



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**

**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**DOSIFICADOR AUTOMÁTICO
PERSONALIZADO DE MEDICACIÓN**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

PRESENTAN:

**VITE HERNÁNDEZ LEOPOLDO
ORTEGA VENTURA JOVANI**

**DIRECTOR DE TESIS:
M. EN C. JUAN CARLOS GONZÁLEZ ISLAS**

MINERAL DE LA REFORMA

MAYO 2015.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE COMPUTACIÓN Y ELECTRÓNICA
 Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones


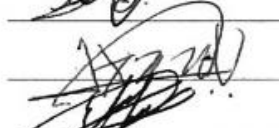
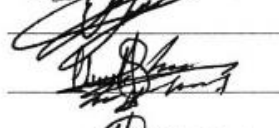

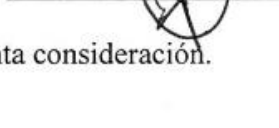


OFICIO EYT/383/15

P.D.I.E.T. VITE HERNÁNDEZ LEOPOLDO
P.D.I.E.T. ORTEGA VENTURA JOVANI

P R E S E N T E

Por este conducto le comunico que el Jurado asignado al trabajo de titulación **“DOSIFICADOR AUTOMÁTICO PERSONALIZADO DE MEDICACIÓN”** y que después de revisarlo en reunión de sinodales, han decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Jurado:

PRESIDENTE:	Ing. Emmanuel Gutiérrez Rojas.	
PRIMER VOCAL:	M. en C. Juan Carlos González Islas.	
SEGUNDO VOCAL:	Ing. Omar Samperio Vázquez	
TERCER VOCAL:	Ing. Edgar Gómez Castillo.	
SECRETARIO:	Ing. Claudio Iván Durán Marroquín.	
PRIMER SUPLENTE:	Ing. Mauricio Hernández Castillo.	
SEGUNDO SUPLENTE:	M e. C. José Ezequiel Mejía Loaiza.	

Sin otro particular, le reitero a usted la seguridad y mi atenta consideración.

ATENTAMENTE.
“AMOR, ORDEN Y PROGRESO”
 Mineral de la Reforma, Hidalgo, a 5 de mayo de 2015.


 Ing. Emmanuel Gutiérrez Rojas
 Coordinador de la Licenciatura en Ing. en Electrónica y Telecomunicaciones

C.c.p. Archivo



Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería,
 Carretera Pachuca - Tulancingo Km. 4.5, Ciudad Universitaria,
 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184
 Tel. +52 771 7172000 ext. 6320
 grojas@uach.edu.mx



DEDICATORIA

A mi familia

Porque gracias a su apoyo, cariño y confianza tanto en los momentos de alegría como en los de prueba, he logrado llegar a esta instancia de mis estudios.

Ortega Ventura Jovani

A mi familia

Por todo el amor, respeto, apoyo, dedicación y paciencia que me han brindado a lo largo de toda mi vida; ya que, sin sus enseñanzas y consejos no habría sido posible cumplir mis objetivos y llegar a ser la persona que soy.

Vite Hernández Leopoldo

RESUMEN

Este trabajo de investigación se centra en la aplicación de la electrónica a la medicina, en lo particular, se plantea el diseño y construcción de un dosificador de pastillas automatizado de bajo costo para mejorar el cumplimiento de las prescripciones médicas de los pacientes.

El dispositivo desarrollado es un sistema embebido controlado por dos microcontroladores, un teclado matricial como periférico de entrada y una pantalla LCD como periférico de salida, los cuales permiten programar y alertar la ingesta de medicamentos. El PIC 16F887 realiza las operaciones para alertar al paciente y el PIC 18F4550 permite la conexión alámbrica entre el dosificador y una computadora por USB. Este microcontrolador comunica una interfaz de usuario con el dosificador lo cual mejora la comodidad en la asignación de las prescripciones médicas. En esta misma interfaz, se pueden enviar alertas de forma automática a las personas calificadas por medio de servidores de correos electrónicos.

Con el uso de dos microcontroladores, el sistema posee dos modos de funcionamiento, es decir, con o sin computadora lo cual incrementa la funcionalidad del dosificador.

El sistema es probado en simulaciones y en un prototipo para validar su funcionamiento. Los resultados obtenidos por el sistema virtual y el sistema experimental muestran un buen desempeño, de tiempo, uso de recursos y costos.

 ÍNDICE

Dedicatoria.....	iii
Resumen.....	iv
Índice de figuras.....	ix
Índice de tablas.....	xii
CAPÍTULO I. Introducción.....	1
<i>I.1. Planteamiento del Problema.....</i>	<i>1</i>
<i>I.1. Justificación.....</i>	<i>2</i>
<i>I.2. Objetivo general.....</i>	<i>3</i>
<i>I.2.1. Objetivos específicos.....</i>	<i>3</i>
<i>I.3. Alcances de la investigación.....</i>	<i>4</i>
<i>I.4. Hipótesis.....</i>	<i>5</i>
<i>I.5. Metodología.....</i>	<i>6</i>
<i>I.6. Organización de la tesis.....</i>	<i>7</i>
CAPÍTULO II. Marco Referencial.....	8
<i>II.1. Estado del Arte.....</i>	<i>8</i>
<i>II.2. Sistemas (SPD).....</i>	<i>11</i>
<i>II.3. Sistemas de Dispensación de Medicamentos.....</i>	<i>12</i>
<i>II.3.1. Sistemas Automatizados de Dispensación de Medicamentos.....</i>	<i>13</i>
<i>II.3.2. Sistemas Automatizados de Dispensación (Domicilio).....</i>	<i>14</i>

II.3.2.1	Dispensador automático e-pill-CompuMed®.....	14
II.3.2.2	Dispensador Careousel®.....	15
II.4.	Dosificadores.....	15
II.4.1.	Preparación del dosificador.....	15
II.5.	Sistema embebido.....	16
II.6.	CAD.....	17
II.7.	Lenguaje de Programación G.....	17
II.8.	Microcontrolador.....	17
II.8.1.	PIC.....	18
II.9.	LED.....	18
II.10.	LCD.....	19
II.11.	Teclado matricial.....	19
II.12.	PCB.....	19
II.13.	Protocolos de comunicación.....	20
II.13.1.	Principios de comunicación (Full-duplex y half-duplex).....	20
II.13.2.	Transmisión serie (Microcontroladores).....	20
II.13.2.1	USART/SCI -Norma RS232.....	21
II.13.2.2	Puerto serie síncrono modo I2C.....	23

II.13.3.	WIFI.....	25
II.13.4.	USB.....	25
II.13.4.1	Clase USB.....	26
II.13.4.2	USB CDC.....	27
II.13.4.3	USB HID (Human Interface Devices).....	28
II.13.4.4	Estándares USB.....	29
CAPÍTULO III. Desarrollo.....		30
<i>III.1.</i>	Diseño del prototipo en CAD.....	30
<i>III.2.</i>	Componentes electrónicos y protocolos de comunicación.....	33
<i>III.3.</i>	Flujo de información entre microcontroladores y la interfaz de usuario.....	34
<i>III.4.</i>	Diseño de circuitos electrónicos.....	36
<i>III.5.</i>	Programación del sistema embebido.....	38
<i>III.6.</i>	Simulación de circuitos electrónicos.....	39
<i>III.7.</i>	Conexión de circuitos electrónicos.....	43
<i>III.8.</i>	Tarjeta de adquisición de datos.....	44
III.8.1.	Firmware del microcontrolador.....	45
III.8.2.	Configuración de NI-VISA para el control del dispositivo USB.....	46
<i>III.9.</i>	Programación de la interfaz de usuario.....	49

III.9.1. Diagrama de bloques.....	50
<i>III.10.</i> Circuitos impresos.....	52
III.10.1. Reglas de Ruteo.....	53
<i>III.11.</i> Montaje del sistema.....	60
III.11.1. Materiales.....	60
III.11.2. Ensamble del sistema.....	61
<i>III.12.</i> Pruebas de funcionamiento y detección de fallas.....	66
CAPÍTULO IV. Resultados.....	72
CAPÍTULO V. Conclusiones.....	76
CAPÍTULO VI. Anexos.....	77
VI.1. Código de programación para el Microcontrolador PIC16F887.....	77
VI.2. Código de programación para el Microcontrolador PIC18F4550.....	97
VI.3. Costo del prototipo.....	101
Referencias.....	102

 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Prototipo de la imedipac.....	8
2	Dispensador Philips.....	9
3	Prototipo mHealth.....	10
4	Comunicación full dúplex entre microcontrolador y PC.....	22
5	Convertidor Serie-USB y Modulo USB integrado.....	22
6	Formato de dirección en el bus.....	24
7	Clases de dispositivo USB.....	27
8	Sistema con dispositivo HID.....	29
9	Base del dosificador de medicamentos.....	30
9.1	Dibujo de los componentes del dosificador.....	31
10	Diseño en CAD del prototipo del dosificador.....	32
11	Selección de componentes electrónicos y protocolos de comunicación para el desarrollo del prototipo.....	34
12	Flujo de información entre microcontroladores y la interfaz de usuario.....	35
13	Diagrama electrónico 1.....	36
14	Diagrama electrónico 2.....	37
15	Simulación del sistema con el PIC 16F887.....	39
16	Mensajes desplegables para agregar una prescripción médica.....	40

17	Montaje del controlador y de los periféricos de entrada y salida.....	43
18	Conexión del PIC 18F4550 en la protoboard.....	46
19	Ventana de selección del bus de hardware.....	47
20	Selección del dispositivo USB.....	48
21	Nombre de fuente del microcontrolador.....	48
22	Interfaz de usuario.....	49
23	Transmisión de datos.....	50
24	Diagrama de Bloques del temporizador.....	51
25	Diagrama de Bloques para el envío de mensajes a correos electrónicos.....	51
26	Separación de componentes.....	53
27	Esquema del circuito impreso.....	54
28	Diseño del PCB listo para imprimir en el papel ilustración (cuche).....	57
29	PCB después de aplicar el cloruro Férrico.....	58
30	Vista frontal del PCB del dosificador.....	58
31	PCB del dosificador con todos los componentes fijos.....	59
32	El puerto USB y el botón de encendido se encuentran en la parte superior del dosificador.....	59
33	Base del Prototipo (Acrílico).....	61

34	Tapa superior del Prototipo.....	62
35	Contenedores de pastillas usados en el prototipo.....	63
36	Matriz de Leds.....	64
37	Teclado y LCD en el prototipo.....	64
38	Colocación de los pulsadores.....	65
39	Ensamblaje final.....	65
40	Periférico de salida en funcionamiento.....	66
41	Menú de visualización y configuración.....	67
42	Configuración horaria.....	67
43	Instrucciones de operación incluidas en el sistema.....	67
44	Selección de casilla a programar.....	68
45	Secuencia de preguntas para agregar una prescripción médica.....	68
46	Reconocimiento del microcontrolador en la computadora.....	69
47	Transferencia de datos entre la PC y el dispositivo.....	69
48	Centro de monitoreo en funcionamiento.....	70
49	Prototipo final en funcionamiento.....	72
50	Alerta de prescripción médica en el centro de monitoreo.....	74
51	Alerta de prescripción médica en el dispositivo embebido.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Materiales para la elaboración del PCB.....	56
2	Materiales para la elaboración del prototipo.....	60
3	Pruebas realizadas para la evaluación del prototipo.....	71
4	Comparativa entre dosificadores comerciales con el prototipo desarrollado....	73
5	Costos totales para la producción del prototipo.....	101

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo de la historia gran parte de la población ha presentado dificultades en la toma de medicamentos, un problema común se presenta en los domicilios del paciente, en donde deben enfrentarse a tratamientos prolongados, muchas veces con un número considerable de pastillas, con dosis alternas, y lo que es más importante con medicamentos en donde es posible que se generen problemas de salud en caso de que se ingiera el equivocado. Este problema puede incluso causar que el paciente prefiera suspender el tratamiento y con ello no cumplir con el objetivo de una prescripción médica: mejorar o restablecer la salud del paciente.

Existen sistemas de dosificación tradicionales llamados *blísters*, que aparentemente facilitan la toma de medicamentos, sin embargo son totalmente manuales, es decir, que el usuario debe de llevar el control de los contenedores así como llevar un horario para ingerir los medicamentos, situación que podría ser llevada por personas jóvenes pero para personas mayores no es una opción a seguir.

Por lo tanto se puede decir que, con el desarrollo de la tecnología, electrónica, y de los sistemas automáticos y/o inteligentes; no se ha desarrollado un sistema que cumpla con la necesidad de llevar el control de los medicamentos, en cuanto a la cantidad de pastillas con las cuales se cuenta, el horario en el que se deben de ingerir, y el número de pastillas que deben consumirse; y que además, sea lo suficientemente portátil y sobre todo factible para que el usuario de cualquier edad pueda manejarlo fácilmente.

1.1. JUSTIFICACIÓN

El auge del desarrollo de tecnologías innovadoras, de los sistemas inteligentes y de conexiones tanto alámbricas como inalámbricas ha permitido resolver problemas existentes en la vida de las personas, facilitando y mejorando su bienestar. Uno de los campos más beneficiados ha sido el área de la medicina, la atención domiciliaria es uno de los rubros en los cuales se puede llevar a cabo investigación y desarrollo.

Recientemente se han presentado algunos modelos de dosificadores sin embargo son tecnología europea o americana y por ende la adquisición de dicha tecnología en México podría ser adquirida solamente por personas con alto nivel económico. Un dosificador de medicación ayudará a las personas para poder llevar un tratamiento de medicación de la mejor manera posible para obtener los resultados esperados con ayuda de un sistema automático.

Por lo cual es conveniente desarrollar un dosificador automático que a pesar de los componentes electrónicos que pueda llevar sea de peso ligero para su fácil transporte, que se visual, a través del uso de indicadores luminosos en cada compartimiento y de fácil uso, para que los usuarios no tengan ningún problema para manipular el dosificador y por lo tanto se puedan ingerir los medicamentos de manera correcta. Así mismo sería factible un dosificador que permita la monitorización y configuración a través de la PC para personas que cuenten con equipo de cómputo.

Así mismo tomar en cuenta que el costo del dispositivo sea totalmente accesible, para que las personas de cualquier situación económica en México puedan adquirirlo y se dé a conocer que en México se puede desarrollar tecnología de este tipo.

1.2. OBJETIVO GENERAL

Diseñar e instrumentar un dosificador automático de medicamentos a través de microcontroladores y de un sistema virtual que permita programar e indicar la ingesta de medicamentos para obtener una atención farmacéutica domiciliaria, con el cual se garantice la disponibilidad de la medicación en forma correcta, segura y eficiente para cumplir las prescripciones médicas del paciente.

1.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener un modelo ergonómico para el dosificador de medicamentos a través del diseño asistido por computadora.
- Diseñar y simular los circuitos electrónicos por medio de una herramienta computacional para el control del dosificador.
- Desarrollar una tarjeta de adquisición de datos utilizando un microcontrolador para la conexión alámbrica entre el dosificador y la PC.
- Programar una interfaz de usuario en LABVIEW para supervisar la toma de medicamentos y para enviar alertas médicas a través de servidores de correos electrónicos.
- Desarrollar un prototipo de bajo costo para facilitar la adquisición del mismo por parte de los usuarios.
- Efectuar pruebas de funcionamiento detectando y corrigiendo fallas para poner a punto el sistema.

1.3. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

El dosificador de medicamentos tiene la capacidad de guardar 28 medicamentos de vía de transmisión oral (tabletas, capsulas o pastillas) diferentes en compartimientos separados. Para cada uno de ellos, el usuario puede programar la prescripción médica correspondiente; se pueden programar hasta veintiocho prescripciones médicas en el dosificador. Así mismo cada uno de los compartimientos cuenta con un indicador luminoso para visualizar el medicamento a ingerir.

Se ha realizado el diseño y la construcción del prototipo obteniendo un modelo compacto, lo cual permite su transporte de manera sencilla; de fácil configuración, por lo cual cualquier usuario puede manipularlo sin problema alguno.

Se llevaron a cabo pruebas de funcionamiento con el fin de detectar, corregir fallas y formular conclusiones.

El diseño electrónico del prototipo es completamente modular, esto permite al paciente elegir su método preferido de comunicación y control dependiendo de la tecnología que posee (PC/Laptop), con este diseño, el dosificador es factible y alcanzable para personas de diferente estatus económico. El dosificador permitirá conectividad alámbrica a computadoras que trabajen bajo la plataforma Windows.

1.4. HIPÓTESIS

Con un dosificador automático de medicamentos de alta velocidad y fidelidad de procesamiento para la programación de ingesta de pastillas, se garantizará el cumplimiento total de las prescripciones médicas domiciliarias.

Al usar un reloj en tiempo real controlado por un microcontrolador, se logrará alertar al paciente la toma de la medicación en el tiempo correcto.

1.5. METODOLOGÍA

En este trabajo de tesis se realiza investigación y aplicación tecnológica permitiendo un vínculo directo con la innovación. A continuación se describe la metodología aplicada para la solución del problema presentado.

Haciendo uso del diseño asistido por computadora se obtiene la simulación de cada elemento del sistema con lo cual es posible generar un diseño compacto y ergonómico del dosificador. La programación de todos los procesos en el microcontrolador es simulado en la herramienta virtual PROTEUS, con ello se verifica el funcionamiento de la programación antes de llevar a cabo las pruebas físicas en la protoboard (Placa de pruebas).

Para controlar el dosificador, se ha elegido un microcontrolador con alta velocidad de procesamiento, dicho microcontrolador es el 16F887 de MICROCHIP cuya frecuencia de trabajo es de 4 MHz.

En cuanto a la modularidad del sistema, se utiliza un segundo microcontrolador que permite la conexión alámbrica entre el dosificador y la PC de manera independiente al primer microcontrolador. Con esta conexión y con una interfaz de usuario programado en LABVIEW se mejora la comodidad en la asignación de las prescripciones médicas. En esta misma interfaz, es posible enviar alertas a las personas calificadas por medio de servidores de correos electrónicos.

La comunicación entre los dos microcontroladores y los periféricos se realiza por diferentes protocolos de comunicación (I2C y RS-232), de esta manera se optimiza el flujo de información entre los componentes del sistema.

Al realizar pruebas de funcionamiento se pretende detectar y corregir fallas no detectadas durante el desarrollo de proyecto. Al finalizar esta etapa, se procede al ensamblaje físico y electrónico del prototipo para poner a punto el sistema.

Con base en la metodología aplicada, el prototipo tecnológico desarrollado es un sistema embebido, modular y con la capacidad de ejecutar tareas a gran velocidad, garantizando una mejora en el cumplimiento de las prescripciones médicas.

1.6. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

Capítulo I Introducción:

En este capítulo se detallan los antecedentes históricos del tema de investigación, se explica la problemática y los motivos que han llevado a realizar este trabajo, se revelan los objetivos que se pretenden alcanzar, así como la formulación de la hipótesis.

Capítulo II Marco referencial:

Se presenta una revisión del estado de arte en cuanto a dosificadores de medicamentos existentes en el mercado, también se definen los términos técnicos utilizados.

Capítulo III Desarrollo:

En esta sección se describe la metodología aplicada para la integración del hardware y software, se enlistan los materiales y se detallan las etapas de construcción del prototipo.

Capítulo: IV Resultados

Se muestran las pruebas experimentales y los resultados que ellas han arrojado.

Capítulo V Conclusiones

Este capítulo resume las principales aportaciones de la tesis y las conclusiones más importantes que de ellas se derivan. También se describen los posibles trabajos futuros así como recomendaciones que se pueden realizar para su mejora.

CAPÍTULO II. MARCO REFERENCIAL

II.1. ESTADO DEL ARTE

La dosificación de medicamentos personalizada ha comenzado a generar líneas de investigación para desarrollar modelos o tecnologías que puedan resolver los problemas existentes al cumplir con la toma de medicamentos.

La compañía francesa Medissimo ha lanzado el primer administrador de píldoras inteligente que cuenta con 28 compartimientos para píldoras, el cual se encuentra acondicionado con un chip RFID (una tecnología de identificación remota e inalámbrica en la cual un dispositivo lector o reader vinculado a un equipo se comunica a través de una antena con un transponder, también conocido como tag o etiqueta mediante ondas de radio) y sensores que le permitirán a los pacientes una precisa medicación diciéndole al paciente qué medicamentos tomar y cuando a través de señales acústicas y luminosas [24].

Así mismo el imedipac cuenta con un dispositivo GPRS que permite enviar mensajes a un familiar informándole que el paciente ya ha tomado su medicamento. En la figura 1 se muestra el diseño de la imedipac donde se destaca la ligereza y portabilidad del prototipo con un peso de 633 gramos en total. Su sistema de iluminación por compartimiento permite identificar fácilmente el medicamento que se debe ingerir. Cuenta con conexión Wi-fi y notificaciones de voz a través de una interfaz con un Smartphone [10].



Fig. 1 Prototipo de la imedipac [24].

Philips, una compañía a nivel mundial se ha sumado al desarrollo de tecnología para satisfacer la necesidad de la dosificación de medicamentos personalizada creando una máquina dispensadora de medicamentos con 60 compartimientos para píldoras que permite suministrar hasta seis dosis por día. Es una máquina más robusta que el modelo descrito anteriormente, sin embargo tiene potencial gracias a un sistema electrónico que permite al usuario simplemente presionar un botón y el medicamento es dispensado y listo para que el usuario pueda tomarlo. La figura 2 muestra el dispensador Philips en donde se pueden observar sus principales componentes. Otro aspecto a destacar es que la máquina automáticamente avisa cuando se deben tomar los medicamentos a través de una pantalla LCD. Así mismo el dispensador cuenta con sistema para conectarse a una línea telefónica para poder solicitar algún servicio o simplemente consultar el estado de sus medicamentos, su costo es de \$844 dólares [18].



Fig.2 Dispensador Philips [18].

El avanzado dispositivo mHealth desarrollado por MedMinder y habilitado inalámbricamente por Gemalto, para el uso conveniente del paciente registra la toma de medicamentos, envía alertas médicas, ordena resurtidos y mejora el cumplimiento de la receta. El innovador dispensador mejora la comunicación entre los pacientes y los proveedores de cuidado, mejorando el bienestar general, la independencia y la tranquilidad de los pacientes.

Los dispensadores de pastillas inteligentes MedMinder, equipados con el avanzado módulo M2M de Gemalto, supervisan el uso de medicamentos y envían información de la caja de pastillas a través de redes inalámbricas a un servidor central.

Los médicos y los proveedores de cuidado pueden acceder a la interfaz de red segura de MedMinder, para observar la toma de medicamentos y realizar cambios de ser necesario. La solución brinda una alarma auditiva para alertar al paciente cuando se debe tomar el medicamento. Los proveedores de cuidado también reciben alertas si no se toman dosis programadas dando a los proveedores de cuidado la capacidad de apoyo en tiempo real para un nivel mejorado de atención médica. La figura 3 muestra el diseño del mHealth. Además, el dispensador de medicamento MedMinder tiene una Alerta médica integrada con canal de voz de doble vía con el centro de monitoreo del paciente en caso de una emergencia.



Fig.3 Prototipo mHealth [10].

II.2. SISTEMAS (SPD)

La creciente complejidad de los problemas relacionados con la medicación en los pacientes, crea la necesidad de reorientar las actividades farmacéuticas hacia la provisión individualizada de una farmacoterapia segura y eficiente, de forma corresponsable con los demás miembros del equipo de salud. SPD son las Siglas de Sistema Personalizado de Dosificación. Son unos dispositivos tipo blíster (envase, generalmente de plástico transparente, con una cavidad en forma de ampolla donde se aloja el producto) con una serie de alvéolos donde se distribuye la medicación de forma farmacéutica sólida, que toma el paciente para un tiempo determinado, siguiendo la pauta terapéutica prescrita. El usuario, una vez adquiridos los medicamentos, los entrega al farmacéutico para que los coloque ordenadamente en un envase de tipo blíster, según la prescripción del médico, procediéndose después a cerrar el envase herméticamente. De esta manera quedan situados todos los medicamentos en los diferentes compartimentos, y el paciente sólo extrae de él los que tiene que tomar en un momento determinado [4].

La preparación de sistemas personalizados de dosificación (SPD) ha demostrado ser un instrumento que mejora la adherencia terapéutica del paciente (responsabilidad que el paciente tiene en el cuidado de su salud). En el año 2001, unas farmacias pioneras empezaron a preparar sistemas individualizados de dispensación dosificada, o sistemas personalizados de dosificación (SPD). En aquel entonces se consideraban a estos dispositivos como instrumentos de mejora, aunque la legislación vigente no contemplaba explícitamente la manipulación de los envases originales, por lo que los farmacéuticos estuvieron de acuerdo en ofrecer esta ayuda una vez dispensados los medicamentos, es decir, una vez que el paciente los había adquirido.

Durante la pasada década, el concepto de “atención farmacéutica” se ha debatido en congresos, foros, etc. Se han creado grupos de trabajo que han realizado estudios para evaluar su efectividad, y también se han elaborado, como resultado de experiencias previas, diversos documentos de consenso que han permitido exponer definiciones, objetivos, procedimientos, indicadores, etc.

La evolución natural, o el progreso deseado, ha motivado que los SPD se utilicen como instrumentos de mejora del cumplimiento dentro del servicio de seguimiento fármaco terapéutico. Este servicio de atención farmacéutica ha demostrado ser un instrumento que mejora la adherencia terapéutica del paciente, evitando problemas derivados del incumplimiento; a su vez, consigue un mejor control de los problemas de salud y mejora la eficiencia en el uso de los medicamentos. Así, la preparación de la medicación a través de SPD, facilita la integración del equipo asistencial y mejora la calidad de vida de los pacientes, gracias a la optimización de resultados terapéuticos [16].

II.3. SISTEMAS DE DISPENSACIÓN DE MEDICAMENTOS

Actualmente existen varios sistemas de dispensación de medicamentos implantados formando parte del trabajo diario de enfermería. Reducir el riesgo y número de errores de medicación, optimizar las cargas de trabajo y garantizar la disponibilidad de la medicación segura, correcta y eficiente para cubrir las necesidades terapéuticas del paciente son algunas de las ventajas que ofrecen las nuevas tecnologías. Un sistema de dispensación consiste en dispensar a partir de la receta médica cada una de las dosis de medicamentos previamente preparadas e individualizadas para cada paciente para su administración y en un período determinado de tiempo.

Los sistemas a través de los cuales un medicamento llega a manos del profesional de enfermería para ser administrado más conocidos son:

- 1.-Sistema de dispensación por stock en unidad de enfermería.
- 2.-Sistema de dispensación por reposición y paciente.
- 3.-Sistema de dispensación de medicamentos en dosis unitaria (SDMDU).

El sistema de dispensación por stock consiste en establecer en la unidad clínica correspondiente un almacén de medicamentos controlados por personal de enfermería, con cantidades pactadas de las especialidades farmacéuticas que habitualmente son utilizados en dicha unidad. El sistema de dispensación por reposición y paciente consiste en establecer depósitos controlados por el personal de enfermería que permiten la administración de medicamentos con anterioridad a la solicitud por paciente, con reposición diaria y petición individualizada al servicio de farmacia para cada uno de los pacientes. Supone un avance respecto al sistema stock, siendo una alternativa para ciertas unidades y servicios especiales como cuidados intensivos, neonatología, urgencias, etc. El sistema de dispensación de medicamentos en dosis unitaria (SDMDU) surge para perfeccionar tanto al sistema de dispensación por stock como el de reposición y paciente. No obstante, éstos dos últimos continúan siendo idóneos en determinadas unidades ya citadas.

II.3.1. Sistemas Automatizados de Dispensación de Medicamentos

Un sistema automático de dispensación de medicamentos (SADME) se podría definir como aquel sistema que optimiza los circuitos de trabajo e inventario, aparte de racionalizar el uso de medicamentos y productos sanitarios gracias a la utilización de las nuevas tecnologías. Su funcionamiento se basa en una capacidad de almacenamiento controlada y segura para la mayoría de los medicamentos que se usan en esa unidad controlados por una interfaz que conecta el sistema informático de farmacia con el sistema automatizado, de forma que los medicamentos están disponibles por la enfermera cuando van a ser administrados al paciente, pueden ser de dos tipos:

a) Sistemas de dispensación centralizados, ubicados en el servicio de farmacia. Son sistemas o armarios de almacenaje que facilitan las tareas propias de la dispensación de fármacos. Presentan estructura cerrada y vertical en el que los medicamentos se incorporan en unidades individualizadas que el sistema las ofrece al profesional (generalmente de farmacia hospitalaria) cuando éstos deben ser dispensados (tanto para carros de medicación dosis unitaria como para armarios periféricos automatizados).

b) Sistemas de dispensación periféricos o descentralizados, ubicados en las propias unidades o controles de enfermería. Se trata de estaciones de almacenamiento que dispensan automáticamente los medicamentos en las unidades en las que están instalados (generalmente las plantas de hospitalización).

Todas las unidades, estaciones o armarios están interconectadas a un sistema centralizado de control mediante un software ubicado en el servicio de farmacia que registra electrónicamente todos los movimientos realizados a través de estas estaciones dispensadoras. Estos armarios contienen la medicación lista para ser usada en casilleros con diferentes niveles de control y acceso. El armario (unidad principal) dispone de un teclado y monitor táctil a través de los cuales se identifica el usuario, generalmente la enfermera, cuando accede al sistema seleccionando el paciente para retirar la medicación, reponerla, etc. El equipo está conectado a una consola central ubicada en el servicio de farmacia a través de la cual se gestionan y controlan todas las unidades periféricas. Actualmente existen tres distribuidores de estaciones dispensadoras, los sistemas Medstation Rx® (fabricado por Pyxis Corporation, USA), Autodrugs® (fabricado por KRZ SL, Barcelona) y Omnisupplier® (fabricado por Omnicell Corporation USA).

II.3.2. Sistemas Automatizados de Dispensación (Domicilio)

Al igual que en el hospital, existen pacientes que requieren de medicamentos en su propio domicilio y que dada la patología o complejidad de tratamiento requieren de un sistema que asegure que el cumplimiento de tratamiento sea el correcto.

Diferentes dispensadores han sido creados para tal fin como los siguientes:

II.3.2.1 Dispensador automático e-pill-CompuMed®:

Este tipo de dispositivos proporcionan una solución efectiva para cumplir con la toma de medicamentos. Se programan de tal forma que una alarma de tipo acústica o visual alerta al paciente a una hora determinada para la retirada del medicamento prescrito. Si por cualquier razón, el usuario no accede al compartimento a retirarla, existen modelos que pueden enviar una señal de alarma a un centro de control o al cuidador indicado.

II.3.2.2 Dispensador Careousel®:

Se trata de un disco que contiene en su interior un recipiente giratorio, con 28 compartimentos. De esta forma, en el momento de la administración de una toma, el sistema avisa mediante una alarma recordatoria al paciente, girando el disco automáticamente y quedando expuesta la medicación a través del casillero de salida. El sonido desaparece cuando se vuelca el dispositivo para extraer la medicación. Está dotado con un sistema de seguridad bajo llave que impide su apertura y manipulación [8].

II.4. DOSIFICADORES

Los dosificadores son dispositivos utilizados para entregar o suministrar de forma ágil la cantidad de material o insumo necesario en las diferentes etapas de un proceso, pueden estar compuestos por servomotores, motores eléctricos, electroimanes, cilindros neumáticos y reguladores. La función del dosificador es entregar o suministrar de forma ágil la cantidad de material o insumo necesario para la realización de un sistema [6].

II.4.1. Preparación del dosificador

Ámbito de aplicación y alcance

El SPD es aplicable a los medicamentos que tengan la consideración de especialidad farmacéutica autorizada y que por sus características fisicoquímicas y galénicas, bien sin o con su acondicionamiento primario, puedan permanecer estables en el SPD durante el tiempo previsto para su utilización fuera de su envase original. Por el contrario, salvo que se reacondicionen en su acondicionamiento primario, este procedimiento no debe aplicarse a medicamentos higroscópicos, comprimidos efervescentes, dispersables o sublinguales; así como aquellos cuya ficha técnica especifique conservarlo en el envase original.

Los criterios de implementación son los siguientes:

1.- Pacientes en los que el farmacéutico haya detectado, o el mismo paciente comunique, problemas en el proceso de uso de los medicamentos por sus características personales, considerando conveniente ofrecer y controlar la dosificación a través de un SPD (p.ej. polimedicados, personas mayores con problemas de organización de los medicamentos, personas que viven solas en casa y no tienen una persona de referencia, pacientes discapacitados, etc.).

2.- Pacientes a quienes el médico prescriptor vea como susceptibles de beneficiarse de esta nueva prestación asistencial [9].

II.5. SISTEMA EMBEBIDO

Un sistema embebido es un sistema basado en un microprocesador construido para controlar una función o serie de funciones y no está diseñado para ser programado por un usuario final de la misma manera que una computadora. Un usuario puede tomar decisiones concernientes a la funcionalidad pero no puede cambiar la funcionalidad del sistema añadiendo o reemplazando software [21].

Cada sistema embebido es único, el hardware así como el software, es altamente especializado al dominio aplicación. Los sistemas embebidos se están convirtiendo en una parte inevitable de cualquier producto o equipo en todos los campos incluyendo electrodomésticos, telecomunicaciones, equipo médico, control industrial, productos de consumo, etc. [22].

II.6. CAD

El diseño asistido por computadora (CAD, computer-*asisted design*) es el uso de computadoras para diseñar productos y preparar su documentación de ingeniería de manera interactiva. Si bien el uso y variedad de software CAD es amplio, casi siempre se emplea para elaborar bocetos y dibujos tridimensionales.

Los programas de CAD hacen posible que los diseñadores ahorren tiempo y dinero al acortar los ciclos de desarrollo para casi todos los productos. La velocidad y facilidad con la que CAD permite manipular, analizar y modificar los diseños complejos hacen posible la revisión de numerosas opciones antes de tomar una decisión final. Desarrollo más rápido, mejores productos, flujo preciso de información a otros departamentos, todo esto contribuye a una increíble recuperación de la inversión en CAD [12].

II.7. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN G

Es un lenguaje de programación visual gráfico recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido ya que acelera la productividad.

Su principal característica es la facilidad de uso, válido para programadores profesionales como para personas con pocos conocimientos en programación pueden hacer programas relativamente complejos, imposibles para ellos de hacer con lenguajes tradicionales [15].

II.8. MICROCONTROLADOR

Un microcontrolador es un circuito integrado digital monolítico que contiene todos los elementos de un procesador digital secuencial síncrono programable de arquitectura Harvard o Princeton (Von Neuman). Se le suele denominar también microcomputador integrado o embebido y está especialmente orientado a tareas de control y comunicaciones [14].

Los microcontroladores están concebidos fundamentalmente para ser utilizados en aplicaciones puntuales, es decir, aplicaciones donde el microcontrolador debe realizar un pequeño número de tareas, al menor costo posible. En estas aplicaciones, el microcontrolador ejecuta un programa almacenado permanentemente en su memoria, el cual trabaja con algunos datos almacenados temporalmente e interactúa con el exterior a través de las líneas de entrada y salida de que dispone [17].

II.8.1. PIC

El microcontrolador PIC (Peripheral Interface Controller, “controlador de interfaz periférico”), es un tipo de procesador con una estructura más optimizada que un uP clásico y que integra el interface de E/S, la memoria de programa, memoria de datos, además de otros recursos (convertidores A/D, Timers, etc.). El microcontrolador PIC es un producto desarrollado por el fabricante Microchip y sus dispositivos PIC son los más populares [1].

II.9. LED

LED es el acrónimo inglés de Light Emitting Diode (en español: Diodo Emisor de Luz). Se trata de un dispositivo semiconductor que emite luz con una longitud de onda monocromática específica muy bien definida cuando se polariza de forma directa pasando, por tanto, una corriente eléctrica entre sus dos extremos [11].

Su aplicación radica en una gran cantidad de tecnologías, siendo generalmente usados como medios de iluminación y siendo un perfecto indicador debido a su baja necesidad de energía eléctrica y su alta perdurabilidad.

II.10. LCD

LCD es el acrónimo de Liquid Cristal Display, es decir una pantalla de cristal líquido es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica [13].

II.11. TECLADO MATRICIAL

El teclado es uno de los periféricos de entrada más versátil, robusto y difundido en los sistemas basados en microprocesador. El teclado en sí mismo es un conjunto de pulsadores, generalmente dispuestos de forma ordenada en filas y columnas. Estos elementos electromecánicos necesitan un circuito controlador que detecte la activación de uno de ellos y desencadene la respuesta adecuada [7].

II.12. PCB

Un circuito impreso (PCB, printed circuit board) es una tarjeta o placa donde se colocan los distintos componentes electrónicos que conforman el circuito y las interconexiones eléctricas entre ellos. Está constituida por caminos o pistas de material conductor laminadas sobre una base no conductora. Los caminos son generalmente de cobre [3].

En los últimos años, el tamaño de los componentes electrónicos se ha reducido en forma considerable, lo que implica menor separación entre pines (patillas con la que se les conecta al circuito impreso) para circuitos integrados de alta densidad.

II.13. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

II.13.1. Principios de comunicación (*Full-duplex y half-duplex*)

En una comunicación full-duplex ambos interlocutores pueden hablar a la vez, sin que se pierda información. De algún modo, se provee su medio de comunicación a cada una de las señales (una en cada sentido), ya sea un cable, una frecuencia de radio, o una longitud de onda de luz.

Una comunicación half-duplex es una versión reducida de la anterior, en la cual se utiliza solo un medio de comunicación, el cual se comparte por ambos interlocutores por turnos. No es posible escuchar al otro a la vez, que se habla, y no puede existir más de un locutor a la vez en el mismo medio [23].

II.13.2. Transmisión serie (*Microcontroladores*)

Los Microcontroladores PIC utilizan dos diferentes modos de transmisión en serie:

- **El puerto serie síncrono (SSP).**
- **La interfaz de comunicación serie (SCI) o receptor de transmisor serie síncrono-asíncrono universal (USART).**

El **SSP** se puede utilizar en la comunicación con otros microcontroladores o con periféricos. Los dos interfaces en los cuales se puede trabajar es:

- Interfaz serie de periféricos (SPI): Desarrollada por Motorola para la comunicación entre microcontroladores de la misma o distinta familia en modo maestro-esclavo; Full-duplex.
- Interfaz Inter-Circuitos (I^2C): Interfaz desarrollada por Philips, con una gran capacidad para comunicar microcontroladores y periféricos; Half-duplex.

La configuración **USART** que es también conocido como **SCI** (interfaz de comunicación serie), es el encargado de establecer comunicación con un ordenador que esté trabajando en modo full-duplex asincrono o con periféricos en modo half-duplex. Por lo tanto puede trabajar de dos formas:

- Asíncrono (full-duplex).
- Síncrono (half-duplex).

II.13.2.1 USART/SCI -Norma RS232

RS232 es la norma más tradicional para la comunicación serie. Lo que realiza es comunicar un equipo terminal de datos (DTE o Data Terminal Equipment) y el equipo de comunicación de datos (DCE o Data Communications Equipment). Esta norma establece que la distancia máxima entre el DTE y el DCE no debe ser superior a los 15 metros y que la velocidad máxima de transmisión debe ser de 20.000 bps. Los niveles lógicos se encuentran en los siguientes rangos: 1 lógico entre -3V y -15 V y 0 lógico entre +3V y +15V. En esta comunicación se utilizan conectores de 25 pastillas (DB25) o de 9 pastillas (DB9) donde el conector macho se asigna al DTE y el hembra al DCE.

Para una comunicación full-duplex desde el USART del Microcontrolador, se debe de conectar tres señales, TXD, RXD y la tierra (GND). Los Microcontroladores PIC utilizan señal TTL, por lo cual se utiliza un conversor de nivel a RS232 como el MAX 232. La figura 4, muestra cómo se lleva cabo una comunicación full dúplex entre un microcontrolador y la PC.

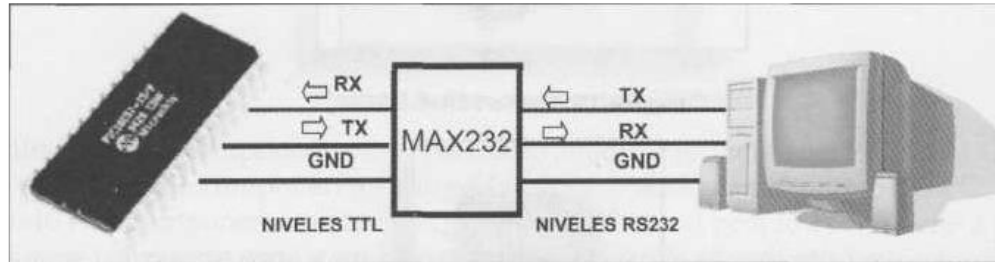


Fig.4 Comunicación full dúplex entre microcontrolador y PC.

Es poco habitual contar hoy en día con PC's con los puertos series; sin embargo, se pueden usar cables de conversión SERIE-USB, es importante no confundirse con la utilización del módulo USB integrado en el microcontrolador con gestión de comunicación USB. La figura 5 muestra la diferencia entre un convertidor SERIE-USB y un módulo USB integrado.

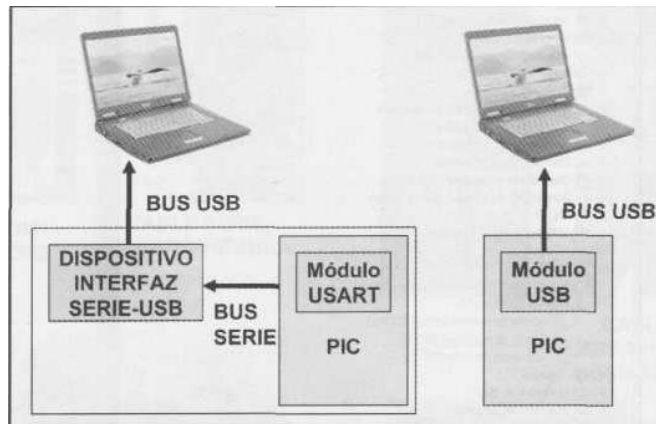


Fig. 5 Convertidor Serie-USB y Modulo USB integrado.

II.13.2.2 Puerto serie síncrono modo I^2C

I^2C es el bus que establece comunicación a través de únicamente dos hilos. Por lo tanto cada dispositivo conectado al bus tiene una dirección. Se puede configurar como una comunicación de un maestro y varios esclavos o como Multimaestro. En cualquiera de estos dos modos de trabajo el maestro es el que inicia con la transferencia, decide con quien se realiza, el sentido de la transferencia y cuando termina.

Cuando el maestro quiere realizar una comunicación la primera actividad que realiza es transmitir la dirección del dispositivo con el cual se quiere comunicar, por lo tanto los esclavos verifican si la dirección concuerda con la suya. La transmisión puede ser de **lectura** o **escritura**. El último bit de la dirección es el que indica esto. Así el maestro se encuentra en transmisión y el esclavo en recepción o viceversa. Es importante mencionar que la señal de reloj la genera el maestro.

Los dos cables de I^2C son dos hilos de colector abierto: la señal de reloj SCL y la línea de datos SDA. Es necesario usar resistencias externas o de pull-up para que se asegure un nivel alto cuando no hay dispositivos conectados al bus. En cuanto a la longitud de conexión y número de dispositivos, el bus está limitado por la capacidad de direccionamiento que puede ser de 7 a 10 bits y por la máxima carga del bus, que es de 400 pF. La velocidad máxima estándar es de hasta 100 Kbps.

Como se ha mencionado las direcciones en el bus pueden ser 7 o de 10 bits con formato de byte (uno o dos bytes respectivamente) y seguido de esto se incluye un bit de lectura/escritura como se muestra en la figura 6.

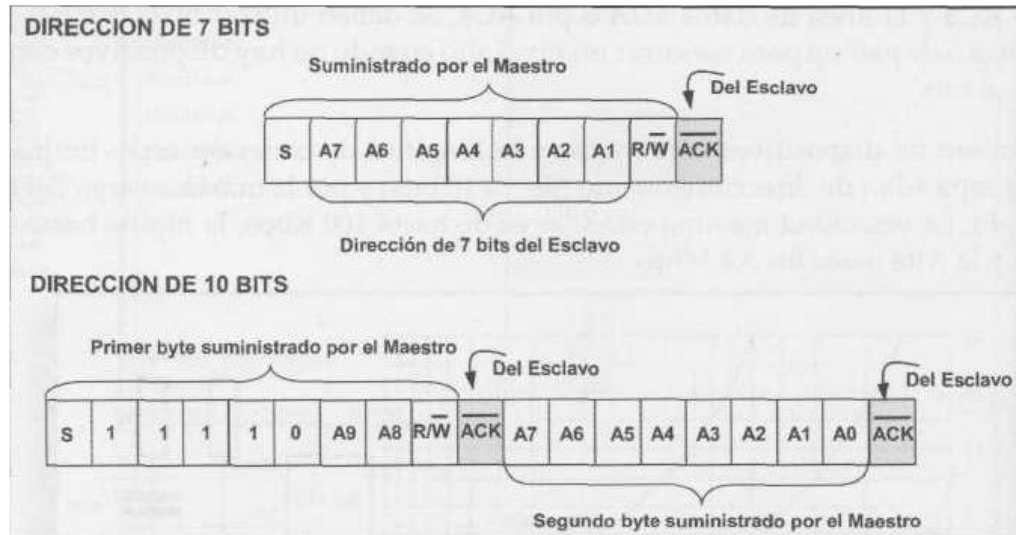


Fig. 6 Formato de dirección en el bus.

El maestro es el que envía la dirección (o datos), una vez que realiza esto, el esclavo crea un bit de reconocimiento (ACK), si este bit no se recibe la comunicación se interrumpe, generando una señal de STOP. El maestro también puede recibir datos, y en este caso es el que genera la señal de reconocimiento por cada byte recibido. En los microcontroladores de gama media existen dos módulos para realizar una comunicación de este tipo, el BSSP (Basic Synchronouns Serial Port) y el MMSP (Master Synchronouns Serial Port) que se diferencia en el modo de trabajo maestro.

El modulo puede trabajar en modo Maestro, modo esclavo con dirección de 7 bits y modo esclavo con dirección de 10 bits [5].

II.13.3. WIFI

IEEE 802.11 WLAN, o WIFI, es probablemente la tecnología de red inalámbrica de banda ancha de mayor aceptación, proporcionando la velocidad de transmisión más alta entre las tecnologías de redes inalámbricas basadas en estándares. Los dispositivos WIFI en la actualidad, basados en 802.11a y en 802.11g, proporcionan velocidades de transmisión de hasta 54 Mbps. El estándar 802.11n, soporta hasta 600 Mbps, y además un nuevo estándar 802.11ac, promete velocidades de hasta 1.3Gbps.

El rango de transmisión de un dispositivo WIFI típico es de hasta 100 metros, donde su rango exacto varía en función de la potencia de transmisión, del ambiente circundante, entre otros. Los dispositivos 802.11 operan en bandas sin licencia a los 2.4 y 5 GHz, donde la banda exacta depende de cada país [20].

II.13.4. USB

USB es un estándar que permite conectar hasta 127 dispositivos partiendo de un único conector. Con una velocidad inicial de 12 Mbit/s (la versión 1.1 de 1995), el objetivo del USB era contrarrestar las carencias del puerto PS/2 y de los series RS-232 (mucho más lentas ya que solo admiten 115 kbit/s) y del puerto paralelo (mayor velocidad, pues puede llegar a 1.5 Mbit/s, pero con un alcance muy limitado), además de que cada uno de éstos sólo permite conectar un dispositivo al mismo tiempo.

El bus USB, con un cable flexible de cuatro hilos (2 para distribución de alimentación a 5 volts y otros dos para transmitir datos), consigue velocidades muy por encima de las que se pueden transmitir con ambos tipos de puertos [19].

La transferencia de datos puede ser de cuatro tipos:

- 1.- Por interrupción (Interrupt Data Transfer): para baja tasa de transferencia de datos; suele ser unidireccional y poco frecuente. Permite de 1 a 8 bytes a low speed, de 1 a 64 bytes a full speed y hasta 1024 byte a high speed. Como ejemplo se utilizan teclado, ratones etc.

2.-Por volumen (Bulk Data Transfer): Permite la transferencia no periódica de un elevado número de datos. No permite baja velocidad, acepta de 8 a 64 bytes a full speed y hasta 512 bytes a high speed. Un ejemplo son las impresoras, escáneres, etc.

3.-Isócrona (Isochronous Data Transfer): Permite la transferencia constante de datos y se emplea en telecomunicaciones. Un ejemplo son los altavoces USB.

4.-Por control (Control transfer): Es una transferencia de datos bidireccional, usando endpoints IN y OUT. Permite paquetes de 8 bytes a low speed, de 8 a 64 bytes a full speed y 64 a high speed.

Cada uno de los endpoints de datos debe tener definido un tipo de transferencia de datos único. El host lo reconoce por los descriptores. Los descriptores están en el dispositivo USB y envían información al host. Cuando un dispositivo USB se conecta al bus, el host lo reconoce leyendo sus descriptores y le asigna una dirección dentro del bus, a esta actividad se le llama enumeración. El intercambio de información se realiza en el Default Control Pipe, a petición del host mediante una solicitud llamada request en las llamadas transferencias de control (Control Transfer).

Los requests pueden ser:

-Estándar Device Request: el utilizado en todos los dispositivos USB en el proceso de enumeración.

-Class request: dependen de la clase particular de dispositivo USB.

II.13.4.1 Clase USB

La clase USB es un conjunto de dispositivos con características similares, es decir, que utilizan un mismo modo o forma de comunicarse con el entorno. Cada clase tiene sus características como el número y tipo de endpoints. La clase del dispositivo estará definida en sus descriptores. La figura 7 muestra las distintas clases de dispositivos.

CLASE	APLICACIÓN	IDENTIFICACIÓN
Reservada	-	0x00
Audio	Altavoces, etc.	0x01
<i>Communications (CDC)</i>	Modem, fax.	0x02
<i>Human interface (HID)</i>	Ratón, teclado, etc.	0x03
<i>Printer</i>	Impresoras.	0x04
<i>Mass Storage (MSD)</i>	Tarjetas de memoria, discos duros, etc.	0x05
....

Fig. 7 Clases de dispositivo USB [5].

La clase del dispositivo permite conocer la forma en que la interfaz se conecta con el sistema, la cual localiza el class driver que puede controlar la conectividad entre la interfaz y el sistema. El driver puede estar contenido dentro del sistema operativo o puede ser necesaria la creación de uno nuevo para una clase concreta. La localización del driver se realiza mediante la descripción del dispositivo: fabricante y producto (USB vendor ID-VIP y el Product ID-PID).

II.13.4.2 USB CDC

Muchas de las aplicaciones con microcontroladores utilizan la interface serie RS-232 para la comunicación con el PC. Por lo cual es necesario migrar a una interface USB.

La especificación clase de dispositivo de comunicación CDC define algunos modelos de comunicación, incluyendo la comunicación serie. Windows suministra el driver usber.sys para esta especificación. Para la especificación CDC se necesitan dos interfaces USB, la primera es la interface Communication Class usando un IN interrupt endpoint de interrupción y la segunda es la interface Data Class usando un OUT bulk endpoint y un IN bulk endpoint.

Esta interface es utilizada para transferir los datos que normalmente deberían ser transferidos por la interface RS-232. Fabricantes como Microchip suministran el fichero mchpcdc.inf necesario para los dispositivos PIC.

II.13.4.3 USB HID (Human Interface Devices)

La clase de dispositivo HID permite la interacción del usuario con el host; de esta forma los requisitos de velocidad son mínimos. Usualmente es necesario el uso de una aplicación software (client software) para estos dispositivos. Los datos que el dispositivo HID envía al host son interpretados por el class driver del sistema operativo y por lo tanto utilizados por el client software.

La principal ventaja del HID es que no es necesario desarrollar el class driver, ya que se provee por el sistema operativo. Algunos ejemplos de dispositivos HID son ratones, teclados, equipos deportivos, instrumentos médicos, dispositivos de audio/video y dispositivos con funciones definidas por el usuario.

Un sistema con un dispositivo HID de manera general necesita un firmware para el dispositivo físico, el HID class driver, llamadas a funciones API (Application Programming Interface) y el software de aplicación.

La figura 8 muestra de manera gráfica lo necesario para un sistema con dispositivo HID. La API representa una interfaz de comunicación entre componentes software; las funciones API usadas en USB HID están definidas en los ficheros DLL [5].

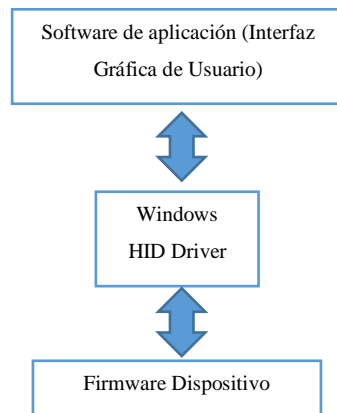


Fig. 8 Sistema con dispositivo HID.

II.13.4.4 Estándares USB

USB 1.1: Este estándar resulta obsoleto en la actualidad. Su velocidad máxima de transmisión es de 12 Mbps.

USB 2.0: High Speed, denominada alta velocidad, permite velocidades de hasta 480 Mbps.

USB 3.0: Super Speed, adiciona una tasa de transferencia de datos 10 veces más alta, 5 Gbps o Gbit/s [2].

CAPÍTULO III. DESARROLLO

III.1. DISEÑO DEL PROTOTIPO EN CAD.

El diseño del prototipo ha sido creado utilizando un software asistido por computadora Catia V5, que brinda excelentes herramientas y no presenta gran dificultad en el caso del prototipo que se ha desarrollado. El diseño en CAD es muy importante pues permite detallar y observar cada rincón del prototipo para corregir cualquier tipo de error en lo pensado y es un gran soporte para la creación física del dispositivo. El primer paso ha sido la creación de un sólido rectangular que será la base del dosificador; cabe destacar que se realizaron curvaturas en las esquinas y que las medidas fueron definidas de tal forma que el usuario pueda maniobrar, transportar y manipular de una manera portátil y fácil, como se muestra en la figura 9.

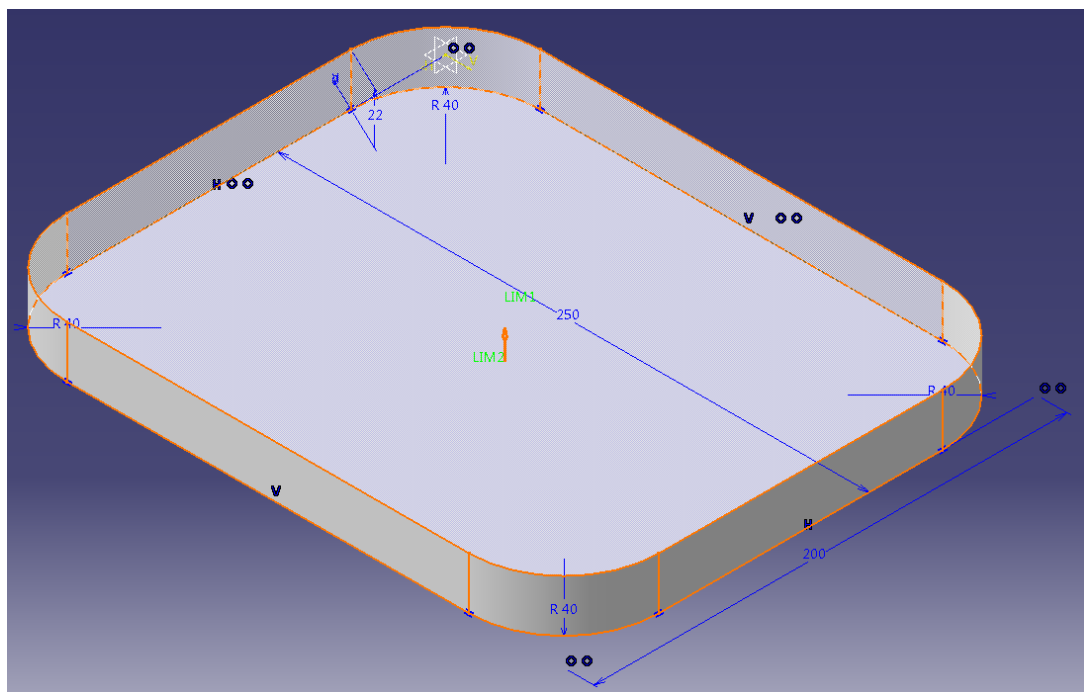


Fig. 9 Base del dosificador de medicamentos

Como se ha mencionado anteriormente el objetivo del prototipo es que el dosificador cuente con 28 compartimientos para almacenar los distintos medicamentos, que cuente con un teclado y una pantalla (LCD) para controlar y visualizar cada una de las prescripciones del paciente o usuario; así como, contar con el espacio suficiente para los circuitos, indicadores luminosos (Led's) y demás componentes necesarios para el dosificador. Para lo cual fue necesario tomar en cuenta previamente el teclado, LCD y compartimientos a utilizar para obtener sus medidas y adaptarlas al diseño y obviamente mantener ese objetivo de portabilidad que se pretende realizar. En el lado izquierdo de la figura 9.1, se muestra el dibujo o boceto de la LCD y el teclado en donde se puede apreciar las medidas de estos y las coincidencias que presentan respecto a la base del dosificador. Como ejemplo, se puede observar y definir que la distancia existente entre estos componentes con la parte superior del dosificador es de 1.5 cm y que la distancia con respecto a los costados del dosificador es de 2 cm. Del mismo modo, en el lado izquierdo de la figura 9.1, se ilustran las medidas de los contenedores del medicamento y sus coincidencias con respecto a la base del dosificador.

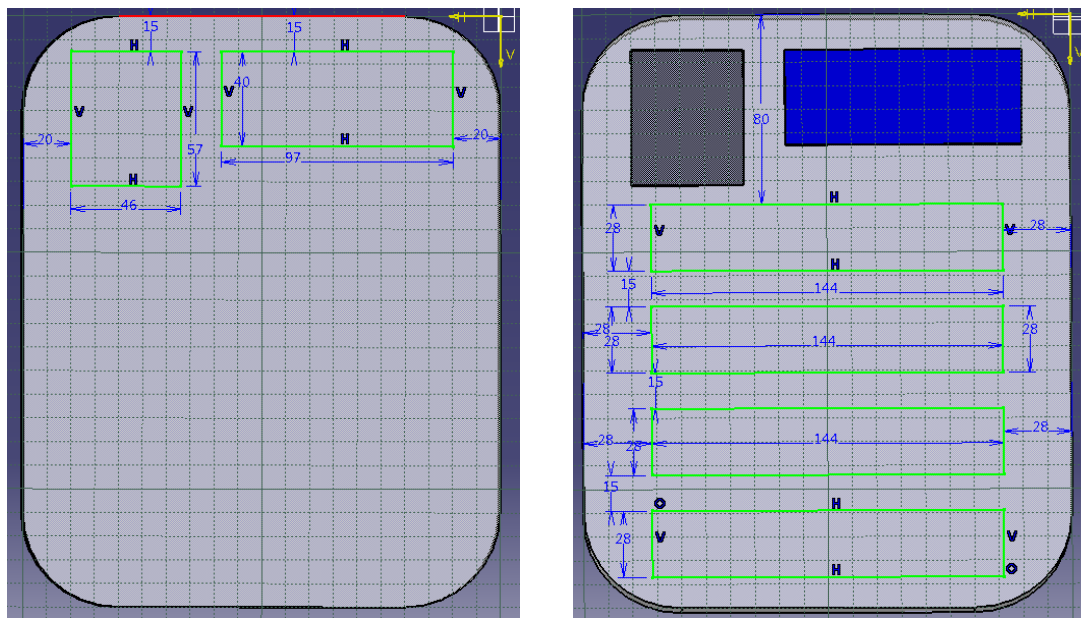


Fig. 9.1 Dibujo de los componentes del dosificador.

Es importante mencionar que los 28 contenedores están agrupados en cuatro filas de siete contenedores cada una para una correcta distribución de cada uno de ellos.

La figura 10 ilustra el resultado al diseño del prototipo en CAD, en donde el rectángulo azul representa la LCD y el recuadro sombreado en color negro representa el teclado a utilizar, y claramente se pueden observar cada compartimiento para los medicamentos; los materiales serán descritos a detalle posteriormente.

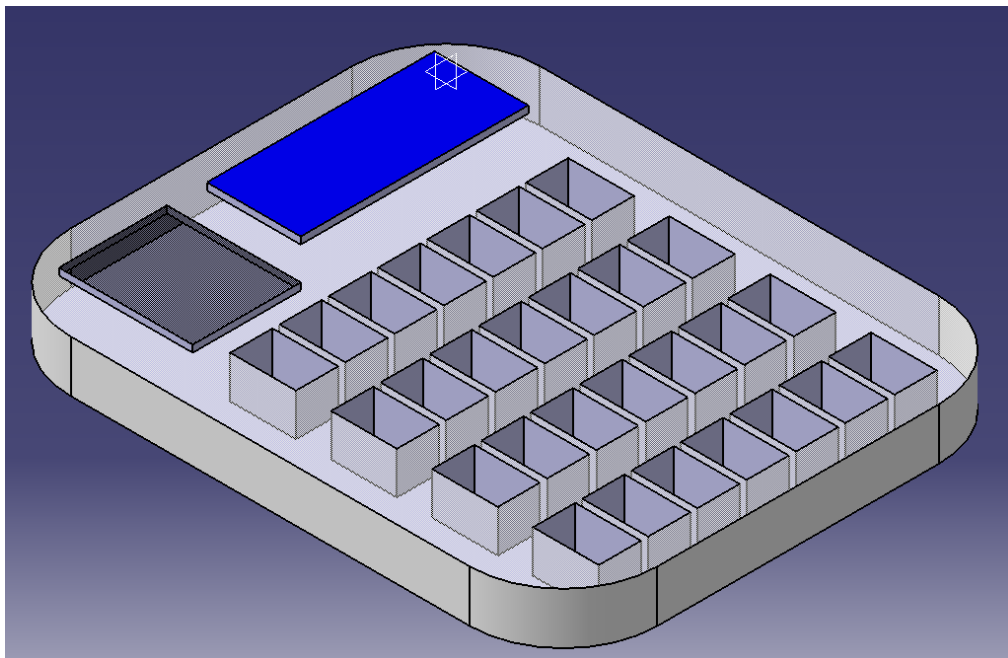


Fig. 10 Diseño en CAD del prototipo del dosificador.

Analizando el diseño creado se logró obtener un prototipo portable, ya que tiene medidas de 25cm de alto x 20 cm de ancho y 2.2 cm de altura, por lo cual el usuario será capaz de llevarlo a cualquier lugar y además el diseño integra y da un voto de confianza para implementar todos los componentes que se piensa utilizar.

III.2. COMPONENTES ELECTRÓNICOS Y PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.

Previo al diseño electrónico se ha llevado a cabo la selección de los componentes así como los protocolos de comunicación entre dispositivos, en los párrafos siguientes se describe el resultado generado en esta sección.

El control del sistema se integra por dos microcontroladores, el 16F887 y el 18F4550 de la marca Microchip, clasificados como microcontroladores de gama media y gama alta respectivamente. La conexión entre ambos componentes se realiza por el protocolo de comunicación serial RS-232.

Se utiliza el dispositivo DS1307, como reloj en tiempo real operando a través del bus I^2C , el cual garantiza excelentes resultados en trabajos cuyos eventos requieren puntualidad y exactitud a lo largo del tiempo. El DS1307 es un reloj en tiempo real que puede suministrar segundos, minutos, horas, días, meses y años.

Como periféricos de entrada se emplea un teclado matricial 4x3 y 5 botones pulsadores, con respecto a los periféricos de salida, se tiene un pantalla LCD 4X20 y una matriz de LED's de 4x7 tal como se muestra en la figura 11.

La conexión alámbrica entre el PIC 18F4550 y el ordenador es mediante el estándar USB 2.0 operando bajo la clase HID.

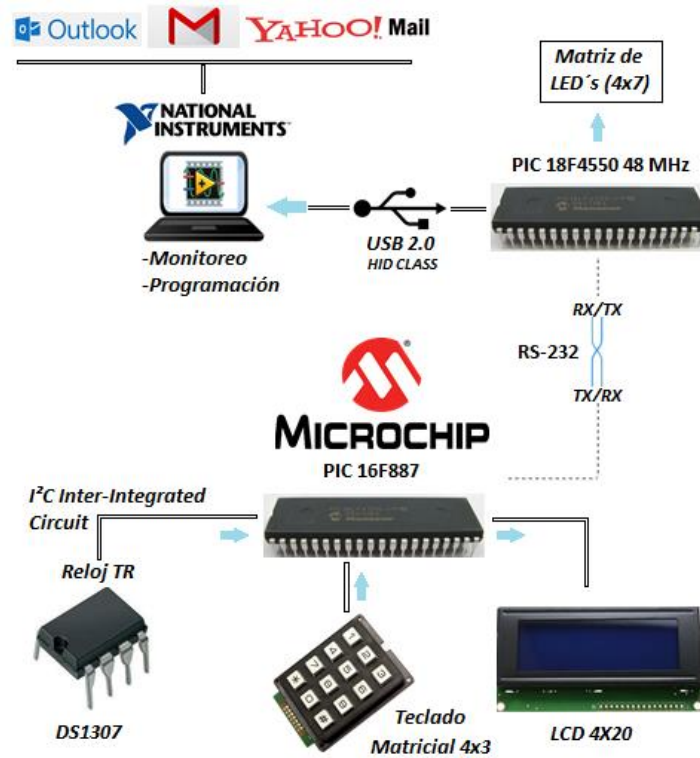


Fig. 11 Selección de componentes electrónicos y protocolos de comunicación para el desarrollo del prototipo.

III.3. FLUJO DE INFORMACIÓN ENTRE MICROCONTROLADORES Y LA INTERFAZ DE USUARIO.

En la figura 12 se muestra el flujo de información aplicado en el sistema de control. La adquisición de datos realizada por los periféricos de entrada es controlada por el PIC 16F887, esta información es procesada, consecutivamente respaldada en la memoria EEPROM propia del integrado, contando con 256 bytes de capacidad. Con este proceso la información es mantenida aun cuando el sistema es desconectado del suministro de energía permitiendo al usuario una mayor seguridad en el uso del dispositivo.

La transmisión de datos al microcontrolador 18F4550 se lleva a cabo en los eventos siguientes:

- Agregar una prescripción médica, para ello se envía la siguiente información:
 - Compartimiento del medicamento.
 - Cantidad de pastillas agregadas al compartimiento.
 - Periodo de la ingesta.
 - Numero de pastillas a ingerir.
 - Hora de inicio.
 - Minutos de inicio.

- Alertar la ingesta de medicamentos:

El microcontrolador de la gama alta procesa la información para ubicar el compartimiento del medicamento correspondiente y su vez enviar la información a la interfaz de usuario.

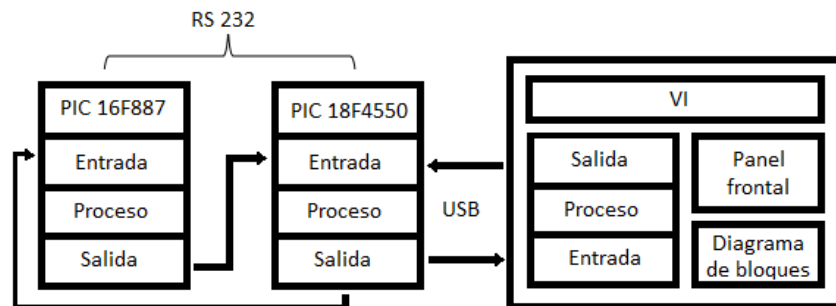


Fig. 12 Flujo de información entre microcontroladores y la interfaz de usuario.

La información generada al agregar una prescripción médica desde el panel frontal del instrumento virtual es enviado al PIC 18F4550, posteriormente al PIC 16F887 con el fin de mantener dicha información y así generar los cálculos de futuras prescripciones sin la necesidad de una conexión continua entre el VI y el dosificador. También existe transmisión de información entre el instrumento virtual al PIC de la gama media cuando se solicita información desde la interfaz de usuario.

III.4. DISEÑO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS.

El diseño se ha realizado en base a los componentes electrónicos, protocolos de comunicación y al flujo de información entre los microcontroladores con la interfaz de usuario. La conexión entre el PIC 16F887, el teclado matricial, la pantalla LCD y el integrado DS1307 se presenta en la figura 13.

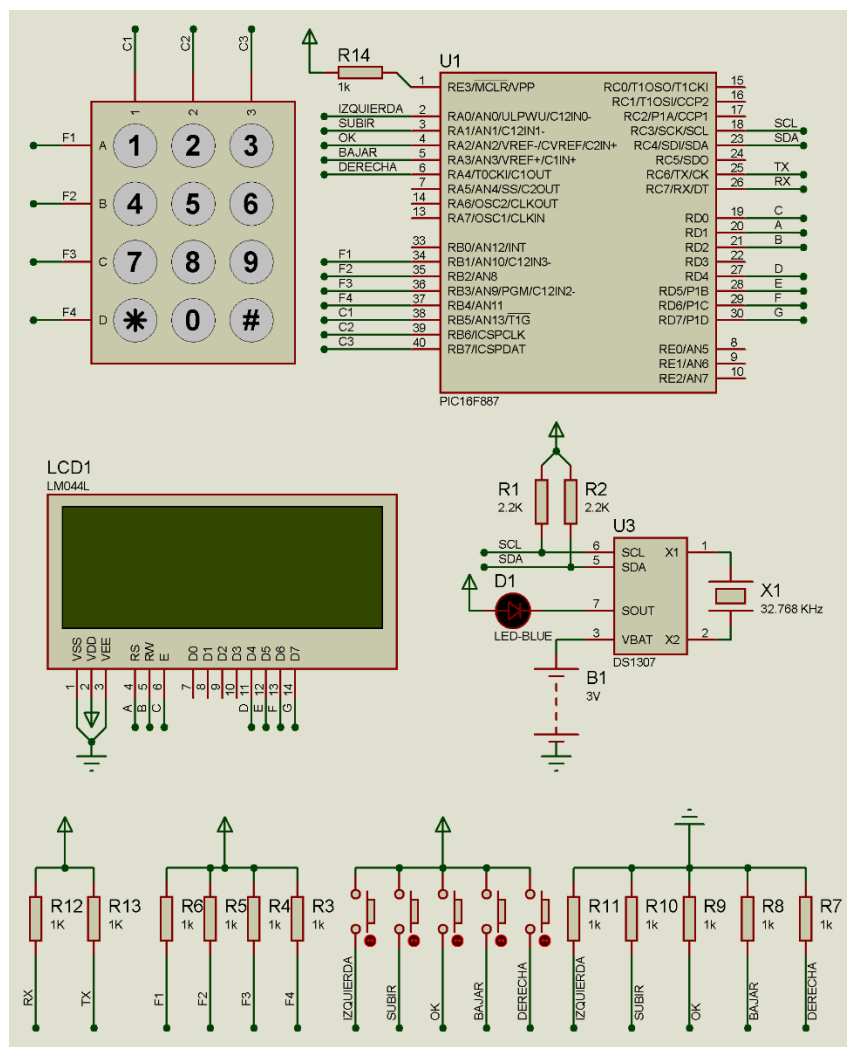


Fig. 13 Diagrama electrónico 1.

La iluminación en los compartimientos del dosificador está integrada por 28 LED's organizados en una matriz de 4 filas y 7 columnas, con esto se logra el control del mismo con tan solo 11 pines del microcontrolador. Un punto crucial en el circuito, es el oscilador de 20 MHz que junto con la configuración de los fusibles proveen la frecuencia necesaria durante la operación del PIC 18F4550. En la figura 14 se muestra la conexión del microcontrolador con la matriz de LED's así como el conector USB.

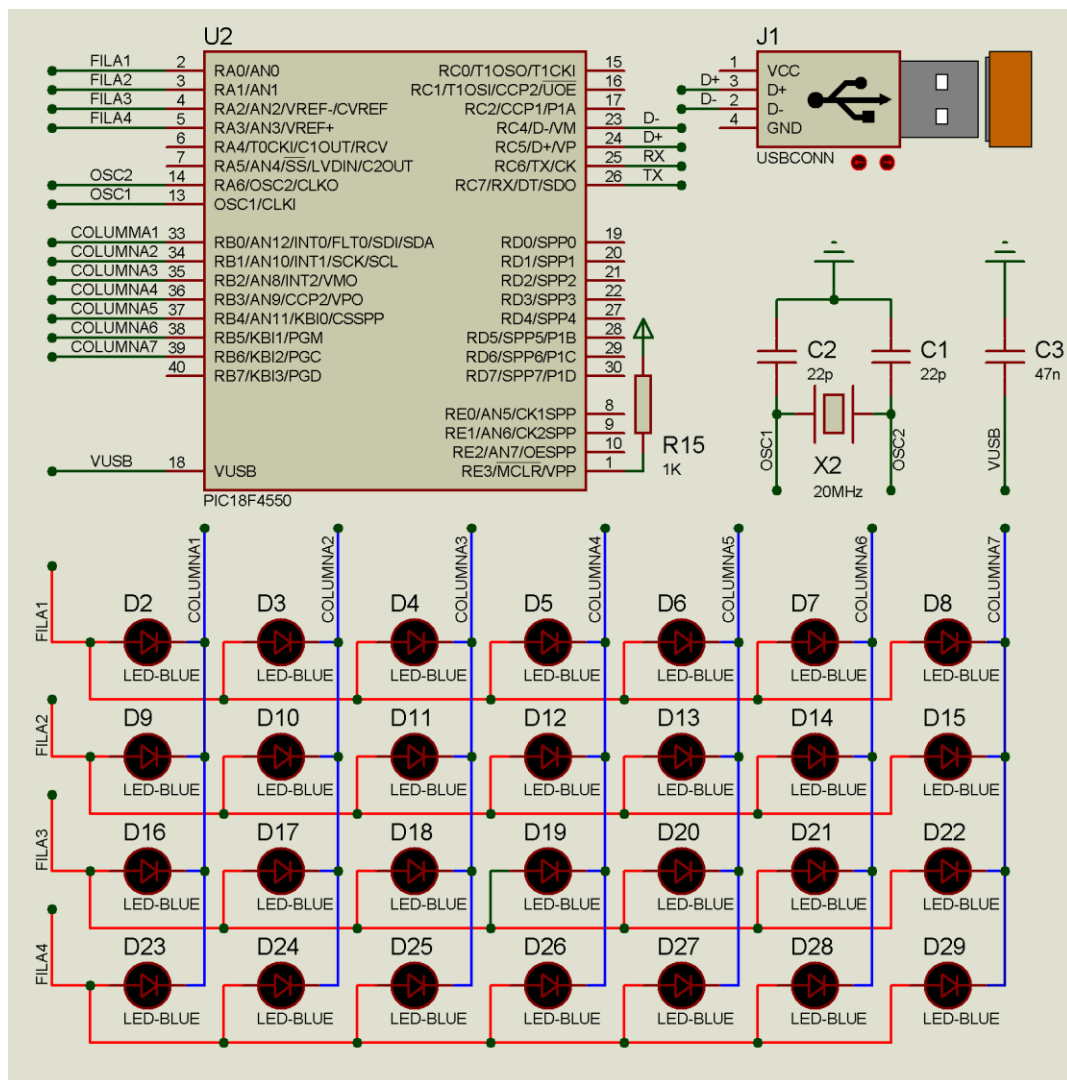


Fig. 14 Diagrama electrónico 2.

Para llevar a cabo la comunicación serial RS-232 entre los dos microcontroladores, los pines RX y TX del PIC 18F4550 se conectan a los pines TX y RX del PIC 16F887.

III.5. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA EMBEBIDO.

La programación del microcontrolador 16F887 está escrita en lenguaje C, este PIC es el encargado de controlar el sistema ejecutando las siguientes operaciones:

- Conexión con el integrado DS1307.

Es realizada bajo el protocolo serial I^2C , con ello se obtiene la hora, los minutos, segundos y la fecha en tiempo real previamente configurado por el paciente.

- Comunicación con los periféricos de entrada y salida.

El teclado matricial junto con 5 botones direccionales permite al usuario navegar y configurar al sistema. La pantalla LCD presenta el mensaje de inicio, el menú de configuración y de visualización. El ajuste horario y la programación de las prescripciones médicas son presentadas en el menú configuración. El segundo menú permite visualizar la hora y las prescripciones programadas por el usuario.

- Procesamiento de la hora en tiempo real.

La hora que provee el integrado DS1307 se compara continuamente con los horarios de las prescripciones establecidas, con ello, se alerta la ingesta de medicamentos a través de la pantalla LCD mostrando al paciente qué, cuándo, y en qué cantidad se debe ingerir, así como la hora de la siguiente toma calculada por el microcontrolador.

- Conexión con el PIC 18F4550.

Se utiliza la conexión *half-duplex* para compartir información entre ambos microcontroladores. Parte de esta información es la ubicación de los medicamentos que junto con el sistema de iluminación por compartimento, permite identificar fácilmente el medicamento a ingerir.

III.6. SIMULACIÓN DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS.

En la figura 15 se observa el mensaje de inicio de la pantalla LCD y el funcionamiento del reloj DS1307.

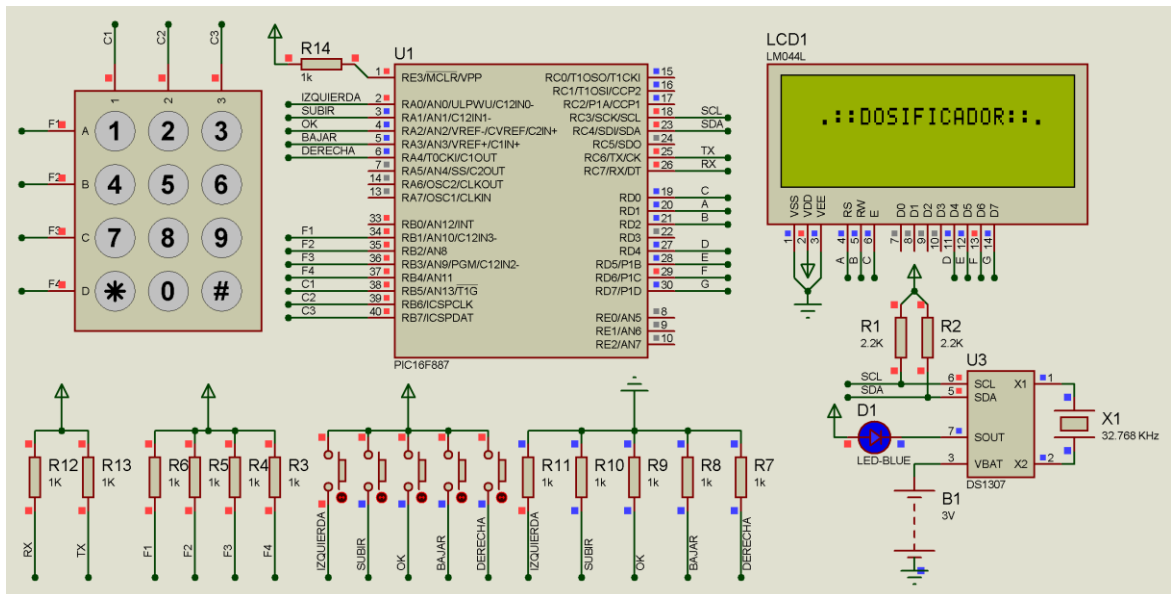


Fig. 15 Simulación del sistema con el PIC 16F887.

Para comprobar el funcionamiento de las conexiones electrónicas y de la programación realizada, se manipula cada elemento del prototipo cuyos resultados se muestran en la figura 16.

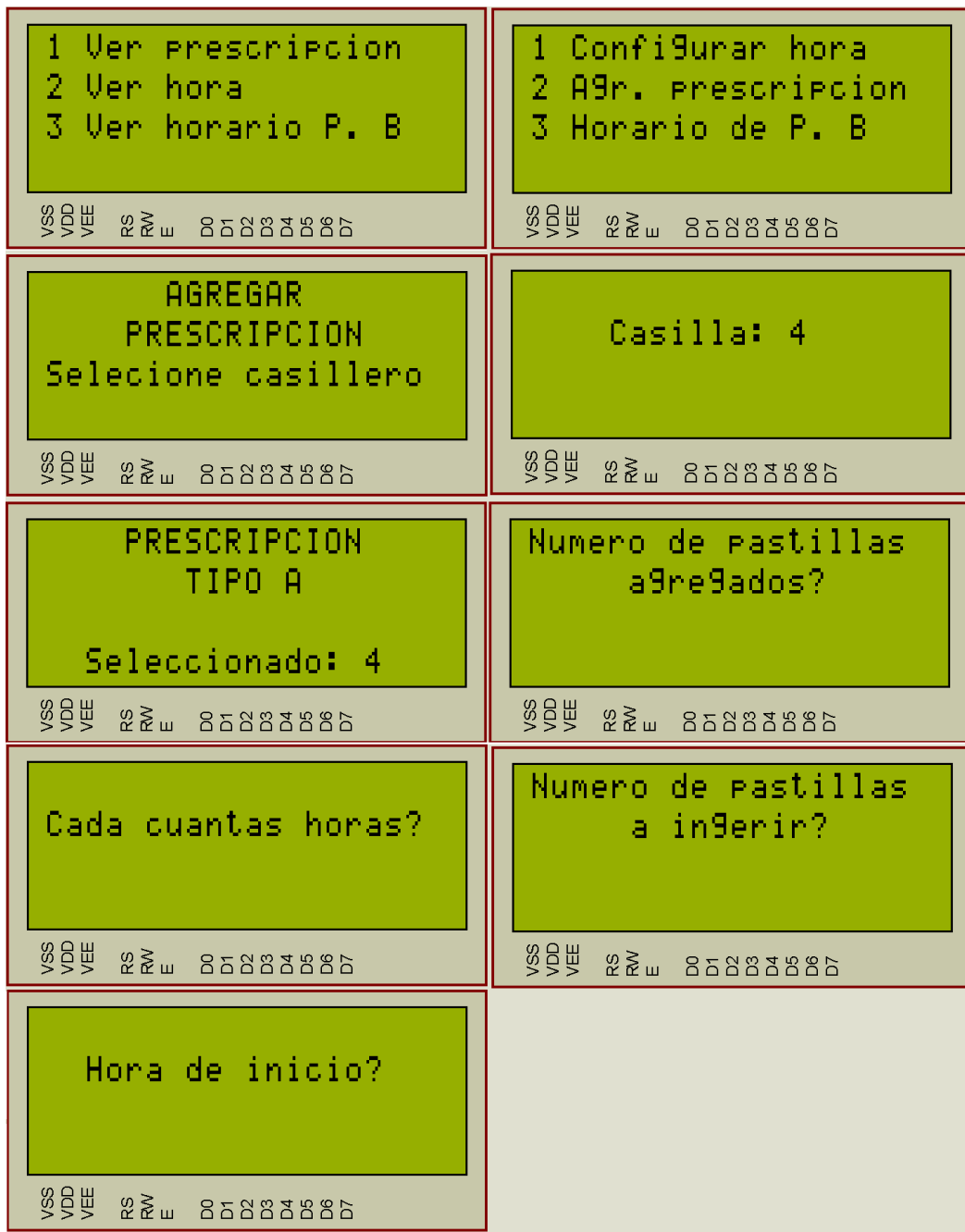


Fig.16 Mensajes desplegables para agregar una prescripción médica.

En la figura 16 se muestran los mensajes que se despliegan en la pantalla para la configuración y monitoreo de una prescripción médica. Así como una opción para ajustar la hora; aspecto importante para que el usuario del prototipo tome el medicamento en el horario deseado. En el dosificador es posible visualizar y modificar los datos a través de dos menús. El menú uno permite visualizar una prescripción programada, al igual que la hora configurada. Para acceder a este menú es necesario presionar el botón “*” en el teclado del dosificador. Si se presiona el botón “#” se accede al segundo menú; en donde se tiene acceso a la configuración de la hora y la programación de una nueva prescripción médica.

La opción de configurar hora es destinada para realizar ajustes en cuanto al horario establecido.

Agregar prescripción, es la opción en donde se dan de alta los medicamentos que el usuario requiere tomar por un tiempo determinado. Dentro de esta opción la pantalla despliega ciertos requerimientos necesarios para configurar la prescripción, comenzando con la selección del casillero en donde se almacena el medicamento. Para llevar de manera correcta una prescripción médica es necesario tener en cuenta ciertos aspectos; por lo tanto fue necesario consultar con personas de ciencias de salud, específicamente en el área farmacéutica; en donde se llegó a la conclusión de que se deben de especificar los siguientes aspectos para una llevar una prescripción de manera correcta:

- Numero de pastillas.
- Horario para ingerir el medicamento (Periodo de la prescripción médica).
- Numero de pastillas a ingerir.
- Hora de inicio para comenzar con el tratamiento.

Por lo tanto, después de haber elegido el casillero dentro de la opción agregar prescripción, es necesario especificar el número de pastillas agregadas, el número de pastillas a ingerir, la hora de inicio del tratamiento y cada cuantas horas el usuario debe de tomar el medicamento.

Después de especificar cada uno de estos aspectos, la prescripción se almacena y cuando llegue la hora definida, el dosificador debe indicar la ingesta de algún medicamento.

Dentro de la opción horario de prescripción, se monitorea las prescripciones mostrando cada uno de los aspectos programados.

III.7. CONEXIÓN DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS.

En el montaje de los circuitos electrónicos se ha utilizado una protoboard como banco de pruebas al no requerir soldaduras para conectar los componentes, además sus conexiones internas hacen posible el montaje temporal del circuito, ver figura 17.

Las conexiones entre puntos del circuito se hace usando cable unifilar calibre 22, el cual posee el diámetro adecuado para su inserción. Tras el montaje de componentes se dispone del diagrama esquemático donde se localiza el diseño electrónico al igual que todos los dispositivos que forman parte del mismo.

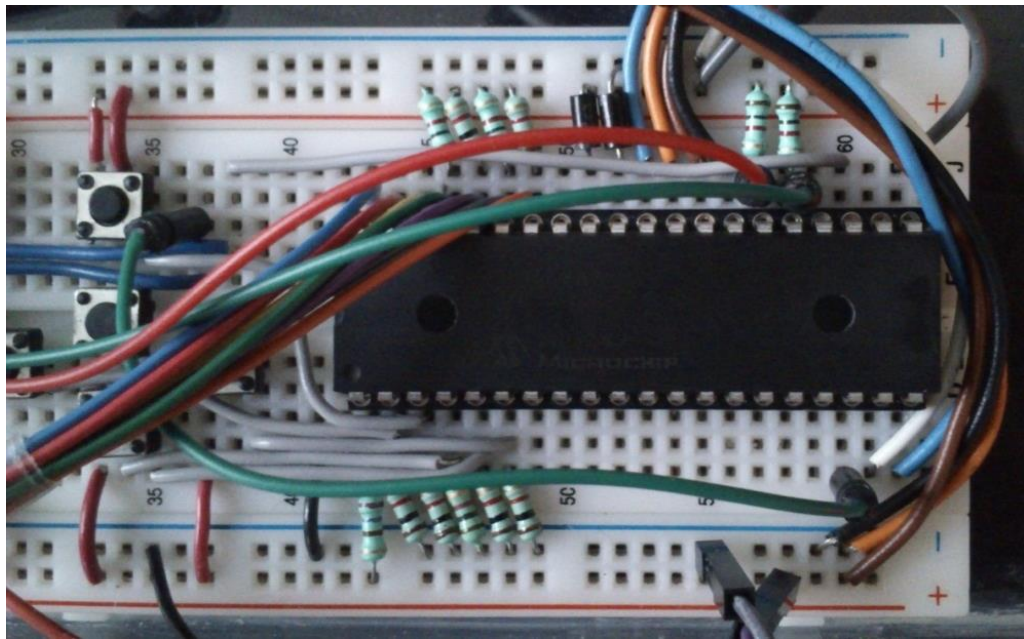


Fig. 17 Montaje del controlador y de los periféricos de entrada y salida.

En los dos bordes de mayor longitud de la protoboard se hallan las líneas o buses de alimentación. En color rojo se encuentra la línea de tensión de alimentación (Vcc) y en azul la de masa del circuito (GND), ver figura 17.

Para el desarrollo de esta etapa se ha tomado las siguientes medidas de seguridad: el integrado se ha colocado en una base para evitar el maltrato de los pines, así mismo, se utilizan diodos de protección en los pines de alimentación como protección en caso de alguna inversión de polaridad.

III.8. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

El uso de instrumentos virtuales mediante tarjetas de adquisición de datos, es cada vez más utilizada en los procesos de automatización y control. Esta metodología consiste en el manejo de paneles de control por computadora con los cuales se pueden supervisar variables de procesos y controlar actuadores, brindando al usuario una gran flexibilidad de operación.

Actualmente la obtención de datos se realiza mediante tarjetas costosas y de uso limitado, hacer uso de estas incrementaría considerablemente el precio del dosificador, considerando esta problemática, se presenta la metodología aplicada para establecer la comunicación vía USB entre la PC y un microcontrolador de bajo costo.

III.8.1. Firmware del microcontrolador.

La comunicación del microcontrolador con la PC se realiza bajo la clase HID, una característica que hace muy interesante el uso de dispositivos la implementación en su firmware esta clase de conexión, es que la mayoría de sistemas operativos poseen los controladores necesarios para poder comunicarse con ellos sin la necesidad de instalar algún driver adicional por parte del usuario. Por lo tanto, solo hay que conocer los números de identificación del proveedor (VID) y de producto (PID) del microcontrolador así como los parámetros de conexión para efectuar los ajustes necesarios en el Firmware del PIC 18F4550.

El firmware utilizado es el ejemplo `ex_usb_hid.c` proporcionado por el compilador CCS. A la librería `usb_desc_hid.h` se ha modificado el VID y PID correspondiente al fabricante Microchip tal como se muestra en las siguientes líneas de código.

```
#ifndef USB_CONFIG_PID
#define USB_CONFIG_PID 0x0020
#endif
#ifndef USB_CONFIG_VID
#define USB_CONFIG_VID 0x0461
#endif
```

Después de la programación del firmware y del código de control, los componentes electrónicos se han montado a la tarjeta de pruebas mostrado en la figura 18.

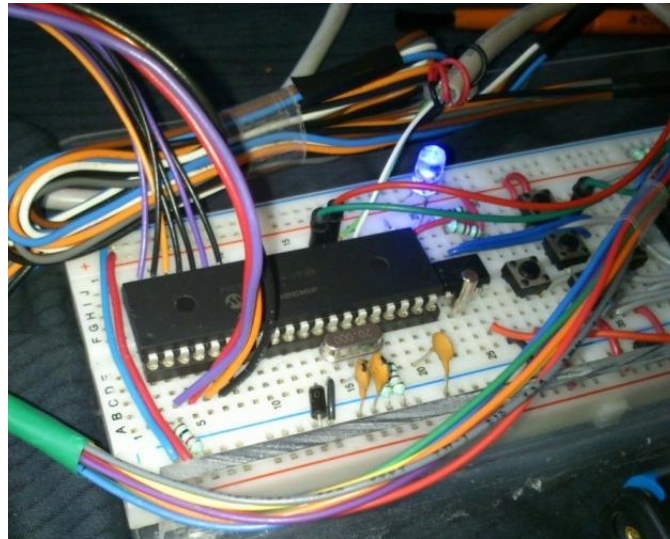


Fig. 18 Conexión del PIC 18F4550 en la protoboard.

Con la conexión del microcontrolador a la PC comienza el proceso de enumeración, por medio del cual la computadora identifica al dispositivo y consecuentemente es añadido al bus de dispositivos USB, como se trata de un dispositivo que en su firmware implementa la clase HID, el sistema operativo ya incorpora los controladores necesarios para establecer la comunicación a bajo nivel.

III.8.2. Configuración de NI-VISA para el control del dispositivo USB.

El primer paso es indicar al sistema operativo el uso de NI-VISA como el controlador predeterminado para el dispositivo USB, bajo el entorno Windows es posible con un archivo .INF creado por el asistente NI-VISA Driver Wizard. En las siguientes líneas se describe el proceso para generarlo.

Una vez abierto el asistente, se ha seleccionado el tipo de bus compatible con el microcontrolador tal como se muestra en la figura 19.

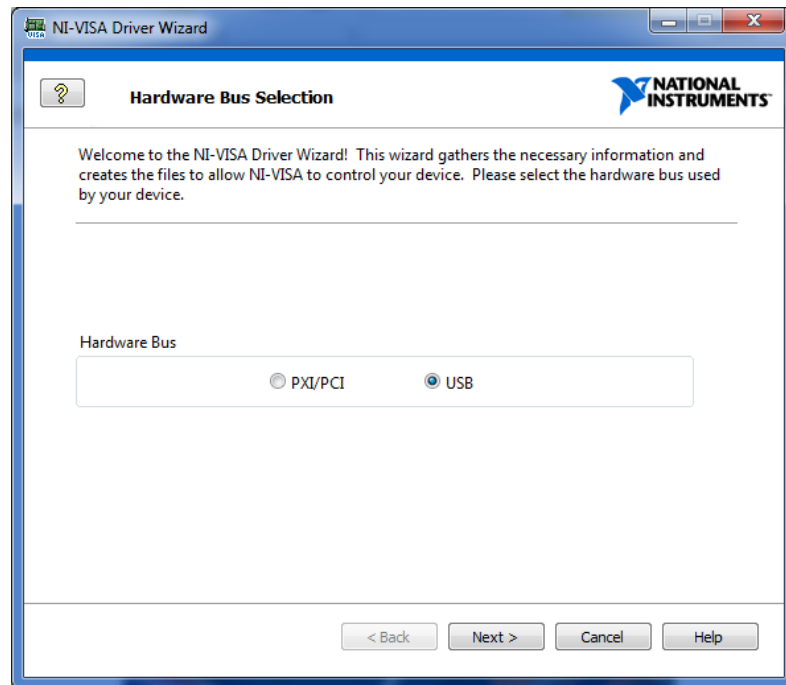


Fig. 19 Ventana de selección del bus de hardware.

Se procede a la selección del dispositivo USB, ver figura 20, para ello es necesario conocer los números de identificación del proveedor (VID) y de producto (PID), ambos proporcionados por el fabricante Microchip. Estos números identifican al microcontrolador en la instalación y comunicación con la computadora.

Con la instalación del archivo generado, el sistema operativo utiliza NI-VISA como el controlador predeterminado para el dispositivo USB.

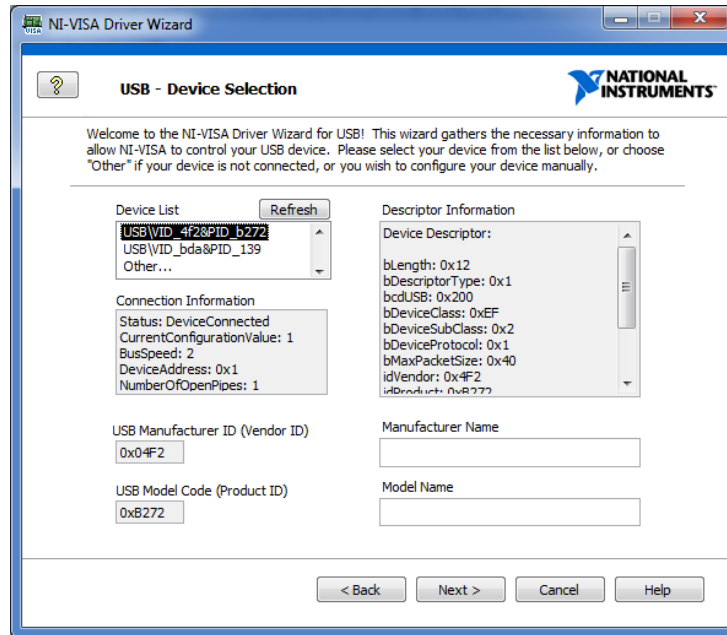


Fig. 20 Selección del dispositivo USB.

Antes de pasar al desarrollo del instrumento virtual se ha ejecutado la herramienta Visa Interactive Control para obtener el nombre de fuente del microcontrolador y así poder referenciar al dispositivo desde un VI. En la figura 21 se observa el nombre de fuente en el cual aparece el PID y VID programado en los descriptores del PIC.



Fig. 21 Nombre de fuente del microcontrolador.

III.9. PROGRAMACIÓN DE LA INTERFAZ DE USUARIO.

Se utiliza un instrumento virtual para supervisar la toma de medicamentos, enviar alertas a través de correos electrónicos y programar las prescripciones médicas. Este instrumento involucra la adquisición de la información al igual que la interfaz de usuario. La programación se ha realizado en una herramienta gráfica con bloques prediseñados que han facilitado la creación del proyecto. El programa consta de dos partes diferenciadas:

- Panel Frontal: es la interfaz con el usuario, en él se encuentran los controles de entrada, visualizadores de salida y los cuadros de diálogo.
- Diagrama de Bloques: es código fuente que define el comportamiento del VI.

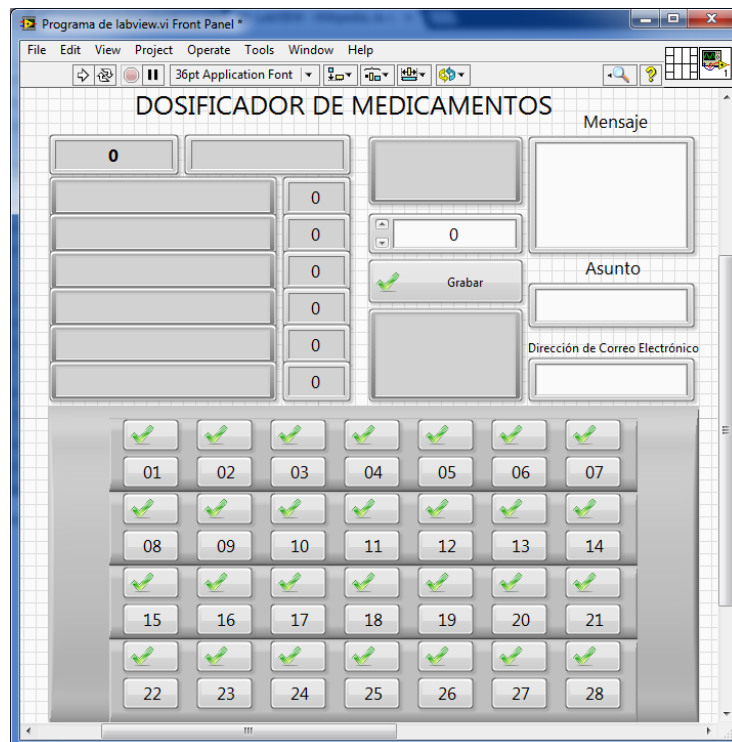


Fig. 22 Interfaz de usuario.

La interfaz de usuario mostrada en la figura 22 se estructura de la siguiente manera: en la parte superior derecha se encuentran las herramientas para enviar alertas médicas, la parte central es asignado para programar nuevas prescripciones y en la parte superior izquierda se localizan los cuadros de diálogo para visualizar las prescripciones programadas. Finalmente, en la parte inferior, se encuentra una matriz de 28 elementos, organizados en 4 filas y 7 columnas, los cuales simulan los casilleros del dosificador.

III.9.1. Diagrama de bloques

Manejo de NI-VISA para establecer comunicación con el dispositivo USB

NI-VISA de National Instruments soporta dos formas de comunicación por USB: USBTMC y RAW. Para el desarrollo del prototipo se utiliza el modo RAW por cuestiones de compatibilidad con el microcontrolador 18F4550. En la figura 23 se ilustra el diagrama de bloques utilizado en la transmisión de datos, en ello se involucran las funciones: VISA Open, VISA Enable event, VISA Write, VISA Wait on Event, VISA Get USB, VISA Interrupt Data y VISA Close.

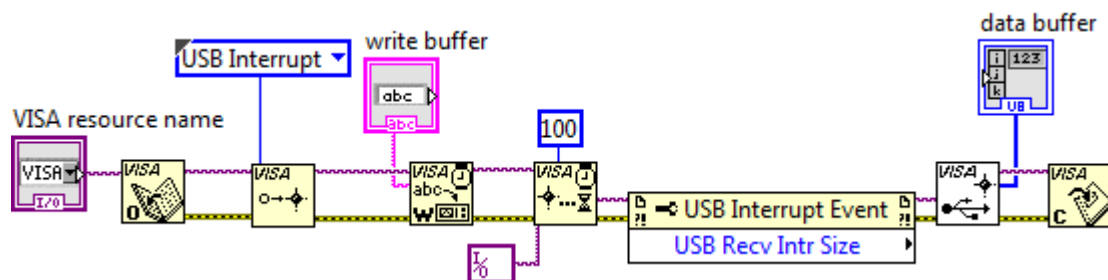


Fig. 23 Transmisión de datos.

Con el bloque Elapsed Time se programa el temporizador para activar el envío de mensajes de manera automática tal como se observa en la figura 24.

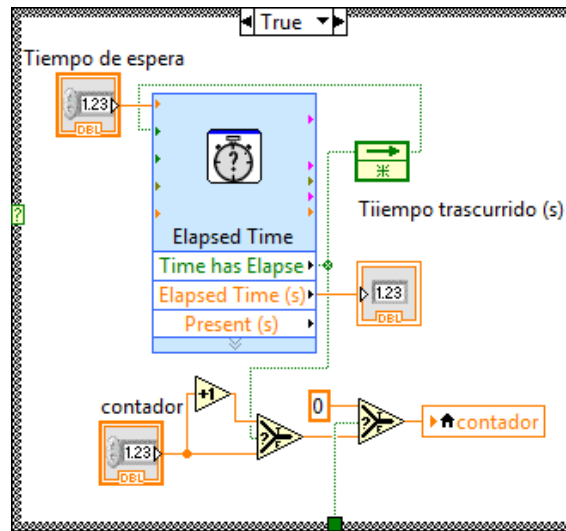


Fig. 24 Diagrama de Bloques del temporizador.

Send Email es el bloque que permite enviar los correos electrónicos, en él se configura la dirección, el asunto y el mensaje a enviar.

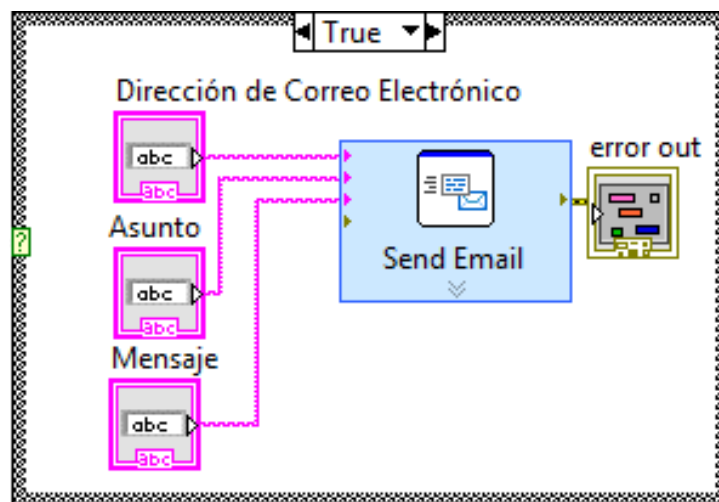


Fig. 25 Diagrama de Bloques para el envío de mensajes a correos electrónicos.

III.10. CIRCUITOS IMPRESOS.

La tarjeta de circuito impreso o comúnmente llamado PCB por sus siglas en inglés: Printed Circuit Board, es una tarjeta plástica que conecta eléctricamente los componentes del circuito a través de pistas de cobre laminadas sobre un sustrato no conductor (fenólico). Actúa también como soporte de todo el circuito. En pocas palabras es una protoboard ajustada y es creada específicamente para un circuito o aplicación en especial en donde los componentes se fijan a la placa. Antes de realizar el circuito impreso se debe crear el esquema circuital o diseño del circuito impreso. Actualmente se cuenta con una gama de softwares de diseño de circuitos impresos los cuales poseen las herramientas para las formas físicas de los componentes (footprints) para facilitar el diseño. El trazado de las pistas (ruteo) puede realizarse de forma manual o automática.

Para el dosificador automático personalizado de medicación se ha utilizado el software PCB Wizard con licencia libre para generar el diseño del circuito impreso. El trazado de las pistas y ubicación de cada uno de los componentes se ha realizado de manera manual.

Para el diseño del circuito impreso se debe tener en cuenta la lista de componentes a utilizar y conocer su conexión. La figura 26 muestra un ejemplo de la separación de componentes, es recomendable usar bases para circuitos integrados o bloques para que los componentes no vayan soldados directamente a la placa y así no sufran algún daño.

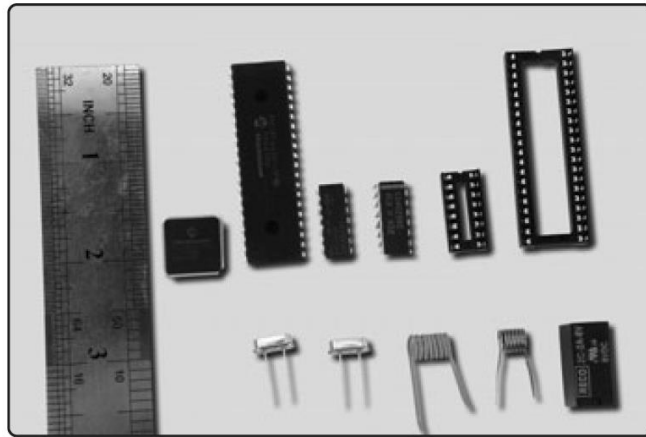


Fig. 26 Separación de componentes.

III.10.1. Reglas de Ruteo

Las reglas de ruteo son una guía que tienen que ver con la minimización del área utilizada, la disminución de interferencias y de ruidos, y una apropiada distribución de los componentes para obtener un circuito impreso de calidad.

- Separación mínima de pistas: si se trabaja con tensiones bajas, el mínimo debe ser de 0,3 mm, pero tiene que aumentarse para tensiones mayores. Si más de dos pistas son paralelas entre sí, su separación debe ser uniforme.
- Separación entre los bordes de la placa y las pistas: como mínimo, de entre 2 y 3 mm.
- Ancho de las pistas: entre otros factores, dependerá de la corriente que pasará por ellas. A mayor corriente, mayor ancho de pistas. Las pistas de alimentación deberán tener un mínimo de anchura de 1 o 2 mm, independientemente de la corriente que consuma el circuito.

- Largo de las pistas: se debe de tratar que sean lo más cortas posibles, con el fin de hacer un diseño simple y reducir el tamaño final del PCB.
- Trazado de intersecciones: debe evitarse que, en la intersección de dos pistas, se formen ángulos de 90 grados. Lo ideal es 45°.
- Conectores de entrada y salida: tienen que colocarse alejados entre sí, en lo posible, ubicados en extremos opuestos, para evitar que se produzca un acoplamiento entre ellos.
- Líneas de masa: en caso de que el circuito cuente con una parte analógica y otra digital, debe haber dos líneas de masa diferentes para cada una, las cuales se unirán en un solo punto.

Para el diseño del circuito impreso del dosificador se han seguido algunas de las reglas de ruteo como el largo de las pistas, el ancho de las pistas, la separación entre los bordes de la placa y las pistas y la separación mínima de pistas. Otras de las reglas como la de líneas de masa, no fue tomada en cuenta porque el circuito es digital. Y como se ha trabajado de manera manual las reglas de ruteo se han podido seguir de buena manera. La figura 27 ilustra el diseño del circuito impreso creado en PCB Wizard.

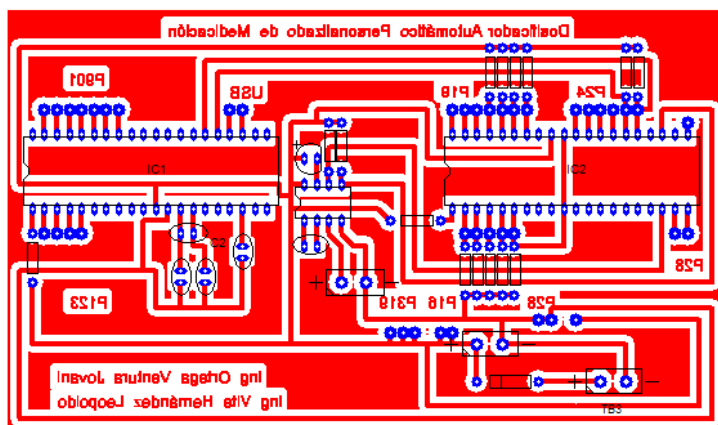


Fig. 27 Esquema del circuito impreso.

Como se puede observar el diseño cumple o incluso supera los límites mínimos requeridos dentro de las reglas de ruteo. El ancho de las pistas es de 1 mm, la separación de pistas supera el rango de los 0,3 mm mínimos requeridos. El mismo caso se presenta en la separación de los bordes de la placa y las pistas donde se llega a los 4 mm en la parte horizontal y en la parte vertical hasta de 0.5 cm. Existen circuitos en los cuales se requiere un diseño estricto, con parámetros superiores a los rangos mínimo y con materiales de mayor calidad; sin embargo para el caso del circuito impreso del dosificador automático personalizado de medicación los requerimientos no sobrepasan de los parámetros normales para la impresión y producción del PCB. Cabe destacar que el circuito está conformado por tres componentes principales: los dos microcontroladores y el reloj de tiempo real. Se puede observar que en el diseño se ha incluido un diodo para protección en el voltaje de entrada y se han puenteado las tierras de las dos fuentes de voltaje que se han ocupado para el circuito. Solo para recordar una fuente de voltaje es la que se utiliza para energizar prácticamente todo el circuito; la segunda fuente es solo para energizar el Reloj de tiempo real para que cuando el dosificador no este prendido el reloj se mantenga contando y así no se tenga que reconfigurar el reloj cada vez que se energice.

También se puede observar que hay orificios que están conectados a los microcontroladores y que aparentemente solo se dejan indicados ya que no van conectados a ninguna otra parte en el circuito. La razón es porque en esos orificios es por donde estarán conectados los cables que van direccionados a la pantalla, teclado, botones, y la matriz de LEDs que componen el dosificador. Se ha elegido llevarlo a cabo de esta manera para que se pueda acceder de manera fácil a la electrónica del dosificador sin necesidad de desconectar componentes.

Cuando el diseño está terminado, es necesario pasarlo a la placa. Por lo tanto se han considerado los siguientes materiales para el PCB:

Tabla 1. Materiales para la elaboración del PCB.

Material	Cantidad
Placa Fenólica 12*15 cm	1
Cloruro Férrico	1
Papel Ilustración (cuche)	1
Estaño	3 m
Cautín	1
Drill (Mini torno)	1

Existen diversos métodos para el proceso del PCB, pero casi todos se hacen a partir de una lámina de cobre que cubre completamente el sustrato (placa virgen), donde luego se quita el cobre indeseado para dejar los trazados diseñados para posteriormente perforar y soldar componentes. El proceso que se llevó a cabo fue el de transferir el diseño del circuito a la placa a través de calor. Para ello, se imprime el trazado en un material termosensible como el papel de ilustración (cuche) por medio de un fotograbado (impresión láser).

La figura 28 muestra el diseño del circuito que se ha de imprimir en el papel para que por medio de calor se transmita el trazado en la placa. Cabe mencionar que el diseño ahora está en blanco y negro, esto es para que las pistas se transfieran a la placa de la mejor manera. Por lo tanto se puede decir que todo lo que este en color negro será el cobre que se ha de mantener en la placa mientras que lo demás es el excedente que es removido.

Se ha de observar que los títulos y nombres se encuentran al revés, esto es porque la vista que aparece en la figura 28 es la del diseño del circuito de manera interior, como si

la placa estuviera en el mismo plano en el que está el lector. Cuando se transfiere el trazado del circuito en la placa, las letras tendrán una vista normal.

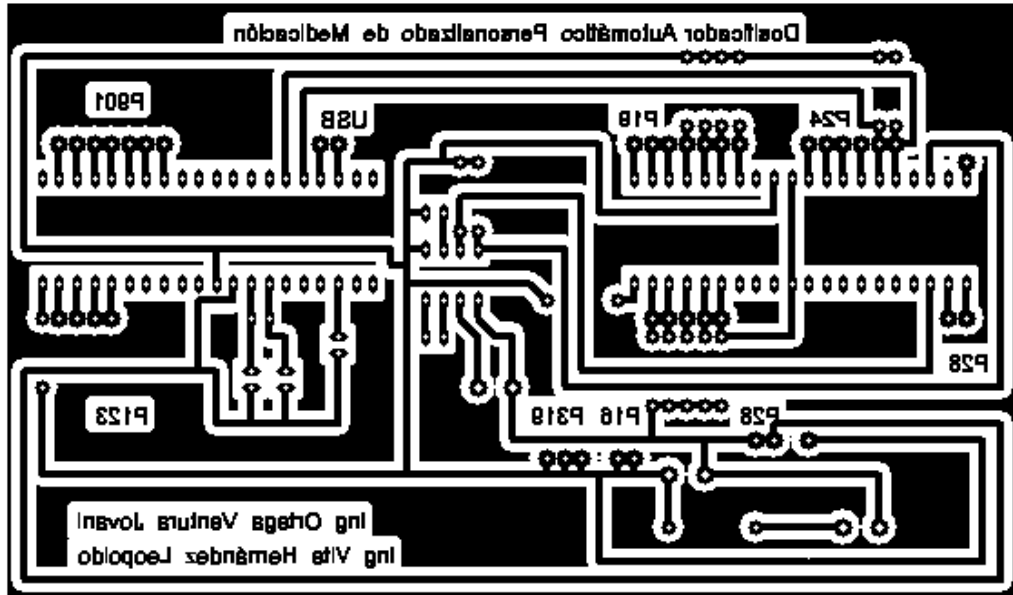


Fig. 28 Diseño del PCB listo para imprimir en el papel ilustración (cucho).

Posterior a la transferencia del circuito a la placa se utilizó el cloruro férrico para remover el cobre que para el circuito es excedente y no es usado. En la figura 29 se puede observar la placa con las pistas marcadas de material de cobre y en general el resultado obtenido después de remover el cobre innecesario.

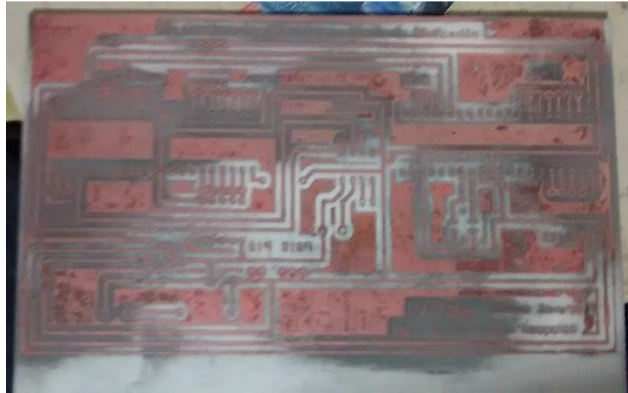


Fig. 29 PCB después de aplicar el cloruro Férrico.

El último proceso llevado a cabo ha sido la perforación de la placa en aquellos lugares donde se encuentre indicado un orificio (círculo), en donde se incluyen los componentes o cables que han formado en su conjunto la electrónica del dosificador. La figura 30 muestra el diseño del PCB en el software gracias a su herramienta de vista real o física en donde antes de realizar el proceso de la impresión el usuario puede tener un panorama previo del circuito. Así mismo las figuras 31 y 32 muestran el PCB del dosificador finalizado con los componentes soldados y listo para su funcionamiento.

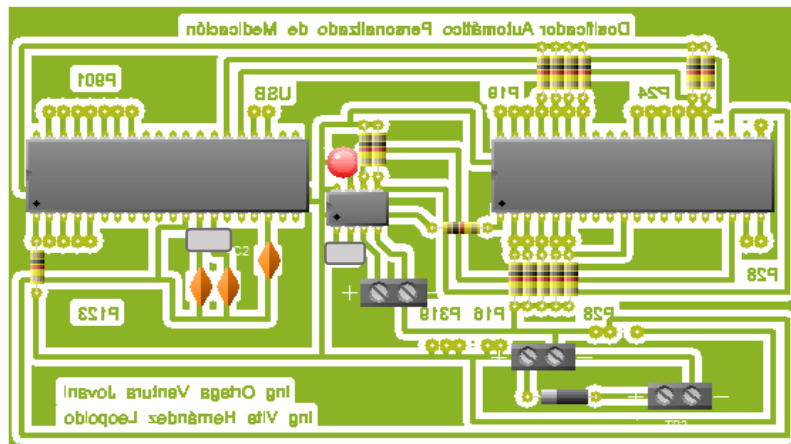


Fig. 30 Vista frontal del PCB del dosificador.

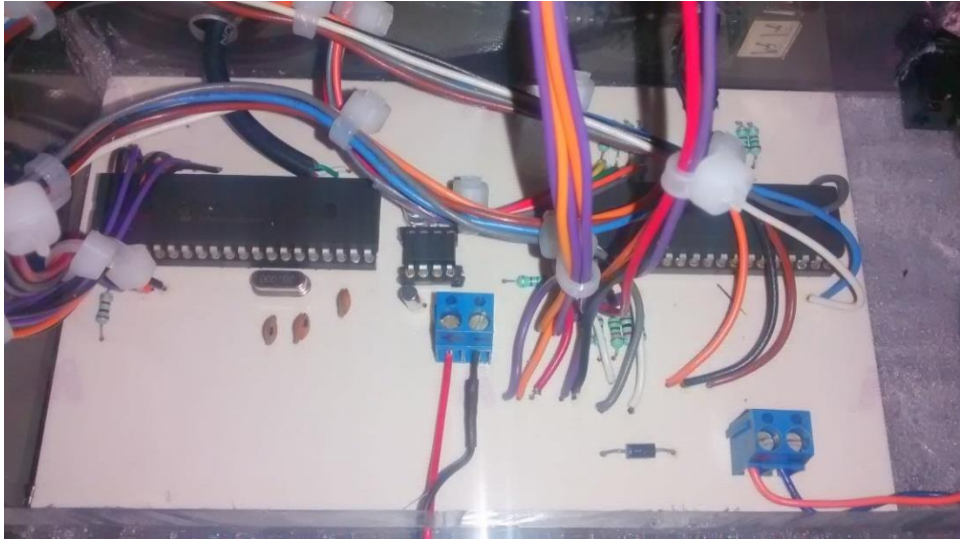


Fig. 31 PCB del dosificador con todos los componentes fijos.

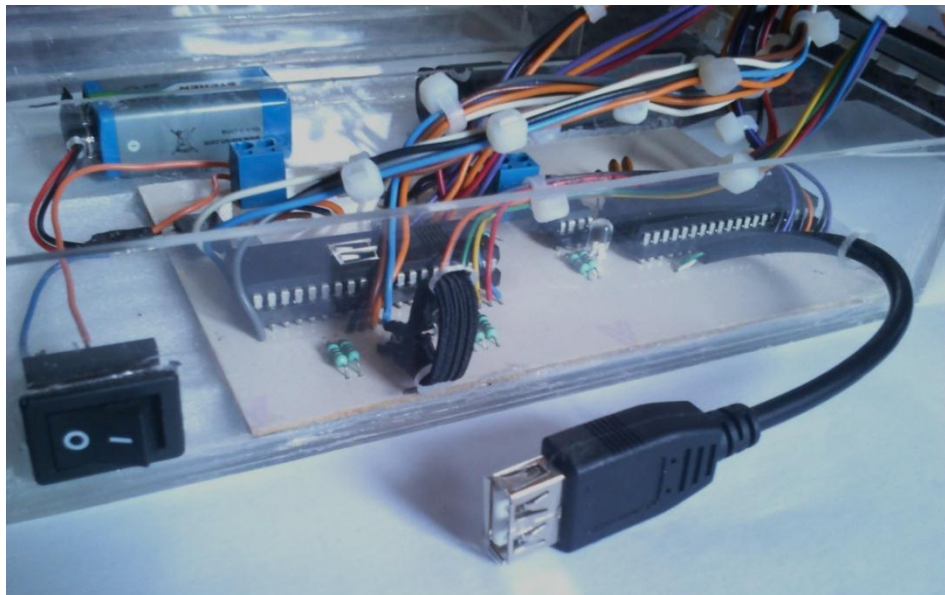


Fig. 32 El puerto USB y el botón de encendido se encuentran en la parte superior del dosificador.

III.11. MONTAJE DEL SISTEMA.

Para el desarrollo físico del prototipo se tomó en cuenta primeramente y principalmente el prototipo creado en CAD, para obtener las medidas y tratar de presentar la menor tasa de errores posible. A continuación se describirán los componentes empleados.

III.11.1. *Materiales*

Tabla 2. Materiales para la elaboración del prototipo

Material	Cantidad
Microcontrolador 16F887	1
Microcontrolador 18F4550	1
Cristal 20 MHZ	1
Cristal 32 KHz	1
Capacitor 22 micro F	4
DS1307	1
Resistencias 2.2 K Ohms	2
Resistencias 1 K Ohm	20
Botones pulsadores	5
Teclado matricial 4x3	1
Pantalla LCD 4x20	1
Conector USB	1
LED	29
Acrílico	½ m
Tornillos de ½	4
Silicón Industrial de 500 ml	1
Contenedores para pastillas (blísters) semanal	4
Bisagra de 2cm	2

III.11.2. *Ensamble del sistema.*

Antes de realizar el ensamblaje electrónico es necesario tener el prototipo físico del dosificador de medicamentos. La base y soporte principal fue creado con Acrílico el cual es uno de las tantas variantes del plástico. Una de las cualidades del acrílico, es que puede permanecer largo tiempo, en la intemperie, sin sufrir daños. Dentro de sus características técnicas, se puede señalar, que el acrílico soporta largas horas a la exposición de los rayos ultravioletas, sin dañar su estructura y los colores del mismo. Por otra parte, el acrílico es muchísimo más resistente que el vidrio. Con lo cual, no es fácil que se rompa y, de hacerlo, no se astilla. Así, el usuario no corre riesgos de lesiones, debido a cortes producidos por su quebradura. Por esta y más razones el acrílico es la mejor opción para el dosificador, ya que se pretende que el usuario pueda tenerlo en casa pero que también, pueda transportarlo y llevarlo con él a cualquier parte. Además el acrílico es fácil de maniobrar y no se requiere de herramientas especiales para obtener la forma deseada por lo cual es una excelente opción para personas no expertas.



Fig. 33 Base del Prototipo (Acrílico).

La figura 33 mostró el componente principal del dosificador hecho de acrílico en donde serán puestos todos los componentes electrónicos y demás físicos. Es necesario mencionar que la tapa superior es independiente a la parte inferior; esto es para que con ayuda de las bisagras la tapa superior pueda ser abierta y así se pueda tener acceso de manera fácil a la circuitería y prácticamente a todos los componentes. Se crearon 4 perforaciones en forma de rectángulo para que sobre ellas descansen y sean fijados los contenedores de pastillas como se muestra en la figura 34.



Fig. 34 Tapa superior del Prototipo.

Se eligió utilizar acrílico transparente para que los indicadores luminosos tengan mayor presencia pero principalmente, para que se pueda observar claramente la electrónica empleada en el desarrollo.

Para fijar correctamente los contenedores de pastillas se crearon pequeñas bases de acrílico fijadas en la base principal y también hacer usos de silicón industrial para evitar que los contenedores cambiaran de posición o se salieran del prototipo. La figura 35 ilustra los contenedores de plástico en la base del dosificador.



Fig. 35 Contenedores de pastillas usados en el prototipo.

En cuanto al ensamblaje electrónico el primer paso fue la instalación de los indicadores luminosos (LEDs), cada contenedor de manera individual tiene su propio indicador fijado con silicón a través de un pequeño orificio creado en cada contenedor, cabe destacar que se realizó un arreglo de leds o comúnmente llamada matriz de leds para que el microcontrolador pueda controlar los 28 indicadores con tan solo 11 pines de control. Se utilizó cable de manera compacta y se utilizaron conectores especiales en las terminales para optimizar y crear una buena instalación. Ver figura 36.



Fig. 36 Matriz de Leds.

Se instalaron el teclado y la LCD en sus respectivos lugares donde fue perforada la capa superior de acrílico. Por debajo de la LCD se realizaron 5 perforaciones en donde se colocaron botones para navegar en la pantalla y poder configurar o programar el dispositivo. Ver figura 37 y 38.

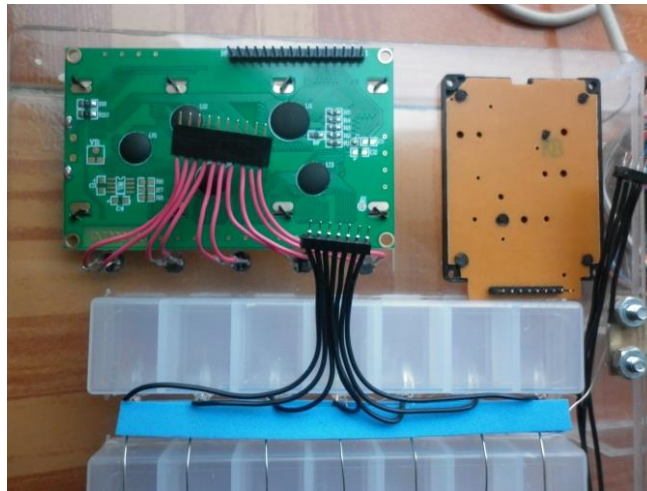


Fig. 37 Teclado y LCD en el prototipo.

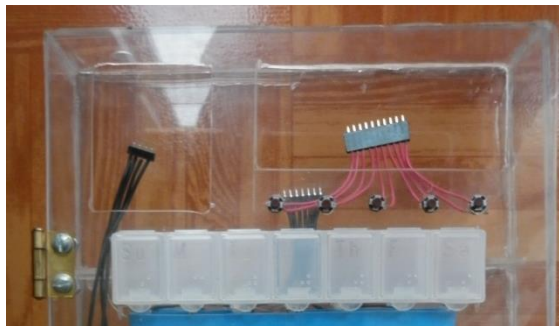


Fig. 38 Colocación de los pulsadores.

Los microcontroladores, y demás componentes electrónicos que son la parte principal de la investigación han sido destinados a estar por debajo del teclado y la pantalla; para la conexión se realizó un PCB, el cual se tratara a detalle en los siguientes temas. Fue necesario obtener medidas exactas en cuanto a los cables para no se conectara cable de sobra pero para que también presentara la suficiente libertad para cuando el usuario requiera abrir la tapa superior. En la figura 39 se puede observar el ensamble final del dosificador. Cabe mencionar que, en cada proceso de la instalación electrónica, los conectores y terminales especiales hacen presencia para crear un prototipo de mejor calidad.



Fig. 39 Ensamblaje final.

III.12. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y DETECCIÓN DE FALLAS.

Las pruebas del sistema implican la operación o aplicación del mismo a través de condiciones controladas cuyo objetivo es proporcionar información sobre la calidad del prototipo y con ello corregir las fallas en base a los resultados.

Se han considerado los siguientes rubros con los cuales se definen los puntos a evaluar:

Pruebas de funcionalidad: con este tipo de pruebas se examina si el prototipo cubre las necesidades de funcionamiento acorde a las especificaciones de diseño. En ellas se verifica que el sistema lleve a cabo correctamente todas las funciones requeridas.

En estas pruebas no se considera la codificación dentro de los parámetros a evaluar, es decir, que no están basadas en el diseño interno del prototipo.

Pruebas de usabilidad. Las pruebas realizadas en este rubro tienen la finalidad de verificar que tan fácil es el uso del prototipo.

Al encender el dispositivo, se muestra el mensaje de inicio en la pantalla LCD tal como se observa en la figura 40.



Fig. 40 Periférico de salida en funcionamiento.

Con los botones '*' y '#' del teclado matricial se accede al menú visualización y configuración respectivamente. En la imagen 41 se muestra ambos menús, el primero es útil para visualizar las prescripciones médicas al igual que la hora actual. En el segundo se permite configurar la hora y agregar nuevas prescripciones.



Fig. 41 Menú de visualización y configuración.

Se ha comprobado el funcionamiento del reloj DS1307 al configurar la hora actual desde los botones pulsadores, el resultado es mostrado en la figura 42.

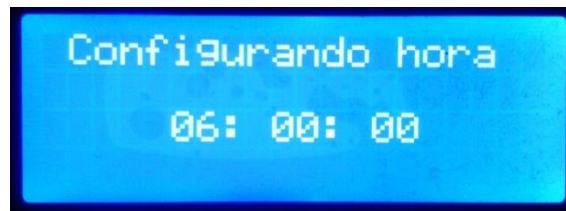


Fig. 42 Configuración horaria.

Al ingresar a la opción agregar prescripción, se elige el casillero como se observa en la imagen 43, las instrucciones de operación se encuentran incluidas en el dispositivo.



Fig. 43 Instrucciones de operación incluidas en el sistema.

El tipo de prescripción se elige en función del número de la casilla. Para las casillas del 1 al 20, corresponden a las prescripciones del tipo A, las casillas de 21 al 28, son para el tipo B.



Fig.44 Selección de casilla a programar.

De manera automática, se presentan las preguntas que el usuario debe responder para terminar la programación de una nueva prescripción.

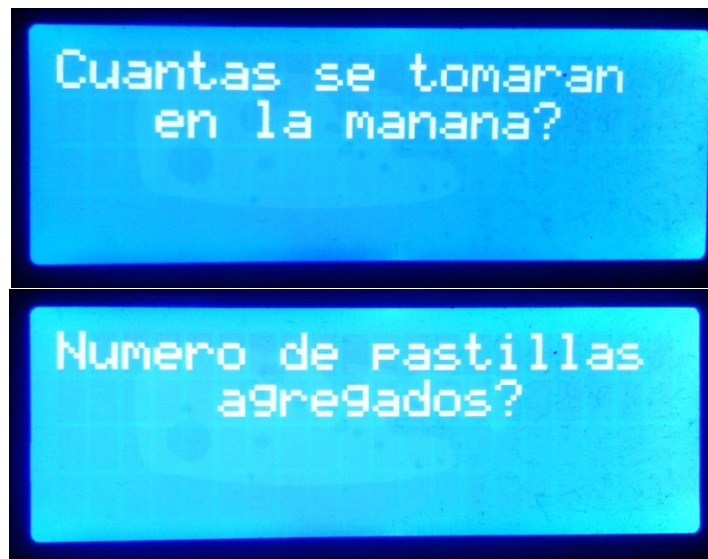


Fig.45 Secuencia de preguntas para agregar una prescripción médica.

Una vez finalizada la revisión de los periféricos de entrada y salida, se verificó la conexión del dispositivo a la computadora. En la figura 46 se muestra la conexión exitosa en el Administrador de dispositivos.

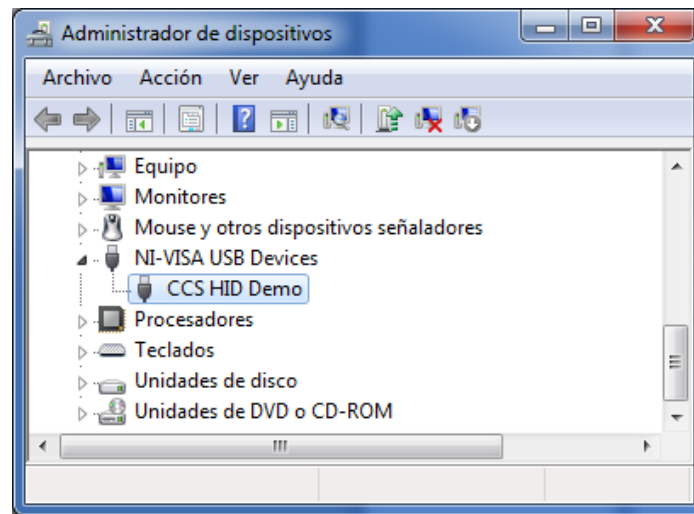


Fig. 46 Reconocimiento del microcontrolador en la computadora.

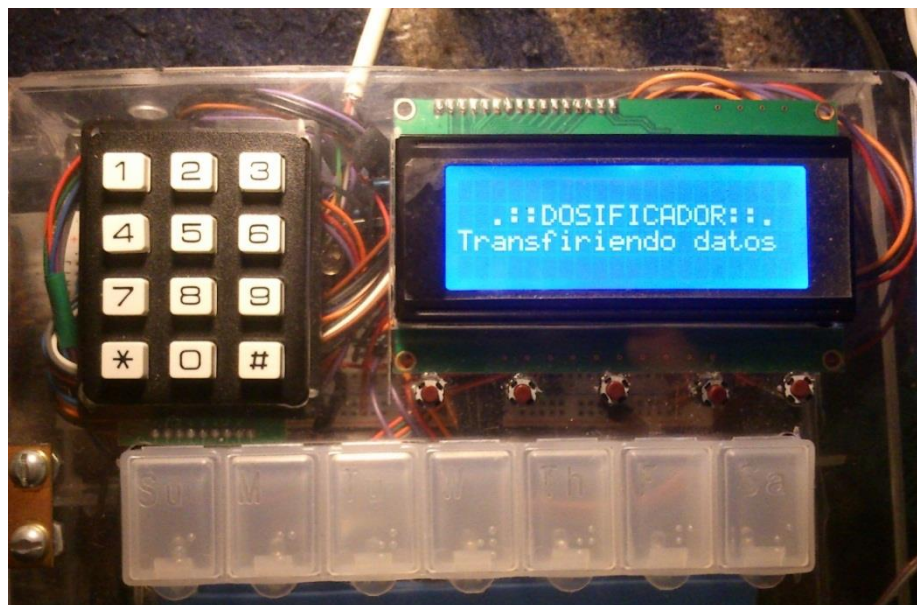


Fig.47 Transferencia de datos entre la PC y el dispositivo.

Se ha verificado que el instrumento virtual permitiera la visualización de datos programados en el dosificador, envío de alertas médicas y también se comprobó que la programación de prescripciones desde el panel frontal funcionara correctamente.



Fig.48 Centro de monitoreo en funcionamiento.

En la tabla 3 se muestra la lista de pruebas realizadas durante la evaluación del prototipo desarrollado.

Tabla 3. Pruebas realizadas para la evaluación del prototipo.

Prueba evaluada	Funcionamiento	
	Si	No
Simulación del código fuente para el control del dosificador.	x	
Montaje y operación de componentes electrónicos en la protoboard.	x	
Montaje y operación de componentes electrónicos en la tarjeta de circuito impreso.	x	
Encendido y apagado del prototipo.	x	
Pulso de reloj a 1 Hertz.	x	
Configuración de fecha y hora.	x	
Operación del teclado matricial.	x	
Operación de los botones pulsadores.	x	
Operación de la pantalla LCD.	x	
Operación de la matriz de LEDS.	x	
Programación de prescripciones médicas.	x	
Almacenamiento de información en la memoria EEPROM del microcontrolador 18F4550 y del 16F887.	x	
Alerta de prescripciones médicas.	x	
Conexión del dosificador de medicamentos a la PC.	x	
Funcionamiento de la interfaz de usuario.	x	
Comunicación del instrumento virtual con servidores de correo electrónicos.	x	
Transferencia bidireccional de información entre el dosificador y el instrumento virtual.	x	
Prototipo susceptible a interrupciones de energía eléctrica.	x	

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

El prototipo final se muestra en la figura 49, como se observa, el diseño es compacto y ergonómico cuyas características se presentan en la tabla 4.



Fig.49 Prototipo final en funcionamiento.

La siguiente tabla comparativa muestra las características más importantes de los dosificadores de pastillas existentes en el mercado y del prototipo desarrollado.

Tabla 4. Comparativa entre dosificadores comerciales con el prototipo desarrollado.

Características	Dosificador de medicamentos			
	Imedipac	Philips	mHealth	DAPM
Número de compartimientos	28	60	28	28
Método de señalización	Acusica y luminosa (LED)	Luminosa (LCD)	Acusica y luminosa	Acusica, luminosa (LED, LCD) y envío de correo electrónico
Comunicación	RFID y WI-FI	No	M2M	USB
Conexión a dispositivos	Smartphone y Pulsera electrónica	Línea telefónica	Pulsera electrónica	PC, laptop
Calculo de horario para las prescripciones medicas	Manual	Manual	Manual	Automático
Costo	\$9,800	\$12,660	\$11,200	\$ 3,000

El panel de monitoreo se desarrolla de manera satisfactoria, permitiendo a los usuarios un aprovechamiento de la tecnología para aplicaciones en la medicación domiciliar. Como se logra observar, los indicadores y los mensajes automáticos de alerta, logran un entorno amigable para los pacientes.



Fig.50 Alerta de prescripción médica en el centro de monitoreo.

Después de programar una prescripción médica, de vía de transmisión oral (tabletas, capsulas o pastillas), el dispositivo embebido alerta o indica la ingesta de pastillas a la hora correspondiente a través de indicadores luminosos. En la pantalla LCD se muestran otros datos que son útiles para el usuario.

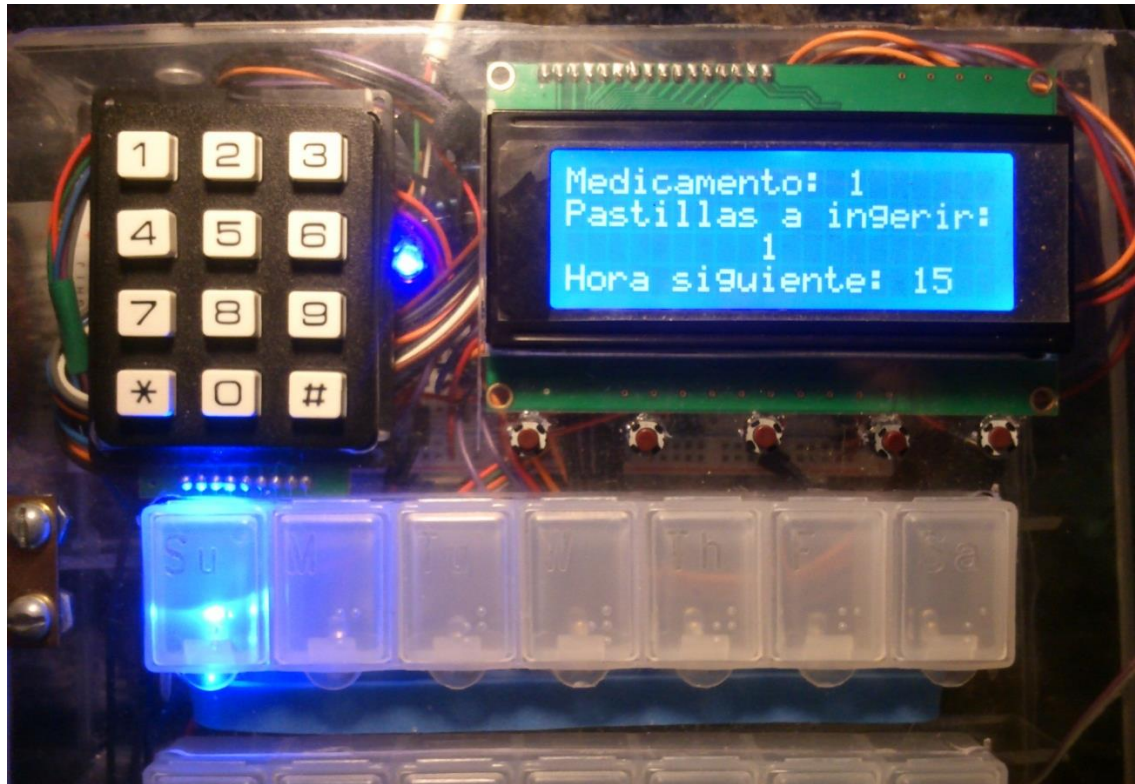


Fig.51 Alerta de prescripción médica en el dispositivo embebido.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones y los conocimientos generados a lo largo de la investigación los cuales demuestran el cumplimiento total de los objetivos planteados.

Con el diseño asistido por computadora se obtuvo un modelo ergonómico del prototipo lo cual facilitó la construcción física del mismo. Al hacer uso de las herramientas de simulación se comprobó el funcionamiento de la programación lógica del sistema y del funcionamiento de los circuitos electrónicos.

Se programó una interfaz de usuario que permite supervisar la toma de medicamentos, programar prescripciones médicas y el envío de alertas a través de servidores de correos electrónicos. La conexión entre la interfaz de usuario con el dosificador se desarrolló a través de una tarjeta de adquisición de datos creado a partir de un microcontrolador de bajo costo y de alta velocidad de procesamiento. La interfaz se desarrolló de manera alámbrica; por lo tanto, uno de los posibles trabajos futuros es establecer la interfaz inalámbricamente.

Se efectuaron pruebas de funcionamiento con la finalidad de detectar y corregir fallas para poner a punto el sistema.

Por lo tanto se comprueba y se da respuesta afirmativa a la hipótesis establecida, al obtener como resultado final un prototipo de alta velocidad y fidelidad con la capacidad de programar y alertar la ingesta de hasta 28 medicamentos diferentes para la atención farmacéutica domiciliaria el cual garantiza la disponibilidad de la medicación en forma segura, correcta y eficiente facilitando al paciente el cumplimiento de las prescripciones médicas.

CAPÍTULO VI. ANEXOS

VI.1. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN PARA EL MICROCONTROLADOR PIC16F887.

Directivas de procesado para el microcontrolador 16F887. Estas directivas controlan la conversión del programa a código maquina por parte del compilador.

```
#include <16F887.h>
#device ADC=16
#FUSES NOWDT //No Watch Dog
#FUSES PROTECT //Código protegido contra lecturas
#FUSES NOBROWNOUT //Reinicio por caída de voltaje: desactivado
#FUSES NOLVP //Programación a bajo voltaje: desactivado
#use delay (internal=4MHz)
#use rs232 (baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
#define use_portb_kbd TRUE //Selección de puerto B para el control del teclado
#include <KBD.c> //Librería del teclado
#include <LCDx420.c> //Librería: LCD
#include <ds1307.c> //Librería del reloj
#use standard_io (A)
#use standard_io (B)
```

Declaración de funciones.

```
/** Prototipo de funciones **/
```

```
void main (void);
void presentacion (void);
void menu_uno (void);
void menu_dos (void);
void mensaje_uno (void);
void mensaje_dos (void);
void ver_hora (void);
void configurar_hora (void);
void configurar_fecha (void);
void agregar_prescripcion (void);
```

```

void prescripcion_A      (void);
void prescripcion_B      (void);
void inicio_A           (void);
void inicio_B           (void);
void horario_prescripcion_B (void);
void ver_hora_prescripcion_B (void);
void ver_prescripcion    (void);
void leer_prescripcion_A (void);
void leer_prescripcion_B (void);
void verificar          (void);
void prescripcion_siguiente_A (void);
void prescripcion_siguiente_B (void);
void guardar_datos      (void);
void transferir_A       (void);
void transferir_B       (void);
void Alerta_A           (void);
void Alerta_B           (void);
int dato_botones        ();
int dato_tecla          ();

```

Las variables se declaran para nombrar posiciones de memoria RAM; son declaradas antes de ser utilizadas, para ello se indica el nombre de la variable y el tipo de dato que se maneja.

```

int sec,min,hrs;
int valor;      //Dato a enviar por RS232
int x;          //Lectura de botones pulsadores
int dato;       //Lectura de EEPROM
int hora,minuto; //Variables para la prescripción n+1
int j,k=0;      //Incremento de ciclos FOR
int cantidad;   //Pastillas a ingerir
int valor1;     //Guardar hora
unsigned int dir_eeprom;
char tecla;     //Dato adquirido por el teclado
char DatoRX,DatoRX2; //Datos recibidos por RS232

```

Inicio de la función principal del programa, en ella se inicializa el teclado matricial, la pantalla LCD y el reloj DS1307, así mismo, se realiza la configuración del puerto C para la comunicación RS-232 e I².

```

void main    () {
lcd_init    ();    //Inicialización del LCD
kbd_init    ();    //Inicialización del teclado
ds1307_init ();    //Inicialización del reloj
port_b_pullups (TRUE); //Habilitación resistencias Pullups del puerto B
set_tris_A (0b11100000); //Pulsadores
set_tris_B (0b11110000); //Teclado
SET_TRIS_C (0b10111000); //RX y TX de RS232, SCL y SDA I2C

```

Se tiene un horario predeterminado para la prescripción tipo B, estos datos son guardados en la memoria EEPROM y son modificados en el menú.

```

//Horario predeterminado para las prescripciones B//
//***** Reconfigurable en menú *****//
write_eeprom(190,8);    //Mañana    = 8 AM
delay_ms(5);
write_eeprom(191,12);    //Medio día    = 12 PM
delay_ms(5);
write_eeprom(192,16);    //Tarde    = 4 PM
delay_ms(5);
write_eeprom(193,20);    //Noche    = 8 PM

```

Ajuste de fecha y hora de manera automática, reconfigurable en el menú.

```

ds1307_set_date_time (10,05,15,1,11,06,00); //Fecha: 10/05/2015, día de la semana:
//Lunes (1),hora: 11:06:00
presentacion (); //Muestra mensaje de inicio en LCD

```

Inicio del bucle iterativo infinito, en ella se ejecuta la función *verificar ()* para monitorizar y alertar el horario de las prescripciones programadas.

```

while (TRUE) {
//***** Verificar prescripciones *****//
verificar();
if(input(PIN_A2)==1){//Apagado de LED desde el botón pulsador.
for(k=0;k<8;k++)
{
if(k==6){valor=50;}
putc(valor);

```

```

    delay_ms(3);
  }
}

```

Las teclas * y # permiten acceder al menú visualización y configuración respectivamente.

```

//***** Menu *****//
    tecla=kbd_getc();
    if(tecla!=0){
        if(tecla=='*'){menu_uno();}
        if(tecla=='#'){menu_dos();}
    }

```

Comunicación del PIC 18F4550 al PIC 16F887 por el bus RS-232 para la transferencia y programación de prescripciones médicas desde LABVIEW.

```

//***** RS232 *****//
//***** Comunicación con PIC 18F4550 *****//
    if(kbhit()) //Verificación de datos en la pila de datos seriales
    { int casilla,direccion;
      DatoRX=getchar();
      x=(DatoRX*5)-5;
      lcd_putc("\f\n ::DOSIFICADOR::\n");
      lcd_putc("Transfiriendo datos");
      if(DatoRX<21){
          direccion=x;
          casilla=DatoRX;
          transferir_A();
      }
      if(DatoRX>20&&DatoRX<29){
          direccion=x;
          casilla=DatoRX;
          transferir_B();
      }
    }
//***** Programación desde LABVIEW *****//
    if(DatoRX==30){
        lcd_putc("\f\n ::DOSIFICADOR::\n");
        printf(lcd_putc," Programando %u",casilla);
    }

```



```
//Fin main
```

Fin del ciclo iterativo infinito, fin del ciclo principal e inicio del cuerpo de función para la transmisión de datos solicitados desde LABVIEW.

```
/******* CUERPO DE FUNCIONES *****/
void transferir_A (){
    for(k=0;k<8;k++)
    {
        if(k>2){
            x=DatoRX+209;
        }
        valor= read_EEPROM (x);
        putc(valor);
        x++;
        delay_ms(3);
    }
    k=0;
}
void transferir_B (){
for(k=0;k<8;k++)
    {
        if(k>4){
            x=DatoRX+201-20;
        }
        valor= read_EEPROM (x);
        putc(valor);
        x++;
        delay_ms(3);
    }
    k=0;
}
```

La función *verificar* compara la hora y los minutos de cada una de las prescripciones programadas con la hora y minuto que provee el reloj DS1307 y con ello se alerta la ingesta de alguna pastilla médica en el tiempo correcto.

```
void verificar (){
x=0;
```

```

j=0;
  ds1307_get_time (hrs, min, sec);
  for(j=230;j<250;j++)
  {
    ds1307_get_time (hrs, min, sec);
    minuto=0;
    minuto= read_EEPROM (j);//Leer minuto
    if(minuto==min){
      hora=0;
      hora= read_EEPROM (j-20);//Leer hora
      if(hora==hrs){
        x=j-229;//posición del medicamento a ingerir
        printf(lcd_putc, "\fMedicamento: %u",x);
        dir_eeprom=((x*5)-3);//Dirección de la cantidad de pastillas a ingerir
        dato= read_EEPROM (dir_eeprom);
        lcd_putc("\nPastillas a ingerir:");
        lcd_gotoxy (10,3);
        printf(lcd_putc, "%u",dato);
        prescripcion_siguiete_A();
        Alerta_A();
        delay_ms(10000);
        presentacion ();
      }
    }
    tecla=kbd_getc();
    if(tecla!=0){
      if(tecla=='*'){menu_uno();}
      if(tecla=='#'){menu_dos();}
    }
  }
  for(j=202;j<210;j++)
  {
    ds1307_get_time (hrs, min, sec);
    hora= read_EEPROM (j);//Leer hora
    if(hora==hrs){
      x=j-201+20;
      printf(lcd_putc, "\fMedicamento: %u",x);
      prescripcion_siguiete_B();
      lcd_putc("\nPastillas a ingerir:");
      lcd_gotoxy (10,3);
      printf(lcd_putc, "%u",cantidad);
    }
  }

```

```

        Alerta_B ();
        delay_ms(10000);
        presentacion ();
    }
    tecla=kbd_getc();
    if(tecla!=0){
        if(tecla=='*'){menu_uno();}
        if(tecla=='#'){menu_dos();}
    }
}

```

Después de alertar la ingesta de un medicamento, se calcula el horario para la siguiente ingesta del mismo medicamento. En esta operación se suma la hora actual con el periodo de ingesta y así se obtiene el horario siguiente.

```

void prescripcion_siguiente_A(){
    dir_eeprom=((x*5)-4); //Dirección del Periodo de prescripción
    dato= read_EEPROM (dir_eeprom);
    hora=hora+dato;
    if (hora>23){hora=hora-24;}
    dir_eeprom= j-20; //Dirección de la hora a guardar
    write_eeprom(dir_eeprom,hora);
    printf(lcd_putc, "\n\nHora siguiente: %d",hora);
}
void prescripcion_siguiente_B(){
    int contador;int siguiente;
    contador= read_EEPROM (j-8); //Leer contador
    cantidad=read_EEPROM (((x*5)-4)+contador);
    contador=contador+1;
    if (contador>3){contador=0;}
    write_eeprom(j-8,contador); //Escribir contador en la misma dirección
    dir_eeprom=190+contador; //Dirección de horario siguiente
    siguiente=read_EEPROM (dir_eeprom); //Leer horario siguiente
    write_eeprom(j,siguiente); //Guardar en memoria comparativa
    printf(lcd_putc, "\n\nHora siguiente: %d",siguiente);
}

```


Transferencia de datos al microcontrolador 18F4550 para la prescripción A.

```
void Alerta_A (){
    int dir=0;
    dir=(x*5)-5;
    for(k=0;k<8;k++)
    {
        if(k<3){ valor= read_EEPROM (dir);}
        if(k==3){
            dir=x+209;
            valor= read_EEPROM (dir);
        }
        if(k==6){valor=40;}
        if(k==7){valor=x;}
        putc(valor);
        dir++;
        delay_ms(3);
    }
    k=0;
}
```

Transferencia de datos al microcontrolador 18F4550 para la prescripción B.

```
void Alerta_B (){
    int dir=0;
    dir=(x*5)-5;
    for(k=0;k<8;k++)
    {
        if(k<5){ valor= read_EEPROM (dir);}
        if(k==5){
            dir=x+201-20;//Dirección 202, inicio de horas siguientes
            valor= read_EEPROM (dir);
        }
        if(k==6){valor=40;}
        if(k==7){valor=x;}
        putc(valor);
        dir++;
        delay_ms(3);
    }
    k=0;}
}
```

En la función *menu_uno ()* se presenta información sobre las prescripciones médicas programadas y la hora actual.

```
void menu_uno (){
    mensaje_uno();
    while(tecla!='0'){//# para regresar
        tecla=kbd_getc();
        if(tecla!=0)
            if(tecla=='1'){ver_prescripcion();}
            if(tecla=='2'){ver_hora();}
            if(tecla=='3'){ver_hora_prescripcion_B();}
        }
        presentacion();
    }
}
```

La programación de las prescripciones médicas y la configuración de la hora se presentan en la función *menu_dos*.

```
void menu_dos (){
    mensaje_dos();
    tecla=0;
    while(tecla!='0'){//# para regresar
        tecla=kbd_getc();
        if(tecla!=0)
            if(tecla=='1'){configurar_hora();}
            if(tecla=='2'){agregar_prescripcion();}
            if(tecla=='3'){horario_prescripcion_B();}
        }
        presentacion();
    }
}

void mensaje_uno(){
    lcd_putc("\f1 Ver prescripcion");
    lcd_putc("\n2 Ver hora");
    lcd_putc("\n3 Ver horario P. B");
}

void mensaje_dos(){
    lcd_putc("\f1 Configurar hora\n");
    lcd_putc("2 Agr. prescripcion\n");
    lcd_putc("3 Horario de P. B");
}
}
```

```

/***** PRESENTACIÓN LCD *****/
void presentacion (){
    lcd_putc("\f\n :::DOSIFICADOR::.\n");
}

```

La función *dato_tecla()* retorna un valor numérico entero de una cifra equivalente a la tecla pulsada.

```

int dato_tecla(){
    valor=kbd_getc();
    if (valor!=0){
        lcd_putc(valor);
    }
    delay_ms(100);
    return(valor);
}

```

La función *dato_teclas()* retorna un valor numérico entero de dos cifras.

```

int dato_teclas(){
    int i=0;
    char t[2];
    while(i<2){
        t[i]=kbd_getc();
        if (t[i]!=0){
            lcd_putc(t[i]);
            i++;
        }
    }
    delay_ms(300);
    valor = ( (10)*( t[0]-48 ) ) + ( t[1]-48);
    return(valor);
}

```

La selección de la casilla a programar está dado por los botones pulsadores controlados por la función *dato_botones()*.

```

int dato_botones(){
    x=1;

```

```

while(input(PIN_A2)==0){
    if(input(PIN_A0)==1){x=x-1;
    if(x<1){x=28;}
    printf(lcd_putc,"\f\n Casilla: %d",x);
    delay_ms(200);}
    if(input(PIN_A1)==1){x=x-7;
    if(x<1){x=28;}
    printf(lcd_putc,"\f\n Casilla: %d",x);
    delay_ms(200);}
    if(input(PIN_A3)==1){x=x+7;
    if(x>28){x=1;}
    printf(lcd_putc,"\f\n Casilla: %d",x);
    delay_ms(200);}
    if(input(PIN_A4)==1){x=x+1;
    if(x>28){x=1;}
    printf(lcd_putc,"\f\n Casilla: %d",x);
    delay_ms(200);}
} //Fin while
return (x);
}
void guardar_datos(valor,dir_eeprom){
    write_eeprom(dir_eeprom,valor);
    delay_ms(200);
}
void ver_hora(){
    lcd_putc("\f HORA\n");
    ds1307_get_time (hrs, min, sec); // se obtiene la hora
    lcd_gotoxy (5, 3);
    printf (lcd_putc, " %02d: %02d: %02d ", hrs,min,sec); // se despliegan los datos
    delay_ms(4000);
    tecla='0'; //Salir del menú
}

```

La configuración horaria se realiza en un formato de 24 horas, el ajuste también es realizado con los botones pulsadores.

```

void configurar_hora(){
    x=0;
    int h=0;
    int m=0;

```

```

int s=0;
while(input(PIN_A2)==0){
    if(input(PIN_A0)==1){x=x-1;
    if(x<1){x=0;}
    delay_ms(200);}
    if(input(PIN_A4)==1){x=x+1;
    if(x>2){x=2;}
    delay_ms(200);}
    switch (x){
    case 0://hora
        if(input(PIN_A1)==1){h=h+1;
        if(h>23){h=0;}
        }
        if(input(PIN_A3)==1){h=h-1;
        if(h<1){h=0;}
        }
        lcd_putc("\f Configurando hora\n");
        lcd_gotoxy (6,3);
        printf (lcd_putc, "%02d: %02d: %02d ", h,m,s);
        delay_ms(100);
    break;
    case 1://minuto
        if(input(PIN_A1)==1){m=m+1;
        if(m>59){m=59;}
        }
        if(input(PIN_A3)==1){m=m-1;
        if(m<1){m=0;}
        }
        lcd_putc("\f Configurando minutos\n");
        lcd_gotoxy (6,3);
        printf (lcd_putc, "%02d: %02d: %02d ", h,m,s);
        delay_ms(100);
    break;
    case 2://segundo
        if(input(PIN_A1)==1){s=s+1;
        if(s>59){s=59;}
        }
        if(input(PIN_A3)==1){s=s-1;
        if(s<1){s=0;}
        }
        lcd_putc("\f Configurando\n segundos");

```

```

        lcd_gotoxy (6,3);
        printf (lcd_putc, "%02d: %02d: %02d ", h,m,s);
        delay_ms(100);
    break;
} //Fin switch
    if(input(PIN_A2)==1)
    {
        lcd_putc("\f Hora establecida\n");
        lcd_gotoxy (6,3);
        printf (lcd_putc, "%02d: %02d: %02d ", h,m,s);
        ds1307_set_date_time (10,5,15,1,h,m,s);
    }
} //Fin While
delay_ms(2500);
tecla='0'; //Salir del menú
}

```

En la programación de una nueva prescripción médica se debe seleccionar el casillero correspondiente, para ello, los primeros 20 casilleros son para prescripciones del tipo A y los restantes para prescripciones del tipo B.

```

void agregar_prescripcion(){
    lcd_putc("\f AGREGAR");
    lcd_putc("\n PRESCRIPCION");
    lcd_putc("\n Seleccione casillero");
    dato_botones(); //Obtener posición: X
    if(input(PIN_A2)==1){
        if(x>20){
            prescripcion_B();
            tecla='0'; //Salir del menú
        }
        else{
            prescripcion_A();
            tecla='0'; //Salir del menú
        }
    }
}

void ver_prescripcion(){
    lcd_putc("\f PRESCRIPCIONES");

```

```

    lcd_putc("\n  GUARDADAS");
    lcd_putc("\n SELECCIONE CASILLA");
    delay_ms(1000);
    dato_botones();//Obtener posición: X
    if(input(PIN_A2)==1){
        if(x>20){
            leer_prescripcion_B();
            tecla='0';//Salir del menú
        }
        else{
            leer_prescripcion_A();
            tecla='0';//Salir del menú
        }
    }
}

```

Las funciones *leer_prescripcion_A()* y *leer_prescripcion_B()* muestran información de las prescripciones guardadas.

```

void leer_prescripcion_A(){
    dato=0;
    int dato2;
    dir_eeprom=((x*5)-5);
    lcd_putc("\f\n  PRESCRIPCION\n  TIPO A");
    delay_ms(1500);
    dato= read_EEPROM (dir_eeprom);
    lcd_putc("\f\nNumero de pastillas\n");
    lcd_putc("  agregados:");
    lcd_gotoxy (10,4);
    printf(lcd_putc,"%u",dato);
    delay_ms(1500);
    dato= read_EEPROM (dir_eeprom+1);
    printf(lcd_putc,"\f\n  Ingerir cada:\n  %u horas",dato);
    delay_ms(1500);
    dato= read_EEPROM (dir_eeprom+2);
    lcd_putc("\f\nPastillas a ingerir:");
    lcd_gotoxy (10,3);
    printf(lcd_putc,"%u",dato);
    delay_ms(1500);
    dato= read_EEPROM (x+169); //Hora
}

```

```

    dato2= read_EEPROM (x+189);//Minuto
    printf(lcd_putc,"\f\n Hora de inicio:\n    %u:%u",dato,dato2);
    delay_ms(1500);
}
void leer_prescripcion_B(){
    dato=0;
    lcd_putc("\f PRESCRIPCION\n    TIPO B\n");
    printf(lcd_putc,"\n Seleccionado: %d",x);
    dir_eeprom=((x*5)-5);
    dato= read_EEPROM (dir_eeprom);
    delay_ms(2000);
    lcd_putc("\fNumero de pastillas\n");
    lcd_putc("    agregados?");
    lcd_gotoxy (10,4);
    printf(lcd_putc,"%d",dato);
    delay_ms(1500);
    dato= read_EEPROM (dir_eeprom+1);
    lcd_putc("\f En la manana se\n    tomaran:");
    lcd_gotoxy (5,4);
    printf(lcd_putc,"%d pastillas",dato);
    delay_ms(1500);
    dato= read_EEPROM (dir_eeprom+2);
    lcd_putc("\f Al medio dia se\n    tomaran:");
    lcd_gotoxy (5,4);
    printf(lcd_putc,"%d pastillas",dato);
    delay_ms(1500);
    dato= read_EEPROM (dir_eeprom+3);
    lcd_putc("\f En la tarde se\n    tomaran:");
    lcd_gotoxy (5,4);
    printf(lcd_putc,"%d pastillas",dato);
    delay_ms(1500);
    dato= read_EEPROM (dir_eeprom+4);
    lcd_putc("\f En la noche se\n    tomaran:");
    lcd_gotoxy (5,4);
    printf(lcd_putc,"%d pastillas",dato);
    delay_ms(1500);
}

```

La siguiente función genera una secuencia de preguntas necesarias durante la programación de una nueva prescripción.


```

void prescripcion_A (){
    lcd_putc("\f PRESCRIPCION\n TIPO A\n");
    printf(lcd_putc,"\n Seleccionado: %d",x);
    delay_ms(2000);
    dir_eeprom=((x*5)-5);
    lcd_putc("\fNumero de pastillas\n agregados?");
    lcd_gotoxy (10,4);
    dato_teclas();
    guardar_datos(valor,dir_eeprom);
    lcd_putc("\f\nCada cuantas horas?\n");
    lcd_gotoxy (10,3);
    dato_teclas();
    dir_eeprom=dir_eeprom+1;
    guardar_datos(valor,dir_eeprom);
    lcd_putc("\fNumero de pastillas\n a ingerir?\n");
    lcd_gotoxy (10,4);
    dato_teclas();
    dir_eeprom=dir_eeprom+1;
    guardar_datos(valor,dir_eeprom);
    lcd_putc("\f\n Hora de inicio?\n");
    lcd_gotoxy (10,3);
    dato_teclas();
    dir_eeprom=x+169;
    guardar_datos(valor,dir_eeprom);
    valor1=valor;
    dir_eeprom=x+209;//Hora a calcular
    guardar_datos(valor,dir_eeprom);
    lcd_putc("\f\n Minuto de inicio?\n");
    lcd_gotoxy (10,3);
    dato_teclas();
    dir_eeprom=x+189;
    guardar_datos(valor,dir_eeprom);
    dir_eeprom=x+229;//Minuto a calcular
    guardar_datos(valor,dir_eeprom);
    inicio_A();
}

void prescripcion_B (){
    lcd_putc("\f PRESCRIPCION\n TIPO B\n");
    printf(lcd_putc,"\n Seleccionado: %d",x);
    delay_ms(1500);
    dir_eeprom=((x*5)-5);

```

```

    lcd_putc("\fNumero de pastillas\n");
    lcd_putc("  agregados?\n");
    lcd_gotoxy (10,4);
    dato_teclas();
    guardar_datos(valor,dir_eeprom);
    lcd_putc("\fCuantas se tomaran\n  en la manana?\n");
    lcd_gotoxy (10,4);
    dato_teclas();
    dir_eeprom=dir_eeprom+1;
    guardar_datos(valor,dir_eeprom);
    lcd_putc("\fCuantas se tomaran\n  al medio dia?");
    lcd_gotoxy (10,4);
    dato_teclas();
    dir_eeprom=dir_eeprom+1;
    guardar_datos(valor,dir_eeprom);
    lcd_putc("\fCuantas se tomaran\n  en la tarde?\n");
    lcd_gotoxy (10,4);
    dato_teclas();
    dir_eeprom=dir_eeprom+1;
    guardar_datos(valor,dir_eeprom);
    lcd_putc("\fCuantas se tomaran\n  en la noche?\n");
    lcd_gotoxy (10,3);
    dato_teclas();
    dir_eeprom=dir_eeprom+1;
    guardar_datos(valor,dir_eeprom);
    inicio_B();
}

```

La función *horario_prescripcion_B()* permite la configuración horaria para las prescripciones tipo B, con ella se modifica la configuración programada por defecto.

```

void horario_prescripcion_B(){
    lcd_putc("\f CONFIGURACION\n  HORARIA\n");
    lcd_putc("\nPRESCRIPCION TIPO B");
    delay_ms(1500);
    lcd_putc("\f\nHora para la mañana?");
    lcd_gotoxy (10,4);
    dato_teclas();
    dir_eeprom=190;
    guardar_datos(valor,dir_eeprom);
    lcd_putc("\f  Hora para el\n  medio dia?");
}

```

```

    lcd_gotoxy (10,4);
    dato_teclas();
    dir_eeprom=191;
    guardar_datos(valor,dir_eeprom);
    lcd_putc("\f Hora para la\n tarde?");
    lcd_gotoxy (10,4);
    dato_teclas();
    dir_eeprom=192;
    guardar_datos(valor,dir_eeprom);
    lcd_putc("\f Hora para la\n noche?");
    lcd_gotoxy (10,4);
    dato_teclas();
    dir_eeprom=193;
    guardar_datos(valor,dir_eeprom);
    lcd_putc("\f\n Configuracion\n terminada");
    tecla='0';//Salir del menú
    delay_ms(2000);
}

```

Cuando la hora actual es mayor al horario de la nueva prescripción agregada, se calcula el horario siguiente de dicha prescripción con el fin de iniciar la alerta desde el primer periodo correspondiente.

```

void inicio_A(){
    ds1307_get_time (hrs, min, sec);
    if (hrs>=valor1)
    {
        if (min>valor)
        {
            hora= read_EEPROM (x+209);//hora de la prescripción
            j=x+229;
            prescripcion_siguiente_A();
            delay_ms(1500);
        }
    }
}

void inicio_B(){
    int cont=0;
    int hora1,hora2,hora3,hora4;

```

```

ds1307_get_time (hrs, min, sec);
    hora1=read_EEPROM (190);
    hora2=read_EEPROM (191);
    hora3=read_EEPROM (192);
    hora4=read_EEPROM (193);
    if(hrs>hora4&&hrs<=24||hrs>=0&&hrs<=hora1){
    dir_eeprom=x+201-20;
    guardar_datos(hora1,dir_eeprom);
    cont=0;
    printf(lcd_putc,"\n Hora siguiente: %u",hora1);
    }
    if(hrs>hora1 &&hrs<=hora2){
    dir_eeprom=x+201-20;
    guardar_datos(hora2,dir_eeprom);
    cont=1;
    printf(lcd_putc,"\n Hora siguiente: %u",hora2);
    }
    if(hrs>hora2&&hrs<=hora3){
    dir_eeprom=x+201-20;
    guardar_datos(hora3,dir_eeprom);
    cont=2;
    printf(lcd_putc,"\n Hora siguiente: %u",hora3);
    }
    if(hrs>hora3&&hrs<=hora4){
    dir_eeprom=x+201-20;
    guardar_datos(hora4,dir_eeprom);
    cont=3;
    printf(lcd_putc,"\n Hora siguiente: %u",hora4);
    }
    dir_eeprom=x+194-21;
    guardar_datos(cont,dir_eeprom);
    delay_ms(1500);
}

```

Visualización de datos guardados para la prescripción B.

```

void ver_hora_prescripcion_B(){
    int var;
    lcd_putc("\fHora para la mañana");
    lcd_gotoxy (9,3);
    var=read_EEPROM(190);
}

```

```

printf(lcd_putc," %u",var);
delay_ms(1000);
lcd_putc("\f Hora para el\n medio dia");
lcd_gotoxy (9,4);
var=read_EEPROM (191);
printf(lcd_putc," %u",var);
delay_ms(1000);
lcd_putc("\f Hora para la\n tarde");
lcd_gotoxy (9,4);
var=read_EEPROM (192);
printf(lcd_putc," %u",var);
delay_ms(1000);
lcd_putc("\f Hora para la\n noche");
lcd_gotoxy (9,4);
var=read_EEPROM (193);
printf(lcd_putc," %u",var);
delay_ms(1000);
tecla='0';//Salir del menú
}

```

VI.2. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN PARA EL MICROCONTROLADOR 18F4550

Directivas de procesado.

```

#include <18F4550.h>
#fuses HSPLL,NOWDT,NOLVP,NODEBUG,USBDIV,PLL5,CPUDIV1,VREGN
#use delay (clock=48M)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8,stream=PORT1)
#define USB_HID_DEVICE TRUE
#define USB_EP1_TX_ENABLE USB_ENABLE_INTERRUPT
#define USB_EP1_TX_SIZE 8
#define USB_EP1_RX_ENABLE USB_ENABLE_INTERRUPT
#define USB_EP1_RX_SIZE 8
#include <pic18_usb.h> //Funciones de bajo nivel para la serie PIC 18Fxx5x.
#include <usb_desc_hid.h> //Descripciones de este dispositivo.
#include <usb.c> //Librería para el manejo del USB.

```

Prototipo de función para el control de la matriz de LEDs.

```
void led_matriz(void);
```

Declaración de variables.

```
int8 Salida[8], Entrada[8];
char DatoRX[8]; int k, dato;
```

```
void main() {
set_tris_b(0x00);
output_b(0b11111111);
usb_init();
usb_task(); //Monitorea el estado de la conexión.
usb_wait_for_enumeration();//Espera hasta que el dispositivo fue enumerado.
while (TRUE){
usb_task();
```

Comunicación entre microcontroladores cuando el prototipo se encuentra conectado a la PC.

```
if(usb_enumerated()) //Evaluación de la conexión USB.
{
if(kbhit()) //Pregunta si hay datos en la pila de datos seriales.
{
for(k=0;k<8;k++)//Se reciben los datos enviados por el PIC 16F887.
{
DatoRX[k]=getchar();
write_eeprom(k,DatoRX[k]);//Almacenamiento de datos en EEPROM.
}
if(DatoRX[6]==40){ //Alerta de prescripción médica.
led_matriz();//Encendido de LED correspondiente a la prescripción médica.
}
}
}
```

Se leen los datos recibidos del PIC 16F887 y se envía a LABVIEW en un paquete de 8 Bytes.

```
for(k=0;k<8;k++){
Salida[k]=read_EEPROM(k);
}
usb_put_packet(1,Salida,8,USB_DTS_TOGGLE);
```

Comunicación de LABVIEW al microcontrolador 18F4550.

```

if (usb_kbhit(1))
{ // Se recibe un paquete de 8 bytes desde LABVIEW.
  usb_get_packet(1, Entrada,8);
  if (Entrada[0]!=0)
  {
    output_a(0b00000000);
    output_b(0b11111111);
    putc(Entrada[0]);// Envío del byte 0 al PIC 16F887 para solicitar información
    //referente a una prescripción medica.
  }
  if (Entrada[1]==1)// Traspaso de datos al PIC 16F88.
  {
    dato=30;//Dato de señalización para el respaldo de información.
    putc(dato);
    delay_ms(10);
    putc(Entrada[2]);//Envío de byte 2 al PIC 16F887.
  }
}
}

```

Comunicación entre microcontroladores sin conexión USB.

```

else{
  if(kbhit())
  { //Se reciben y guardan los datos del PIC 16F887.
    for(k=0;k<8;k++){
      DatoRX[k]=getchar();
      write_eeprom(k,DatoRX[k]);
    }
    if(DatoRX[6]==40){//Alerta de prescripción médica.
      led_matriz();//Encendido de LED correspondiente a la prescripción médica.
    }
    if(DatoRX[6]==50){//Apagado de Matriz de LEDs.
      output_a(0b00000000);
      output_b(0b11111111);
    }
  }
}
}
//Fin del ciclo WHILE.
//Fin del ciclo principal.

```

El puerto A y el puerto B del PIC 18F4550 permiten el control de las filas y columnas de la matriz de LEDs. La función *led_matriz()* ilumina la casilla del medicamento a ingerir a partir del valor numérico enviado por el microcontrolador 16F887.

```
void led_matriz(){
int column;
if(DatoRX[7]<=7){
output_a(0b00000001);
column=DatoRX[7];
}
if(DatoRX[7]>7&&DatoRX[7]<=14){
output_a(0b00000010);
column=DatoRX[7]-7;
}
if(DatoRX[7]>14&&DatoRX[7]<=21){
output_a(0b00000100);
column=DatoRX[7]-14;
}
if(DatoRX[7]>21&&DatoRX[7]<=28){
output_a(0b00001000);
column=DatoRX[7]-21;
}
if (column==1){output_b(0b11111110);}
if (column==2){output_b(0b11111101);}
if (column==3){output_b(0b11111011);}
if (column==4){output_b(0b11110111);}
if (column==5){output_b(0b11101111);}
if (column==6){output_b(0b11011111);}
if (column==7){output_b(0b10111111);}
}
```


VI.3. COSTO DEL PROTOTIPO

En el desarrollo de un prototipo nuevo es necesario considerar los costos para la producción del mismo, así como la cantidad de tiempo que se debe invertir para obtener el producto final. Tener una perspectiva de esto permite conocer la viabilidad del prototipo para ser producido en masa y que sea adquirido por el público. La tabla 3 muestra los materiales y el costo de cada uno de ellos para obtener finalmente la cantidad total que se invirtió en el prototipo.

Tabla 5. Costos totales para la producción del prototipo.

Material	Cantidad	Precio (\$)
Placa Fenólica 12*15 cm	1	20
Cloruro Férrico	1	30
Papel Ilustración (cuche)	1	4
Estaño	3 m	12
Microcontrolador 16F887	1	45
Microcontrolador 18F4550	1	90
Cristal 20 MHZ	1	10
Cristal 32 KHz	1	15
Capacitor 22 μ F	4	10
DS1307	1	30
Resistencias 2.2 K Ohms	2	2
Resistencias 1 K Ohm	20	10
Botones pulsadores	5	15
Teclado matricial 4x3	1	65
Pantalla LCD 4x20	1	180
Conector USB	1	20
LED	29	60
Acrílico	½ m	100
Tornillos de ½	4	10
Silicón Industrial de 500 ml	1	60
Contenedores para pastillas (blísters) semanal	4	120
Bisagra de 2cm	2	5
COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO		\$913^{oo}
CANTIDAD DE HORAS DE TRABAJO	72 Hrs.	

REFERENCIAS

- [1] A. H. Donate, *Electrónica digital fundamental y programable*, España: Marcombo, 2010.
- [2] A. R. Díaz, *Electrónica e informática aplicada*, Buenos aires, Argentina: ALSINA, 2014.
- [3] C. M. Castillo, *UF0863:Reparación y ampliación de equipos y componentes hardware microinformáticos*, Málaga: Ic editorial, 2013.
- [4] COFB, «Programa SPD: Sistema Personalizado de dosificación,» Espais, 2014. [En línea]. Available: <http://www.farmaceuticonline.com/es/farmacias/servicios-adicionales/662?start=2>. [Último acceso: 22 Agosto 2014].
- [5] E. G. BreiJo, *Compilador C CCS y Simulador Proteus para microcontroladores PIC*, Barcelona (España): marcombo, 2009.
- [6] E. M. G. Torres, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN,» de *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO CON SISTEMA SCADA APLICADO AL CONTROL DEL MICRO CLIMA Y DOSIFICACIÓN DEL PRODUCTO ALMACENADO EN SILOS*, Ecuador, Tesis , 2012, pp. 95-96.
- [7] E. Sanquis, *Sistemas electrónicos digitales: Fundamentos y diseño de aplicaciones*, Valencia: Maite Simon, 2002.

- [8] F. J. T. Domínguez, «Nuevos Avances en la Dispensación de Medicamentos,» *RevistaeSalud.com*, vol. 7, nº 26, p. 12, 2011.
- [9] I. C. O. d. F. d. Cáceres, «SISTEMA PERZONALIZADO DE DOSIFICACIÓN,» 2013 Junio 2013. [En línea]. Available: <http://cofcaceres.portalfarma.com/DocumentosDpto/Ofarmacia/PNT-GEN-POLIMEDICADO%20-%202001%20SISTEMA%20DOSIFICACI%C3%93N%20PERSONALIZADO.pdf>. [Último acceso: 22 Agosto 2014].
- [10] imedipac, «imedipac The connected pill box by medissimo,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.imedipac.com/imedipac.html>.
- [11] J. F. Alfonso Gago, ILUMINACIÓN CON TECNOLOGÍA LED, España: Paraninfo, 2012.
- [12] J. H. Barry Render, Principios de administración de operaciones, México: Pearson educación,, 2004.
- [13] J. M. L. L. Manuel García Vázquez, Apuntes de Organización de Computadores, Asturias, España : Textos Universitarios ediuno, 2007.
- [14] M. ., F. L. Mandado, Microcontroladores PIC. Sistema integrado para el autoaprendizaje, Barcelona, España: Marcombo, 2007.
- [15] M. A. Tamayo, «LabVIEW 6.1 - Programación en lenguaje G,» infoPLC, 2014. [En línea]. Available: <http://www.infopl.net/descargas/50-national-instruments/854-labview-61-programacion-en-lenguaje-g>. [Último acceso: 30 Agosto 2014].

- [16] P. CARE, «Servicio de sistemas personalizados de dosificación: coste del servicio frente al margen de los medicamentos,» 2013. [En línea]. Available: www.pharmacareesp.com/index.php/PharmaCARE/article/download/.../97. [Último acceso: 22 Agosto 2014].
- [17] P. Valdés, Microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con PIC, España: Marcombo, 2007.
- [18] Philips, «Philips Medication Dispensing Service,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.managemypills.com/content/>.
- [19] R. d. á. l. a. d. s. informáticos, Antonio Blanco Solsona, J. Jordán Calero, Madrid: Thomson, 2008.
- [20] S. C. Byeong Gi Lee, Broadband Wireless Access and Local Networks: Mobile WiMax and WiFi, Norwood, Massachusetts: Artech House, 2008.
- [21] S. Heath, Embedded Systems Design, London, England: Newnes, 2 edición 2003.
- [22] S. K. V, Introduction to EMBEDDED SYSTEMS, New Delhi, India: Tata McGraw Hill, 2009.
- [23] S. R. Caprile, EQUISBÍ. Desarrollo de aplicaciones con comunicación remota basadas en modulos ZigBee y 802.15.4, Buenos Aires: Editores-GAE, 2009.
- [24] UNOCERO, «#CES2014: El pastillero inteligente Imedipac,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.unocero.com/2014/01/03/ces-2014-el-pastillero-inteligente-imedipac/>.