

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

DISPENSADOR AUTOMÁTICO DE PASTILLAS

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Mecatrónico**, que presenta el bachiller:

José Luis Sánchez Noriega

ASESOR: Elizabeth Villota Cerna, PhD

Lima, julio de 2015

Resumen

El presente trabajo consiste en el diseño de un dispensador automático de pastillas, orientado principalmente a personas enfermas de la tercera edad que suelen tener problemas para recordar el momento y la dosis exacta de pastillas que deben tomar para cumplir con su tratamiento médico. El dispositivo permite almacenar pastillas en hasta 7 contenedores distintos e ingresar a través de una interfaz gráfica los horarios y dosis de cada una de ellas. El sistema alerta al usuario cuando llega el momento establecido para tomar las pastillas y además extrae las pastillas necesarias de cada contenedor, para luego colocarlas en un compartimento final desde donde el usuario puede recogerlas.

En los siguientes capítulos se explicará el diseño del sistema mecatrónico planteado, haciendo énfasis en su funcionamiento y lógica de control. Además se mostrarán los planos mecánicos y eléctricos en los que se puede apreciar detalladamente el interior del sistema y cómo es posible realizar las funciones descritas manteniendo un diseño compacto (30 cm x 25 cm x 15 cm), de modo que se adecúe a distintos espacios.

Índice

1. Presentación de la problemática.....	4
2. Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto.....	5
2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico.....	5
2.2 Concepto del sistema mecatrónico.....	6
3. Sistema mecatrónico.....	10
3.1 Estructura de funciones del sistema mecatrónico.....	10
3.2 Sensores y actuadores.....	12
3.3 Planos del sistema mecánico.....	18
3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico.....	25
3.5 Diagramas de flujo del programa de control.....	32
4. Presupuesto.....	45
5. Conclusiones.....	48
Bibliografía.....	49

Capítulo 1

Presentación de la problemática

Hoy en día es usual que las personas que sufren enfermedades, en su mayoría de la tercera edad, posean extensas recetas de medicamentos los cuales se deben de tomar en distintas dosis y horarios. Un problema recurrente que surge a raíz de esto es el recordar el momento indicado y las pastillas que deben ser ingeridas. Las consecuencias del olvido o confusión suelen ser perjudiciales para la salud, ya que dilatan el tiempo de tratamiento o simplemente este no tiene los efectos esperados.

Esto repercute no solo en las personas enfermas, sino también afecta la economía del estado. De acuerdo al PHMRA (Pharmaceutical Research and Manufacturers of America) (2011) en Estados Unidos se generan pérdidas de hasta 100 millones anuales porque los pacientes no siguen correctamente sus prescripciones médicas por motivos diversos.

Existen en el mercado distintos dispositivos que permiten al usuario clasificar y almacenar la dosis de sus pastillas de muchas formas y notificarle cuando ha llegado el momento de tomarlas; sin embargo, estos dejan en manos del usuario el proceso de dosificación de las pastillas antes de ser almacenadas en compartimentos distintos.

El proyecto que aquí se presenta es un sistema mecatrónico que permite almacenar pastillas en distintos contenedores y realizar automáticamente el proceso de dosificación de estas. El sistema mecatrónico se configura a través de una interfaz amigable para el usuario. En términos generales el uso del sistema propuesto no es excluyente, salvo en el caso de niños pequeños; sin embargo, está orientado principalmente a personas de la tercera edad, ya que en ellas el problema de olvido de tomar sus medicamentos es más frecuente.

En los siguientes capítulos se explicará con detalle los requerimientos, el concepto, diseño y funcionamiento de este sistema mecatrónico.

Capítulo 2

Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto

2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico

De acuerdo a la problemática planteada y al contexto en la que esta se desarrolla el sistema mecatrónico presenta los siguientes requerimientos:

- ✓ Interfaz visual amigable al usuario para el ingreso y configuración de datos.
- ✓ Entrada única de pastillas.
- ✓ Salida única de la dosis de pastillas correcta.
- ✓ Capacidad de dosificar pastillas de distintas formas y tamaños.
- ✓ Capacidad de almacenar hasta 7 tipos de pastillas.
- ✓ Sistema interno no debe quedar expuesto al usuario.
- ✓ Los contenedores deben permanecer cerrados.
- ✓ Se debe contar con un sistema de alarma.
- ✓ El sistema debe poseer un tamaño compacto.
- ✓ Sistema confiable que permita conocer al usuario el nivel del contenido de cada contenedor y saber cuando sea necesario ingresar más pastillas.

2.2 Concepto de la solución

Las figuras 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4 muestran la vista frontal, lateral, superior e isométrica respectivamente del dispensador automático de pastillas, este presenta una cavidad superior para el ingreso de pastillas y una cavidad de salida en la parte inferior frontal, además de una pantalla LCD táctil de 7 pulgadas que sirve de interfaz hacia el usuario y que permite configurar el horario en el que serán recogidas las dosis de pastillas.

La estructura exterior está conformada por 3 partes (tapa frontal, tapa lateral y tapa posterior) que se juntan por uniones atornilladas y que están hechas de acrílico (Polimetilmetacrilato [PMMA]).

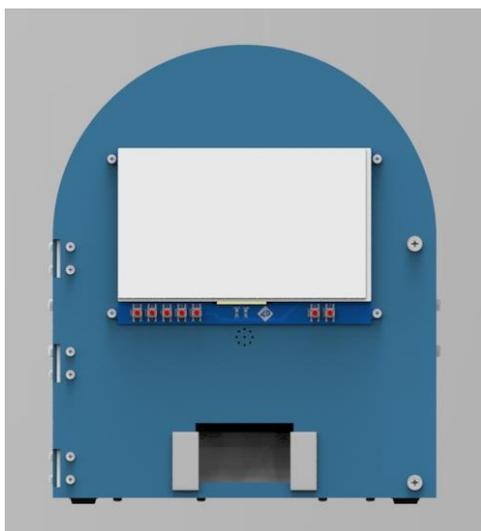


Fig. 2.1: Vista Frontal. Fuente: Elaboración Propia.



Fig. 2.2: Vista Lateral. Fuente: Elaboración Propia.

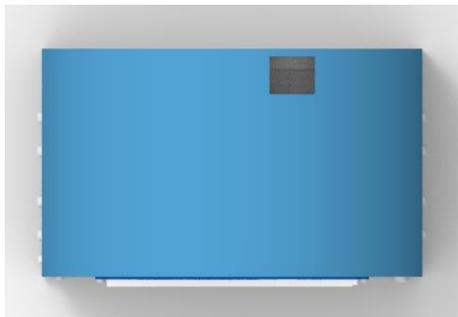


Fig. 2.3: Vista Superior. Fuente: Elaboración Propia.

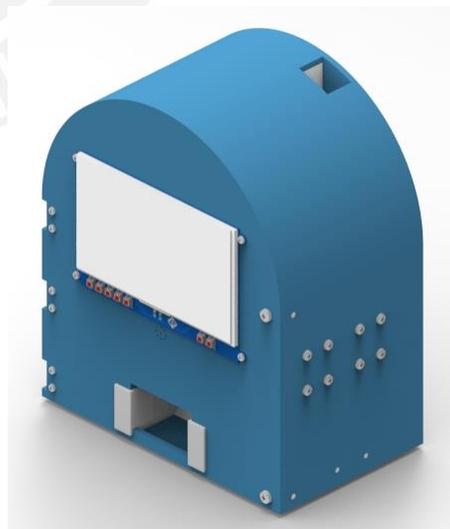


Fig. 2.4: Vista Isométrica. Fuente: Elaboración Propia.

En la Fig. 2.5 se observan los elementos montados sobre la tapa frontal del dispositivo desde una vista posterior, en ella se ubica la pantalla LCD (4DCAPE-70T), la cual es una tarjeta electrónica que se acopla directamente a un BeagleBone Black, controlador usado por el sistema, a través de uno de los dos *sockets* que la pantalla posee en la parte trasera, de modo que el primero posibilita la comunicación entre la LCD y el controlador, mientras que el segundo, que se muestra libre en la imagen inferior, permite conectar el BeagleBone Black a los demás elementos electrónicos del dispensador. El *piezo buzzer* o zumbador es el dispositivo que permite al sistema emitir el sonido de alarma. El zumbador al igual que toda la parte posterior de la pantalla LCD y los componentes que están montados en ella están protegidos por una cubierta de acrílico que posee una abertura en la parte inferior derecha para la salida de cables de alimentación y control. En la parte inferior de la tapa frontal se ubica la cavidad de salida de pastillas y en los costados 3 bisagras y dos agujeros pasantes para uniones atornilladas, de modo que si se desea acceder al interior del dispositivo, no se necesite desacoplar totalmente esta parte del resto del cuerpo.

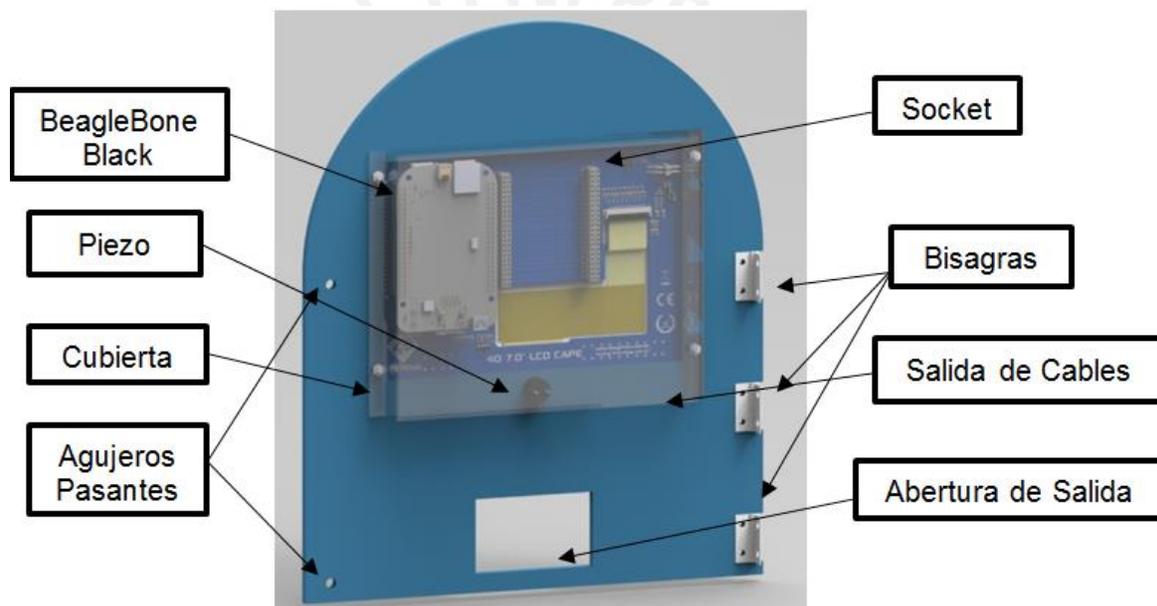


Fig. 2.5: Tapa Frontal. Fuente: Elaboración Propia.

En la Fig. 2.6 se observa una vista interior del dispensador automático de pastillas, este presenta 7 contenedores que están apilados y distribuidos circularmente, ver Fig. 2.7. Los contenedores giran alrededor de dos rodamientos a los cuales están acoplados mediante ejes que pasan a través de los agujeros señalados en la Fig. 2.7 (círculos anaranjados) y que son sostenidos a su vez por 2 estructuras internas de acrílico montadas a la tapa lateral por *brackets*. El giro de los contenedores es controlado mediante un mecanismo de transmisión de engranajes por un motor a pasos, el cual posiciona el contenedor con las pastillas requeridas en la parte central inferior. En esta posición, un actuador lineal hace descender a una ventosa conectada por una manguera a una bomba de vacío que, al energizarse, produce la succión necesaria para levantar una pastilla. Un solenoide ayuda a mantener la posición de los contenedores, estos ocupan las 7 octavas partes de la circunferencia en la que se distribuyen, permitiendo de este modo dejar un espacio vacío para que la pastilla pueda ser expulsada por la cavidad de salida cuando los contenedores regresan a su posición inicial. Para expulsar la pastilla se retira el

suministro de energía a la bomba de modo que deje de producir succión sobre la pastilla y esta caiga por gravedad. El ingreso de las pastillas a sus contenedores se da por la cavidad de entrada, ver Fig. 2.8, la cual posee una compuerta conectada a un servomotor que limita la cantidad de pastillas ingresantes y restringe el paso de las pastillas hasta que el contenedor se posiciona correctamente en la parte central inferior. Un sensor de proximidad permitirá saber el nivel de llenado de los contenedores (valor aproximado), lo cual ayudará al controlador a saber la posición a la cual el vástago del actuador lineal deberá descender para succionar una pastilla, mientras que un emisor y receptor infrarrojo comprobará si los contenedores están vacíos emitiendo una luz a través del agujero que presentan los contenedores en la parte inferior (círculo rojo). Las partes mencionadas que no son visibles en la Fig. 2.6 serán expuestas con mayor detalle en los capítulos siguientes debido a la complejidad del sistema.

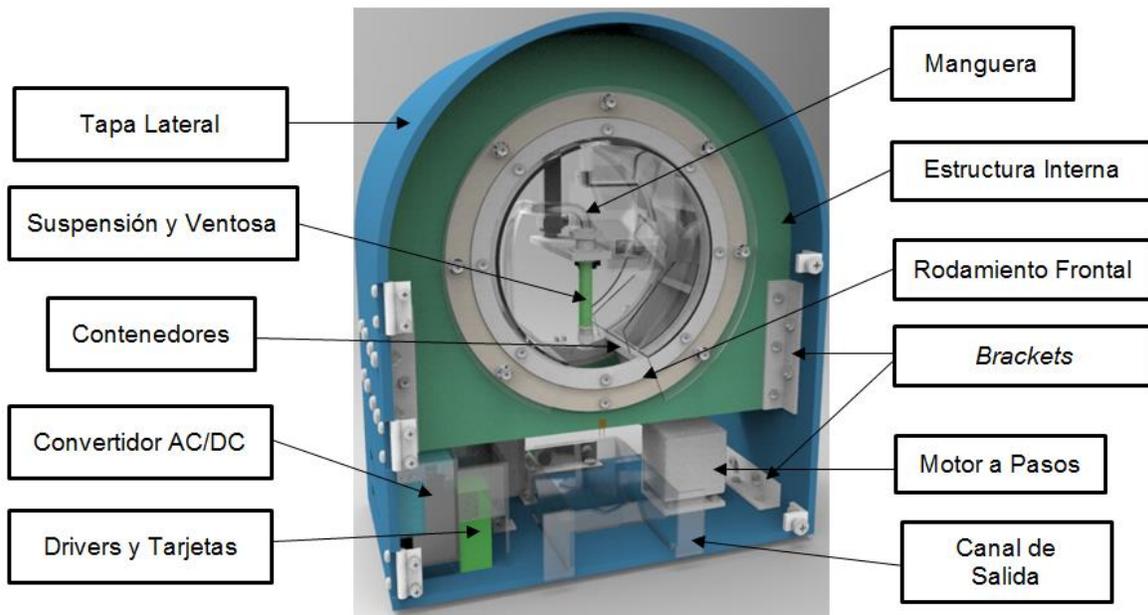


Fig. 2.6: Vista Interior del Dispensador. Fuente: Elaboración Propia.

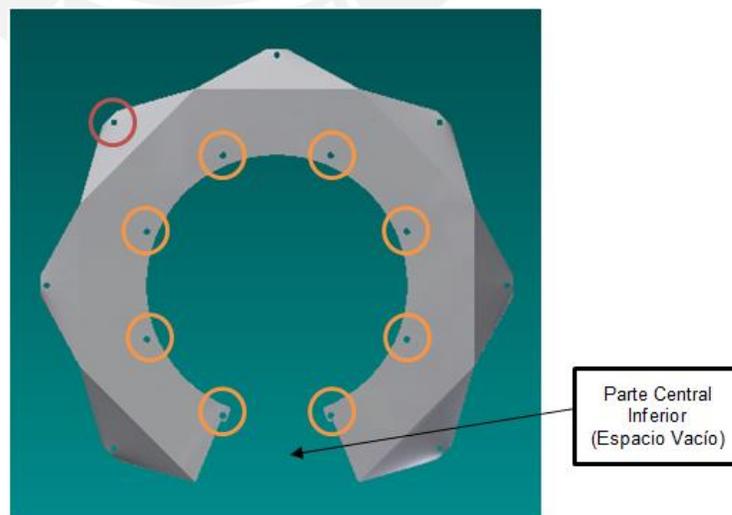


Fig. 2.7: Distribución de Contenedores. Fuente: Elaboración Propia.

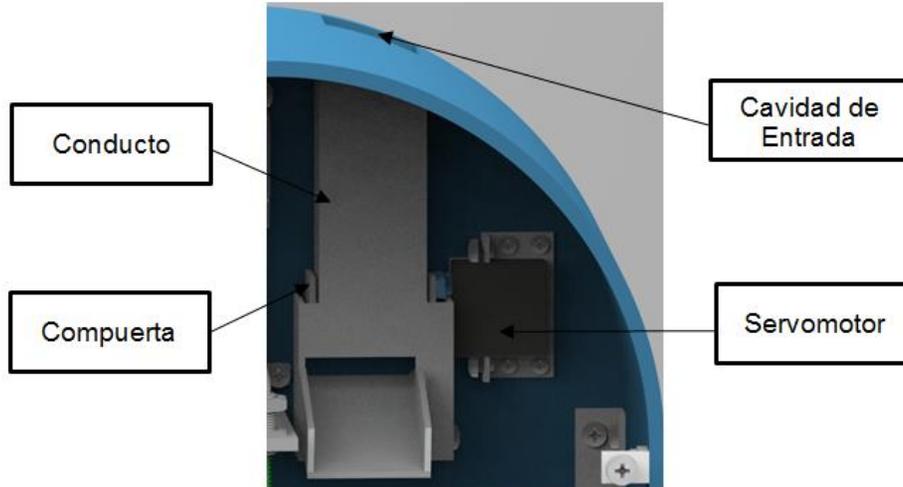


Fig. 2.8: Ingreso de Pastillas. Fuente: Elaboración Propia



Capítulo 3

Sistema mecatrónico

3.1 Estructura de funciones del sistema mecatrónico

La Fig. 3.1 muestra la estructura de funciones del sistema mecatrónico, el cual será explicado a continuación.

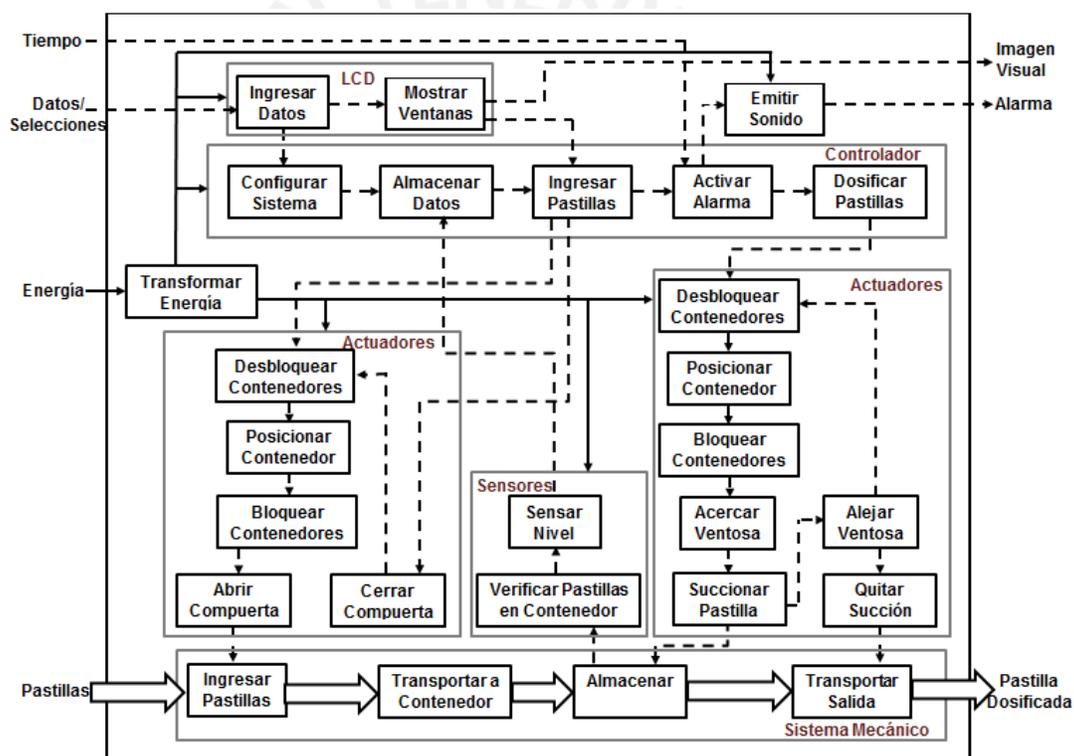


Fig.3.1 Estructura de Funciones del Sistema Mecatrónico. Fuente: Elaboración Propia

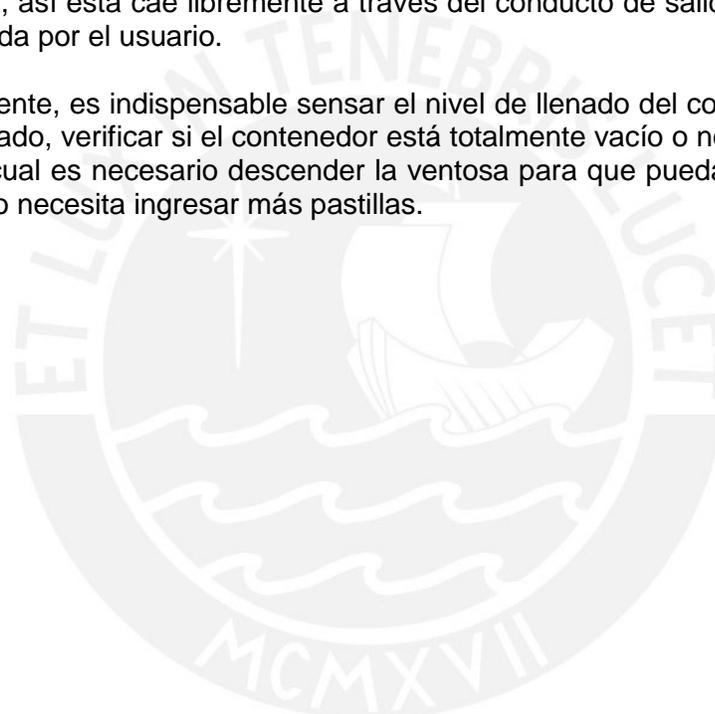
El dispensador se alimenta directamente desde un tomacorriente (220 V AC), por lo que es necesario transformar la energía suministrada y luego distribuirla a los distintos componentes electrónicos, los cuales trabajan con voltaje DC (12 o 5 V).

Los datos ingresados (recetas) y opciones seleccionadas a través de la pantalla táctil son almacenados y procesados por el controlador del sistema (BeagleBone Black) que a su vez muestra en la pantalla LCD las ventanas y opciones que posee. De acuerdo a los datos ingresados se activará la alarma en el horario establecido por el usuario y empezará el proceso de dosificación.

Previamente es necesario ingresar pastillas a los contenedores. Cuando el usuario selecciona esta opción a través de la pantalla táctil, debe introducirlas en el conducto de entrada del sistema mecánico del dispensador, es entonces cuando se desbloquea los contenedores de modo que pueda posicionarse el contenedor requerido en el lugar donde recibirá las pastillas, seguidamente se vuelve a bloquear los contenedores para mantener la posición y se abre la compuerta para que las pastillas caigan desde el conducto de entrada y se almacenen en el contenedor establecido. Finalmente se cierra la compuerta de ingreso y el sistema vuelve a su posición inicial.

El proceso de dosificación consiste en posicionar el contenedor con las pastillas requeridas en la parte central inferior, cuando esto sucede un actuador lineal introduce una ventosa en el contenedor, de modo que una bomba de vacío conectada a esta produzca la succión necesaria para levantar una pastilla, entonces la ventosa vuelve a su posición inicial con la pastilla succionada, los contenedores retornan y se quita la succión a la pastilla, así esta cae libremente a través del conducto de salida hasta el lugar donde será recogida por el usuario.

Adicionalmente, es indispensable sensar el nivel de llenado del contenedor y ya que este es aproximado, verificar si el contenedor está totalmente vacío o no, esto permite conocer el nivel al cual es necesario descender la ventosa para que pueda succionar la pastilla y si el usuario necesita ingresar más pastillas.



3.2 Sensores y actuadores

Las hojas de datos de los sensores y actuadores se encuentran adjuntas en el Anexo 1.

3.2.1 Sensores

3.2.1.1 Sensor de Proximidad:

El sensor de proximidad utilizado para medir el nivel de las pastillas en los contenedores se muestra en la Fig. 3.2 a); en la Fig. 3.2 b) se observa su ubicación justo detrás de la suspensión y montado debajo del acople que une a este con el vástago del actuador lineal.

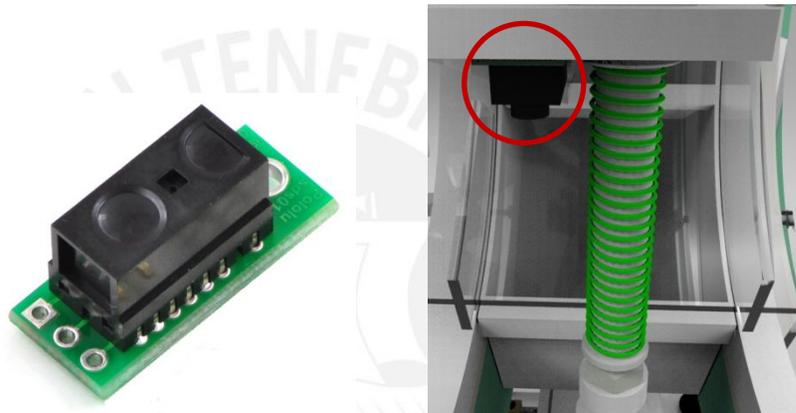


Fig. 3.2 a) Sensor de Proximidad [14] b) Ubicación. Fuente: Elaboración Propia

El sensor de proximidad presenta las características descritas en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Detalles técnicos del sensor de proximidad

Digital Distance Sensor 5cm	
Marca y modelo	Sharp GP2Y0D805Z0F
Voltaje de Operación	2.7 - 6.2 V DC
Corriente promedio (consumo)	5 mA (típico)
Rango de medición	0.5 – 5 cm
Salida	Digital (Nivel bajo cuando detecta)
Dimensiones	13.6 mm x 7 mm x 7.96 mm
Masa	0.8 g

3.2.1.2 Sensor IR:

El sensor infrarrojo es usado para detectar si un contenedor está vacío o no, este consta de 2 partes un emisor y un detector de luz infrarroja, el valor de voltaje en la salida varía cuando un objeto se interpone entre los dos. Los componentes del sensor infrarrojo se muestran en la Fig. 3.3 a), mientras que en la Fig. 3.3 b) se observa su ubicación (círculo: amarillo (emisor), rojo (detector)), uno frente al otro en la estructura interior frontal y posterior respectivamente.

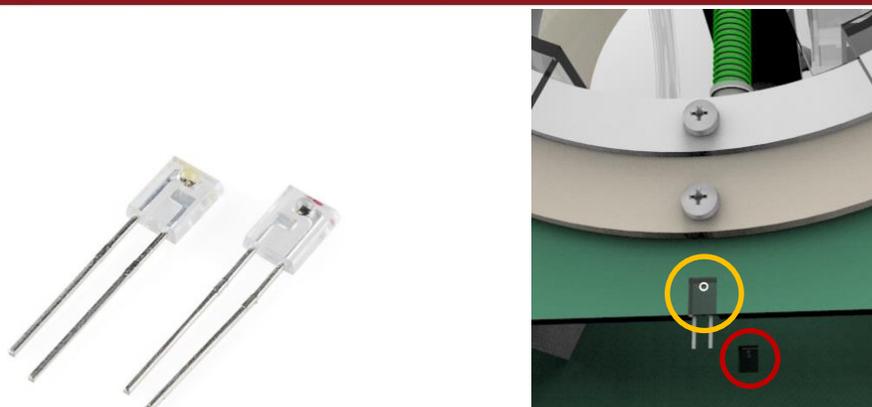


Fig. 3.3 a) Emisor y detector infrarrojo [15] b) Ubicación. Fuente: Elaboración Propia

Las características de cada uno de ellos se presentan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Detalles técnicos del sensor IR

IR Emitter	
Marca y modelo	LTE-302
Potencia disipada	75 mW
Corriente continua	50 mA
Voltaje directo (ánodo - cátodo)	1.2 V (típico a 20 mA)
Longitud de Onda	940 nm
Dimensiones (encapsulado)	5.72 mm x 4.40 mm x 2.25 mm
IR Detector	
Marca y modelo	LTE-301
Potencia disipada	100 mW
Voltaje emisor-colector	5V
Longitud de Onda	940 nm
Dimensiones (encapsulado)	5.72 mm x 4.40 mm x 2.25 mm

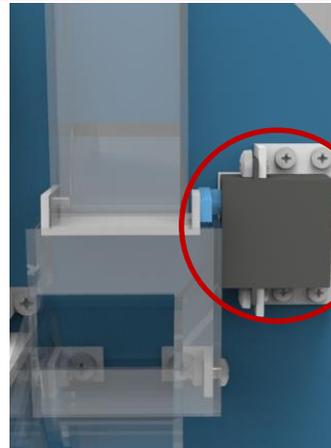
3.2.2 Actuadores

3.2.2.1 Servomotor:

El servomotor tiene como función accionar la compuerta ubicada debajo del compartimento de entrada para así permitir o restringir el pase de las pastillas hacia los compartimentos, este se muestra en la Fig. 3.4 a). Se encuentra montado en la tapa posterior, al lado del compartimento de entrada, ver Fig. 3.4 b).



Fig. 3.4 a) Servomotor [16]



b) Ubicación. Fuente: Elaboración Propia

Sus características se presentan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Detalles técnicos del servomotor

Servomotor	
Marca y Modelo	Hitec HS-81
Voltaje de Operación	4.8 - 6.0 V DC
Velocidad (4.8V)	0.11 s / 60° (sin carga)
Torque (4.8V)	2.6 kg.cm
Corriente (4.8V)	220 mA (sin carga)
Pulso requerido	3-5 V PWM (1500 us neutral)
Dimensiones	29.8 mm x 12 mm x 29.6 mm
Masa	16.6 g

3.2.2.2 Actuador Lineal:

El actuador lineal, como ya se mencionó, permite descender la suspensión con la ventosa acoplados por una barra de aluminio, para así poder recoger la pastilla. La Fig. 3.5 a) muestra el componente. El actuador lineal está montado en la parte central de la tapa posterior al lado izquierdo del compartimento de entrada, ver Fig. 3.5 b).



Fig. 3.5 a) Actuador Lineal [17]



b) Ubicación. Fuente: Elaboración Propia

El actuador lineal presenta las características descritas en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Detalles técnicos del actuador lineal

Actuador Lineal	
Marca y Modelo	Firgelli L12-50-50-12-I
Voltaje de Operación	6 – 12 V DC
Corriente Máxima	200 mA (12 V)
Máxima Fuerza (Backdrive)	43 N
Señal de control	5 V PWM
Dimensiones (Retraído)	110 mm x 15 mm x 18 mm
Carrera	50 mm
Masa	40 g

3.2.2.3 Solenoide:

El solenoide utilizado se muestra en la Fig. 3.6 a). El rodamiento posterior posee 8 tornillos salientes ubicados al nivel de la parte central de cada uno de los contenedores; el solenoide, cuya ubicación se muestra en la Fig. 3.6 b), posee en la parte superior de su eje una ranura, de modo que esta mantiene en una posición estable a los contenedores al restringir el movimiento de uno de los tornillos, al energizar el solenoide el eje desciende, lo cual permite desbloquear el tornillo y, por consiguiente, el grupo de contenedores.



Fig. 3.6 a) Solenoide [18] b) Ubicación (Vista Posterior). Fuente: Elaboración Propia

El solenoide presenta las características descritas en la Tabla 3.5

Tabla 3.5 Detalles técnicos del solenoide

Solenoide de tipo empuje	
Marca y Modelo	ZYE1-0837Z
Voltaje	12 V DC
Fuerza	0.8 N
Corriente	0.5 A
Carrera	10 mm
Dimensiones	37 mm x 26 mm x 20 mm
Masa	89 g

3.2.2.4 Motor a Pasos:

El motor a pasos utilizado se presenta en la Fig. 3.7 a). En la Fig. 3.7 b) se observa su ubicación, el motor está montado sobre la base de la tapa lateral y tiene acoplado en el eje un piñón mediante un prisionero. El tren de engranajes (16-64-248 dientes) mostrado en la Fig. 3.7 b) produce una reducción de 15.5 a 1 de la velocidad angular del eje del motor, lo cual permite un movimiento más pausado de los contenedores, pero a su vez incrementa el torque final entregado.



Fig. 3.7 a) Motor a Pasos [19] b) Ubicación (Vista Posterior). Fuente: Elaboración Propia

El motor a pasos presenta las características descritas en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Detalles técnicos del motor a pasos

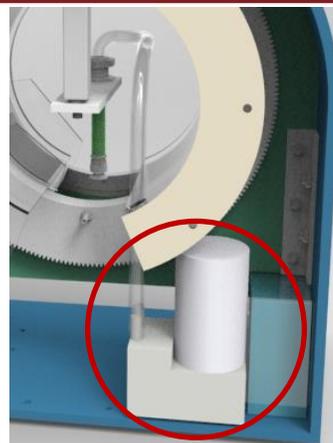
Motor a Pasos Bipolar	
Marca y Modelo	Mercury Motor SM-42BYG011-25
Voltaje	12 VDC
Corriente	0.33 A
Torque	2.3 kg.cm
Ángulo de paso	1.8°
Dimensiones	NEMA 16
Masa	200 g

3.2.2.5 Bomba de Vacío:

La bomba de vacío es la que produce la succión necesaria para adherir la pastilla a la ventosa mientras el vástago del actuador lineal asciende. La bomba se muestra en la Fig. 3.8 a), mientras que su ubicación en la Fig. 3.8 b). La bomba se encuentra sostenida sobre la base de la tapa lateral, en la parte posterior del dispensador, y se conecta por una manguera de ¼" de diámetro interior a la ventosa.



Fig. 3.8 a) Bomba de Vacío [20]



b) Ubicación (Vista Posterior). Fuente: Elaboración Propia

La bomba de vacío presenta las características descritas en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Detalles técnicos de la bomba de vacío

Bomba de Vacío de Aire	
Marca y Modelo	AIRPON D2028
Voltaje	12 VDC
Corriente	1 A
Rango de Vacío	0 – 16" Hg
Flujo	12 – 15 LPM
Dimensiones	87 mm x 38 mm x 60 mm
Masa	295 g

3.3 Planos del sistema mecánico

En esta sección se mostrarán los componentes mecánicos de mayor importancia del dispensador automático de pastillas.

3.3.1 Estructura Externa:

Como se mencionó inicialmente la estructura exterior se compone de 3 partes: tapa frontal, tapa lateral y tapa posterior, las cuales serán expuestas continuación.

3.3.1.1 Tapa Frontal

La Fig. 3.9 muestra la tapa frontal del dispensador automático de pastillas. Como se observa esta posee 296 mm de alto por 250 mm de ancho. La tapa está hecha en base a una plancha de acrílico (PMMA) de 5 mm de espesor y posee dos aberturas rectangulares, la más grande sirve para montar la LCD, de modo que la parte posterior de la pantalla pueda ser conectada al controlador del sistema y demás elementos electrónicos, mientras que la otra, que se encuentra en la parte inferior, sirve para que el usuario tenga acceso a la dosis de pastillas expulsada. En la parte lateral izquierda presenta 3 cortes rectangulares que sirven para colocar bisagras que la conecten con la tapa lateral, de modo que para acceder al interior del dispositivo solo sea necesario extraer los 2 tornillos que son fijados en los agujeros de 5,5 mm de diámetro que se encuentran cerca al borde derecho.

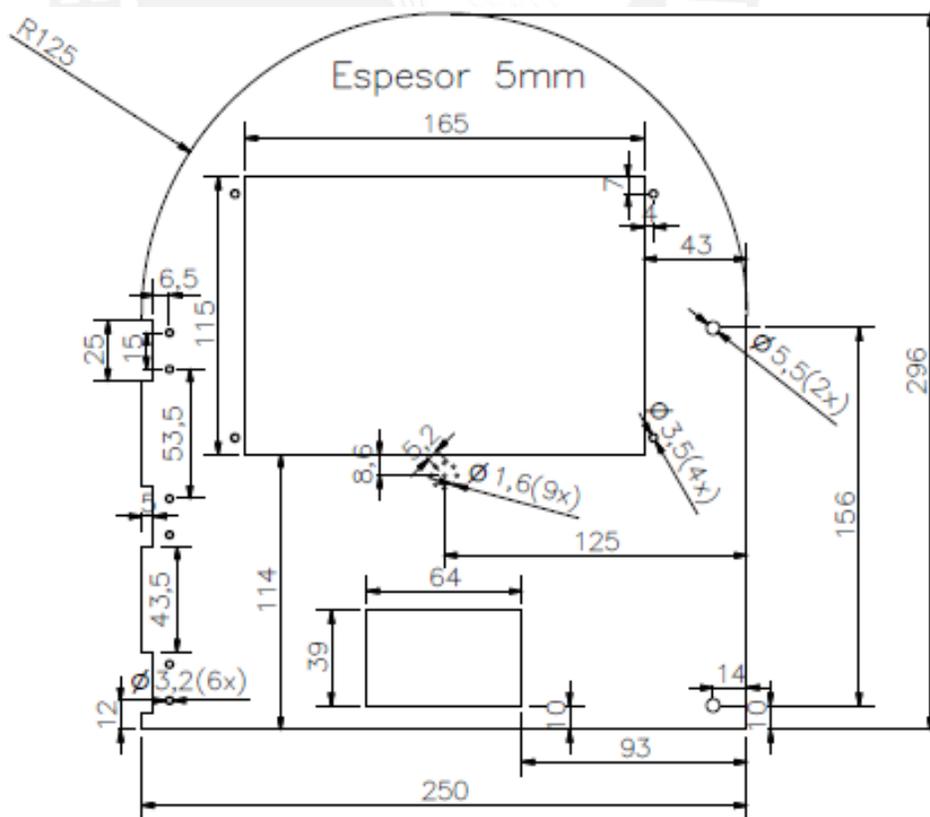


Fig. 3.9 Tapa Frontal. Fuente: Elaboración Propia

3.3.1.2 Estructura Externa Lateral

La Fig. 3.10 muestra la tapa lateral del dispensador, cuyas dimensiones son 250 mm x 296 mm x 140 mm. La tapa está hecha en base a acrílico, el cual sigue un proceso de termoformado para que pueda adoptar esa forma; presenta numerosos agujeros que sirven para montar la estructura interna por medio de uniones atornilladas al igual que otros componentes. En la parte superior presenta una abertura de 30 mm x 25 mm que es por donde se da el ingreso de los comprimidos, mientras que como se observa, en la parte lateral existen 2 rendijas, las cuales permiten la ventilación del convertidor AC/DC lo cual le permite tener un funcionamiento más eficiente en términos de liberación de la energía calorífica. El agujero que se encuentra a lado de estas permite el ingreso del cable de alimentación proveniente del tomacorriente. En la parte inferior de esta estructura se colocan 4 topes de goma que permiten soportar el peso del dispositivo así como amortiguar las vibraciones.

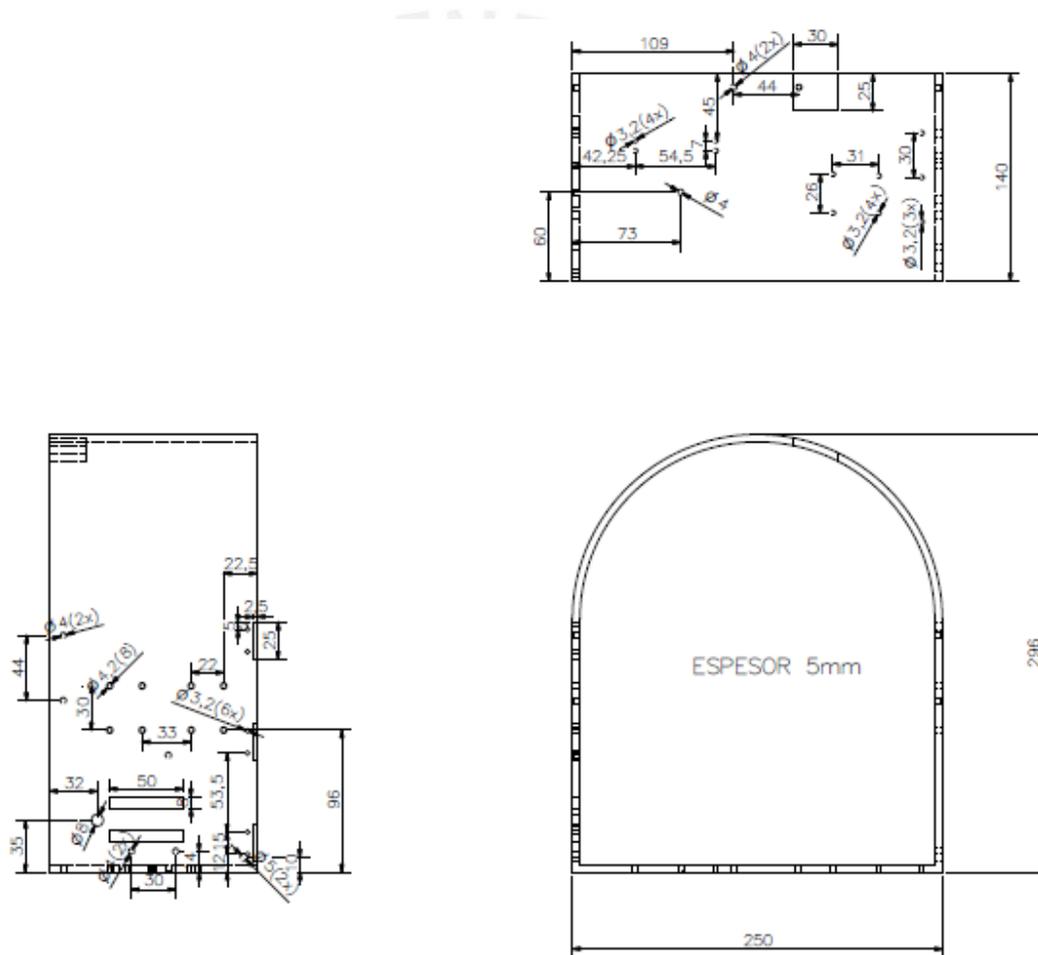


Fig. 3.10 Tapa Lateral. Fuente: Elaboración Propia

3.3.1.3 Tapa Posterior

La Fig. 3.11 muestra la tapa posterior del dispositivo, esta tiene las mismas dimensiones que la frontal, salvo que no posee aberturas rectangulares, lo que sí posee son múltiples

agujeros, ya que en ella están montados el servomotor, solenoide y actuador lineal, además del conducto de entrada. Los agujeros que se encuentran cercanos al borde inferior y los costados sirven de unión con la estructura lateral mediante brackets, mientras los que están distribuidos circularmente son atornillados a la tapa de los contenedores.

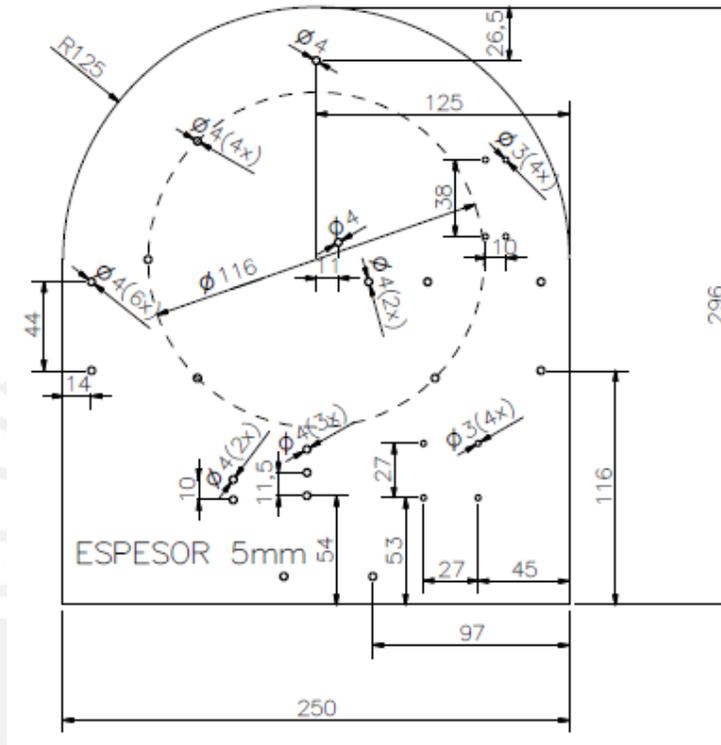


Fig. 3.11 Tapa Posterior. Fuente: Elaboración Propia

3.3.2 Estructura Interna:

La estructura interna posee múltiples componentes; es por ello que se mostrarán solo los principales, que son los que conforman la estructura que sostiene a los contenedores, además de los canales de ingreso y salida. Los soportes y monturas que sirven para acoplar los actuadores a la estructura externa se presentan en el Anexo 2.

3.3.2.1 Estructura Interior Frontal y Posterior

Las Fig. 3.12 a) y b) muestran la estructura interior frontal y posterior respectivamente del dispensador automático de pastillas. Estas estructuras se acoplan a tapa lateral de forma paralela, mediante *brackets* en ambos costados, las 2 poseen un agujero de 156,5 mm de diámetro, cuya función es la de sostener un rodamiento que está acoplado mediante ejes a la pila circular de contenedores. Ambas estructuras están hechas de una plancha de acrílico de 4 mm de espesor y en la parte inferior poseen una pequeña muesca a la que va acoplado el emisor y detector IR respectivamente, de modo que ambos se encuentren en un mismo plano horizontal. Adicionalmente la estructura interior posterior

posee un agujero de 9,5 mm de diámetro que alberga a un pequeño rodamiento que sirve de sostén del eje conectado al engranaje intermedio del sistema de transmisión.

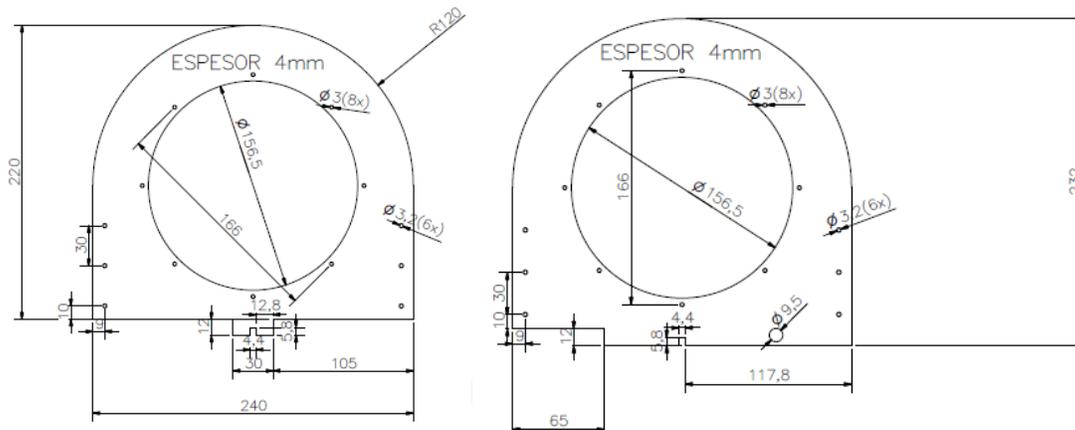


Fig. 3.12 Estructura Interior a) Frontal y b) Posterior. Fuente: Elaboración Propia

3.3.2.2 Rodamiento Frontal y Posterior

Las Fig. 3.13 a) y b) muestran el rodamiento frontal y posterior respectivamente, cada uno de ellos posee tres partes, las cuales se pueden observar con mayor detalle en el Anexo 2. Los rodamientos poseen una parte exterior y 2 partes interiores unidas por tornillos, de modo que entre el borde interno de la parte exterior y el borde externo de las 2 partes interiores existe un espacio de sección circular que es llenado por bolitas de acero de 1/8" de pulgada, lo cual permite reducir la fricción y hacer mucho más fácil el giro entre ambas partes del rodamiento. Ambos están hechos en una impresora 3D en base a plástico ABS. En el caso del rodamiento posterior una de las partes internas posee una parte saliente que forma un engranaje de 248 dientes, este es utilizado para transmitir el movimiento giratorio a los contenedores. Adicionalmente los 8 tornillos que unen ambas partes internas del rodamiento posterior poseen una longitud mayor a la necesaria, lo cual permite a un solenoide, como se vio en el capítulo de sensores y actuadores, bloquear el giro del rodamiento interior en 8 posiciones distintas de modo que se pueda tener acceso a cada compartimento.

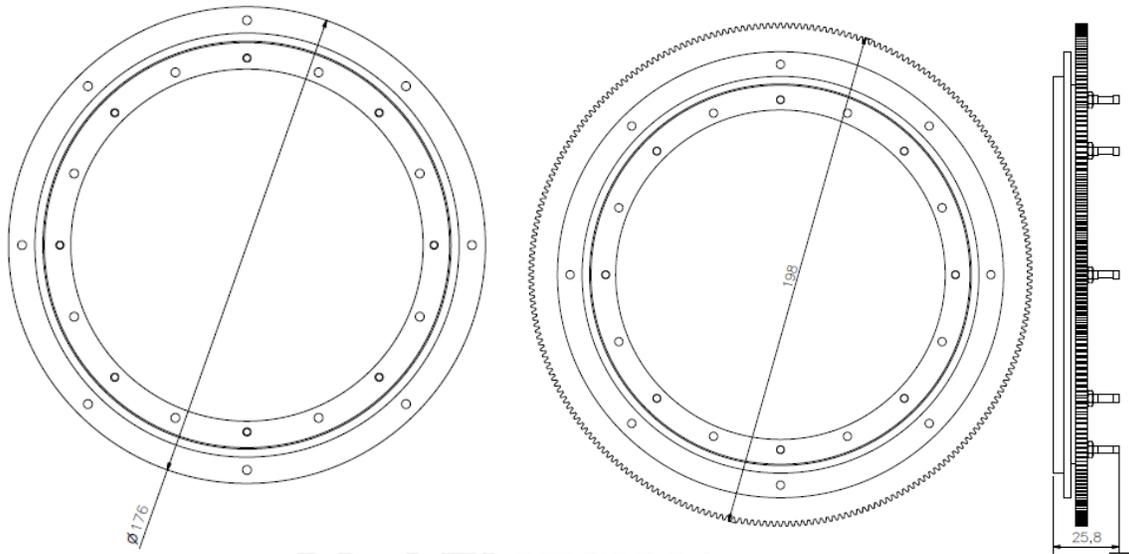


Fig. 3.13 Rodamiento a) Frontal b) Posterior. Fuente: Elaboración Propia

3.3.2.3 Contenedores

La Fig. 3.14 muestra la geometría del contenedor utilizado por el dispensador para almacenar pastillas, este posee una capacidad 120 cm^3 (100 utilizables), el número de pastillas en el cual esta capacidad se traduce varía debido a que son de distintas formas y tamaños y al ser cuerpos sólidos dejan espacios entre sí al ser acumulados; sin embargo de acuerdo a pruebas caseras se podría estimar un aproximado de 40-50 de un tamaño promedio. Cada contenedor posee 1 mm de espesor y está hecho en una impresora 3D.

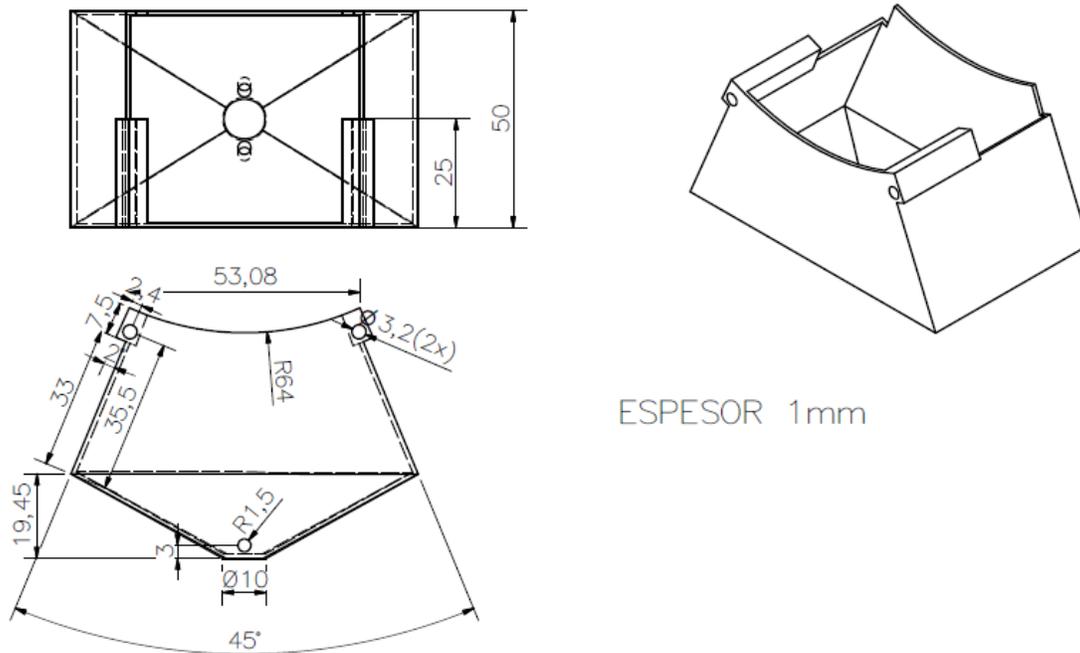


Fig. 3.14 Contenedor. Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la figura, el contenedor posee 2 agujeros en ambos costados en la parte superior y uno en la parte central inferior. Los dos primeros sirven para sostener el contenedor a través de ejes que van conectados a los rodamientos, mientras que el inferior permite que la luz que produce el emisor infrarrojo pase a través de este y pueda saberse si hay o no pastillas dentro del contenedor.

3.3.2.4 Tapa Interior de los Contenedores

Los contenedores tienen la parte superior descubierta para el ingreso y extracción de pastillas, es por ello que es necesario usar una tapa, de modo que se cubra esta abertura y las pastillas no se caigan cuando estos giren, o estén en cualquier posición. Esta se muestra en la Fig. 3.15, se puede observar además que posee 2 guías, las cuales sirven para dirigir las pastillas a su compartimento cuando estas lleguen provenientes del conducto de entrada. La tapa interior de los contenedores está hecha de acrílico de 2 mm de espesor.

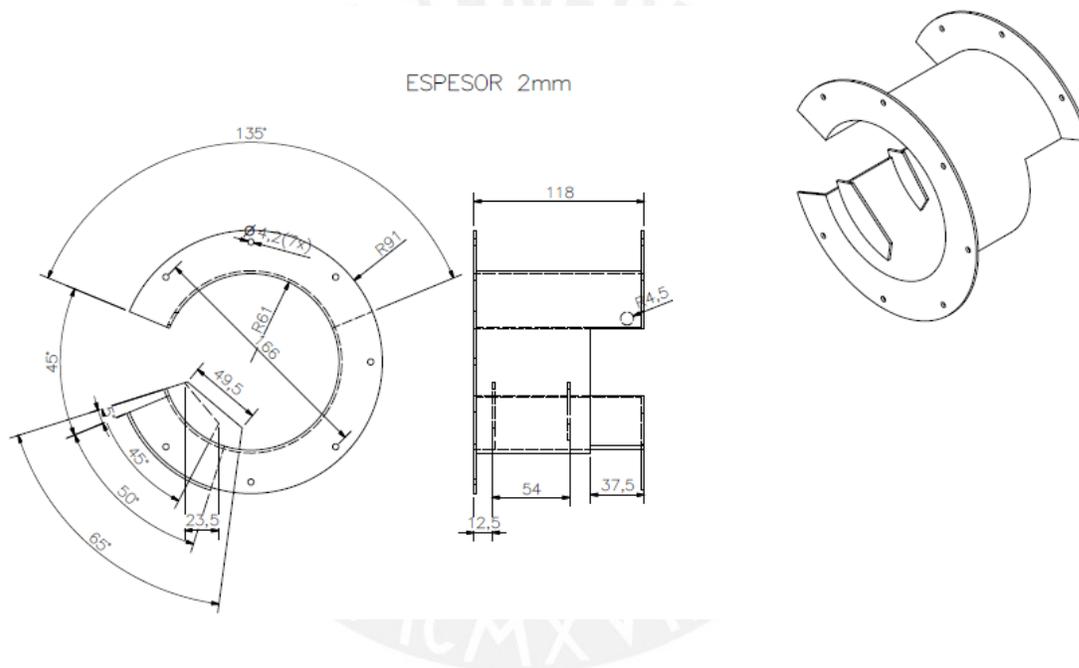


Fig. 3.15 Tapa Interior de los Contenedores. Fuente: Elaboración Propia

3.3.2.5 Conducto de Entrada

La Fig. 3.16 muestra el conducto de entrada que es donde se almacenan momentáneamente las pastillas al ingresar por la cavidad superior del dispensador. Este conducto está conectado a una compuerta accionada por un servo que permite que las pastillas no descendan hasta que el controlador se los indique, cuando esto pasa las pastillas se deslizan a través de la rampa y se dirigen a su compartimento. Está hecho en base a una plancha de acrílico de 2mm de espesor.

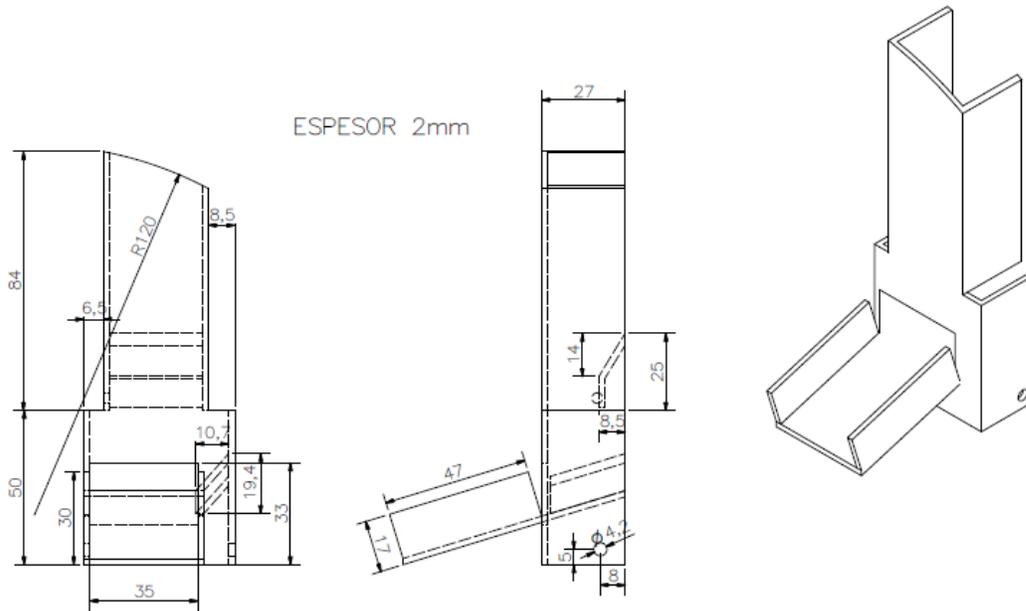


Fig. 3.16 Conducto de Entrada. Fuente: Elaboración Propia

3.3.2.6 Canal de Salida

El canal de salida de acrílico se presenta en la Fig. 3.17, básicamente consiste en una rampa que permite que las pastillas al caer se acerquen a la cavidad de salida para que puedan ser recogidas por el usuario. Posee dos ranuras cerca a la parte frontal debido a que es necesario retirar el canal si requiere acceder al interior de dispensador, de lo contrario este chocaría con el motor a pasos; es por ello que el uso de ambas ranuras tiene como finalidad que el canal pueda mantener su posición y que a su vez si se desea pueda ser retirado con facilidad.

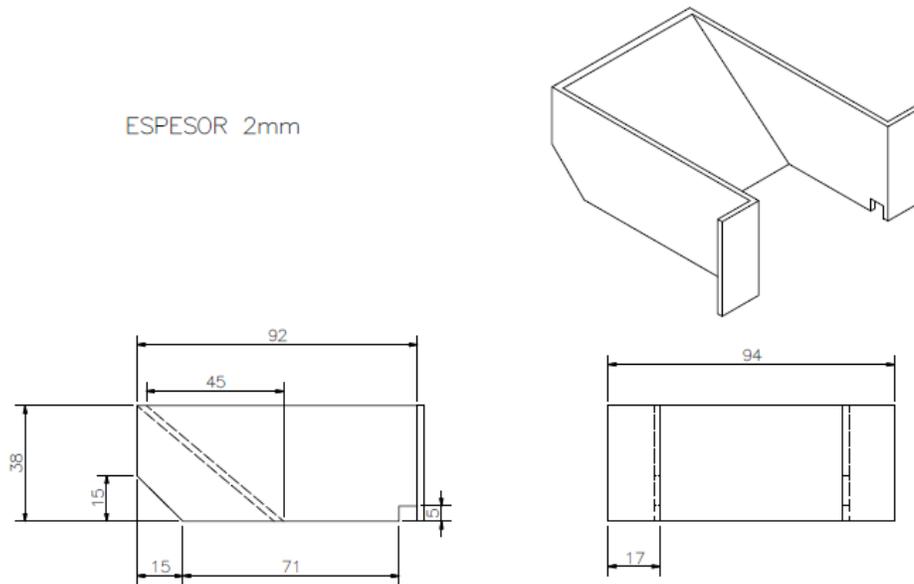


Fig. 3.17 Canal de Salida. Fuente: Elaboración Propia

3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico

La Fig. 3.18 muestra el diagrama de bloques de la parte electrónica y eléctrica del dispensador automático de pastillas. El convertidor AC/DC (NLP40-7629J) (véase Anexo 1) proporciona 2 salidas (12 V (2 A máx) y 5 V (4 A máx)) las cuales son distribuidas a los componentes electrónicos según sus requerimientos.

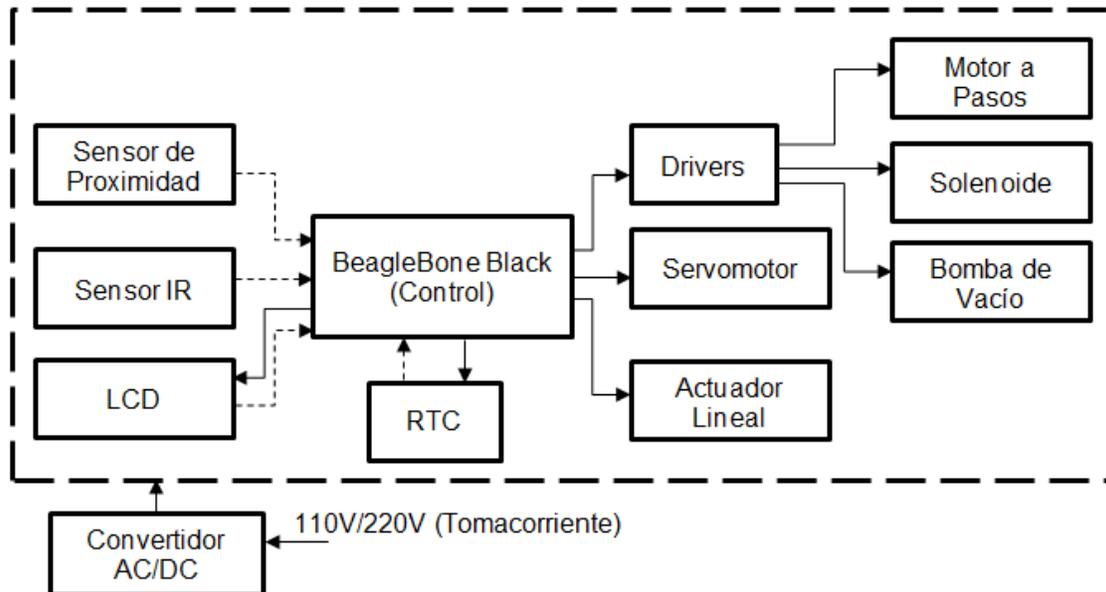


Fig.3.18 Diagrama de Bloques. Fuente: Elaboración Propia

3.4.1 BeagleBone Black

La Fig. 3.19 muestra las 2 columnas de “headers” que posee el BeagleBone Black (tarjeta controladora del sistema), el cual es una plataforma de desarrollo que posee un procesador de 1 GHz, 512 MB de memoria SDRAM y 4 GB de memoria interna flash, esto me permite que el sistema sea bastante rápido y no tenga problemas en controlar la LCD y el proceso de dosificación al mismo tiempo. Además posee 65 pines de entrada salida (GPIO) (3.3 V) y 7 pines de entrada analógica (1.8 V), requiere una alimentación directa de 5 V, tal y como se observa. En la figura se muestran los pines usados por los sensores y actuadores, la conexión entre ambos se mostrará en cada uno de sus diagramas esquemáticos respectivos. Por otra parte, el LCD se conecta directamente al BeagleBone Black (BBB), ya que justamente es un “cape” (capa) diseñado exclusivamente para esta tarjeta, esto y los pines que usa para la comunicación entre ambos puede observarse en su hoja de datos (Anexo 1).

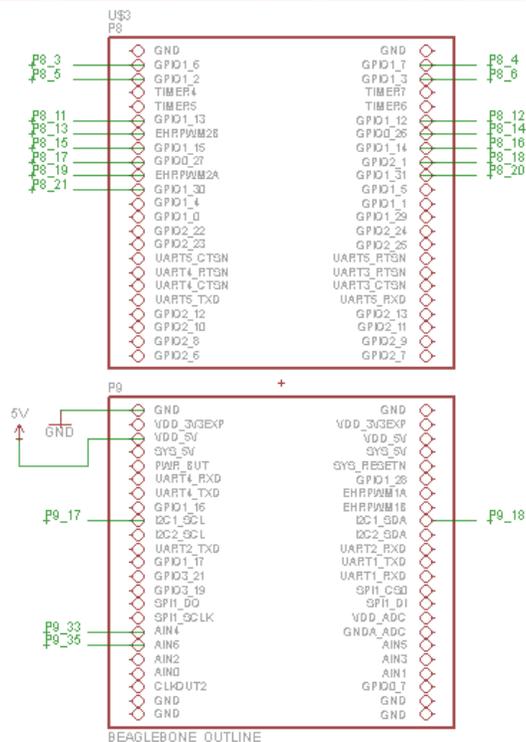


Fig. 3.19 BeagleBone Black [21]

3.4.2 Controlador del Motor a Pasos

La Fig. 3.20 muestra el diagrama de conexiones del controlador del motor a pasos (EasyDriver V4.4) basado en el circuito integrado A3967. Los pines M+ y GND son los de alimentación (12V y GND). Para el control del motor a pasos se usan 3 pines: DIR, STEP e ENABLE, los cuales están conectados a los pines (P8_4, P8_5 y P8_3) del BBB (BeagleBone Black) respectivamente, DIR se usa para controlar la dirección de giro del eje del motor (horario u antihorario) ('1' o '0' lógico), STEP es el pin por el cual el BBB envía al controlador del motor los pulsos que representan el número de pasos (1,8° cada paso) que el motor debe girar, mientras que ENABLE permite energizar el motor cuando se establece en '0' el pin P8_3 lo cual produce que el eje del motor mantenga su posición aun cuando exista carga de por medio cuando está en posición de reposo.

Los cuatro cables del motor a pasos bipolar son conectados a los pines B1, B2, A2 y A1 del controlador.

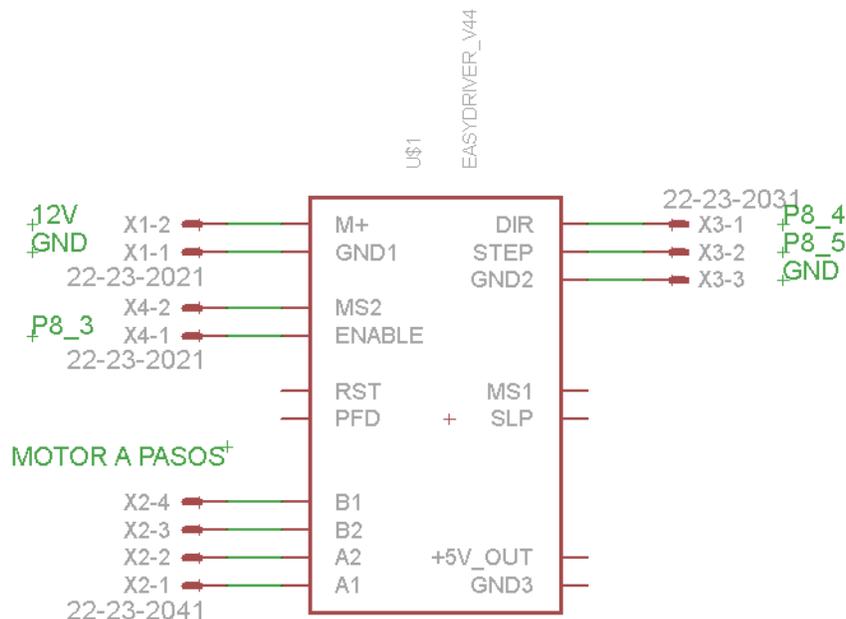


Fig. 3.20 Controlador del Motor a Pasos [22]

3.4.3 Controlador del Solenoide y Bomba de Vacío

La Fig. 3.21 muestra el diagrama esquemático del controlador (TB6612FNG) del solenoide y bomba de vacío, básicamente este posee 3 pines de control para cada uno de los dos actuadores (PWMA, AIN1 y AIN2) y (PWMB, BIN1 y BIN2) respectivamente, adicionalmente un pin STBY que se establece en '1' (P8_14) para sacar a los actuadores del modo "standby". PWM(A y B) son los pines que controlan la cantidad de energía que es enviada a cada actuador modificando el ciclo del trabajo; sin embargo, en ambos casos se trabaja a 100% por lo que los pines (P8_6 y P8_15) del BBB se establecen en '1'. Los pines IN1 e IN2 para (A (P8_11, P8_12) y B (P8_16, P8_17)) sirven para el control del actuador, cuando ambos están en '0' el controlador no suministra energía al actuador, para energizarlos basta con establecer uno de los pines (P8_11 para A y P8_16 para B) en '1' esto permite que entren en funcionamiento manteniendo el otro en '0' (P8_12 y P8_17) , la opción inversa es para invertir la polaridad, lo cual sirve para cambiar el giro de motores; sin embargo para el solenoide y la bomba de vacío esto no tiene sentido; por otra parte, estableciendo ambos en '1' el actuador se desactiva inmediatamente. Como se observa en el circuito esquemático es necesario conectar a 12 V el pin VM, a 3.3 V el pin VCC y a tierra el de GND (JP1_6), estos representan el voltaje de alimentación de los actuadores, el de control del circuito integrado y la referencia a tierra respectivamente. Las salidas que van conectadas a los actuadores son (AO1 y AO2) para el caso del solenoide y (BO1 y BO2) para el caso de la bomba de vacío.

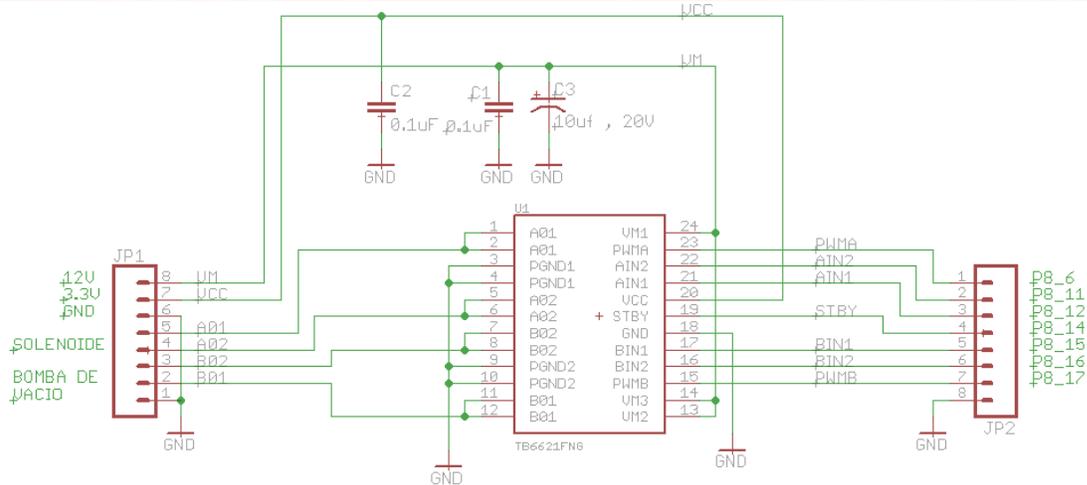


Fig. 3.21 Controlador del Solenoide y Bomba de Vacío [23]

3.4.4 Conexión del Actuador Lineal

La Fig. 3.22 muestra la conexión entre el BBB y el actuador lineal. El actuador lineal posee 6 cables de control y alimentación, debido a que presenta distintas opciones de control; sin embargo, solo se usarán 4 de ellos. La alimentación del actuador lineal se da por el pin V+ que está conectado a 12 V mientras que el pin GND se conecta a tierra, el control de la posición del vástago se da ingresando al pin INPUT una señal PWM (5V) con un ciclo de trabajo proporcional (100% -> 50 mm(carrera)); no obstante, el BBB me brinda una señal PWM de 3.3 V es por ello que es necesario que la señal proveniente del pin (P8_13) del BBB sea convertida (3.3 V->5 V) antes de ingresar al actuador; por otra parte, el actuador lineal posee una señal de retroalimentación que me permite conocer la posición real del vástago, esta señal varía entre 0 y 3.3 V, mientras que los pines ADC(Convertidor Analógico Digital) del BBB soportan un voltaje máximo de 1.8 V; por ello, es necesario usar primeramente un divisor de voltaje que reduzca los 3.3V antes de ingresar al pin (P9_33) del BBB.

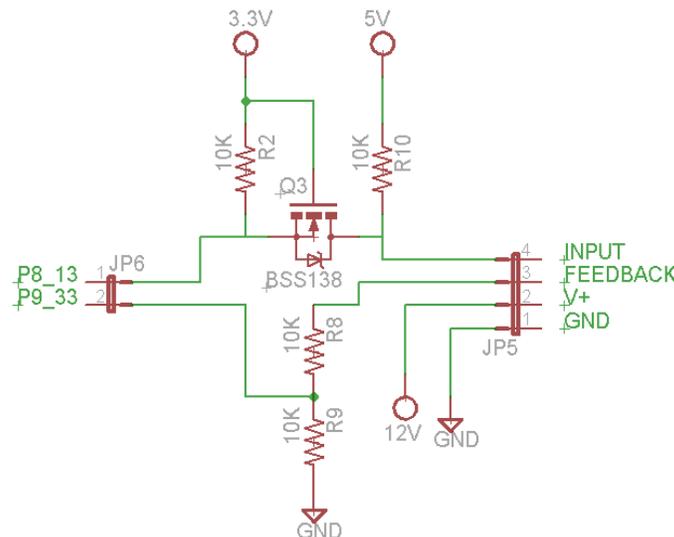


Fig. 3.22 Conexión del actuador lineal. Fuente: Elaboración Propia

3.4.5 Conexión del Servomotor

La Fig. 3.23 muestra la conexión entre el BBB y el servomotor, el servomotor posee 3 pines, el primero VCC es conectado a 5 V para energizarlo, mientras que GND se conecta a tierra, el pin de control (INPUT), requiere de una señal cuadrada cuyo ancho de pulso varíe entre 1500 y 2400 μ s, de modo que el eje del servo pueda moverse entre 0° y 90° que es lo necesario, está conectado al pin (P8_19) del BBB, en este caso el servomotor utilizado acepta recibir una señal de 3.3 V, de modo que no se requiere cambiar el nivel de voltaje como para el actuador lineal.

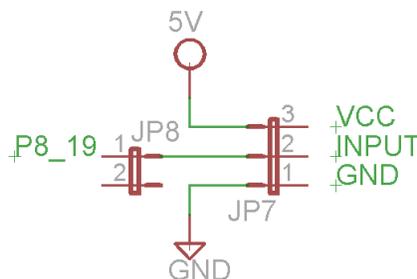


Fig. 3.23 Conexión del Servomotor. Fuente: Elaboración Propia

3.4.6 Emisor y Detector Infrarrojo

La Fig. 3.24 muestra el diagrama esquemático del emisor y detector infrarrojo y la conexión de estos a los pines del BBB. La corriente que requiere el emisor (LED1 en la figura) para que produzca luz infrarroja es de aproximadamente 50 mA; por ello, se requiere hacer uso de un transistor (2N3904), ya que supera el límite de corriente que puede proporcionar el controlador, la base de este transistor NPN está conectada al pin (P8_21) del BBB, el cual controla el emisor enviando un '1' o '0' a P8_21 para activarlo o desactivarlo respectivamente. Por otra parte, el detector funciona como una resistencia variable que cambia de acuerdo a la luz infrarroja que recibe, junto a R12 forma un divisor de voltaje cuya salida va conectada a otro que permite regular que la entrada al pin ADC (P9_35) del BBB sea menor a 1.8 V.

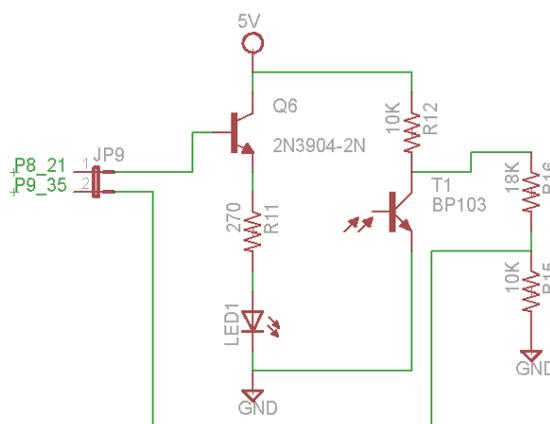


Fig. 3.24 Emisor y detector infrarrojo. Fuente: Elaboración Propia

3.4.7 Conexión del Sensor de Proximidad

La Fig. 3.25 muestra la conexión entre el sensor de proximidad y el BBB, básicamente el sensor se alimenta por VIN con 3.3 V mientras que su pin GND está conectado a tierra, el pin OUT se establece en '0' cuando el sensor ha detectado algún objeto (para este caso pastillas); de lo contrario se mantiene en '1', este va conectado al pin (P8_18) del BBB.

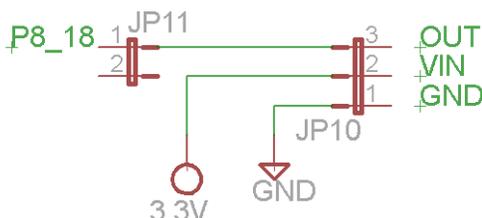


Fig. 3.25 Conexión del Sensor de Proximidad. Fuente: Elaboración Propia

3.4.8 Piezo (zumbador)

La Fig. 3.26 muestra el *Piezo o Buzzer*, que es el dispositivo que produce el sonido de la alarma, y su conexión con el BBB. Una de sus patas va conectada a 5 V mientras que la otra está conectada al colector de un transistor NPN, el BBB envía un tono (señal de pulsos) por su pin (P8_20) a la base del transistor permitiendo que el *Piezo* produzca el necesario para alertar al usuario.

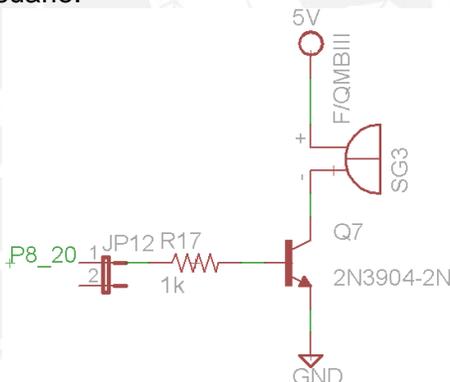


Fig. 3.26 Piezo. Fuente: Elaboración Propia

3.4.9 Reloj de Tiempo Real

La Fig. 3.27 muestra el diagrama esquemático del reloj de tiempo real (RTC, Real Time Clock) que usa el BBB para saber la hora y fecha actual, la comunicación entre ambas tarjetas se produce usando I2C, que es un tipo de bus de comunicaciones; para ello es necesario primeramente convertir el voltaje de 3.3 V a 5 V y viceversa. La comunicación usando I2C requiere de 2 señales, SCL que es la señal de reloj y que va conectada al pin (P9_17) del BBB y SDA que es por donde se transmiten los datos y va conectada al pin (P9_18).

3.5 Diagrama de flujo del programa de control e interfaz de usuario

En la Fig. 3.28 se muestra el diagrama de flujo principal del sistema mecatrónico. Cuando se energiza la dispensadora automática de pastillas se carga el sistema, la configuración de parámetros, puertos de entrada/salida (GPIO) del BeagleBone Black preestablecida y se inicializan las variables. Si es el primer ingreso se muestra directamente la ventana 1 (Fig. 3.29).

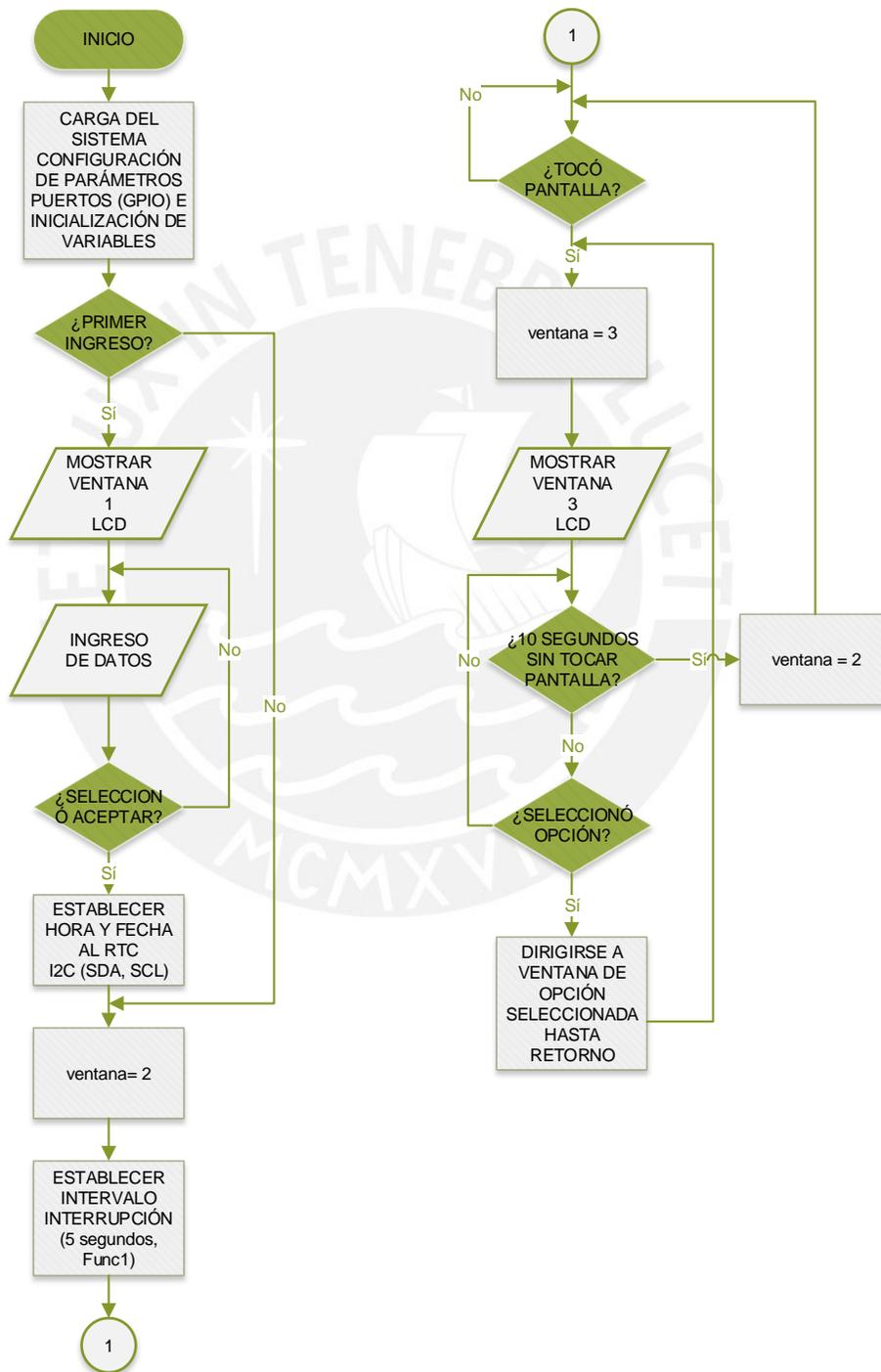


Fig. 3.28 Diagrama de Flujo Principal del Sistema Mecatrónico. Fuente: Elaboración Propia



CONFIGURACIÓN

NOMBRE:

FECHA: ANO | MES | DÍA

HORA: :

ACEPTAR

Fig. 3.29 Ventana 1. Fuente: Elaboración Propia

En esta ventana se da el proceso de configuración de la fecha y hora actual, además del nombre del usuario. El ingreso de datos se produce seleccionando el campo de texto para el caso de NOMBRE o los “combobox” (cuadro de diálogo con lista de opciones) para el caso de FECHA y HORA. La selección se produce tocando la pantalla táctil. Para llenar el campo de texto que está limitado a 25 caracteres se despliega un teclado virtual en la parte inferior que desaparece al seleccionar ‘enter’, mientras que en el caso de los “combobox” se despliega una lista de opciones al seleccionar el triángulo invertido. Para el caso de DÍA los valores se actualizan dependiendo del AÑO y MES seleccionados, el rango de valores de AÑO está entre 2014 y 2100. Cuando se selecciona ACEPTAR se actualiza el RTC (Real Time Clock) a esos valores de FECHA y HORA, el sistema se comunica con este usando I2C por los pines (SDA y SCL). Si no es el primer ingreso se obvia esta parte del proceso tal y como se observa en el diagrama de flujo principal.

El siguiente paso es asignar a la variable ‘ventana’ el número 2, esta representa el número de ventana activa que es mostrada en la pantalla o que va a ser mostrada. Luego se establece un intervalo de interrupción que hace que el sistema ejecute la función ‘Func1’ una y otra vez después de 1 segundo de finalizada la ejecución. Esta es la función en la que se activa la alarma y se realiza el proceso de dosificación, además de mostrar y actualizar los datos de la ventana 2 (Fig. 3.30).



Fig. 3.30 Ventana 2. Fuente: Elaboración Propia

Salvo que se apague la pantalla usando el botón que dispone la LCD en la parte inferior, esta es la ventana que se mostrará normalmente. Para acceder a las distintas opciones

que presenta el sistema basta con tocar la pantalla, si esto sucede se activará y mostrará la ventana 3, la cual se muestra en la Fig. 3.31, esta posee tres opciones, la primera de ellas, "PASTILLAS", sirve para configurar los horarios, dosis e ingreso de pastillas; la segunda opción, "CONFIGURACIÓN", permite retornar a la ventana 1 y modificar los datos inicialmente ingresados; mientras que la tercera opción, "ACCEDER A UN CONTENEDOR", posibilita el acceso a un contenedor en específico, para lo cual es necesario abrir la tapa frontal del dispensador.

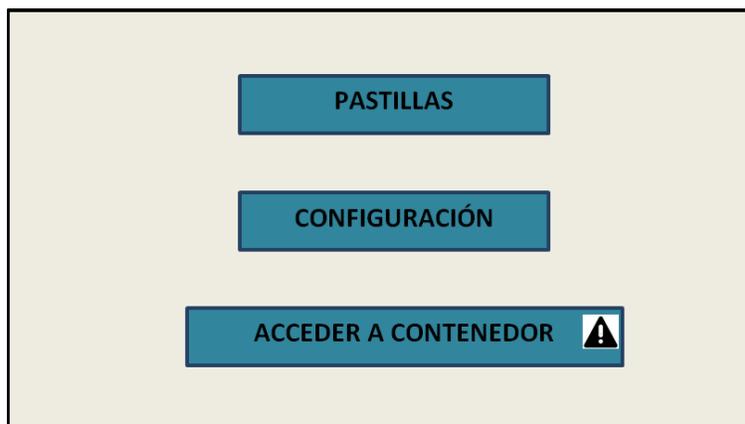


Fig. 3.31 Ventana 3. Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en el diagrama de flujo principal, el sistema si es que el usuario no toca la pantalla durante 10 segundos, regresa a la ventana 2, en caso contrario si es que se seleccionó una de las opciones se dirige a esta , hasta que se retorne a la ventana 3 y se repita el proceso.

En el caso de seleccionar PASTILLAS se dirige y muestra en la LCD la ventana 4 (Fig. 3.32).

	DOSIS	MAÑANA	TARDE	NOCHE	ESTADO	INGRESAR
Paracetamol	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	50%	<input checked="" type="checkbox"/>
Amoxicilina	2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	60%	<input type="checkbox"/>
Vitamina D	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	20%	<input checked="" type="checkbox"/>
Calcio	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	90%	<input type="checkbox"/>
Pastilla 05	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	CRÍTICO	<input checked="" type="checkbox"/>
Pastilla 06	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	100%	<input type="checkbox"/>
Pastilla 07	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VACÍO	<input checked="" type="checkbox"/>

Fig. 3.32 Ventana 4. Fuente: Elaboración Propia

Básicamente es aquí donde se modifican los horarios y dosis de pastillas, además de seleccionar el ingreso de estas, en la parte izquierda existen 07 campos de texto donde se ingresan el nombre de las pastillas almacenadas en cada uno de los contenedores, a lado suyo la dosis requerida por cada pastilla (rango: 1-3). Los horarios del día se dividen en mañana, tarde y noche, los cuales son modificados en la parte superior, el sistema limita que posean una mínima diferencia de 3 horas entre cada uno de modo que el proceso de dosificación de uno no interfiera con el otro. Para asignar un tipo de pastilla a

uno de los 3 horarios basta con seleccionar el recuadro correspondiente y aparecerá un símbolo de “check” tal y como aparece en la Fig. 3.32, si se desea quitar esa asignación se repite el proceso. La columna de estado representa el nivel de cada uno de los contenedores (CRÍTICO < 5 %), a lado de esta se presenta una columna de botones que permite ingresar pastillas a cada compartimento. Todos los parámetros mencionados se guardan en registros, los cuales pueden ser modificados si el usuario selecciona ACEPTAR, en caso contrario (selecciona CANCELAR) las modificaciones no se guardan, regresando en ambos casos a la ventana 3. El diagrama de flujo de la función ingresar se presenta en la Fig. 3.33.

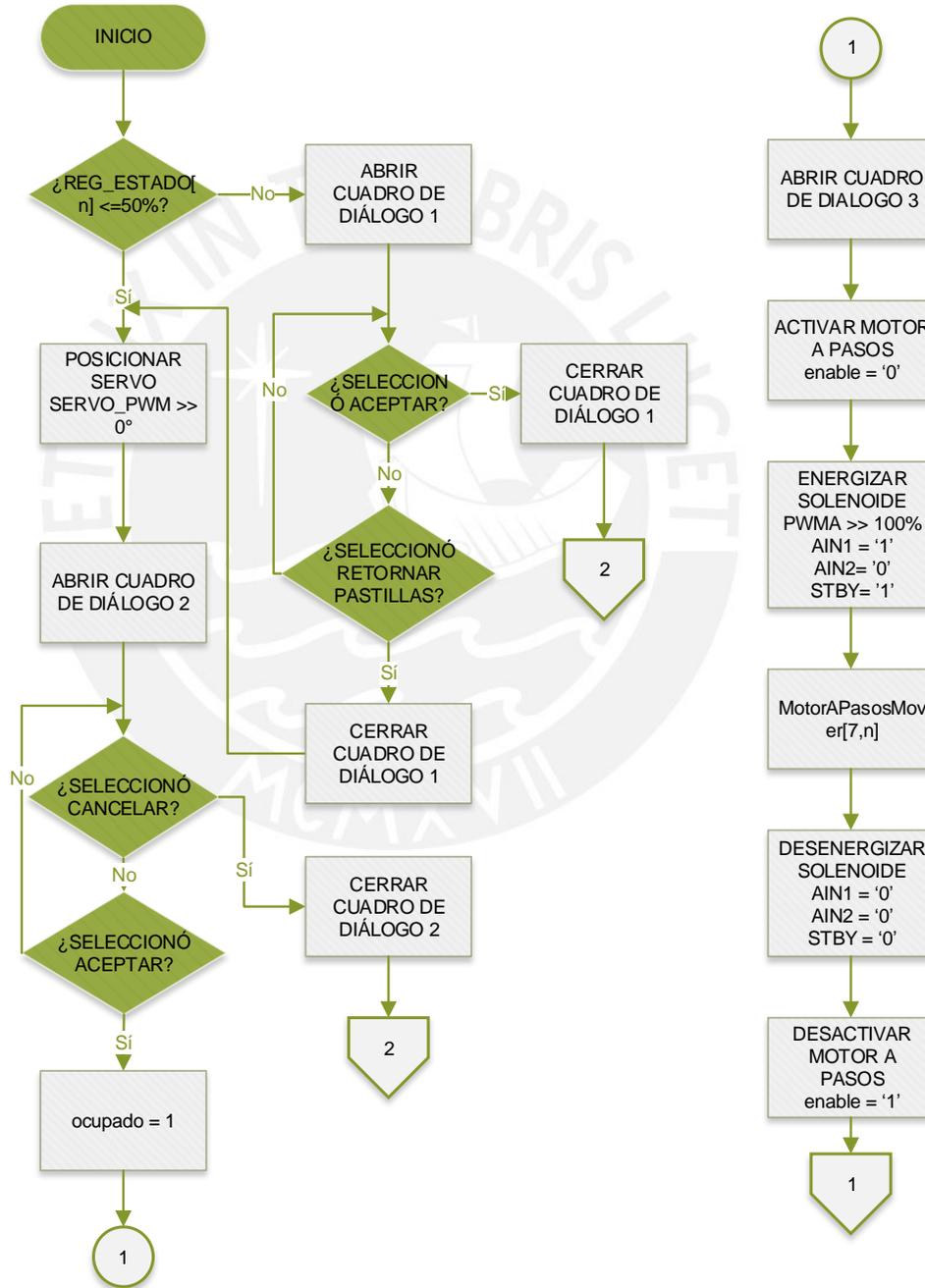


Fig. 3.33 a) Diagrama de Flujo Función Ingresar (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia

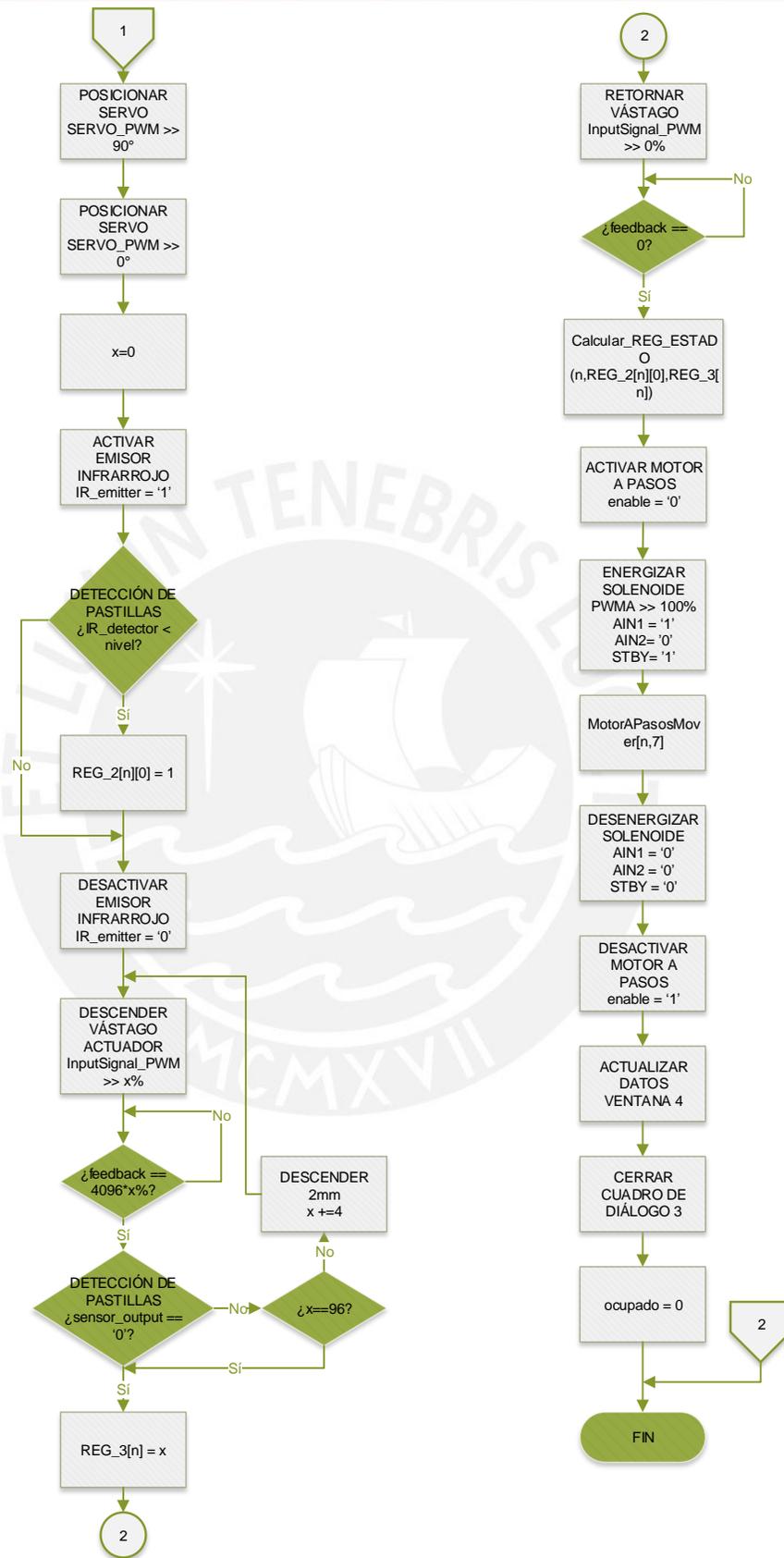


Fig. 3.33 b) Diagrama de Flujo Función Ingresar (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia

Las Fig. 3.33 a) y b) muestran el diagrama de flujo de la función “ingresar”, se accede a esta al seleccionar alguno de los botones que se encuentran en la columna del mismo nombre y que hace referencia a cada uno de los 7 contenedores de pastillas.

El compartimento de entrada posee aproximadamente el 50% de capacidad de almacenamiento que un contenedor, esto permite limitar mecánicamente que las pastillas ingresadas no excedan en volumen al que dispone cada contenedor y tener disponibilidad de ingreso de más pastillas cuando el volumen de pastillas en el contenedor es de 50% o menos, los botones de la columna ingresar que cumplen con esta condición se presentan en color verde.

Como se observa en el diagrama de flujos (Parte 1) al iniciar se compara el nivel del contenedor seleccionado n (0-6) el cual es almacenado en un registro (REG_ESTADO[]) para analizar si cumple o no la condición, si el resultado es negativo se abre un cuadro de diálogo que muestra la siguiente información: “Nivel de pastillas mayor a 50 %, ingreso no disponible”, y presenta en la parte inferior 2 botones: ACEPTAR, y RETORNAR PASTILLAS, si se selecciona ACEPTAR se cierra el cuadro de diálogo y finaliza la función, si la opción seleccionada es la de RETORNAR PASTILLAS; por otro parte, la función continúa como si el contenedor cumpliera con la condición inicialmente descrita. La segunda opción permite retornar pastillas que el dispositivo dispuso y el usuario finalmente no ingirió, pero corre bajo su propio riesgo el no ingresar más pastillas ya que se podría exceder los límites del contenedor.

El proceso siguiente es el de preparar al servo posicionándolo en 0° , de modo que pueda sostener el peso de las pastillas y estas no se caigan y dirijan al canal, luego se abre un segundo cuadro de diálogo que indica al usuario que ingrese las pastillas y seleccione ACEPTAR cuando haya finalizado, en caso contrario seleccione CANCELAR, si selecciona ACEPTAR se asigna el valor de 1 a la variable “ocupado”, el uso de esta se verá más adelante, en caso contrario se cierra el cuadro de diálogo y finaliza la función.

Si la opción seleccionada es ACEPTAR se abre un tercer cuadro de diálogo que muestra un símbolo de espera el cual aparecerá mientras se llena el contenedor, el siguiente paso es posicionar el contenedor deseado en la parte central inferior, para ello es necesario habilitar el motor a pasos de modo que mantenga la posición, luego se energiza el solenoide para desbloquear el sistema de movimiento, se mueve el contenedor a la posición deseada y se vuelve a bloquear el sistema quitando la energía suministrada al solenoide y deshabilitando el motor a pasos, es entonces cuando el servo gira 90° y las pastillas son liberadas para poder ser almacenadas en el contenedor, luego el servo regresa a su posición inicial (0°). El proceso siguiente se resume en bajar el vástago hasta que el sensor de proximidad detecte las pastillas para así obtener el nivel actual de estas y utilizar el emisor y detector IR para saber si el contenedor está o no vacío, de modo que se puedan actualizar los registros y valores de la ventana 4. Luego se retorna el vástago a su posición inicial, al igual que el contenedor usando el mismo procedimiento ya explicado, finalmente se cierran los cuadros de diálogo y se asigna 0 a la variable ‘ocupado’ indicando que el proceso ha concluido.

La tercera opción en la ventana 3, como ya se ha mencionado es la de acceder a uno de los contenedores en la dispensadora. Al seleccionarla se accede a la ventana 5 mostrada en la Fig. 3.35, esta posee 8 botones, 7 de ellos para cada uno de los contenedores y el inferior para regresar a la ventana anterior. El diagrama de flujo se presenta en la Fig. 3.34 y se explicará a continuación.

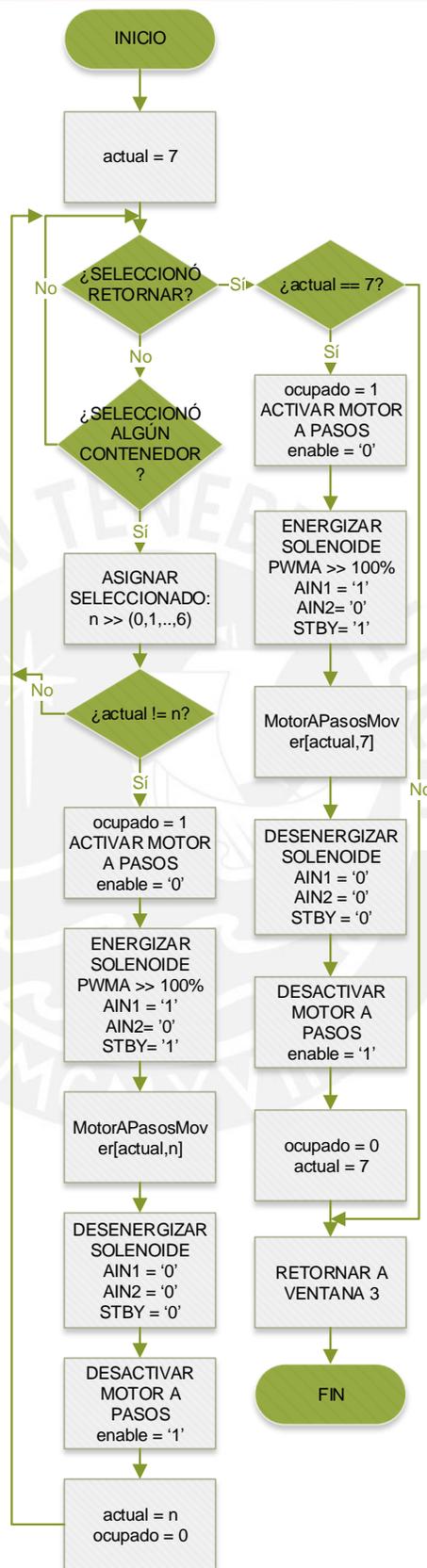


Fig. 3.34 Diagramas de flujo “Acceder a Contenedor”. Fuente: Elaboración Propia



Fig. 3.35 Ventana 5. Fuente: Elaboración Propia

En términos generales se sigue el mismo procedimiento de posicionamiento de un contenedor en la parte inferior del dispensador como ya se ha explicado anteriormente, la variable “actual” guarda el número del contenedor que se encuentra en esa posición (0-6), esta se inicializa en 7 el cual representa la disposición inicial que es cuando la parte inferior está vacía. El sistema analiza si se ha seleccionado algún contenedor o el botón de volver, si el caso es el primero se compara la posición actual con la seleccionada para ver si es diferente e iniciar el desplazamiento, entonces se posiciona el contenedor deseado en la parte inferior y se repite el lazo, al seleccionar la opción VOLVER si el mecanismo se encuentra en una posición distinta a la inicial se ejecuta nuevamente el proceso de desplazamiento a esta posición, en caso contrario, se retorna directamente a la ventana 3. En ambos casos se asigna 1 a la variable “ocupado” mientras dure el proceso de desplazamiento.

Ahora que se conoce internamente las opciones que presenta la interfaz de usuario y para qué y cómo se ejecutan cada una de ellas se procederá a explicar la “Func 1” la cual se mencionó en el diagrama de flujo principal inicialmente. Esta función, como ya se dijo, se ejecuta cada 1 segundo, este lapso se establece entre el momento en que terminó de ejecutarse y el momento en el que vuelve a realizarlo, la Fig. 3.36 muestra el diagrama de flujo de la función. Básicamente en esta función se lee periódicamente el reloj establecido en el RTC (Real Time Clock) de modo que se compara los valores de hora y minutos actuales con los horarios ingresados de mañana, tarde y noche para ver si se encuentra en alguno de ellos y empezar a realizar la dosificación de pastillas requerida. El diagrama de flujo empieza preguntando si el valor de la variable “retraso” es igual a 1 y el de “ocupado” igual a cero, estas 2 variables cumplen la función de indicar cuando el sistema está llevando a cabo alguna acción que involucre el cambio de estado de algún actuador, lo que esto permite es que si en caso se esté; por ejemplo, ingresando pastillas y el momento en que esto pase concuerde con uno de los horarios no se interrumpa la acción y se espere a que esta termine (ocupado = 0) para que se active la alarma y el proceso de dosificación. La variable “retraso” se asigna a 1 cuando el sistema está ocupado y ha llegado el momento de activar la alarma, de este modo cuando deja de estarlo (retraso = 1 && ocupado = 0) se procede directamente activar la alarma, de lo contrario como esta función es periódica y el tiempo sigue avanzando podría pasar el minuto siguiente mientras el sistema esté ocupado y obviar la activación de la alarma y proceso de dosificación incluso cuando el sistema deje de estar ocupado.

Cuando el momento de dosificación ha llegado se asigna el valor (0-2) a la variable tiempo, este valor representa el momento del día (mañana, tarde o noche).

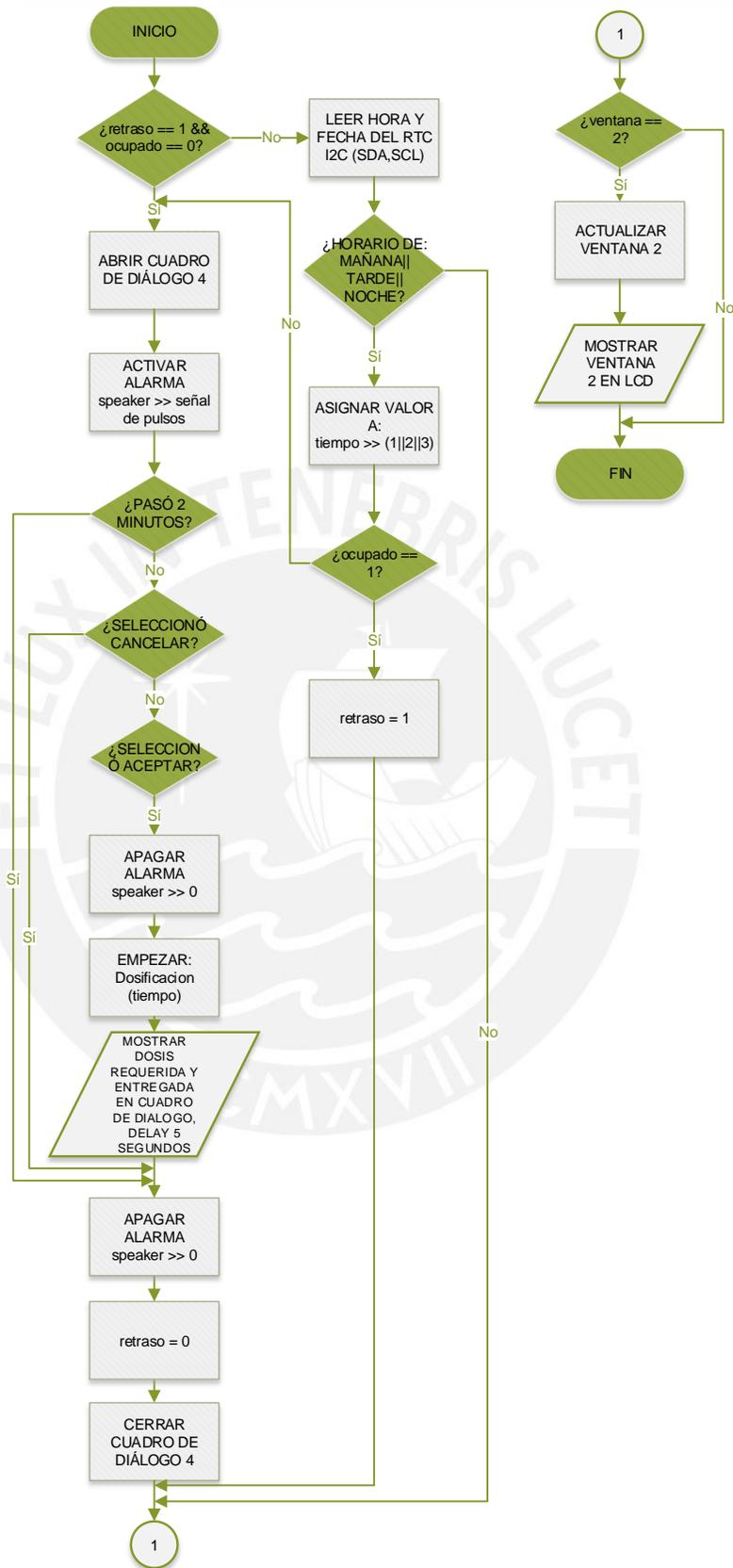


Fig. 3.36 Diagrama de flujo "Func1". Fuente: Elaboración Propia

Si el sistema no está ocupado o deja de estarlo se abre un cuadro de diálogo que muestra lo siguiente: “Empezar proceso de dosificación” junto a 2 opciones en la parte inferior ACEPTAR y CANCELAR, seguidamente se envía una señal de pulsos al pin que está conectado al zumbador (“speaker”) de modo que se genere el ruido de alarma.

La alarma suena durante un máximo de 10 minutos hasta que se seleccione una de las opciones, si pasa este tiempo o el usuario selecciona CANCELAR, la alarma se apaga y se cierra el cuadro de diálogo no llevándose a cabo el proceso de dosificación. Por otra parte, si el usuario selecciona ACEPTAR se apaga la alarma y llama a la función “Dosificación” indicándole el tiempo (0-2) como parámetro de entrada, cuando termina este proceso se muestra durante 5 segundos en el cuadro de diálogo, la dosis requerida y la que ha sido entregada, las cuales pueden diferir si es que algún contenedor se ha quedado vacío. Finalmente se restablece el valor de la variable “retraso” (0), se cierra el cuadro de diálogo y si en caso se encuentre actualmente la ventana 2 activa, que es la que muestra la fecha y hora actual, se procede a actualizarla y mostrarla en la pantalla con los valores leídos del RTC.

La función “Dosificación” es en sí la que realiza el proceso principal, la que dosifica las pastillas y las expulsa por el ducto de salida para que el usuario pueda recogerlas e ingerirlas, el diagrama de flujo de esta se presenta en la Fig. 3.37 a) y b). Se manejan 4 registros (REG_1, REG_2, REG_3 Y REG_4). El REG_1 es un arreglo de 3x7 que representa el estado (véase Fig. 3.32) de cada una de las pastillas (0-6) para cada uno de los horarios (0-2), en otras palabras si para un determinado horario (mañana, tarde o noche) se ha establecido que se debe de dispensar una pastilla X el valor de su estado es igual a 1 de lo contrario adopta el valor de 0, entonces; por ejemplo, si la pastilla A es tomada solamente en la mañana y noche, el valor de REG_1 [][0] será igual a {1;0;1}, lo cual representa la columna de estados de la pastilla A para los 3 horarios disponibles. El REG_2 es un arreglo de 7x2 que representa el estado del contenedor (si está vacío o no (0 y 1 respectivamente)) y la dosis necesaria (1-3) para cada pastilla, mientras que el REG_3[7] guarda el valor de la distancia que ha bajado el vástago en el contenedor antes de detectar pastillas, lo cual sirve para obtener el nivel de llenado de cada contenedor a partir de este y guardarlo en el REG_ESTADO que es el que actualiza el valor del estado de los contenedores en la ventana 4. Finalmente el REG_4[7] almacena la dosis real de pastillas que ha sido entregada.

Básicamente para el tiempo indicado (mañana, tarde o noche) se realiza un “loop” para cada contenedor de pastillas (n) (0-6), si el valor de REG_1[tiempo][n] es igual 1 significa que es necesario extraer la dosis (1-3) de pastillas del contenedor “n” y expulsarlas por la cavidad de salida, de lo contrario se analiza el estado del siguiente contenedor (n++), el proceso de dosificación de cada tipo de pastilla se encuentra en otro “loop” que se repite (REG_2[n][1]) veces que es la dosis necesaria del tipo de pastillas almacenadas en el contenedor “n” en caso de que el contenedor esté vacío (REG_2[n][0]=0) se termina el “loop” y analiza el estado del siguiente contenedor de pastillas para ese tiempo establecido.

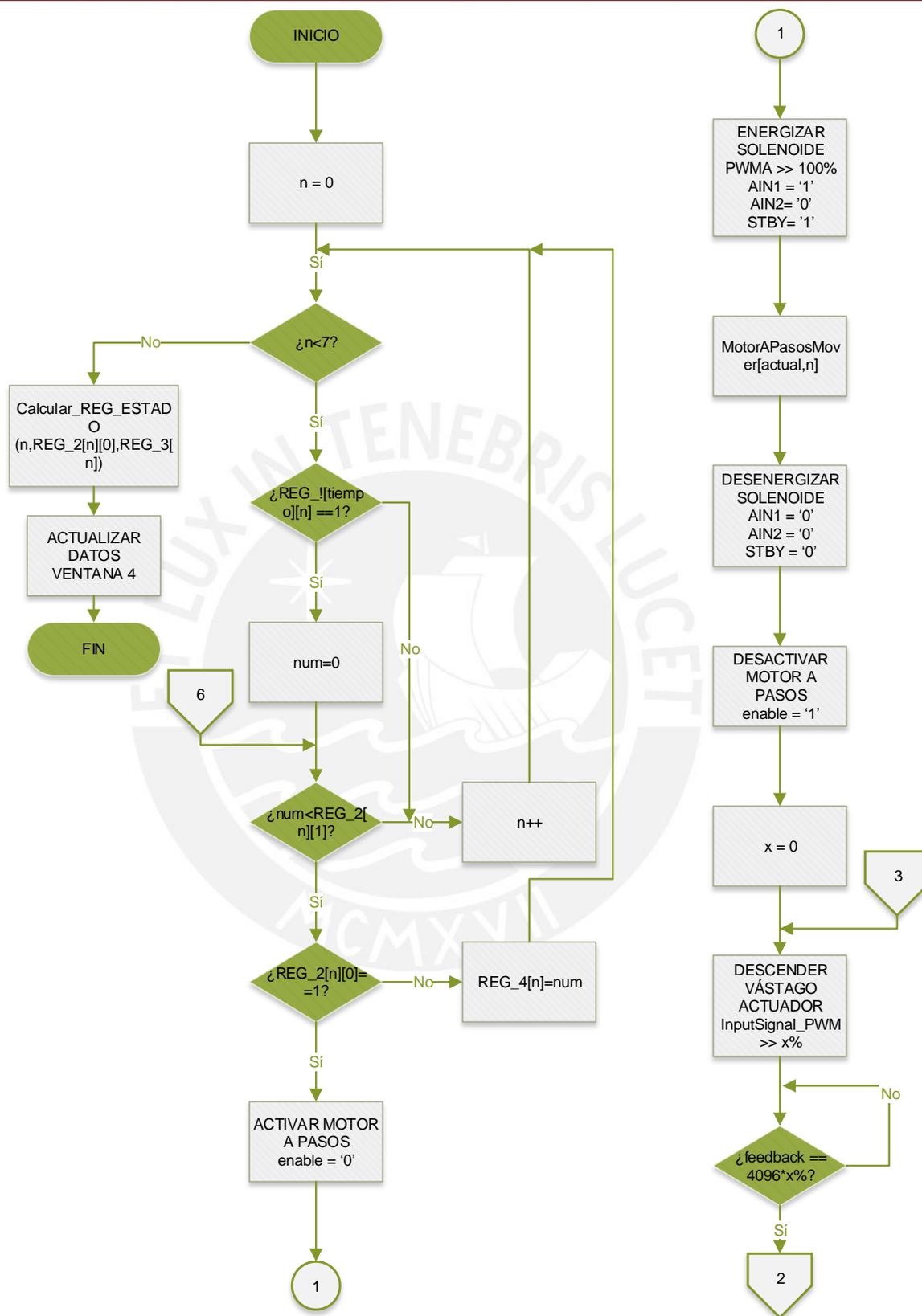


Fig. 3.37 a) Diagrama de flujo “Dosificación” (Parte 1). Fuente: Elaboración Propia

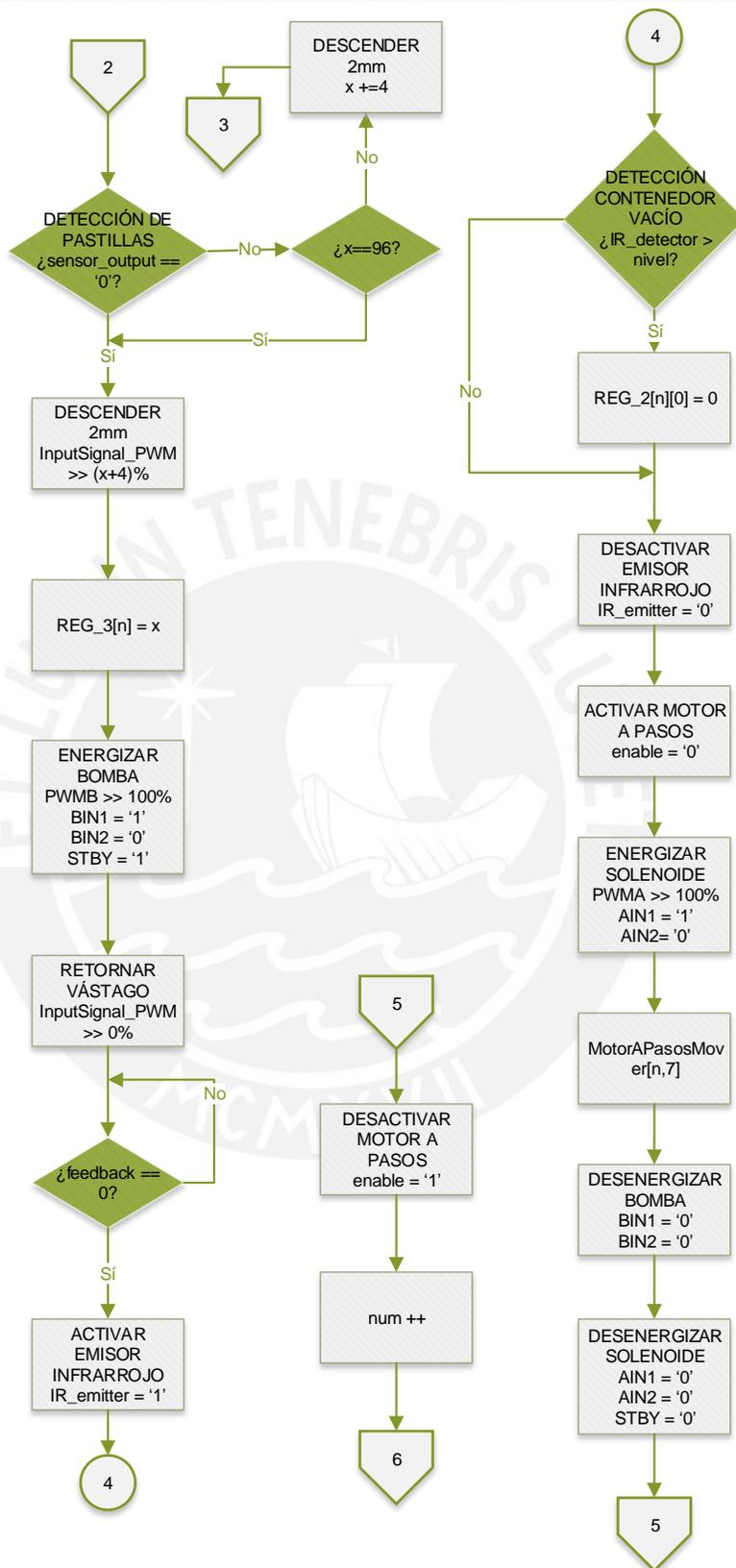


Fig. 3.37 b) Diagrama de flujo “Dosificación” (Parte 2). Fuente: Elaboración Propia

El proceso empieza posicionando el contenedor “n” en la parte central inferior, de modo que la ventosa pueda tener acceso a este. Luego se baja el vástago del actuador hasta que el sensor de proximidad detecte las pastillas, cuando esto ha pasado se guarda el valor de la distancia descendida en el REG_3[n] y se desciende 4 mm más por precaución, debido a que el sensor está posicionado unos milímetros detrás del eje vertical de la ventosa y el nivel de pastillas no es tan uniforme en toda la superficie, luego se activa la bomba de modo que la pastilla se adhiera a la ventosa, seguidamente se retorna el vástago a la posición inicial, se activa el emisor y detector IR lo cual me permite saber si el contenedor está vacío, y se posiciona el contenedor en su posición inicial, de este al desactivar la bomba de vacío la pastillas tiene libre camino para caer al ducto de salida. Cuando finaliza el “loop” principal se actualizan los registros de los datos que se muestran en la ventana 4.



Capítulo 4

Presupuesto

Tabla 4.1 Presupuesto de Parte Electrónica

Dólar Venta		2.96				
Parte Electrónica						
Ítem	Nombre	Precio Unitario (USD)	Precio Unitario (S/.)	Cantidad	Proveedor	Costo (S/.)
1	SparkFun Real Time Clock Module	14.95	44.252	1	Sparkfun	44.252
2	Resistor 10K Ohm 1/6th Watt PTH - 20 pack	0.95	2.812	1	Sparkfun	2.812
3	Transistor - NPN (2N3904)	0.5	1.48	2	Sparkfun	2.96
4	Infrared Emitters and Detectors	1.95	5.772	1	Sparkfun	5.772
5	Stepper Motor with Cable	14.95	44.252	1	Sparkfun	44.252
6	SparkFun Logic Level Converter - Bi-Directional	2.95	8.732	1	Sparkfun	8.732
7	Piezo Speaker - PC Mount 12mm 2.048kHz	1.95	5.772	1	Sparkfun	5.772
8	SparkFun EasyDriver - Stepper Motor Driver	14.95	44.252	1	Sparkfun	44.252
9	SparkFun Motor Driver - Dual TB6612FNG (1A)	8.95	26.492	1	Sparkfun	26.492
10	Beaglebone Black Cape - LCD (7.0")	89.95	266.252	1	Sparkfun	266.252
11	Vacuum Pump - 12V	14.95	44.252	1	Sparkfun	44.252
12	HS-81 Servo	12.69	37.5624	1	Servocity	37.5624
13	Pololu Carrier with Sharp GP2Y0D805Z0F Digital Distance Sensor 5cm	5.95	17.612	1	Pololu	17.612
14	Push Type Open Frame Solenoid ZYE1-0837Z	9.49	28.0904	1	Ebay	28.0904
15	L12-I Linear Actuator - 50mm - 50:1 - 12 volts	90	266.4	1	Firgelli	266.4
16	BEAGLEBONE BLACK,1GHZ,REV.C	54.95	162.652	1	Jameco	162.652
17	PWR SPLY,SW,OPEN FRAME,40W	12.95	38.332	1	Jameco	38.332
18	PWR CORD,6',AWG 18/2,SPT-2,BLK	2.95	8.732	1	Jameco	8.732
Coste Total:						1055.1808

Tabla 4.2: Presupuesto de Parte Mecánica

Parte Mecánica						
Ítem	Nombre	Precio Unitario (USD)	Precio Unitario (S/.)	Cantidad	Proveedor	Costo (S/.)
1	Aluminum Single Arm	6.99	20.6904	1	Servocity	20.6904
2	64T, 1/4 inch Bore, 32 Pitch Plain Bore Gear	3.33	9.8568	1	Servocity	9.8568
3	.250 inch ID x .375 inch OD Flanged Ball Bearing (Ste	1.99	5.8904	1	Servocity	5.8904
4	1/4 inch Bore Flat Bearing Mount	5.99	17.7304	1	Servocity	17.7304
5	1/8 inch x3 inch Precision Shaft	0.59	1.7464	8	Servocity	13.9712
6	1/4 inch x2 inch Precision Shaft	0.89	2.6344	1	Servocity	2.6344
7	16 Tooth, 32 Pitch, 5mm Bore Pinion Gear	7.99	23.6504	1	Servocity	23.6504
8	1/8 inch x 1 inch Precision Shaft	0.39	1.1544	1	Servocity	1.1544
9	1/8" NPT Female to 10-32 UNF Male Brass Pipe	4.18	12.3728	1	Amazon	12.3728
10	Vacuum Suction Cup Level Compensators	30	88.8	1	Anver	88.8
11	Vacuum cup (PFL11-S45)	10	29.6	1	Anver	29.6
12	Fitting (BF7FL-OR)	10	29.6	1	Anver	29.6
13	Brass Straight Male 1/4" Hose ID Barb - 10-32 UNF Male Nickel Plated, Single Barb Design	1.25	3.7	1	MettlerAir	3.7
14	Partes Impresora 3D		700	2	PUCP	1400
15	Brackets y Soportes	-	275	1	W. CHAUCA	275
16	Partes de Acrílico	-	300	1	ACRILAR	300
17	250 Bolitas de acero de 1/8"	6.95	20.572	1	Ebay	20.572
Coste Total						2255.223

Tabla 4.3 Costos Totales

	Precio en Dólares(USD)	Precio en Soles (S/.)
Parte Electrónica	-	1055.2
Parte Mecánica	-	2255.3
Pagos Extras(shipping)	120	355.2
Total	-	3665.7

Del presupuesto presentado en las tablas 4.1, 4.2 y 4.3 se observa que el costo total de la fabricación del dispensador es de 3665,7 soles, este se divide en la parte electrónica y mecánica, e incluye los gastos de envío de los ítems importados. La parte más cara de la fabricación (más del 30% del total) es la de los componentes elaborados en una impresora 3D, principalmente debido al costo del material; probablemente esto pueda reducirse usando otros métodos de fabricación, pero esto solo sería conveniente si se considera una producción masiva.



Capítulo 5

Conclusiones

- El sistema mecatrónico satisface los requerimientos del sistema preestablecidos en el capítulo 2.
- La corriente requerida por el sistema es bastante grande; esto hace que no se pueda usar una batería, ya que para esos requerimientos energéticos las disponibles en el mercado son grandes y pesadas, lo cual va en contra de la búsqueda de diseñar un sistema compacto.
- La interfaz gráfica es bastante amigable, comunicándose con el usuario cada vez que se va a realizar una acción a través de cuadros de diálogo.
- El sistema diseñado es compacto (30 cm x 15 cm x 25 cm) y de peso moderado (3-4 kg).
- El diseño de los contenedores, los cuales poseen una pendiente mínima de 25° en la parte inferior permite dar mayor seguridad al proceso de dosificación haciendo que las pastillas sobrantes puedan establecerse en un punto central que es donde la ventosa succiona el comprimido.
- La velocidad del giro de los contenedores (1 vuelta cada 2 segundos) permite que el proceso de dosificación sea rápido pero al mismo tiempo sea estable, ya que todos los contenedores de pastillas están movimiento.
- La capacidad del controlador usado hace que el procesamiento, sobre todo la comunicación con la LCD y el RTC sea rápido de modo que las interrupciones programas en el sistema no afecten en lo más mínimo el funcionamiento general.
- La tarjeta controladora utilizada posee la capacidad de poder ser conectada a Internet de modo inalámbrico, simplemente agregándole un adaptador wi-fi; esto le da mayor proyección al diseño elaborado, ya que sin ser necesario tener que cambiar mucho el hardware se pueden agregar muchas más funcionalidades.

Bibliografía

- [1] Stepper motor quick start guide, online: <https://www.sparkfun.com/tutorials/> 400
[Consulta: martes, 05 de noviembre de 2014]
- [2] Azega web page, online: <http://www.azega.com/arduino-servo-motor-part-1/>
[Consulta: miércoles, 30 de octubre de 2014]
- [3] Bildr web page, online: <http://bildr.org/2011/06/easydriver/>
[Consulta: lunes, 5 de diciembre de 2014]
- [4] Boylestad, Robert L., and Louis Nashelsky. “Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos”. Pearson Educación, 2003.
- [5] “Dibujo Mecánico 1”, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2000
- [6] Grabcad web page, online: <http://grabcad.com/>
[Consulta: viernes, 25 de octubre de 2014]
- [7] Isermann, Rolf. “Modeling and Design Methodology for Mechatronic Systems”. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol1, NO.1, March 1996.
- [8] “Mechatronics: Designing intelligent machines” in Proc. IEE-Int. Conf., Univ. of Cambridge, Sept. 12-13, 1990.
- [9] Niemann. “Elementos de máquinas, Barcelona”, Labor, 1973.
- [10] Sandier, B. Z. “Robotics: Designing the Mechanisms for Automated Machinery”, Second Edition, Academic Press, 1999.
- [11] Tracepartonline web page, online: <http://www.tracepartonline.net/>
[Consulta: sábado, 2 de diciembre de 2014]
- [12] Ullman, David. “The Mechanical Design Process”, 4 Edition, McGraw Hill, 2010.
- [13] Pill dispenser Prototype, online: <https://www.youtube.com/watch?v=BwP2v5Mhuf8>
[Consulta: martes, 10 de octubre de 2014]
- [14] Pololu Carrier with Sharp GP2Y0D805Z0F, online:
<https://www.pololu.com/product/1132>
[Consulta: lunes, 20 de octubre de 2014]
- [15] SPARKFUN, Infrared Emitters and Detectors, online:
<https://www.sparkfun.com/products/241>
[Consulta: martes, 10 de octubre de 2014]

- [16] Servocity, HS-81 Micro, online:
https://www.servocity.com/html/hs-81_micro.html#.VRJsU_mG91Z
[Consulta: martes, 30 de setiembre de 2014]
- [17] Store Firgelli, L12-I Micro Linear Actuator, online:
http://store.firgelli.com/Firgelli_L12_I_p/l12-i.htm?1=1&CartID=1
[Consulta: lunes, 06 de octubre de 2014]
- [18] Amazon, DC 12V Push Type Open Frame Solenoid, online:
<http://www.amazon.com/Generic-Solenoid-Electromagnet-Holding-ZYE1-0837Z/dp/B00EQ1ZMQQ>
[Consulta: sábado, 01 de noviembre de 2014]
- [19] Sparkfun, Stepper Motor with Cable, online:
<https://www.sparkfun.com/products/9238>
[Consulta: viernes, 17 de octubre de 2014]
- [20] Sparkfun, Vacuum Pump - 12V, online:
<https://www.sparkfun.com/products/10398>
[Consulta: jueves, 23 de octubre de 2014]
- [21] Easy Eda, BeagleBone outline, online:
https://easyeda.com/component/BEAGLEBONE_OUTLINE-p3WQ8qkCU
[Consulta: jueves, 18 de octubre de 2014]
- [22] Schmalzhaus, Eagle Part Library EasyDriver, online:
<http://www.schmalzhaus.com/EasyDriver>
[Consulta: jueves, 20 de octubre de 2014]
- [23] Sparkfun, Sparkfun Motor Driver – Dual TB6612FNG, online:
<https://www.sparkfun.com/products/9457>
[Consulta: jueves, 15 de octubre de 2014]
- [24] Sparkfun, Sparkfun Real Time Clock Module, Eagle Files, online:
<http://www.schmalzhaus.com/EasyDriver>
[Consulta: jueves, 02 de octubre de 2014]