

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA EXPENDEDORA DE PASTELILLOS DE LA MARCA “THE CUPCAKE FACTORY” PARA LA EMPRESA PUBLICIUDAD

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS “ESPE”
Ingeniería Mecatrónica
Freire Mendieta Elizabeth Katherine / Places Villacis Vanessa Elizabeth
Sangolquí, Agosto 2014

INTRODUCCION

Actualmente la tendencia es buscar nuevas formas de distribuir productos de manera masiva con inversiones más bajas; por lo cual el presente proyecto trata sobre el diseño y la construcción del prototipo de una máquina expendedora de pastelillos, ya que en el mercado no existe una máquina que pueda vender este producto sin que sufra caídas y con ello ocurran daños estéticos en el producto que no permitan que posteriormente pueda ser ingerido sin ningún problema. A continuación se detalla el diseño de la parte mecánica y electrónica de este prototipo.

Para evitar la caída del producto la máquina cuenta con un sistema de desplazamiento horizontal que además exhibe los pastelillos en la máquina y un sistema de desplazamiento vertical, para llevarlos desde las estanterías (sistemas de desplazamiento horizontal) hasta el lugar donde puedan ser tomados por el cliente; la máquina cuenta también con un sistema de venta automática que permite el control de la parte mecánica del prototipo para lograr la venta de los productos de manera autónoma.

1. Desarrollo

1.1. Diseño mecánico:

Para evitar la caída del pastelillo la máquina expendedora contará con dos sistemas, uno para el desplazamiento horizontal del producto y otro para el sistema vertical; tanto la forma como las medidas del prototipo están basadas en máquinas expendedoras de frituras, que existen actualmente.

La carcasa o estructura de la máquina contará con cinco bandejas donde se ubicarán los sistemas de desplazamiento horizontal, un espacio en el lado izquierdo para la colocación del sistema de desplazamiento vertical y área en la parte inferior para el

almacenamiento de las monedas y ubicación de la placa electrónica y fuente de alimentación:

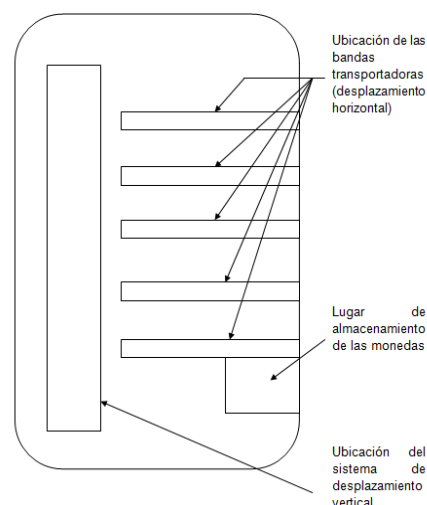


Ilustración 1 Diseño conceptual del prototipo de la máquina expendedora de pastelillos

1.1.1. Sistema de desplazamiento horizontal:

Para este sistema la máquina contará con bandas transportadoras, cuyo diseño se muestra a continuación:

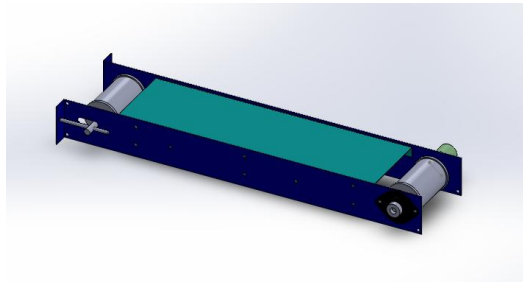


Ilustración 2 Diseño de la banda transportadora¹

Este sistema fue elegido por las siguientes razones:

- Permite que el producto se muestre completamente.
- Es un sistema robusto.
- Tiene mayor capacidad en base a su longitud.

La banda para este sistema, es una banda alimenticia de PVC resistente a grasas y aceites vegetales, y con resistencia limitada a grasas y aceites animales cuyo modelo es Clina (PVC) C12AF.

El sistema tiene dos flechas, una de ellas denominada flecha motriz, puesto que está acoplada directamente al motor y es quien produce el movimiento de la banda, la segunda flecha denominada flecha conducida está formada por un eje fijo para el sistema de ajuste y un tambor acoplado a él mediante dos rodamientos, lo que permite su movimiento alrededor del eje fijo. Las bandas transportadoras cuentan con dos soportes laterales y uno central; y con un sistema de ajuste

que permite el desplazamiento longitudinal de la flecha conducida, variando de esta forma la distancia entre flechas y permitiendo la tensión de la banda para su correcto funcionamiento.

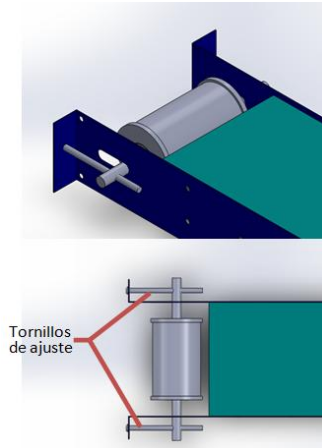


Ilustración 3 Sistema de ajuste de las bandas transportadoras

1.1.2. Sistema de desplazamiento vertical:

Para el desplazamiento vertical utilizamos un sistema de cadena-catarina que funciona como un sistema de polea; en uno de los extremos se encuentra la cabina receptora del producto y en otro el contrapeso de la cabina:

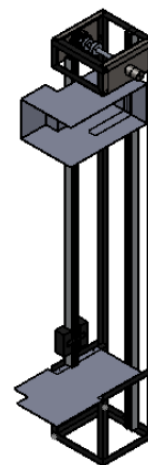


Ilustración 4 Imagen del sistema de desplazamiento vertical

¹ Imagen tomada del programa SolidWorks, fuente propia

Este sistema está formado por una estructura donde se ubican las guías tanto de la cabina como del contrapeso, porque al no ser la cadena un elemento completamente rígido, al ascender y descender los elementos acoplados a ella no mantienen una sola posición en el eje X, y su movimiento podría ocasionar choques o roces entre ellos, mientras que las guías limitan totalmente este movimiento.

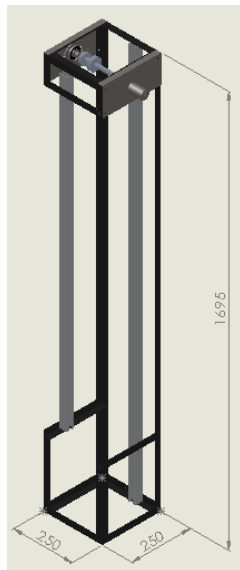


Ilustración 5 Estructura del sistema de desplazamiento vertical

En la parte superior de la estructura se encuentra el eje donde está acoplado el motor y la Catarina:

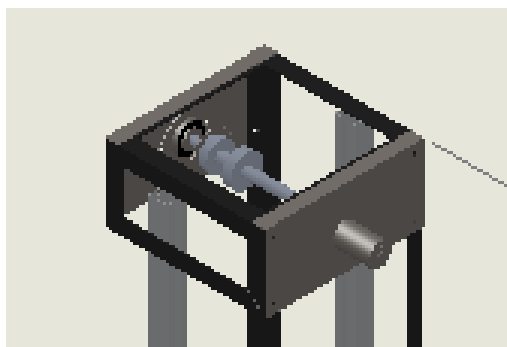


Ilustración 6 Parte superior del sistema de desplazamiento vertical

1.1.3. Estructura metálica:

La parte externa de la máquina es un armario metálico con cuatro bandejas en su lado derecho para colocar allí las

bandas transportadoras; en la parte inferior, una mesa sobre la cual se ubicará la quinta banda transportadora y en su parte inferior derecha la gaveta donde se almacena el dinero.

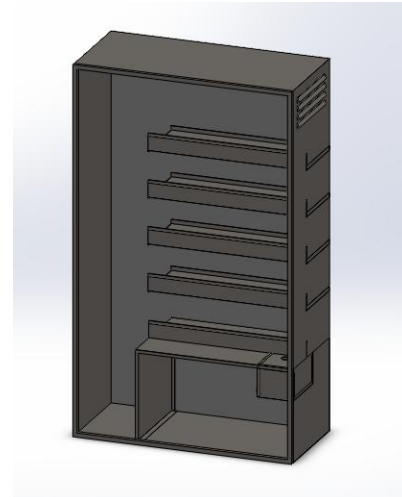


Ilustración 7 Estructura metálica de la máquina

La puerta del armario metálico cuenta con un orificio de gran tamaño donde se ubica un vidrio laminado para observar el interior del mismo y exhibir el producto, y orificios donde se ubican los pulsadores para la selección del pastelillo, el LCD de 16x2² y el monedero.

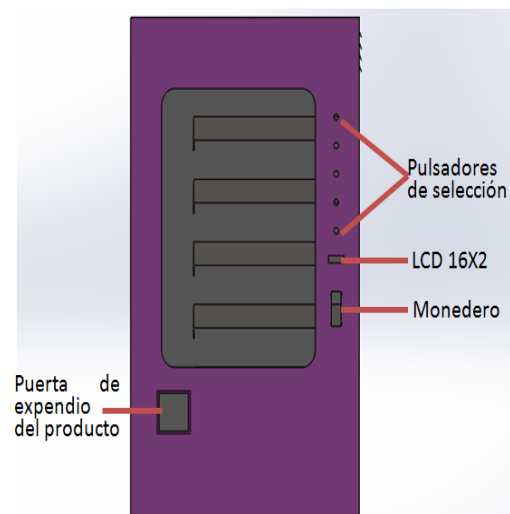


Ilustración 8 Puerta principal de la máquina

² Pantalla electrónica

1.1.4. Puerta de expendio del producto:

En la puerta principal de la estructura de la máquina se ubica una puerta pequeña de 15 x 15 [cm] por donde el cliente puede retirar el producto. Para evitar sustracciones de los pastelillos ésta puerta permanecerá cerrada si no se ha realizado ninguna compra, para este efecto utilizamos un motor que tiene acoplado un sistema de engraneto-rnillo sin fin para transformar su movimiento rotacional a un movimiento lineal; esto nos servirá para acoplar este actuador a una varilla que se desplaza entre un orificio ubicado en el marco en la puerta principal y la puerta de expendio (sistema similar a la aldaba de una puerta); el accionamiento del motor permite que la varilla suba y baje, cuando se ubica en la parte superior la puerta está asegurada y el cliente no puede abrirla, y cuando la varilla se encuentra en la parte inferior la puerta se encuentra libre para su apertura.



Ilustración 9 Sistema de seguridad para la puerta de expendio del producto

1.2. Parte electrónica:

1.2.1. Actuadores de los sistemas de desplazamiento:

Tanto para el sistema de desplazamiento horizontal como para el sistema de desplazamiento vertical se utilizó motores DC con caja reductora:

Tabla 1 Especificaciones técnicas del motor DC

CARACTERISTICA	VALOR
Relación de reducción	131:1
Velocidad del motor	80 [rpm]
Voltaje de alimentación	De 6 a 12 [V]
Corriente libre del motor	300 [mA]
Par máximo a 12 [V]	250 [oz-in]
Corriente máxima a 12 [V]	5 [A]

Para determinar la velocidad óptima para cada sistema se realizaron pruebas de funcionamiento variando el valor de PWM³ para cada motor y observando el desplazamiento del pastelillo sobre las bandas transportadoras y en el sistema de desplazamiento vertical.

1.2.2. Monedero electrónico:

Para la recepción de las monedas se colocó en la máquina un monedero electrónico en cuyo interior se ubica una moneda patrón y el monedero solo aceptará monedas iguales a la moneda patrón:



Ilustración 10 Monedero electrónico

Tabla 2 Características técnicas del monedero electrónico

Características	Valor
Voltaje de operación	12 [V] dc
Corriente de operación	650 [mA]
Temperatura de operación	-15°C a 75°C
Señal de salida	20 ms/40ms/100ms; 650 [mA]
Diámetro de la moneda	18 [mm] a 26 [mm]

³ Modulación por ancho de pulso

El monedero está alimentado con 12 voltios de corriente continua y posee un interruptor de configuración para elegir el estado de la señal de salida (normalmente abierta o normalmente cerrada), una vez que se ingresa una moneda igual a la moneda patrón en el monedero la señal de salida es activada, lo que permite contabilizar el número de monedas que ha ingresado al sistema.

Las monedas que no son iguales a la moneda patrón son rechazadas y entregadas nuevamente al cliente.

1.2.3. Señales de entrada:

Para realizar la parte de control de la máquina determinamos primero las señales que actúan dentro del sistema; en este caso analizamos cuales son las señales de entrada y de qué tipo son cada una:

Tabla 3 Señales de entrada del sistema

Tipo de señal	Dispositivo	Función
Digital	Interruptor magnético	Detectar la ubicación de la cabina en el sistema de desplazamiento vertical
Digital	Pulsadores	Seleccionar el nivel del pastel deseado
Digital	Sensor infrarrojo	Detectar las monedas ingresadas en la máquina
Digital	Interruptor magnético	Detectar si la compuerta está cerrada o abierta
Digital	Interruptor	Permite el cambio de modo venta a modo configuración
Digital	Pulsadores	Configuración del número de créditos y valor del crédito

A lo largo del sistema de desplazamiento vertical se ubican seis sensores magnéticos, uno frente a cada nivel horizontal y en la zona de

recepción del pastelillo, estos se activan al aproximarse un imán ubicado en la cabina receptora, de esta forma sabemos el momento en que la bandeja atraviesa cada bandeja horizontal.



Ilustración 11 Ubicación de los interruptores magnéticos

Los cinco pulsadores están ubicados en la puerta principal del armario metálico y le corresponde uno a cada nivel, lo que permite al cliente seleccionar el tipo de pastelillo que desea comprar (cinco opciones).



Ilustración 12 Pulsadores en la puerta principal del armario metálico

El sensor infrarrojo se utilizó porque al realizar pruebas de funcionamiento con el monedero se descubrió un problema en la detección de ingreso de

monedas, puesto que no todas las monedas ingresadas eran detectadas por el sistema y para dar solución a este problema se colocó un sensor infrarrojo (emisor-receptor) en el orificio donde caen las monedas ingresadas y aceptadas por el monedero, y mediante esta señal el sistema de control contabiliza el crédito ingresado a la máquina.

En la puerta de expendio del producto se colocaron dos interruptores magnéticos de iguales características a los sensores del sistema de desplazamiento vertical, que detectan si la puerta está abierta o cerrada, lo que a su vez permite la activación del motor acoplado a la varilla de seguridad de esta puerta:



Ilustración 13 Ubicación de los sensores en la puerta de expendio

En la placa de control se ubica un interruptor que permite que el sistema de control cambie de modo venta a modo configuración; el modo venta permite el expendio del producto, mientras que el modo configuración accede al cambio en el número de créditos que debe ingresarse para efectivizar la compra además de la denominación de la moneda que acepta la máquina, estos dos variables son configuradas por un operario de la empresa “The cupcake factory”, a través de dos pulsadores ubicados también en la placa de control y son almacenados en la memoria EEPROM del microcontrolador, para evitar que sean reseteados cuando se quite la energía eléctrica a la máquina.

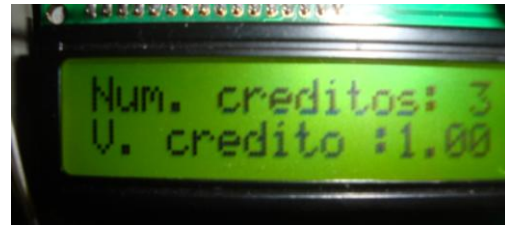


Ilustración 14 Modo configuración del sistema

1.2.4. Señales de salida:

Una vez determinadas las señales de entrada del sistema analizamos cuáles son nuestras señales de salida en base a los actuadores de la máquina:

Tabla 4 Señales de salida

Tipo de señal	Dispositivo	Función
Digital	LCD	Presentar mensajes al cliente
Digital	Motor con caja reductora (131:1) 12VDC	Actuadores de los sistemas de desplazamiento
Digital	Motor 12VDC	Movimiento de la varilla para el sistema de seguridad de la puerta de expendio
Digital	Luz piloto de pulsadores	Mediante su activación y el accionamiento del pulsador correspondiente a la luz permite que esta se encienda (luz de los pulsadores en la puerta principal).

El LCD utilizado en este proyecto, es un LCD de 16x2 para cuyo control necesitamos de seis bits en el microcontrolador dos netamente para el

control y cuatro para la transmisión de datos.

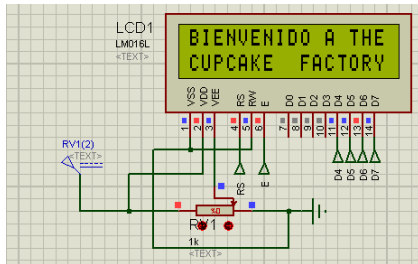


Ilustración 15 Configuración de los pines en el LCD

Para los actuadores del sistema se requiere una señal que direcciona que actuator es el que debe activarse y adicional a ello la señal PWM para cada motor, que en el caso del sistema de desplazamiento horizontal es el mismo valor para los cinco bandas transportadoras.

Para el motor del sistema de seguridad de la puerta de expendio del producto no se requiere de la señal de pwm, solo la señal de activación para este actuator.

Las luces en los pulsadores de selección requieren de dos condiciones para activarse, la primera es una señal digital que proviene del microcontrolador y la otra es la activación del pulsador correspondiente:

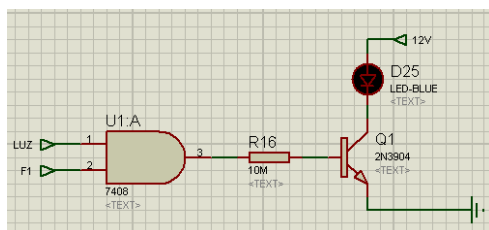


Ilustración 16 Conexión para el encendido de las luces en los pulsadores de selección

1.2.5. Control del sistema:

Para realizar el control del sistema se utilizó el microcontrolador de ATMEL el AVER ATMEGA 164P que posee cuatro puertos programables con ocho bits cada uno. La señal enviada por el

sensor infrarrojo para detectar el ingreso de monedas al sistema fue conectada al bit de interrupción del microcontrolador, para dar prioridad a esta opción dentro del programa.

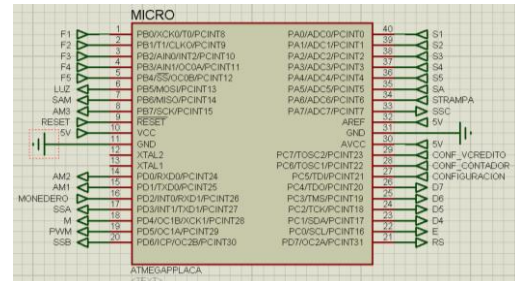


Ilustración 17 Configuración de pines en el microcontrolador

Siendo:

- F1, F2, F3, F4 y F5 las señales de los pulsadores de selección.
- S1, S2, S3, S4, S5 y SA las señales de los interruptores magnéticos en el sistema de desplazamiento vertical.
- STRAMPA la señal que muestra el estado de la puerta de expendio (abierta/cerrada),
- MONEDERO la señal enviada por el sensor infrarrojo (emisor-receptor) cuando ha ingresado una moneda al sistema.
- AM1, AM2, AM3 y SAM señales para el direccionamiento la activación y los motores tanto de los sistemas de desplazamiento como para el motor del sistema de seguridad de la puerta de expendio.
- PWM y M, señal de pwm para los motores de las bandas transportadoras y para el sistema de desplazamiento vertical.
- SSA, SSB y SSC pines libres en el microcontrolador.
- RESET señal del pulsador para resetear al microcontrolador.

- CONFIGURACION señal del interruptor para ir de modo venta a modo configuración.
- CONF_VCREDITO Y CONF_CONTADOR señales de los pulsadores para cambiar el número de créditos o monedas que deben ingresarse al sistema para que la venta se haga efectiva y cambiar también la denominación de la moneda que debe ingresarse al sistema.
- E, RS, D4, D5, D7 bits para el control y envío de datos al LCD.

En el modo configuración el accionamiento de los pulsadores ubicados en la placa electrónica permite el cambio del número de créditos para realizar la compra (valor del producto) y la denominación de la moneda patrón.



Ilustración 19 Modo configuración

1.2.6. Software del sistema:

Este proyecto ha sido desarrollado en BASCOM, este es un IDE (Ambiente Integrado de Desarrollo) de aplicaciones para microcontroladores de la familia AVR de ATMEL, incluye un compilador de lenguaje de programación BASIC a código máquina.

En el modo venta si no se ha ingresado monedas en el sistema aparece un mensaje de bienvenida para los clientes:

```

BASCOS-AVR IDE [20.7.1] - (C:\Users\User\Documents\VANU\Universidad\Tesis\Parte electronica\1\programas\and1.bas)
File Edit View Program Tools Options Window Help
program1.bas vavr1.bas
Sub
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 Conf_monedas
End If
If Contador = 0 AND Monedas > Contador AND Y = 0 Then
Call Cred_comp
Call Filas
End If
If A = 1 Then
Call ascensor_subida
End If
If B = 1 Then
Call Sencorres
End If
If C = 1 Then
Call Bandas
End If
If D = 1 Then
Call ascensor_bajada
End If
If E = 1 Then
Call Piso_inferior
End If
If F = 1 Then
Call Motor_trempa
End If
If G = 1 AND W = 1 Then
Call Sensor_puerta
End If
If H = 1 Then
Call Final
End If
Else
Call Rutina_configuracion
End If
Loop

```

Ilustración 18 Programa principal en BASCOM⁴

El programa de este proyecto está basado en subrutinas para hacerlo más eficiente y su funcionamiento es el siguiente:



Ilustración 20 Mensaje que se muestra si no se está realizando una venta

Una vez que se ingresa las monedas al sistema, empieza a contabilizar el crédito ingresado:



Ilustración 21 Contabilización del crédito ingresado

Cuando se ha ingresado el valor total del pastelillo el sistema pide al cliente elegir el producto que desea comprar:

⁴ Imagen tomada del programa BASCOM; fuente propia



Ilustración 22 Elección del pastelillo

La elección se realiza a través del accionamiento de los pulsadores ubicados en la puerta del armario principal, al ser presionado uno de los pulsadores el sistema de control acciona el motor del sistema de desplazamiento vertical y lo desactiva cuando el interruptor magnético del nivel seleccionado es activado (ubicación de la cabina receptora en el nivel seleccionado con los pulsadores).

Una vez colocada correctamente la cabina receptora se acciona la banda transportadora del nivel correspondiente para desplazar el pastelillo desde la banda hacia la cabina; posterior a ello se invierte la polaridad para accionar nuevamente el motor del desplazamiento vertical lo que permite el cambio en el sentido de giro de este actuador.

Cuando la cabina llega finalmente al punto más bajo del sistema de desplazamiento vertical acciona el interruptor magnético ubicado en este lugar y el sistema de control activa el motor de la varilla del sistema de seguridad de la puerta de expendio; y los sensores en ella ubicados permiten conocer si la puerta se encuentra abierta o cerrada, es decir, si el cliente ha retirado ya el producto o aún no lo hace, y estas señales permiten al sistema la activación nuevamente del motor de la varilla del sistema de seguridad.

Finalmente todas las variables del programa son encerradas para que el

sistema este apto para realizar una nueva compra.

2. Conclusiones

- ✓ Para implementar el control y automatización es necesario contar con sensores en el sistema de desplazamiento vertical y en la puerta de expendio que emitan las señales requeridas para que se active el actuador correspondiente; además 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, la efectividad de la venta y evitar hurtos del producto.
- ✓ El prototipo realizado tiene un valor aproximado a la mitad del costo de importar una máquina a medida de iguales características técnicas, ya que no existen en el mercado nacional ni internacional.
- ✓ Para la selección de los sistemas de desplazamiento tomamos en cuenta el requerimiento de fácil mantenimiento, por lo cual para el desplazamiento horizontal escogimos bandas transportadoras cuyo mantenimiento es simplemente verificar el sistema de ajuste; 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, para conseguir una transición suave del pastelillo al transportarse hemos reducido al máximo la distancia entre la banda transportadora y el ascensor; además se colocó los pastelillos con una inclinación de 26° para que se deslicen con mayor facilidad.
 - ✓ Con la implementación del sensor infrarrojo para contabilizar las monedas se ha garantizado que el sistema de cobro funcione correctamente. Cabe recalcar que el hecho de que la máquina contabilice acertadamente las monedas permite que el cliente tenga la seguridad de no ser estafados y por ende reducir el índice de actos vandálicos contra la misma.
 - ✓ Se ha cumplido con el objetivo propuesto para el desarrollo del proyecto, 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.
3. Recomendaciones
- ✓ Debido a que los actuadores en los sistemas de desplazamiento requieren una alimentación de 12V y una corriente de 3,5A, además la parte de control requiere 5V y aproximadamente 600mA y se recomienda colocar dos fuentes de alimentación, para garantizar el abastecimiento de corriente y evitar 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, en el espacio que existe entre la pieza de hierro y la guía se debe colocar un material capaz de absorber vibraciones pero procurando que el coeficiente de rozamiento dinámico sea el menor posible, por lo cual colocamos caucho plastificado.
 - ✓ 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.

- ✓ 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 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, y crear el efecto trampa, que en nuestro diseño es asegurar la puerta de expendio para que esta se abra solamente cuando se haya realizado una compra.
 - ✓ Las tolerancias geométricas 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.
- Mecánica de Shigley. México: Mc Graw Hill.
- ✓ Catalogo NTN chumaceras (2009). Recuperado de: <http://es.scribd.com/doc/58232379/CATALOGO-DE-CHUMACERAS-NTN-ESPANOL>
 - ✓ Daniel López (2010,09). Recuperado de: <http://daniellopezcorrea8b.blogspot.com/2010/09/ascensor-tetrapack.html>
 - ✓ Microcontroladores (2009,11). Recuperado de: http://microcontroladores2utec.files.wordpress.com/2009/11/180909_articulo_colaboracion_boletin_fica_omar_otoniel_flores.pdf
 - ✓ Pallás Areny, R. (2003). Sensores y Acondicionadores de Señal. Barcelona-España: MARCOMBO.

4. Fuentes de información

- ✓ Beer, F., Johnston, R., & DeWolf, J. (2004). Mecánica de Materiales. México: Mc Graw Hill.
- ✓ Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). Diseño en Ingeniería