electrónica.

- ✓ El manejo de productos frágiles es un requerimiento importante que necesita de mayor atención en el diseño y construcción de los mecanismos de desplazamiento vertical y horizontal, para conseguir una transición suave del pastelillo al transportarse entre estos dos elementos hemos reducido al máximo posible la distancia entre la banda transportadora y el ascensor; además se ha colocado los pastelillos con una inclinación de 26° para que se deslicen hacia la cabina del ascensor con mayor facilidad.
- ✓ Con la implementación del sensor infrarrojo para contabilizar las monedas que ingresan a la maquina se ha garantizado que el sistema de cobro funcione de manera correcta y siguiendo la programación del control, las demás funciones de la máquina estén habilitadas para realizar una venta exitosa. Cabe recalcar que el hecho de que la máquina contabilice acertadamente las monedas permite que el cliente tenga la seguridad de que la máquina no estafa y por ende reduce el índice de actos vandálicos contra la misma.
- ✓ Se ha cumplido con el objetivo propuesto para el desarrollo del proyecto, como resultado hemos obtenido una máquina expendedora con una apariencia muy parecida a las máquinas expendedoras existentes en nuestro medio, capaz de realizar la venta automática de pastelillos empacados sin que sufran ningún tipo de daño en su decorado cumpliendo con un flujo de producto frágil.

5.2 Recomendaciones

- ✓ Debido a que los actuadores en los sistemas de desplazamiento requieren una alimentación de 12V y una corriente de hasta 3,5A, además la parte de control requiere 5V y aproximadamente 600mA se recomienda colocar dos fuentes de alimentación, una para la parte de control y otra para la parte de potencia, garantizando el abastecimiento de corriente para la sección de potencia y al mismo tiempo se evita ruidos en la sección de control.
- ✓ Tanto la cabina receptora como el contrapeso se desplazan a través de guías de aluminio con rodachines; y para limitar su movimiento se colocó piezas de hierro de forma y sección aproximadamente igual a la sección de las guías de aluminio en el sistema de desplazamiento vertical, en el espacio que existe entre la pieza de hierro y la guía se debe colocar un material capaz de absorber vibraciones que se producen durante el desplazamiento de la cabina y del contrapeso, pero procurando que el coeficiente de rozamiento dinámico entre el material colocado y el aluminio sea el menor posible para evitar la fricción, ya que un alto rozamiento dinámico aumenta directamente el torque necesario del actuador en el sistema de desplazamiento vertical, por lo cual colocamos caucho cubierto con cinta plástica capaz de absorber vibraciones sin provocar mayor fricción.
- ✓ Se recomienda darle la mayor robustez posible al diseño y fabricación de máquinas que están en contacto con el público, ya que el vandalismo es un problema social al que están expuestas las máquinas expendedoras.
- ✓ Antes de implementar circuitos de control y potencia en un PCB se recomienda simularlo mediante software y realizar pruebas en

protoboard para verificar su correcto funcionamiento y corregir errores en caso de existir.

- ✓ En circuitos extensos se recomienda usar capacitores como filtro de las señales que ingresan a circuitos integrados, se debe colocar capacitores en paralelo a la alimentación de cada integrado respetando su polaridad y ubicándolos en las cercanías de cada integrado.

- ✓ En el diseño de una máquina expendedora se debe tratar de disminuir su vulnerabilidad ante actos vandálicos, los principales métodos son: tratar de que el sistema de cobro sea justo, es decir sin estafar a la máquina ni tampoco al cliente, además de crear el efecto trampa, que en nuestro diseño es asegurar la puerta de expendio por medio de un motor para que esta se abra solamente cuando se haya realizado una compra.

- ✓ Las tolerancias geométricas (paralelismo, concentricidad, posición, etc.) y ajustes en la fabricación de partes mecánicas es muy importante para lograr posteriormente un buen ensamble entre los diferentes elementos construidos o adquiridos, como son los rodamientos, chumaceras, tornillos, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alibaba (2014,02,15). Recuperado de:

<http://spanish.alibaba.com/product-gs/spiral-vending-machine-for-condom-condom-spiral-vendor-machine-condom-spiral-dispenser-1251247076.html>

Alibaba (2014). Recuperado de:

<http://spanish.alibaba.com/product-gs/coin-selector-electronic-coin-selector-for-vending-machine-570386626.html>

Aliexpress (2014). Recuperado de:

<http://es.aliexpress.com/item/LK400MZincAlloyCoinSensor/534227129.html>

Beer, F., Johnston, R., & DeWolf, J. (2004). Mecánica de Materiales. México: Mc Graw Hill.

Biblioteca digital (2014). Recuperado de:

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec_16.html

Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. México: Mc Graw Hill.

Bmx (2011,03). Recuperado de:

<http://954bmx.blogspot.com/2011/03/una-cadena-tecnicamente.html>

Bronces y repuestos industriales (2014). Recuperado de:

<http://broncesyrepuestosindustriales.com/nylon.htm>

BVM 685 (2014). Recuperado de:

<http://www.electrovending.es/linked/bvm685-676-3gradi.pdf>

Catalogo NTN chumaceras (2009). Recuperado de:

<http://es.scribd.com/doc/58232379/CATALOGO-DE-CHUMACERAS-NTN-ESPANOL>

Catalogo NTN de rodamientos (2009). Recuperado de:

<http://www.ntnamericas.com/es/folletos-y-materialinformativo/catalogos>

CIATEQ (2014). Recuperado de:

<http://tecnologiasmanufacturaavanzada.wikispaces.com/file/view/Fundamentos+de+IC+-+Arturo+Calder%C3%B3n.pdf>

CONNEX (2011). Recuperado de:

http://www.connexchain.com/data-live-connex/docs/pdf/Katalog/Connex-Cadenas-para-Bicicleta_2011.pdf

Consejoguia (2014). Recuperado de:

<http://consejoguia.com/como-manejar-maquinas-expendedoras/>

Consejoguia (2014). Recuperado de:

<http://consejoguia.com/category/general/page/12/>

Constructor civil (2011,02). Recuperado de:

<http://www.elconstructorcivil.com/2011/02/de-las-propiedades-del-aluminio.html>

Copa (2014,03). Recuperado de:

<http://coparoman.blogspot.com/2014/03/interruptores-de-nivel-tipo-flotador.html>

Chispitartas (2014). Recuperado de:

<http://chispitartas.com/tag/que-es-un-cupcake/>

Daniel López (2010,09). Recuperado de:

<http://daniellopezcorrea8b.blogspot.com/2010/09/ascensor-tetrapack.html>

Dim (2014). Recuperado de:

<http://dim.usal.es/areaim/guia%20P.%20I/bandas%20transportadoras.htm>

Direct industry (2014). Recuperado de:

<http://www.directindustry.es/prod/dymco-ltd/cintas-transportadoras-acero-inoxidable-14232-345706.html>

Doobybrain (2012,03,01). Recuperado de:

<http://www.doobybrain.com/2012/03/01/sprinkles-cupcakes-introduces-24-hour-cupcake-atm/>

Dorf, R., & Bishop, R. (2005). *Sistemas de Control Moderno*. Madrid-España: Pearson Educación.

Electrónica fácil (2014). Recuperado de:

<http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Valores-normalizados-cables-AWG.php>

Electronicavm (2011). Recuperado de:

<http://electronicavm.wordpress.com/2011/06/22/temporizador-arduino-lcd/>

Exa (2014). Recuperado de:

http://www.exa.unicen.edu.ar/catedras/tmicrocon/Material/1_introduccion_a_los_ucontroladores.pdf

Expendedora epis (2014). Recuperado de:

www.expendedoraepis.com/modelos-maquinas-expendedoras-epis/p_7.html#.U6DJ5R5OQE

Franja (2014). Recuperado de:

<http://www.franjafceia.com.ar/i/apuntes/65.pdf>

Hardside (2014). Recuperado de:

http://www.hardside.com.ar/docs/multimedia_archivos/image003.jpg

Imsa (2012). Recuperado de:

<http://www.imsa-colson.com/catalogocompletoimsa-enero2012.pdf>

Ingeniería Tecnoparque (2010,11). Recuperado de:

<http://ingenieriatecnoparque.blogspot.com/2010/11/disenio-e-implementacion-de-un-prototipo.html>

Máquinas y Mecanismos (2014). Recuperado de:

http://maquinas-y-mecanismos.blogspot.com/p/blog-page_7.html

Mercadolibre (2014). Recuperado de:

http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-449955880-actuador-electrico-para-hacer-tus-seguros-del-auto-electrico-_JM

Microcontroladores (2009,11). Recuperado de:

http://microcontroladores2utec.files.wordpress.com/2009/11/180909_articulo_colaboracion_boletin_fica_omar_otoniel_flores.pdf

Microcontroladores (2010,090). Recuperado de:

http://microcontroladores2utec.files.wordpress.com/2010/09/practica0_bascom.pdf

Mitsubishi electric (2014). Recuperado de:

<http://www.mitsubishielectric.com/elevator/es/overview/elevators/systems.html>

Monedero (2014). Recuperado de:

http://construyasuvideorockola.com/proy_monederoE.php

Norton, R. (2006). Diseño de Máquinas. New Jersey - Estados Unidos: Pearson Education.

Orquídea dulce (2012,02). Recuperado de:

<http://orquideadulce.blogspot.com/2012/02/diferencia-entre-muffin-y-cupcake.html>

Pallás Areny, R. (1993). Adquisición y distribución de señales. Barcelona-España: MARCOMBO.

Pallás Areny, R. (2003). Sensores y Acondicionadores de Señal. Barcelona-España: MARCOMBO.

Patentados (2014). Recuperado de:

<http://patentados.com/invento/maquina-expendedora-refrigerada.html>

Perso (2014). Recuperado de:

http://perso.wanadoo.es/vicmarmor/efb_equi.htm

Pololu (2014,04,22). Recuperado de:

<http://www.pololu.com/product/1107/specs>

Punto café (2014). Recuperado de:

<http://www.puntocafe.ec/contenidos.php?menu=8&submenu1=65&idiom=1>

Planos (2014). Recuperado de:

<http://www.planospara.com/author/planospara/page/1566>

Repositorio EPN (2010,03,10). Recuperado de:

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2421/1/CD-3146.pdf>

Repositorio ESPE (2006). Recuperado de:

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/1052/1/T-ESPE-014264.pdf>

Rubick (2014). Recuperado de:

<http://rubick16.blogspot.com/>

Sage (2014). Recuperado de:

<http://blog.sage.es/innovacion-tecnologia/la-evolucion-en-las-maquinas-de-vending/>

Satvending-Barcelona(2014). Recuperado de:

<http://satvending-barcelona.blogspot.com/2012/07/1-maquina-de-vending.html>

Sensor (2014). Recuperado de:

https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQw9YO_eS WQYfdyFIpSxyPq0cxKFaWnfrbZeXy6Fx8wLaxcY7M0

Sourcingmap (2014). Recuperado de:

<http://www.sourcingmap.es/electrica-2no-2nc-contacto-momentaneo-rojo-pulsador-interruptor-luz-220-p-132709.html>

Scribd (2006). Recuperado de:

<http://es.scribd.com/doc/3142632/Introduccion-al-Diseno-Mecatronico>

SHIMANO (2012). Recuperado de:

http://issuu.com/felipeluongo/docs/catalogo_shimano_2012_esp_full

Tinervending (2014). Recuperado de:

<http://www.tinervending.com/>

Uned (2014). Recuperado de:

http://e-spacio.uned.es:8080/fedora/get/taee:congreso_20001009/S2D05.pdf

Vending-planet (2014). Recuperado de:

<http://www.vending-planet.es/index.php/historia>

Youtube (2014). Recuperado de:

http://www.youtube.com/watch?v=PANSOEqwB_c

Youtube (2014). Recuperado de:

<http://www.youtube.com/watch?v=xXkecS8qrOE>

GLOSARIO DE TÉRMINOS

CAD: se refiere al diseño asistido por computador.

Cupcake: es una pequeña porción de pastel, se ha convertido en un postre muy popular especialmente en los Estados Unidos donde tiene su origen.

Hole: orificio en la placa electrónica para ser atravesado por los terminales de los elementos electrónicos.

IPC: Ex-Institute for interconnecting and Packaging Electronic Circuits.

LCD: es un display utilizado para mostrar mensajes e incluso gráficos dependiendo de la resolución del mismo.

Pad: espacio recubierto de cobre destinado a la soldadura de los terminales de los elementos electrónicos a la placa electrónica.

PCB: se refiere al circuito impreso. (Placa electrónica)

Protoboard: es una placa de prueba con orificios conectados entre sí en los que se puede colocar componentes electrónicos y conductores, que permite la realización de circuitos electrónicos y probar de esta forma su correcto funcionamiento.

Vending Machine: que en español significa máquina expendedora. Este tipo de máquinas son capaces de distribuir o expender un determinado producto sin la intervención del ser humano durante la acción de venta; poseen un sistema de cobro automático y un sistema para dispensar el producto.