

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

Escuela de Ingeniería en Electrónica

Tesina para optar por el grado académico de Bachillerato en Ingeniería

Electrónica

Proyecto:

DESARROLLO DE UN SISTEMA CENTRALIZADO PARA LA
DISTRIBUCIÓN DE MEDICAMENTOS EN HOSPITALES, CLÍNICAS Y
HOGARES DE ANCIANOS, CAPAZ DE SER VISUALIZADO VÍA
INTERNET A TRAVÉS DE UN MONITOR WEB

Estudiante:

Rolando Retana Badilla

Tutor:

José Medrano Cerdas

Enero, 2017

RECONOCIMIENTOS

Primero que todo quisiera agradecer a Dios por darme la oportunidad y las capacidades para realizar este proyecto de tesis y por permitirme utilizar la electrónica para bien al brindar ayuda a los demás.

Es muy importante para mí agradecer la ayuda del profesor José Medrano por toda la colaboración para el desarrollo de este proyecto.

Además, me gustaría reconocer a mis padres, novia, varias personas, amigos y familiares que sin ningún interés me han brindado todo el apoyo y la colaboración durante este recorrido en la universidad.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN AL TEMA DEL PROYECTO.....	2
1.2. ANTECEDENTES	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	7
1.4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	8
1.5. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS.....	9
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	9
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	9
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	10
1.6.1. <i>Alcances</i>	10
1.6.2. <i>Limitaciones</i>	11
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	12
2.1. MARCO CONCEPTUAL GENERAL	13
2.1.1. <i>Hipertensión</i>	15
2.1.2. <i>Diabetes</i>	15
2.1.3. <i>Alzheimer</i>	15
2.1.4. <i>Gastritis</i>	16
2.1.5. <i>Rinitis</i>	16
2.1.6. <i>Osteoporosis</i>	16
2.2. COMPONENTES UTILIZADOS PARA REALIZAR EL DISPOSITIVO DISPENSADOR DE MEDICAMENTOS	17

2.2.1. Solenoide	17
2.2.2. Transistor de potencia.....	18
2.2.3. Arduino.....	19
2.2.4. Módulo RTC DS1307	22
2.2.5. Módulo almacenamiento SD	23
2.2.6. NodeMCU ESP8266	24
2.2.7. LCD Shield 16x2	25
2.3. MARCO DE LA GESTIÓN DEL PROYECTO	27
2.3.1. Posicionamiento en el mercado	27
2.3.2. La renta per cápita	27
2.3.3. Productividad	28
2.3.4. Factores que influyen en la productividad	29
2.3.5. Mejora de la productividad	30
2.3.6. Organizaciones que regulan el uso de medicamentos.....	30
2.3.7. Administración de Drogas y Alimentos.....	30
2.3.8. División Institucional.....	31
2.4. REQUERIMIENTOS Y CUIDADOS QUE SE DEBEN TENER CON LOS MEDICAMENTOS	31
2.4.1. Humedad.....	32
2.4.2. Temperatura.....	32
2.4.3. Luz	32
2.4.4. Gases atmosféricos	32
2.5. MARCO CONCEPTUAL REFERENTE AL IMPACTO DEL PROYECTO.....	33
2.6. ANTECEDENTES DE TEORÍAS O PROYECTOS	35

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	39
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	40
3.1.1. <i>Finalidad Aplicada</i>	40
3.1.2. <i>Dimensión temporal</i>	40
3.1.3 <i>Marco Macro-Micro</i>	41
3.1.4 <i>Naturaleza cuantitativa del proyecto</i>	41
3.1.5. <i>Carácter del proyecto</i>	41
3.2. DISEÑO METODOLÓGICO	42
3.2.1. <i>Metodología para la propuesta de mejora</i>	42
3.2.2. <i>Metodología para la implementación del proyecto</i>	43
3.2.3. <i>Metodología de control</i>	45
CAPÍTULO IV. DIAGNÓSTICO	47
4.1. DETERMINACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	48
4.2. RECOLECCIÓN DE DATOS (ENTREVISTA - OBSERVACIÓN).....	49
4.3. DESARROLLO DEL PROTOTIPO	51
CAPÍTULO V. DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO	58
5.1. SELECCIÓN DE LA PROPUESTA.....	59
5.2. DETALLES DE LA PROPUESTA.....	60
5.3. COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN	63
5.4. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES LLEVADAS A CABO	70
5.5. DETECCIÓN DE LAS DEBILIDADES O CARENCIAS	77
5.6. PROPUESTA DE ACCIONES DE MEJORAMIENTO	77

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
6.1. CONCLUSIONES.....	79
6.2. RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	82
ANEXOS	85
APÉNDICES	89

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje de habitantes por grupo de edad según sexo, 1973.....	4
Gráfico 2. Porcentaje de habitantes por grupo de edad según sexo, 1984	5
Gráfico 3. Porcentaje de habitantes por grupo de edad según sexo.....	5

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características transistor de potencia	19
Tabla 2. Características Arduino MEGA.....	20
Tabla 3. Comparación de dispensadores en el mercado	36
Tabla 4. Comparación de dispensadores en el mercado	37
Tabla 5. Desglose de costos del dispensador por unidad	63
Tabla 6. Cronograma de trabajo del dispensador	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Solenoide	18
Figura 2. Arduino MEGA	21
Figura 3. RTC DS1307	23
Figura 4. Módulo SD	24
Figura 5. Diagrama general de bloques	43
Figura 6. Diagrama de bloques dispositivo principal	46
Figura 7. Diagrama de flujo tiempo	52
Figura 8. Diagrama de flujo alarma	53
Figura 9. Diagrama de flujo inicio	54
Figura 10. Diagrama de flujo comparar	55
Figura 11. Diagrama de flujo configuración	56
Figura 12. Diagrama de flujo elegir	57
Figura 13. Sra. América Retana. Usuaria del dispensador de medicamentos	62
Figura 14. Dra. Vannesa Badilla Fallas. Usuaria del dispensador	62
Figura 15. Medicamentos 1	85
Figura 16. Medicamentos 2	86
Figura 17. Panel propuesto	86
Figura 18. Dra. Vannesa Badilla Fallas, Clínica San Gerardo	87
Figura 19. Dra. Vannesa Badilla Fallas, Clínica San Gerardo 2	87
Figura 20. Sra. América Retana Castro	88
Figura 21. Sra. América Retana Castro 2	88

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. INTRODUCCIÓN AL TEMA DEL PROYECTO

En la actualidad, la población mundial se enfrenta en mayor grado al estrés cotidiano, lo cual genera problemas de salud debido al nivel de vida tan acelerado que se lleva o simplemente por el estado físico o la edad en la que se encuentran las personas.

No se le presta la atención suficiente al tratamiento contra las deficiencias de la salud. Como una forma de mitigar las enfermedades, se han creado distintos tratamientos como pastillas u otros medicamentos que requieran llevar un horario de ingestión; los cuales, por lo general, presentan dificultad a la hora de usarlos considerando que sus usuarios son personas con habilidades especiales, en edades avanzadas o que tienen una vida muy agitada producto de sus quehaceres diarios, lo que dificulta recordar el horario en el cual deben tomar sus medicamentos.

A partir de la situación anterior, surge la idea de crear un dispositivo electrónico pensando en las verdaderas necesidades y dificultades que tiene el paciente para mantener un control de la hora de tomar sus medicamentos y llevar un registro de las pastillas ingeridas y las pastillas pendientes.

El proyecto consiste en un sistema temporizador de medicamentos programable, el cual estará sincronizado vía internet con un monitor web central y tendrá un sistema de almacenamiento de datos a través de una tarjeta de memoria SD, en la cual estarán los detalles de todo lo que se podrá ver en el monitor web en tiempo real.

El sistema permite al usuario programar los horarios de los medicamentos (pastillas específicamente) que debe tomar durante el día, y el dispositivo de manera automática se encarga de dispensarlo en el momento indicado y enviar la actualización al sistema centralizado que se encarga de recolectar los datos de los pacientes.

Tomando en cuenta que en la actualidad se busca la practicidad, el dispositivo pretende ser sencillo de programar, lo cual permite que pueda ser utilizado por cualquier persona sin ningún inconveniente.

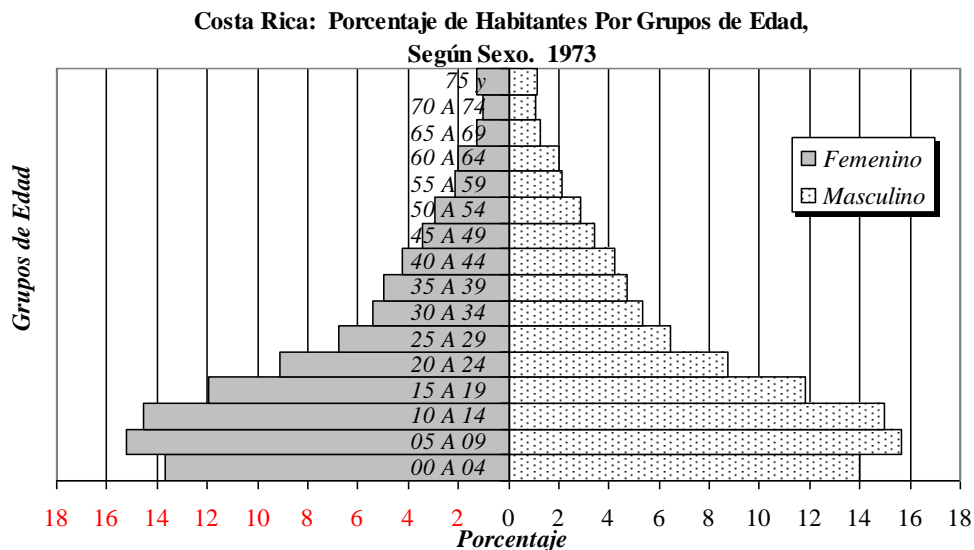
1.2. ANTECEDENTES

La esperanza de vida en Costa Rica es superior a los 77 años. Según los últimos censos realizados, se encontró una tasa de mortalidad muy baja, debido a los grandes progresos en salud e infraestructura hospitalaria, producto de esta situación para el 2025 dejará de haber una población predominantemente joven y evolucionará hacia una que tiende al envejecimiento. En un panorama como este, el dispositivo será de gran utilidad para las generaciones actuales y más aún para las generaciones futuras donde un gran porcentaje de la población estará formada por adultos mayores, con lo cual el dispositivo traerá un gran aporte a una población mayoritaria que habitará la nación.

De acuerdo con los gráficos siguientes de los últimos tres censos, hay un cambio importante en la estructura de la población de Costa Rica, donde se observa una reducción en la juventud y un aumento en la tercera edad (65 años y más).

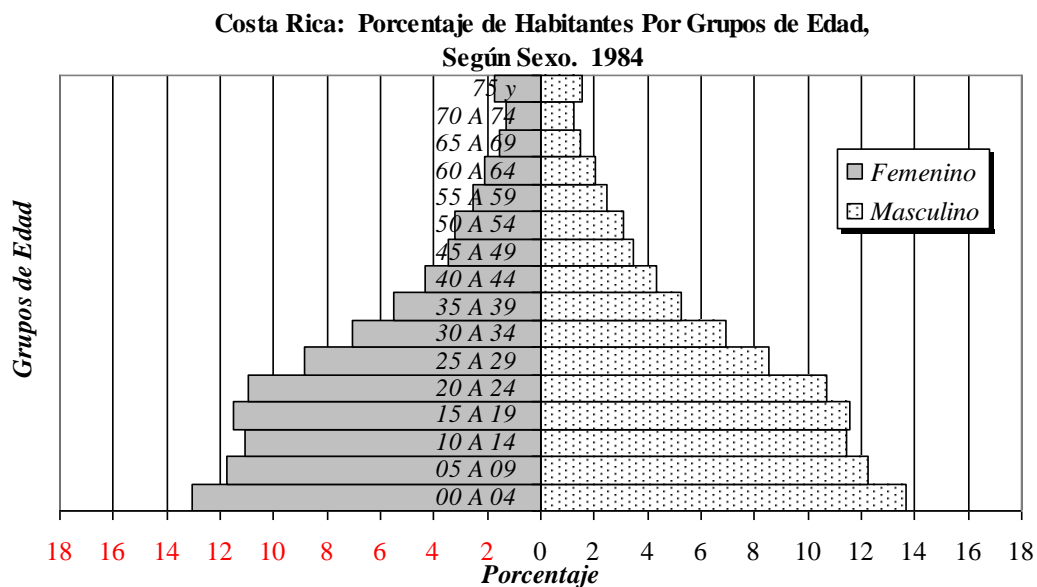
En el censo de 2000, gráfico 3, si se compara con los gráficos 1 y 2 de 1973 y 1984, sobresale el hecho de que la estructura por edad de la población de Costa Rica está perdiendo su forma de pirámide: el grupo de los menores de 5 años que había sido el grupo mayor en 1984 cedió su puesto al de 10 a 14 años, observándose, además un aumento en el de 75 años y más. En general, la pirámide de población de 2000 muestra un engrosamiento en la población económicamente activa, un envejecimiento general.

Gráfico 1. Porcentaje de habitantes por grupo de edad según sexo, 1973



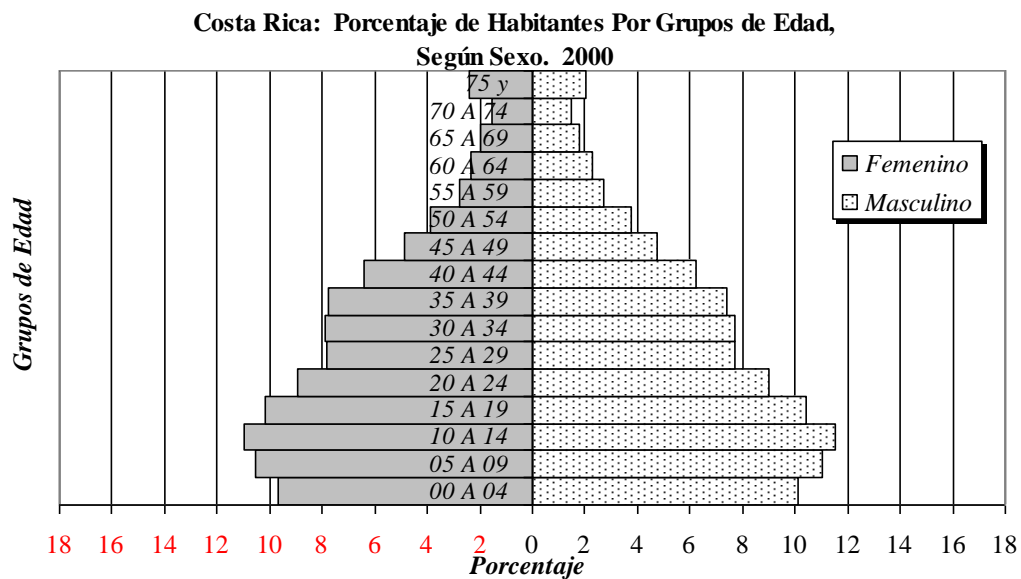
Fuente: Solís y otros (2007).

Gráfico 2. Porcentaje de habitantes por grupo de edad según sexo, 1984



Fuente: Solís y otros (2007).

Gráfico 3. Porcentaje de habitantes por grupo de edad según sexo



Fuente: Solís y otros (2007).

Otro punto muy importante a tomar en cuenta es que durante las investigaciones realizadas en distintas páginas de corte farmacéutico se menciona que la vía oral para la administración de medicamentos, es la vía más cómoda, segura y económica; por lo cual será la elegida siempre que sea posible y se den las condiciones, por lo que en su mayoría los medicamentos vendrán en esta presentación.

Esto permite al dispositivo abarcar el área de administración de medicamentos más utilizada en el mercado e impactar a gran escala en el control y la distribución de todo este tipo de medicamentos.

Como antecedentes para la realización de este proyecto, se puede analizar el impacto que el dispositivo tendrá sobre aquellas personas que lo utilicen para su propio cuidado, debido a que padecen enfermedades crónicas y no precisamente porque se encuentren internadas en algún centro médico o asilo de ancianos.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en su apartado de temas de salud del 2016, las enfermedades crónicas son de larga duración y por lo general de progresión lenta. Las enfermedades cardíacas, los infartos, el cáncer, las enfermedades respiratorias y la diabetes son las principales causas de mortalidad en el mundo, siendo responsables del 63% de las muertes. En 2008, 36 millones de personas murieron de una enfermedad crónica, de las cuales la mitad era de sexo femenino y el 29% era de menos de 60 años de edad.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto está destinado a todas las personas que diariamente deben tomar una cantidad considerable de medicamentos y que tienen el problema de que en ocasiones olvidan consumirlo en la hora indicada, se toman la dosis de forma incorrecta o el medicamento erróneo, lo que puede traer como consecuencia nuevas enfermedades o problemas en la salud.

Esta idea quiere impactar a los hospitales, clínicas y hogares de ancianos del país en donde las enfermeras y médicos diariamente deben llevar el control de la toma de medicamentos de gran cantidad de pacientes y de una manera mayoritariamente manual.

Además de la implementación del dispensador de medicamentos con todas sus funcionalidades básicas, el proyecto contará con un sistema centralizado vía internet capaz de mantener un control automatizado en tiempo real de la toma de medicamentos de los pacientes de un salón o de un área específica de internamiento a través de un monitor web y poder posteriormente exportarlos usando una tarjeta de memoria.

Por medio de este sistema, cada paciente tendrá su dosis de medicamento a la hora exacta y las enfermeras de turno podrán llevar, a través del monitor web, el control de los medicamentos tomados y pendientes por cada paciente.

Otro punto importante es que el dispositivo fue creado para las condiciones de un país como Costa Rica; un país pequeño en población, pero que tiende al envejecimiento de un gran porcentaje de esa población actualmente joven.

El dispensador de medicamentos pretende ser de bajo costo y tener un alcance para la mayoría de la población; para lograr esto, se pretende trabajar con tecnología de bajo costo, pero de gran eficiencia como son los sistemas microcontroladores Arduino, entre otros.

1.4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La administración de medicamentos por vía oral está por lo general asociada al paciente o a la persona encargada de su cuidado. En la actualidad, los hospitales, las clínicas, los asilos de ancianos y las casas de habitación donde se encuentran personas enfermas en el país carecen de un sistema automatizado para la administración de medicamentos, puesto que se realiza de forma manual, atendiendo a bitácoras de control manuales; esto conlleva a que en ocasiones se incurra en malas prácticas que pueden eventualmente tener consecuencias con impactos negativos.

1.5. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

1.5.1. Objetivo general

Diseñar un dispositivo electrónico que permita dispensar y mantener el control de diferentes tipos de medicamentos para personas con problemas de salud, el cual esté directamente sincronizado con un monitor web central vía internet que le permita llevar el control de los medicamentos tomados y pendientes, y que además sirva como una alternativa automatizada para minimizar el error humano y aumentar la eficiencia.

1.5.2. Objetivos específicos

- Enlistar los principales problemas generados por la toma incorrecta de los medicamentos tanto en horario como en dosis para las personas farmacodependientes.
- Nombrar las restricciones que se manejan con los medicamentos con respecto a fabricación y distribución en el campo de la salud.
- Comparar, mediante la utilización de tablas, las metodologías usadas en la actualidad para la distribución de medicamentos en el área de la salud y el impacto que el dispositivo brindaría a nivel de mercado.
- Crear un prototipo que sea sencillo de utilizar, pero que cumpla con todas las exigencias y medidas de seguridad necesarias para un sistema electrónico automatizado moderno.

- Desarrollar un monitor web central sincronizado vía internet que permita mantener el control de los medicamentos tomados y los medicamentos pendientes para cada paciente en los centros de salud.
- Desarrollar, a través del uso de las memorias SD, un sistema de almacenamiento de datos de los medicamentos tomados y pendientes de cada paciente a través del periodo de uso del dispositivo.

1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES

1.6.1. Alcances

- Facilita la atención y la entrega de medicamentos de los pacientes en los hospitales, las clínicas y los hogares de ancianos del país, así como de las personas que tienen que tomar una gran cantidad de medicamentos.
- Actualmente, en muchas clínicas, hospitales y hogares de ancianos del país, este procedimiento de entrega y revisión de la toma de medicamentos de los pacientes se realiza de forma manual por parte del médico o encargado de turno o salón, lo cual en algunos casos es riesgoso y vulnerable al error humano. Por medio de este sistema, este margen de error se va minimizar.
- Manejar de manera práctica, a través de un monitor web la información de los medicamentos tomados y pendientes de cada paciente y de esa manera tener un mejor control y evitar la posible pérdida de datos.
- Lograr la eficiencia en la recuperación de los pacientes mediante la toma de medicamentos a la hora exacta y evitar la toma de otro medicamento o una dosis incorrecta.

1.6.2. Limitaciones

- Incapacidad para la dispensación de medicamentos líquidos o inyectables.
- Incapacidad para la dispensación de pastillas que tengan un tamaño distinto a la medida estándar debido a la forma de los recipientes del dispensador.
- Limitación de uso de algunas aplicaciones del sistema en lugares donde no exista conexión a internet.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO CONCEPTUAL GENERAL

El natural proceso de envejecer comienza de manera prematura, pero empieza a hacerse evidente a partir de la edad de los 30 años. Desde los 50 años, aproximadamente, el proceso se acelera y los primeros signos se hacen visibles.

Todos los seres humanos envejecen, esto puede manifestarse de numerosas maneras, tales como aparición de canas, pérdida del cabello, impedimentos en los sentidos (especialmente la vista y el oído), un retardo de varios procesos metabólicos, pérdida de memoria y de fuerza muscular.

Todos estos cambios ocurren, en mayor o menor medida, a cada individuo. En todo caso, hay otros cambios que no les suceden a todos y, por lo tanto, son entendidos como desviaciones del proceso “normal”.

Estos pueden ser asociados con enfermedades o con estilos de vida e incluyen condiciones como presión alta, diabetes, cataratas y cicatrización más lenta de las heridas. En la mayoría de los casos, dietas pobres y falta de ejercicio son factores que contribuyen significativamente.

Nuestros requerimientos nutricionales cambian a través de nuestra vida y la necesidad de ciertos nutrientes se incrementa mientras envejecemos. Por ejemplo, se necesita más calcio para contrarrestar la osteoporosis, vitamina B12 para la formación de glóbulos rojos en la sangre y ácidos grasos esenciales para corazones sanos (Solís y otros, 2007).

Costa Rica en los últimos años se ha visto impactada en un mayor porcentaje por las enfermedades crónicas, las cuales muchas veces están relacionadas con una mala alimentación o falta de ejercicio. Entre esas enfermedades crónicas de mayor impacto, se pueden mencionar la hipertensión y la diabetes.

Dichas enfermedades crónicas, así como otras que cumplen con esa misma condición requieren de la toma permanente y estricta de medicamentos para mantener una estabilidad en el paciente.

Este tipo de enfermedades no precisamente se presentan en una población de edad avanzada, sino que también atacan a la población más joven. Como se mencionó en el apartado anterior, la OMS en su página web, en el apartado de temas de salud, hace referencia a que la mayoría de personas que murieron por enfermedades crónicas eran menores de 60 años. Si se compara con la esperanza de vida en Costa Rica para el 2016, las personas afectadas estarían por debajo de esa esperanza de vida, la cual es de 81,91 años para las mujeres y 77, 01 años para los hombres.

Acá se muestra una referencia de algunas de estas enfermedades crónicas que se tratan con medicación vía oral, se explica la enfermedad, sus tipos, sus síntomas y su posible tratamiento. Esto permitirá tener una visión más amplia de los beneficios que el dispensador de medicamentos podría brindar a las personas afectadas con estas enfermedades.

2.1.1. Hipertensión

El tratamiento lo prescribe por regla general el médico. Un tratamiento farmacológico que incluye los diuréticos, los betabloqueantes y otros como los inhibidores de la enzima de conversión de la angiotensina (IECA), los estimuladores de los receptores alfa centrales y los bloqueantes alfa adrenérgicos. En ocasiones, se administran estos fármacos combinados.

2.1.2. Diabetes

Es una enfermedad que se caracteriza por un aumento de la cantidad de azúcar en la sangre. La diabetes es una enfermedad que no se cura, pero sí se puede controlar mediante medicación.

Existen dos tipos: diabetes tipo 1 en la cual siempre se necesita inyecciones de insulina; y diabetes tipo 2 que puede controlarse con medicamentos administrados vía oral.

2.1.3. Alzheimer

Mal neurológico progresivo, debilitante y eventualmente fatal, que afecta a 4 millones de norteamericanos. Es la forma más común de demencia, y una de las principales causas de muerte en Estados Unidos.

Esta enfermedad produce la pérdida de memoria y otros síntomas similares a la demencia.

2.1.4. Gastritis

El tratamiento de esta enfermedad ha llegado hasta el punto de que los antibióticos han pasado a ser uno de sus pilares básicos. Se requiere un horario riguroso en el consumo de sus medicamentos.

2.1.5. Rinitis

El tratamiento consiste en la administración de descongestionantes nasales para reducir la tumefacción de la mucosa.

2.1.6. Osteoporosis

Una de las afecciones más comunes en las personas mayores es la osteoporosis. Esta afecta principalmente a mujeres posmenopáusicas que pierden calcio en sus huesos debido a la falta de producción de estrógeno.

Las anteriores son las enfermedades más comunes en los adultos mayores y que requieren la ingestión de medicamentos, pero también se presentan otras enfermedades como:

- Insuficiencia cardíaca.
- Problemas articulares.
- Infección de vías urinarias.
- Gastroenteritis (Solís y otros, 2007).

Pasando a la parte técnica del proyecto, se puede mencionar que este estará relacionado con el área de la electrónica mayoritariamente, pero también abarcará la parte mecánica y de programación.

2.2. COMPONENTES UTILIZADOS PARA REALIZAR EL DISPOSITIVO DISPENSADOR DE MEDICAMENTOS

- Solenoide.
- Transistores 123AP y transistores de potencia.
- Arduino MEGA.
- Modelo RTC DS1307.
- NodeMCU ESP8266.
- Módulo almacenamiento SD.
- Pantalla LCD 16x2.

2.2.1. Solenoide

El solenoide es un alambre aislado enrollado en forma de hélice (bobina) o un número de espiras con un paso acorde a las necesidades, por el que circula una corriente eléctrica. Cuando esto sucede, se genera un campo magnético dentro del solenoide. El solenoide con un núcleo apropiado se convierte en un imán (en realidad electroimán). Se utiliza en gran medida para generar un campo magnético uniforme.

Este tipo de bobinas o solenoides es utilizado para accionar un tipo de válvula llamada solenoide, que responde a pulsos eléctricos respecto de su apertura y cierre. Eventualmente, es controlable por programa, su aplicación más recurrente en la actualidad tiene relación con sistemas de regulación hidráulica y neumática.

Figura 1. Solenoide



Fuente: Foto tomada por Rolando Retana Badilla.

2.2.2. Transistor de potencia

El funcionamiento y utilización de los transistores de potencia es idéntico al de los transistores normales, tiene como características especiales las altas tensiones e intensidades que deben soportar y, por lo tanto, las altas potencias a disipar.

Existen tres tipos de transistores de potencia:

- Bipolar.
- Unipolar o FET (Transistor de Efecto de Campo).
- IGBT.

Tabla 1. Características transistor de potencia

Parámetros	MOS	Bipolar
Impedancia de entrada	Alta (1010 ohmios)	Media (104 ohmios)
Ganancia en corriente	Alta (107)	Media (10-100)
Saturación	Media / alta	Baja
Resistencia OFF (corte)	Alta	Alta
Voltaje aplicable	Alto (1000 V)	Alto (1200 V)
Máxima temperatura de operación	Alta (200°C)	Media (150°C)
Frecuencia de trabajo	Alta (100-500 kHz)	Baja (10-80 kHz)
Coste	Alto	Medio

Fuente: Tabla realizada por Rolando Retana Badilla

2.2.3. Arduino

Arduino es una plataforma de *hardware* libre basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo diseñado para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

El *hardware* consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada o salida. Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, y Atmega8. El *software* es un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación *Processing/Wiring* y el cargador de arranque que es ejecutado en la placa. Se programa en el ordenador para que la placa controle los componentes electrónicos.

El Arduino Mega es probablemente el microcontrolador más capaz de la familia Arduino. Posee 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida; 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de *reset* y una entrada para la alimentación de la placa. La comunicación entre la computadora y Arduino se produce a través del puerto serie; sin embargo, posee un convertidor USB-serie, por lo que solo se necesita conectar el dispositivo a la computadora utilizando un cable USB como el que usan las impresoras. Arduino Mega posee las siguientes especificaciones:

Tabla 2. Características Arduino MEGA

Características	Descripción
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje operativo	5V
Voltaje de entrada	7-12v
Voltaje de entrada (límites)	6-20v
Pines digitales	54 (15 PWM)
Pines análogos de entrada	16
Corriente DC por cada pin I/O	40mA
Corriente DC entregada en el pin 3.3v	50mA
Memoria <i>flash</i>	256 KB (8KB usados por el <i>bootloader</i>)
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz

Fuente: Tabla realizada por Rolando Retana Badilla

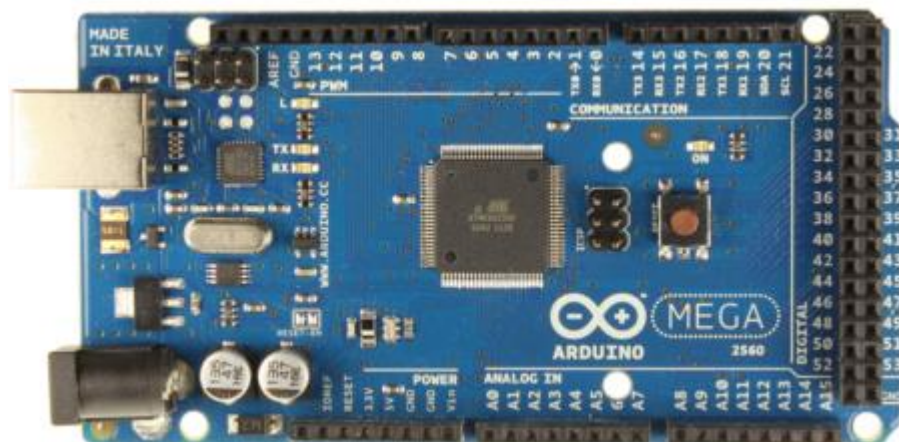
Arduino Mega puede ser alimentado mediante el puerto USB o con una fuente externa de poder. La alimentación es seleccionada de manera automática. Cuando se trabaja con una fuente externa de poder, se debe utilizar un convertidor AC/DC y regular dicho voltaje en el rango operativo de la placa. De igual manera, se puede alimentar el micro mediante el uso de baterías. Preferiblemente, el voltaje debe estar en el rango de los 7V hasta los 12V.

Arduino Mega posee algunos pines para la alimentación del circuito aparte del adaptador para la alimentación:

- **VIN:** A través de este pin es posible proporcionar alimentación a la placa.
- **5V:** Se puede obtener un voltaje de 5V y una corriente de 40mA desde este pin.
- **3.3V:** Se puede obtener un voltaje de 3.3V y una corriente de 50mA desde este pin.
- **GND:** El *ground* (0V) de la placa.

Arduino puede ser programado de una manera muy fácil utilizando el lenguaje propio de Arduino junto con la interfaz Arduino IDE/.

Figura 2. Arduino MEGA



Fuente: Foto tomada de www.panamahitek.com

2.2.4. Módulo RTC DS1307

Un reloj en tiempo real (RTC) es un reloj de un ordenador, incluido en un circuito integrado, que mantiene la hora actual. Aunque el término, normalmente, se refiere a dispositivos en ordenadores personales, servidores y sistemas embebidos; los RTC están presentes en la mayoría de los aparatos electrónicos que necesitan guardar el tiempo exacto.

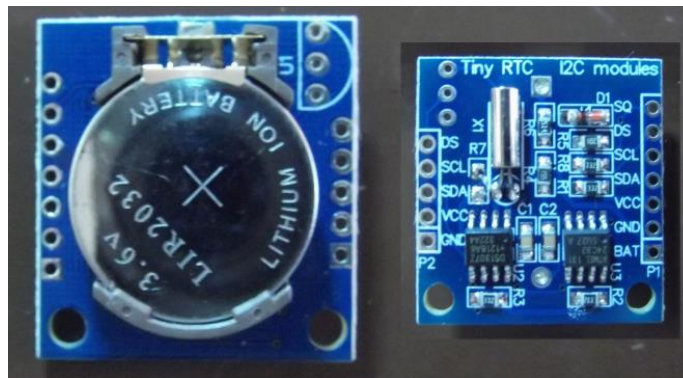
Los RTC a menudo tienen una fuente de alimentación alternativa, por lo que pueden seguir midiendo el tiempo mientras la fuente de alimentación principal está apagada o no está disponible. Esta fuente de alimentación alternativa es normalmente una batería de litio en los sistemas antiguos, pero algunos sistemas nuevos usan un súper capacitor, porque son recargables y pueden ser soldados. La fuente de alimentación alternativa también puede suministrar energía a una memoria RAM dentro del mismo RTC, que generalmente almacena la configuración de la BIOS de la placa base.

La mayoría de los RTC usan un oscilador de cristal, pero algunos emplean la frecuencia de la fuente de alimentación. En muchos casos, la frecuencia del oscilador es 32.768 kHz. Esta es la misma frecuencia usada en los relojes de cuarzo, y por las mismas razones, que la frecuencia es exactamente 2^{15} ciclos por segundo, que es un radio muy práctico para usar con circuitos de contadores binarios simples.

Para el dispensador de medicamentos, se va utilizar el DS1307; el cual tiene un costo bastante bajo y una funcionalidad precisa. Entre sus características, se pueden mencionar:

- Lleva la cuenta de segundos, minutos y horas, además de día, mes y año automáticamente válido hasta el año 2100.
- 56 byte de memoria RAM respaldada por una batería exterior, que mantiene la fecha y hora cuando no hay corriente.
- Detección automática de corte de corriente y cambio a modo batería.
- Bajo consumo, permite que la batería dure entre 5 y 10 años.
- I2C integrado en el mismo chip.

Figura 3. RTC DS1307



Fuente: Foto tomada de www.blog.simtronyx.de

2.2.5. Módulo almacenamiento SD

Este módulo es una placa de salida de tarjeta SD/MicroSD, el cual consta de 6 pines y puede trabajar con una fuente de alimentación de 5v o 3.3. Este módulo puede ser controlado directamente por una amplia gama de microcontroladores como Arduino, AVR, IC, ARM Y MSP430.

- 3.3v / 5v Fuente de alimentación.
- 3.3v / 5v I/O Nivel de operación.

- Estándar 0.1" x 6 pin.

Figura 4. Módulo SD



Fuente: Foto tomada de www.crcibernetica.com

2.2.6. NodeMCU ESP8266

La placa de desarrollo NodeMCU está basada en el popular chip que revolucionó el WiFi en sistemas embebidos, el ESP8266. Este sencillo módulo puede ser utilizado en el diseño de prototipos de cualquier sistema para el IoT (*internet of things*) en cuestión de horas. El concepto es muy similar al de Arduino: un microcontrolador conectado a través de un puente USB-Serial que interactúa con un *software* en la PC.

El ESP8266 en el NodeMCU es más que un simple circuito integrado para WiFi. Se trata de un SoC (System on Chip) que integra en una sola pieza de silicio un procesador de aplicaciones con la electrónica necesaria para la comunicación por RF (WiFi). Esta placa permite aprovechar el procesador que está dentro del ESP8266 y realizar *software* que corre en él y no solamente usarlo como un puente entre un microcontrolador y la red WiFi.

Esta placa viene cargada con el *firmware* NodeMCU, sin embargo, también se puede usar como una excelente plataforma para desarrollar, evaluar y experimentar otros *firmwares* para el ESP8266.

Características de NodeMCU con ESP8266

- Procesador ESP8266.
- Protocolo inalámbrico 802.11 b/g/n.
- Potencia de salida +19.5dBm en modo 802.11b.
- Sensor de temperatura integrado.
- Corriente en espera: <10 uA.

Figura 5. NodeMCU ESP8266



Fuente: Foto tomada de www.geekfactory.mx

2.2.7. LCD Shield 16x2

Este es un *shield* muy popular de teclado LCD para Arduino y otras variantes. Incluye una pantalla LCD de 2x16 y 6 pulsadores momentáneos. Los pasadores 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 se utilizan para hacer interfaz con la pantalla LCD. Solo se emplea un pin

analógico 0 para leer los cinco pulsadores. Se compone de un LCD de 1602 caracteres blancos de retroiluminación LCD.

El protector LCD soporta el ajuste del contraste y las funciones encendido / apagado de retroiluminación. También expone cinco clavijas analógicas con código de color DFRobot para conectar y visualizar fácilmente el sensor analógico. El LED incorporado indica que se ha encendido.

Este *shield* tiene 5 teclas (seleccionar, arriba, derecha, abajo e izquierda) que le permiten moverse a través de los menús y hacer selecciones directamente desde una tabla adjunta a su proyecto Arduino sin necesidad de una enorme torre de escudos.

Características:

- Voltaje de operación 5v.
- 5 botones pulsadores para suministrar un panel de control de menú personalizado.
- Botón RST para restablecer el programa Arduino.
- Potenciómetro integrado para ajustar la retroiluminación.
- Cabezal de pines APC y BT para conectar dispositivos inalámbricos, directamente compatibles con:
 - Módulo de Comunicación Radio APC220.
 - DFRobot Bluetooth V3.
- Pines de E / S disponibles expandidos.

- *Pinup* analógico ampliado con configuración DFRobot estándar para la extensión rápida del sensor.
- Dimensión: 80 x 58 mm (3,15 x 2,28 pulg.).

Figura 6. LCD Shield



Fuente: Foto tomada de www.dfrobot.com

2.3. MARCO DE LA GESTIÓN DEL PROYECTO

2.3.1. Posicionamiento en el mercado

Para lograr el posicionamiento de un producto o dispositivo en el mercado, se requiere de varios aspectos como es la renta per cápita que ayuda en el mejoramiento de la productividad, estos aspectos se utilizan con el fin de desarrollar un sistema que cumpla con todas las expectativas que necesita un producto para posicionarse efectivamente en el mercado.

2.3.2. La renta per cápita

La renta per cápita o PIB per cápita es la relación que hay entre el PIB (producto interno bruto) de un país y su cantidad de habitantes. Para conseguirlo, hay que dividir el PIB de un país por la población de este.

Es un indicador comúnmente usado para estimar la riqueza económica de un país. Numerosas evidencias muestran que la renta per cápita está positivamente correlacionada con la calidad de vida de los habitantes de un país. Esto es especialmente cierto cuando la renta no supera un umbral, para países de mayor renta la correlación entre calidad de vida y renta per cápita empeora.

2.3.3. Productividad

La productividad es genéricamente entendida como la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción o servicios y los recursos utilizados para obtenerla. También puede ser definida como la relación entre los resultados y el tiempo utilizado para obtenerlos; cuanto menor sea el tiempo que lleve obtener el resultado deseado, más productivo es el sistema.

En el ámbito de desarrollo profesional, se le llama PRODUCTIVIDAD (P) al índice económico que relaciona la producción con los recursos empleados para obtener dicha producción, expresado matemáticamente como: $P = \text{producción/recursos}$.

La productividad evalúa la capacidad de un sistema para elaborar los productos que son requeridos y, a la vez, el grado en que aprovechan los recursos utilizados, es decir, el valor agregado.

Una mayor productividad utilizando los mismos recursos o produciendo los mismos bienes o servicios resulta en una mayor rentabilidad para la empresa. Por

ello, el sistema de gestión de la calidad de la empresa trata de aumentar la productividad.

La productividad va relacionada con la mejora continua del sistema de gestión de la calidad, gracias al cual se pueden prevenir los defectos de calidad del producto y así mejorar los estándares de calidad de la empresa sin que lleguen al usuario final. La productividad está ligada a los estándares de producción. Si se mejoran estos estándares, entonces hay un ahorro de recursos que se reflejan en el aumento de la utilidad.

2.3.4. Factores que influyen en la productividad

Además de la relación de cantidad producida por recursos utilizados, en la productividad entran en juego otros aspectos muy importantes como:

- Calidad: la calidad del producto y del proceso se refiere a que un producto se debe fabricar con la mejor calidad posible según su precio y se debe elaborar bien a la primera, o sea, sin reproceso.
- Productividad = Salida/ Entradas: es la relación de eficiencia del sistema, ya sea de la mano de obra o de los materiales.
- Entradas: mano de obra, materia prima, maquinaria, energía, capital, capacidad técnica.
- Salidas: productos o servicios.
- Misma entrada, salida más grande.
- Entrada más pequeña misma salida.

- Incrementar salida disminuir entrada.
- Incrementar salida en mayor proporción que la entrada.
- Disminuir la salida en forma menor que la entrada.

2.3.5. Mejora de la productividad

La mejora de la productividad se obtiene innovando en:

- Tecnología.
- Organización.
- Recursos humanos.
- Relaciones laborales.
- Condiciones de trabajo.
- Calidad.

2.3.6. Organizaciones que regulan el uso de medicamentos

Para trabajar con el uso de medicamentos y desarrollar proyectos donde se empleen estos, es necesario seguir ciertos requerimientos técnicos que organizaciones a nivel mundial han emitido. En este caso, se va a hacer referencia a la FDA (Food and Drug Administration) y la USP (United States Pharmacopeia), quienes a nivel mundial son las encargadas de la administración y el uso autorizado de fármacos.

2.3.7. Administración de Drogas y Alimentos

La FDA o Food and Drug Administration (Administración de Alimentos y Fármacos, por sus siglas en inglés) es la agencia del Gobierno de los Estados Unidos responsable de la regulación de alimentos (tanto para seres humanos como para

animales), suplementos alimenticios, medicamentos (humanos y veterinarios), cosméticos, aparatos médicos (humanos y animales), productos biológicos y productos hemáticos.

2.3.8. División Institucional

La FDA es una división del Departamento de Salud y Servicios Humanos, el cual es a su vez uno de los 15 departamentos a nivel de gabinete del Gobierno de los Estados Unidos. La FDA está dividida en 5 centros mayores:

- Centro de Evaluación Biológica e Investigación (CBER, sus siglas en inglés).
- Centro de Aparatos y Salud Radiológica (CDRH).
- Centro de Evaluación de Drogas e Investigación (CDER).
- Centro de Seguridad de Alimentos y Nutrición Aplicada (CFSAN).
- Centro de Medicina Veterinaria (CVM).

Cada uno de estos centros tiene su propio origen e historia; el más antiguo, el CBER, es el responsable de regular productos sanguíneos, vacunas y, últimamente, tratamientos con células madre y terapias génicas. El CDER regula los medicamentos para humanos y, normalmente, es el centro más escrutinado.

2.4. REQUERIMIENTOS Y CUIDADOS QUE SE DEBEN TENER CON LOS MEDICAMENTOS

Los requerimientos generales y más importantes de acuerdo con Paola Madrigal Artavia, farmacéutica de la Universidad de Costa Rica, LAYAFA (Laboratorio de Análisis y Asesoramiento Farmacéutico) son:

2.4.1. Humedad

Causa daño físico como el ablandamiento y daños químicos como efervescencia o hidrólisis. Para evitar que la humedad afecte los medicamentos, se debe desechar zonas de almacenamiento de humedad que se encuentren entre 15-20 centímetros del suelo, además de los muros.

2.4.2. Temperatura

Las altas temperaturas en los medicamentos aceleran reacciones degradantes, y en el caso de las bajas temperaturas facilitan el deterioro de algunos materiales plásticos (frigoríficos y aire acondicionado).

2.4.3. Luz

Cuando los medicamentos son sensibles a la luz, los problemas que se presentan son la fotodegradación y el cambio de color (envases opacos).

2.4.4. Gases atmosféricos

Los gases atmosféricos también son un factor que afecta los medicamentos; entre los principales factores atmosféricos, se encuentran el oxígeno que favorece la oxidación y el dióxido de carbono que produce cambios en el PH de las soluciones, la precipitación y la formación de carbonatos insolubles (Madrigal, 2009).

Los principales factores a la hora de tratar con medicamentos son los factores climáticos como la humedad y la temperatura, en donde por lo general se deben de mantener a una temperatura menor a los 30 grados centígrados y a una humedad menor al 40 por ciento, ya que si superan estos límites se producen cambios en sus propiedades o se puede dar la descomposición de este.

Otro punto muy importante son los colores de los empaques de almacenamiento de los medicamentos, los cuales tienen el objetivo de protegerlos contra ciertos factores que afectan su composición en donde los empaques de color anaranjado, verdes y plateado son para medicamentos sensibles a la luz, los cuales se ven afectados por la luz ultravioleta. Los empaques en donde el medicamento viene adherido y completamente sellado es porque son afectados por el aire. Si no se siguen los requisitos anteriormente mencionados, los medicamentos disminuyen o anulan la actividad del principio activo; en el caso de las vitaminas, se descomponen o pierden propiedades, y si el medicamento es envasado de nuevo pierde su fecha de vencimiento.

De acuerdo con el material de envase del medicamento, se pueden obtener también ciertos estándares; por ejemplo, en el caso del vidrio y el plástico que son los materiales más comunes para el envase de medicamentos, si son de color ámbar la razón es que el medicamento necesita protección contra la luz y si son transparentes es porque al medicamento depositado no le afecta la luz (Madrigal, 2009).

2.5. MARCO CONCEPTUAL REFERENTE AL IMPACTO DEL PROYECTO

En esta área, se puede mencionar que el proyecto tiene como visión llegar a ser una alternativa completa en la solución y la eficacia de las personas dependientes de medicamentos. El proyecto no solo pretende automatizar un mecanismo que actualmente se maneja en la mayoría de casos de manera manual, sino ser todo un

complemento a nivel farmacéutico y de calidad. Es por ese motivo que se desea trabajar considerando todas las medidas de calidad existentes para la evaluación de mercado, tales como las certificaciones ISO, así como controles y restricciones debidamente establecidas para el consumo y el manejo de medicamentos por las organizaciones farmacéuticas.

El dispositivo también pretende agilizar muchos de los procesos en los hospitales, clínicas y hogares de ancianos, ya que los encargados de cada salón podrán no solo tener una base de datos actualizada en tiempo real con todos los medicamentos consumidos por cada paciente, sino que también les va permitir tener una mejor atención y planeamiento en la atención de estos. El sistema también previene el error humano que se puede presentar en cualquier momento debido a falta de comunicación, olvido o confusión de algún tipo de medicamento.

El sistema pretende expandir su impacto a un área comercial, por lo cual se toma en cuenta para su fabricación y diseño los análisis de mercado y la comparación en precio y utilidades que pueda llegar a ofrecer en comparación con otros dispositivos ya disponibles. Esto con el fin de presentar un producto competitivo y eficiente. Para lograr todo esto, se está trabajando y diseñando el proyecto en su mayoría sobre plataformas de programación de *software* libre como Sketch (Arduino); así mismo, se utiliza dispositivos electrónicos de bajo costo, pero alta eficiencia como es el NodeMCU ESP8266, el módulo RTC, el módulo de memoria SD y el microcontrolador Arduino MEGA.

2.6. ANTECEDENTES DE TEORÍAS O PROYECTOS

Para mostrar la eficiencia del sistema dispensador de medicamentos en términos de mercado, costos y servicios brindados, se realizaron dos cuadros comparativos; en el primero, se pueden observar tres dispensadores de medicamentos que actualmente existen en el mercado, los cuales son muy útiles, pero poseen un precio muy elevado para que cualquier persona tenga la posibilidad de adquirirlo o para equipar un hospital por completo.

El segundo cuadro comparativo se muestran tres organizadores de medicamentos, los cuales son muy cómodos de precio, pero poseen una cantidad de funciones limitada, lo que hace que el paciente no tenga la atención y la ayuda necesaria por parte de los dispositivos.

En los cuadros que se muestran a continuación, se van analizar distintos aspectos importantes que el usuario debe de tomar en cuenta a la hora de hacer la elección de cual dispositivo es el más conveniente en cuanto a funciones brindadas y precio establecido, para realizar la compra más inteligente. Entre los aspectos a destacar, se encuentran cantidad de alarmas que posee el dispositivo y su tiempo de duración, tipos de energía con los que puede utilizar el sistema, capacidad de medicamentos que puede dispensar diariamente, vías de recordatorio que contiene y precio en el que se puede adquirir, entre otros.

Tabla 3. Comparación de dispensadores en el mercado

CARACTERÍSTICAS	Med-Time XL	Wellness Wizard	Medication Dispenser	Dispensador Propuesto
Vía de recordatorio	Sonido-Luz	Voz-Sonido-	Sonido	Sonido
Sistema de llave	Sí	No	No	No
Manual de usuario	Precio \$15	Precio \$15	No	Sí incluido
Capacidad	28 medicamentos	NO INDICA	NO INDICA	Variable
Duración de alarma	60 minutos	20 minutos	Hasta retirar el medicamento	25 segundos
Tipo de energía	Baterías	Baterías	NO INDICA	Batería-AC Adaptador
Cantidad de alarmas	28 por día	20 por día	Variable	4 por día
Vía de programación	Manual	Manual- Celular	Manual	Manual
Entrega de medicamentos	Automático	Automático	Automático	Automático
Precio	\$395	\$210	\$150	\$136
Compañía fabricante	E-Pill	E-Pill	Unitech Tokio	Rolando Retana
Dimensiones	7 1/2 x 2 1/4 Pulg.	7 1/2 x 5 x 2 1/2 Pulg	18,4 x 12,8 x 18,4 cm	30x24x11 cm

Fuente: Diseñado por Rolando Retana Badilla

Tabla 4. Comparación de dispensadores en el mercado

CARACTERÍSTICAS	E-Pill Multi	CompuMED	Dispensador	
	Alarm	SPARE	Pill Box 5	Propuesto
Vía de recordatorio	Sonido-Luz	Ninguna	Ninguna	Sonido
Sistema de llave	No	No	No	No
Manual de Usuario	Precio \$15	No	Precio \$15	Sí incluido
Capacidad	4 Medicamentos	4 Medicamentos	5 Medicamentos	Variable
Duración de alarma	4 minutos	No posee	No posee	25 segundos
Tipo de energía	Baterías	No utiliza	No utiliza	Batería-AC adaptador
Cantidad de alarmas	NO INDICA	Ninguna	Ninguna	4 por día
Vía de programación	Manual	Manual	Manual	Manual
Entrega de medicamento	Botón	Manual	Manual	Automático
Frecuencia de recargo	Cada semana	Cada semana	Cada semana	Variable
Precio	<u>\$85</u>	\$55	\$50	\$136
Compañía fabricante	E-Pill	E-Pill	E-Pill	Rolando Retana
Dimensiones	NO INDICA	NO INDICA	11x6x2 Pulg.	30x24x11 cm

Fuente: Diseñado por Rolando Retana Badilla

Como los cuadros comparativos lo muestran, el sistema dispensador de medicamentos se desarrolló de una manera en la cual brinda las funciones necesarias que los usuarios y los pacientes de los hospitales requieren para su recuperación y control en la toma de sus medicamentos y el cual cuenta con un precio accesible para el mercado, lo que permite que pueda ser adquirido por una gran mayoría de la población.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Finalidad aplicada

El dispensador de medicamentos desde el inicio de su desarrollo tiene su finalidad aplicada en facilitar el consumo de medicamentos a las personas que padecen algún tipo de deficiencia y evitar lo máximo posible el error humano por un mal manejo de dosis o medicamento.

El proyecto pretende ofrecer una posibilidad a bajo costo a los hospitales, las clínicas y los hogares de ancianos para automatizar el sistema de atención de sus pacientes con respecto a la entrega de medicamentos en las camillas o salones de internamiento; lo cual permitiría que los doctores, las enfermeras o el personal de salón puedan prestar más atención en temas de cuidado de sus pacientes y dejar al dispensador de medicamentos toda la parte del trabajo de entrega de pastillas y dosis.

3.1.2. Dimensión temporal

El proyecto dispensador de medicamentos es transversal, ya que se basa en una secuencia claramente establecida; se pretende impactar y modernizar toda el área de atención de salud de los hospitales, clínicas y hogares de ancianos.

En una primera etapa, se espera que el proyecto se enfoque en el uso individual del dispensador para usos domésticos; posteriormente, se busca expandir la idea a clínicas y hogares de ancianos que manejan una cantidad de pacientes intermedio y como grupo meta final se puede mencionar los principales hospitales

del país. La idea es que el proyecto pueda crecer al punto que llegue a ser un sistema de uso primordial en las instituciones anteriormente mencionadas.

3.1.3 Marco Macro-Micro

Se espera que el enfoque del sistema dispensador de medicamentos abarque un mercado micro y macro acorde al crecimiento y la optimización de las etapas anteriormente mencionadas. El dispositivo al ser una nueva alternativa debe cumplir primeramente su etapa a baja escala para luego expandir su crecimiento hacia un mercado más establecido y creciente.

3.1.4 Naturaleza cuantitativa del proyecto

La naturaleza del proyecto es mayormente cuantitativa, esta pretende desplegar datos de mejora en términos numéricos relacionados con ahorro de tiempo en la atención de los pacientes, así como en recuperación más pronta de los farmacodependientes y a su vez permitirá que los doctores y las enfermeras se puedan dedicar a revisiones esenciales de los pacientes, dejando al dispensador la tarea de entrega, control y estadísticas de los medicamentos.

3.1.5. Carácter del proyecto

El proyecto desarrollado es de carácter social, el cual tiene como mercado meta a las personas adultas mayores y aquellas internadas en clínicas y hospitales del país.

Al ser un producto de bajo costo, pretende abarcar una clase económica media/alta, además de que todas aquellas personas que usen los servicios de salud pública se verán beneficiadas con la propuesta de mejora.

3.2. DISEÑO METODOLÓGICO

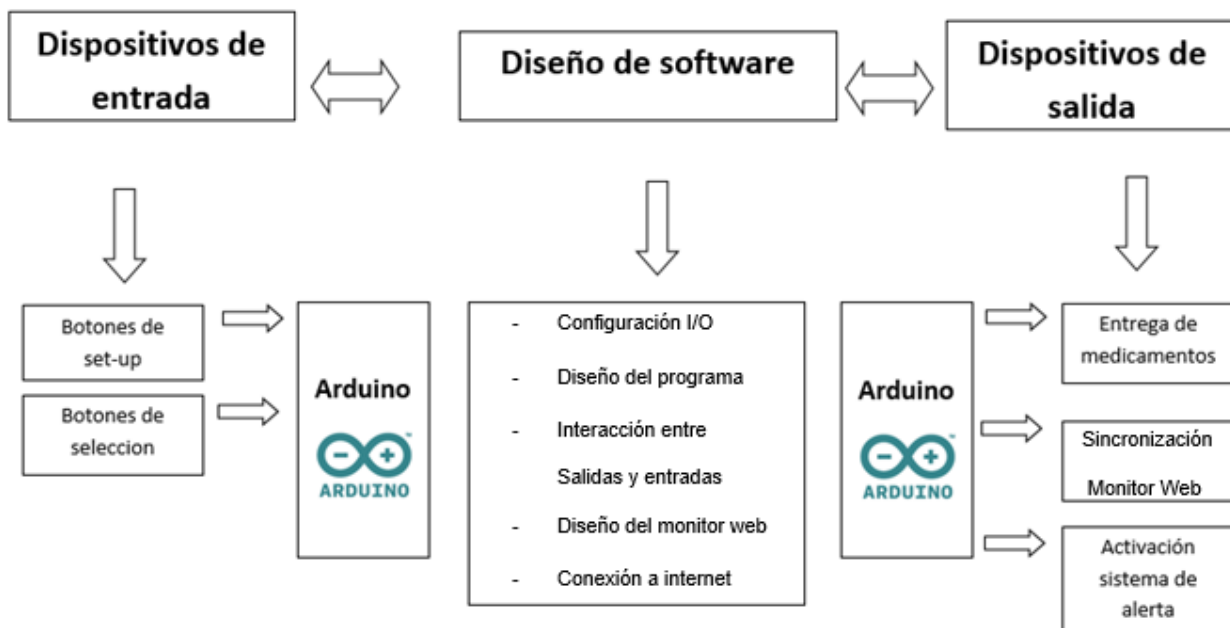
3.2.1. Metodología para la propuesta de mejora

Como propuesta de mejora, el sistema dispensador de medicamentos pretende impactar y automatizar el sistema de atención y entrega de medicamentos en el área de salud de los hospitales, clínicas y hogares de ancianos, el cual actualmente se da de forma manual por medio de los encargados de supervisión y atención de los salones y el cual genera una gran cantidad de trabajo a los funcionarios, así como la constante exposición a que se presenten errores en la entrega y las dosis de los medicamentos.

Para lograr lo anterior, en la parte del proceso de diseño del proyecto, se puede identificar tres partes principales, las cuales contienen sus respectivas divisiones y funciones específicas. Estas divisiones principales son:

- Interfaz con el usuario.
- Diseño del *software*.
- Diseño del *hardware*.

Figura 7. Diagrama general de bloques



Fuente: Diseñado por Rolando Retana Badilla

3.2.2. Metodología para la implementación del proyecto

En la parte de interfaz con el usuario, el dispositivo cuenta con tres funciones principales; las cuales permiten que el usuario y el dispositivo se puedan comunicar y obtener o programar aquellas funciones deseadas por la persona.

La parte A (Diagrama 1) consiste en un grupo de botones de selección por medio de los cuales se puede realizar la programación de los horarios en los cuales se tomarán los medicamentos, visualizar la hora del reloj o revisar los horarios establecidos para la entrega de los medicamentos. La parte B (Diagrama 1) está formada por los botones de configuración, los cuales van a permitir encender y apagar el dispositivo e intercambiar entre el modo de reloj y el modo de

programación, así como también reestablecer sus valores iniciales por medio de un botón de reinicio.

La parte C (Diagrama 1) se divide en dos dispositivos, el primero es a través del LCD, en donde se podrá observar el detalle de todo lo programado en el dispositivo, el segundo se da a través del monitor web en donde se tendrá el detalle de los medicamentos entregados y pendientes a cada paciente, así como también el almacenamiento de una base de datos con el resumen de todo el historial del dispositivo o los dispositivos sincronizados al monitor web. Este historial puede fácilmente ser cargado en Excel a través de una computadora o dispositivo portátil que tenga acceso a tarjeta SD o micro SD.

En la parte del diseño de *software*, se va dar toda la configuración de los dispositivos periféricos de entrada y salida, así como el diseño del programa principal el cual va estar diseñado en Sketch, el *software* libre utilizado para Arduino.

En esta parte, se puede decir que se va diseñar el núcleo del dispositivo y es donde se va dar la interacción entre las entradas y las salidas del sistema, así como la configuración con los módulos NodeMCU ESP8266, el módulo de memoria SD y el módulo RTC, encargado de llevar el tiempo del dispensador y las pautas de sincronización. Esta sección se podría decir que es la más grande y la que involucra más trabajo; por lo tanto, es la de mayor importancia porque se va encargar de permitir que el dispositivo funcione con la mayor eficiencia y calidad posible.

La parte del diseño del *software* comprende un conjunto de diagramas de flujo, los cuales muestran las funciones micro que serán programadas en el código.

El diseño del *hardware* comprende un sistema muy ergonómico, que busca desarrollar practicidad y elegancia al usuario que utilice el dispositivo.

En su desarrollo, se utilizan componentes muy comunes y fáciles de conseguir en el mercado, con lo que se logra que el sistema posea un precio muy cómodo, y satisfacer todas las funciones requeridas.

En la parte de salida, se va trabajar por medio de solenoides los cuales van a ser activados desde el Arduino MEGA y que permitirán la entrega del medicamento en el momento justo. Paralelamente, se activará el sistema de alerta por medio de un *buzzer* para indicar al paciente que su medicamento está próximo a ser entregado.

Esta parte del diseño del *hardware* va a contener los periféricos de salida, esto contempla la sincronización del dispositivo con el monitor web a través del NodeMCU ESP8266. Esto sucederá utilizando la conexión WiFi que este módulo trae integrada y la cual permitirá conectarse a cualquier red local.

3.2.3. Metodología de control

En este diagrama, se muestra la metodología de control y la estructura en la cual se va a basar el sistema central que recolecta los datos y los sincroniza con la aplicación móvil.

Figura 8. Diagrama de bloques dispositivo principal

Fuente: Rolando Retana Badilla

Cada vez que se entrega un medicamento de forma automatizada en alguna de las camillas se envía la información al monitor web, el cual va estar actualizando los datos en tiempo real, simultáneamente todos los datos desplegados en el monitor web serán almacenados en la tarjeta SD.

Para finalizar, el monitor web podrá ser utilizado a través de cualquier dispositivo que esté conectado a la red de internet local a la cual esté direccionado el monitor central. Desde ahí se podrá observar todos los detalles que están siendo exportados a la tarjeta SD.

CAPÍTULO IV. DIAGNÓSTICO

4.1. DETERMINACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Dentro del diagnóstico realizado para la implementación de este proyecto, se tomó como instrumentos de evaluación la observación de patrones en la sociedad actual para el caso del cuidado de pacientes en casas y hogares de ancianos. Para la parte del análisis en los hospitales, el instrumento utilizado se basó en una entrevista con una profesional en el área de la salud; en este caso, se cuenta con la colaboración de la enfermera y doctora Angie Blanco Cruz.

Los problemas que normalmente se pueden observar en las personas que tienen a cargo el cuidado de algún paciente es la dificultad para recordar la hora exacta a la que el medicamento debe ser entregado, así como también la confusión de medicamentos debido a su similitud en color, tamaño o forma. Todo esto conlleva en muchas ocasiones a que el paciente sufra algún descontrol en su rutina o que retrase su recuperación.

Otro aspecto negativo es que en ocasiones la persona encargada del cuidado del paciente o persona farmacodependiente debe delegar esa responsabilidad en otra persona, la cual probablemente no tenga la misma experiencia, ni maneje con exactitud y precisión el itinerario del paciente. Esto lo que podría generar es el aumento del error humano debido a la falta de práctica y finalmente se podría traducir en algún inconveniente para el paciente.

Para abordar el área de hospitales, se trabajó con la enfermera y doctora Angie Blanco, a quien se le realizó una entrevista semiestructurada compuesta por preguntas concretas acerca del modelo actual de funcionamiento de los hospitales

con respecto al tema de la medicación de los pacientes, así como también el posible impacto que el dispositivo podría brindar en esas instituciones. Además, durante la entrevista, se tomó en cuenta aportes relevantes brindados fuera de las preguntas ya establecidas, pero que permitieron complementar y fortalecer a nivel profesional el trabajo de investigación.

Adjunto se podrá encontrar el detalle de los temas trabajados con la Dra. Angie Blanco.

4.2. RECOLECCIÓN DE DATOS (ENTREVISTA - OBSERVACIÓN)

Durante la entrevista realizada a la Dra. Angie Blanco, quien ha trabajado para varios hospitales del país, pero principalmente el Hospital San Juan de Dios, se logró recolectar información que da un sustento en el área médica al proyecto en general. La entrevista se realizó de forma presencial el día 2 de octubre del 2016.

Dentro de lo destacado por la doctora, se menciona que no existe un promedio de pastillas que el paciente deba consumir, ya que esto depende de los síntomas o las complicaciones que tenga cada uno.

Relacionado con la forma de entrega de medicamentos, Blanco menciona que es un procedimiento manual y que se realiza en cada una de las camillas justo después de que las recetas son dispensadas por la sección de farmacia del hospital. Una vez entregado el medicamento, la enfermera deberá anotar en la bitácora del paciente el medicamento y la dosis que se le suministró. Además, señala que el procedimiento es un poco tedioso y burocrático, ya que se debe de realizar una serie

de pasos desde que el paciente es internado hasta que la receta sea dispensada y el medicamento entregado al paciente.

Entre las deficiencias que Blanco indica se encuentra la falta de centralización de los datos, ya que no existe un área o mecanismo común en donde se pueda ver el historial de todos los pacientes, sino que se debe ir uno por uno revisando el detalle de los medicamentos suministrados en la bitácora. También, señala que debido al procedimiento tan extenso y estricto que se da para la entrega de las recetas es muy baja la posibilidad de que se entregue alguna dosis o pastilla incorrecta al paciente y que durante el tiempo en que ella ha estado laborando esta situación no se ha presentado.

Al comentarle sobre la propuesta del sistema dispensador de medicamentos sincronizado con el monitor web, se mostró muy positiva y menciona que sería de gran ayuda en la atención de los pacientes y en agilizar los trámites y las revisiones; además, considera que es una alternativa muy novedosa y eficiente con la que aún no se cuenta en los hospitales. Dentro de las ventajas que mencionó se encuentran:

- Fácil configuración.
- Posibilidad de llevar el registro de los medicamentos entregados a los pacientes de forma centralizada.
- Mantener un sistema de respaldo a través de una memoria.
- Agilizar la entrega de los medicamentos a los pacientes.

La doctora Blanco también comentó algunas desventajas o recomendaciones que serían importante trabajar, por ejemplo:

- A la hora de almacenar los medicamentos no se pueden sacar del empaque porque estos perderían sus propiedades.
- No se puede dispensar medicamentos líquidos o inyectables, así como cápsulas.
- Imposibilidad de programar más de una dosis diaria para los medicamentos.
- Riesgo de que el paciente pueda sacar una pastilla del recipiente y automedicarse.

Para el cierre de la entrevista, Blanco mencionó que la automatización a través del sistema dispensador de medicamentos traería grandes beneficios al área de la salud y sería un paso importante hacia la simplificación y modernización de procesos, por lo cual lo considera una buena inversión y una excelente propuesta. Además, indica que el hecho de que exista una base de datos con la información detallada de los medicamentos tomados y pendientes de cada paciente ayudaría a un manejo más ordenado y correcto.

4.3. DESARROLLO DEL PROTOTIPO

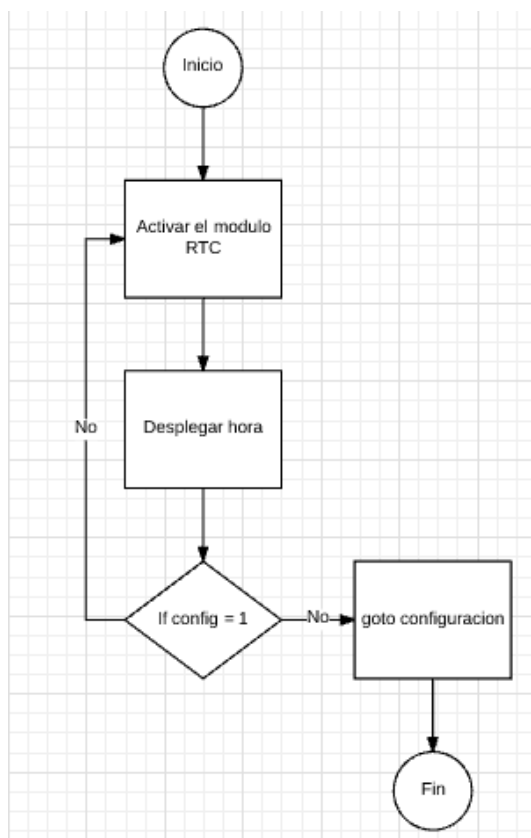
Dentro del desarrollo del dispositivo para la parte de programación, se va a trabajar sobre la plataforma Arduino, utilizando el *software* libre Sketch disponible para el microcontrolador. A continuación, se detallan los diagramas de flujos utilizados para el diseño del dispositivo general dispensador de medicamentos.

Diagrama de flujo: tiempo

El diagrama tiempo tiene la función de llevar la hora y las pautas del circuito general.

Este flujo se basa en su totalidad en la funcionalidad del módulo RTC DS1307.

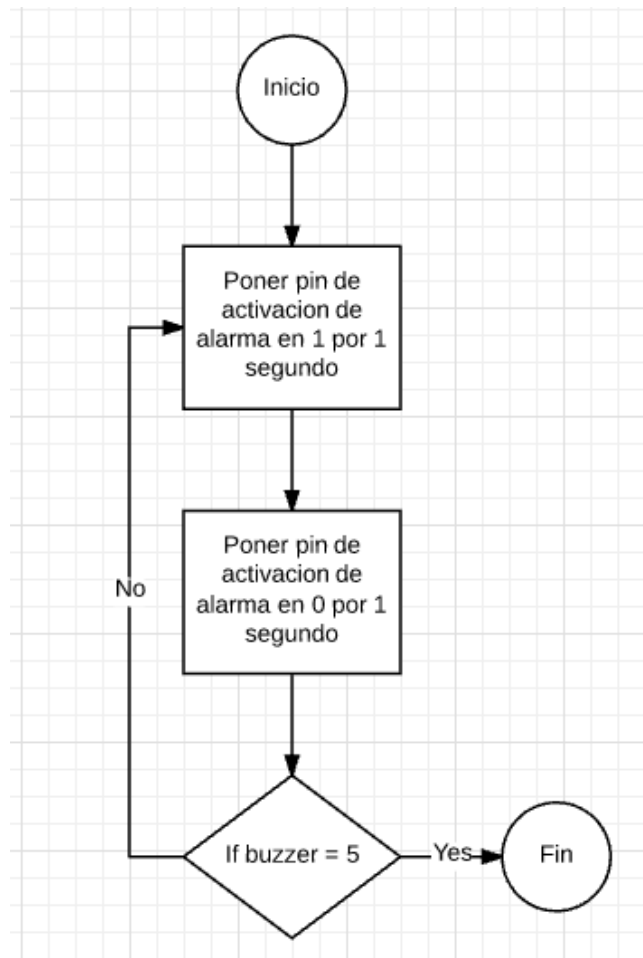
Figura 9. Diagrama de flujo tiempo



Fuente: Rolando Retana Badilla

Diagrama de flujo: alarma

Este diagrama es el encargado de poner en alto el pin de salida del Arduino para activar el *buzzer* (alarma). La activación va durar el tiempo establecido en la subrutina tiempo.

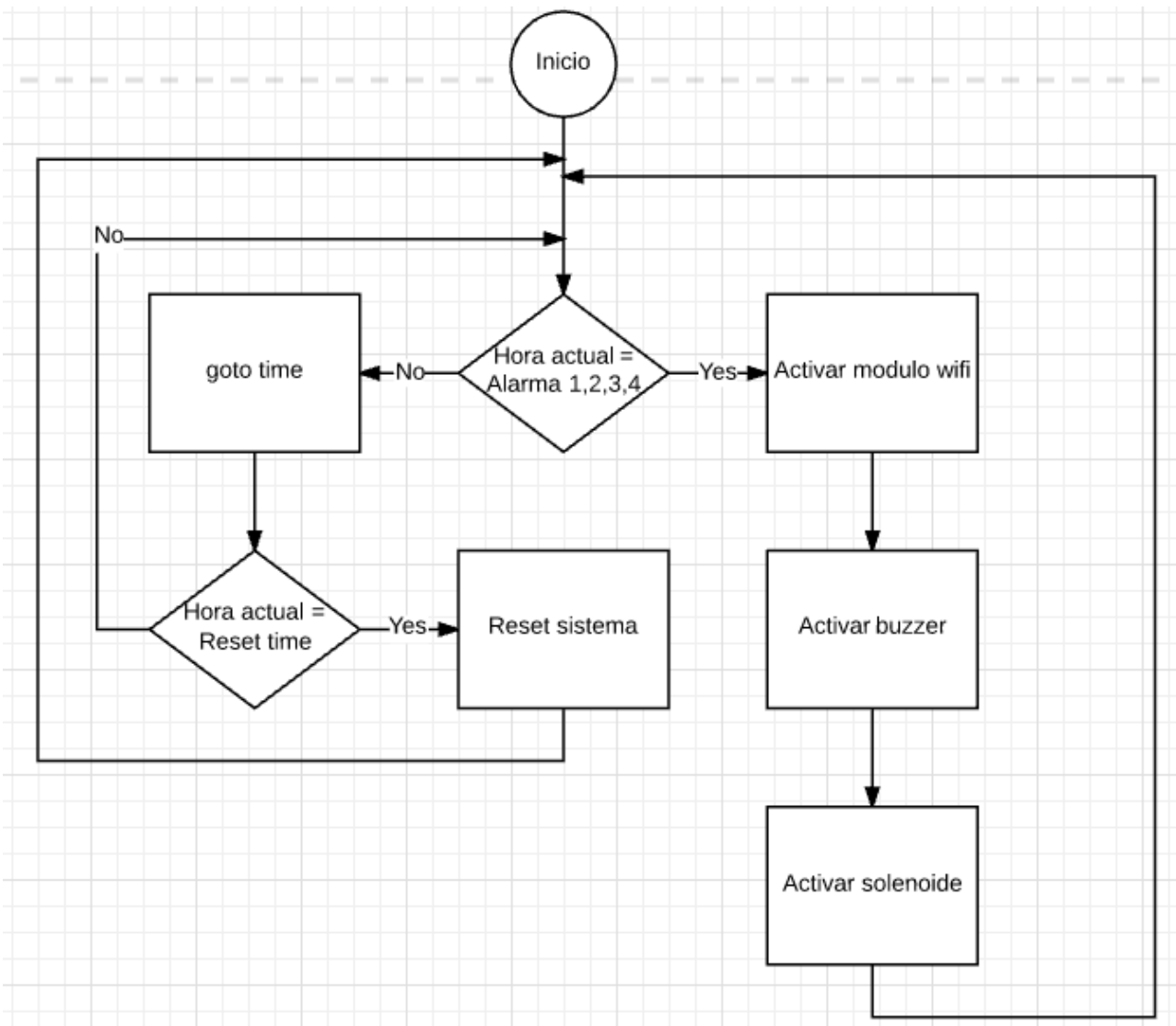
Figura 10. Diagrama de flujo alarma

Fuente: Rolando Retana Badilla

Diagrama de flujo: inicio

Es el diagrama de flujo principal, se encarga de llevar el control de todas las funciones del dispositivo y de poner en funcionamiento las distintas subrutinas, ya sea para desplegar la hora actual del dispositivo, programar un horario o verificar los datos almacenados.

Figura 11. Diagrama de flujo inicio

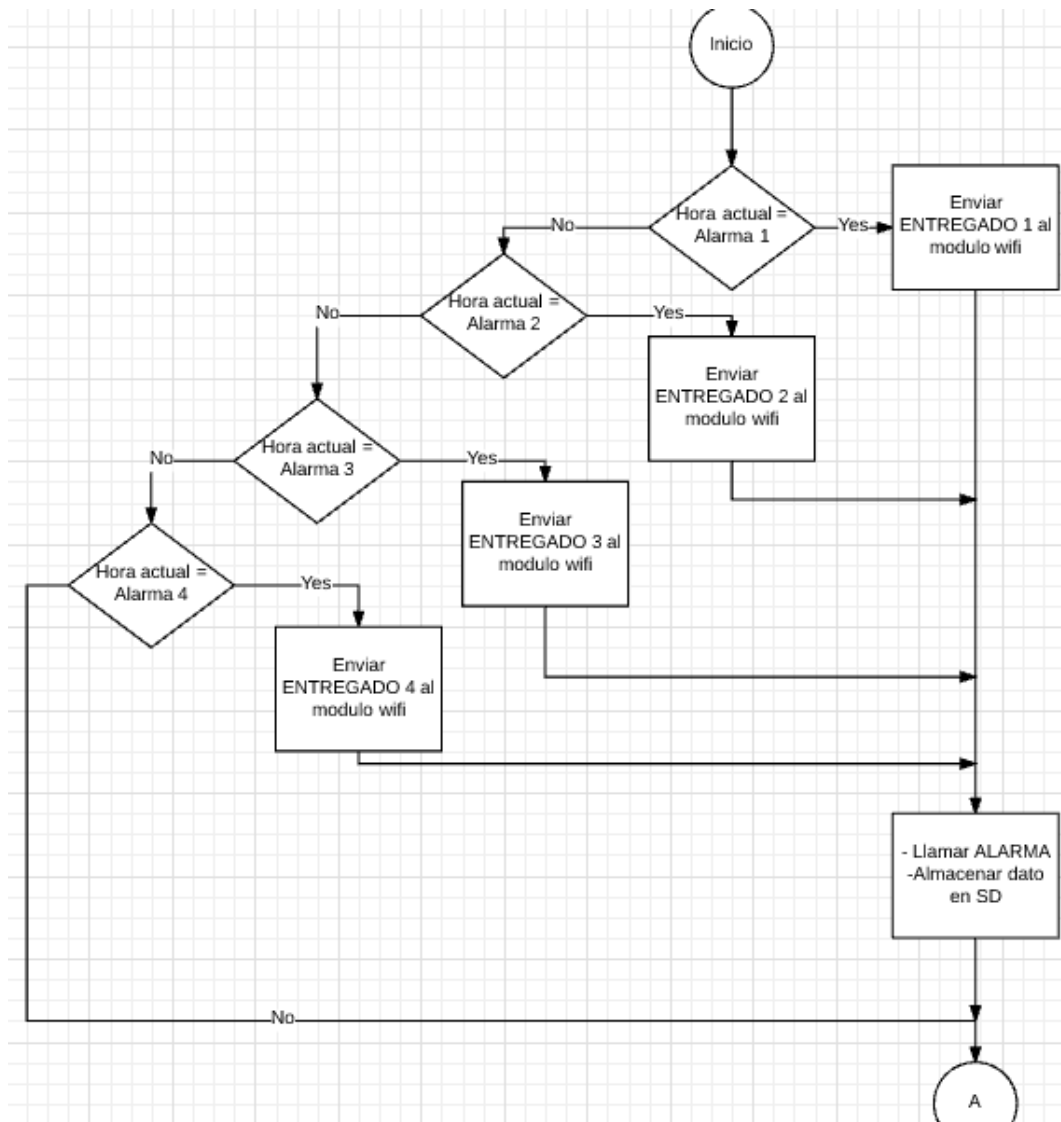


Fuente: Rolando Retana Badila

Diagrama de flujo: comparar

Es el encargado de estar revisando y comparando la hora actual, con los horarios guardados por el usuario para que en el momento en que un horario almacenado sea igual a la hora actual, active la subrutina de la alarma y, posteriormente, se dé la entrega del medicamento respectivo.

Figura 12. Diagrama de flujo comparar

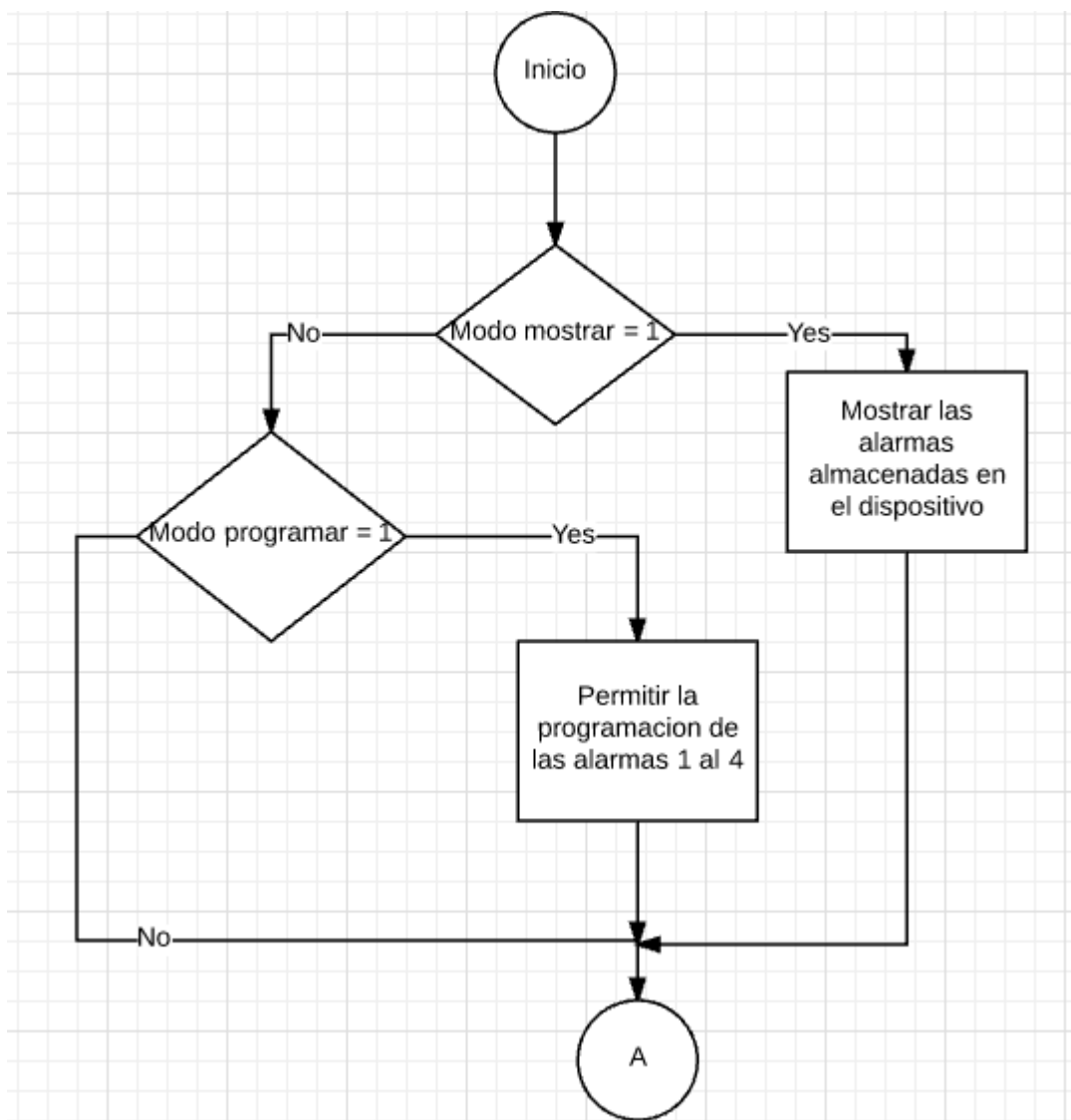


Fuente: Rolando Retana Badilla

Diagrama de flujo: configuración

Es el encargado de mostrar el módulo de configuración del dispensador, en este se puede seleccionar si se quiere mostrar o programar una alarma.

Figura 13. Diagrama de flujo configuración

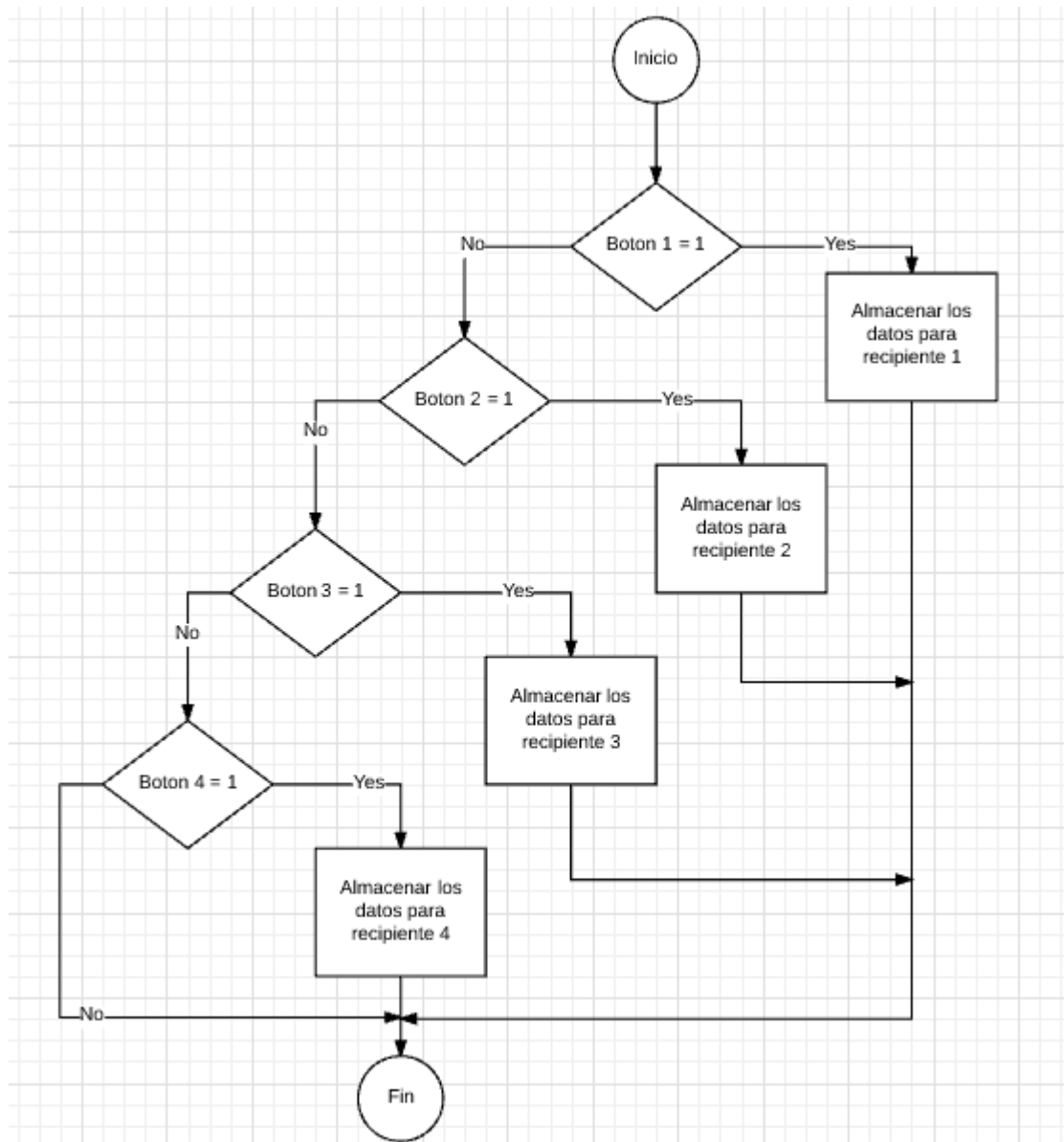


Fuente: Rolando Retana Badilla

Diagrama de flujo: elegir

El diagrama de flujo elegir es utilizado para seleccionar el recipiente que se desea programar, debe usarse un diagrama por cada recipiente disponible para su programación, en el caso del dispensador se utilizan cuatro.

Figura 14. Diagrama de flujo elegir



Fuente: Rolando Retana Badilla

CAPÍTULO V. DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1. SELECCIÓN DE LA PROPUESTA

Durante la selección del prototipo, se analizó diferentes opciones utilizando las alternativas a nivel de componentes que ofrece el mercado, así como también las necesidades y las limitaciones de los pacientes y de los lugares en donde se espera que el dispositivo vaya a operar.

Una de las primeras opciones que se barajaron fue la de tener un sistema centralizado al cual todos los dispensadores de medicamentos se conectarán vía radiofrecuencia y luego este dispositivo central se conectaría a una computadora o teléfono celular a través de un módulo Bluetooth. Esta propuesta a nivel económico era de bajo costo, pero al utilizar módulos de radiofrecuencia se podía generar varios puntos de fallo que podrían llevar a una actualización errónea del sistema a destiempo o la no actualización por completo, lo que conlleva a que un medicamento fuera dispensado e ingerido en una dosis incorrecta por el paciente. Además de que utilizando Bluetooth no se podía tener actualizaciones en tiempo real. Estas y otras limitantes hicieron que esta propuesta quedara descartada.

Después como segunda opción, se valoró realizar un sistema basado en el uso del Raspberry pi como controlador central con la idea de utilizar la conexión WiFi y el acceso remoto; lo cual permitía facilidades a nivel de funcionamiento, pero una programación más compleja y un costo más elevado del producto final.

Finalmente, al conocer la existencia del NodeMCU ESP8266 y su fácil sincronización con el Arduino, así como su bajo costo y sus facilidades en tema de programación, se decidió tomar como referencia las dos propuestas anteriores y

consolidarlas en una propuesta renovada y de mayor efectividad, la cual permita la conexión vía internet WiFi de los distintos dispensadores de medicamentos a una misma red local, posibilite compilar todos los datos y mostrarlos en un monitor web en tiempo real, además de almacenar todos los datos mostrados en el monitor en una tarjeta SD o micro SD.

5.2. DETALLES DE LA PROPUESTA

El prototipo realizado a nivel físico está basado en cajones rectangulares, en el cajón inferior, consta de una pantalla LCD y 4 botones. Los botones son para la programación y la navegación en los menús del dispensador y la pantalla permite observar los detalles de la hora y los horarios de los medicamentos. En el cajón superior, se encuentran 4 cilindros en los cuales se depositan los medicamentos y 4 recipientes en donde se van a recoger las pastillas dispensadas.

A nivel interno el dispensador tiene como su núcleo central un Arduino MEGA, en el cual está estructurado todo el sistema central de control y este también tiene la función de manejar 3 módulos como periféricos de entrada y salida:

- Módulo RTC.
- Módulo tarjeta SD.
- NodeMCU ESP8266.

El módulo RTC será el encargado de llevar el tiempo, la hora y la fecha del dispensador, lo que permite llevar las pautas al programa central. El RTC también posibilitará programar el set de alarmas necesario para dispensar las pastillas.

El NodeMCU ESP8266, a través de sus pines digitales, permite leer datos enviados del Arduino acerca del estado de los recipientes de los medicamentos. Dentro del programa central, se puede destacar la creación del monitor web; el cual es programado en HTML y tiene la funcionalidad hacer actualizaciones cada vez que detecte algún cambio en la entrega de medicamentos.

El módulo SD trabaja en paralelo con el NodeMCU ESP8266 y tiene la funcionalidad de almacenar en una tarjeta micro SD o SD en un archivo con extensión .txt o .csv el detalle del día, el mes y la hora a la cual cada medicamento es entregado por cada dispensador. Todos estos datos pueden ser posteriormente graficados o exportados a una computadora o dispositivo móvil con acceso a tarjeta SD o micro SD.

Como periféricos de salida, el Arduino MEGA también maneja 4 solenoides, los cuales se activan para expulsar el medicamento que va ser entregado de acuerdo con el recipiente que corresponda; a su vez, también, se activa un *buzzer*, el cual genera un sonido para indicar al paciente que la pastilla fue dispensada.

En las figuras siguientes, usadas como ilustración, y algunas otras ubicadas en los anexos se puede ver a la Sra. América Retana retirando sus medicamentos de uno de los recipientes del dispositivo sin ningún inconveniente una vez que fue alertada por la alarma. En la otra fotografía, se muestra a la Dra. Vanessa Badilla haciendo uso del dispositivo para la atención de uno de sus pacientes.

Figura 15. Sra. América Retana. Usuaria del dispensador de medicamentos



Fuente: Rolando Retana Badilla

Figura 16. Dra. Vannesa Badilla Fallas. Usuaria del dispensador



Fuente: Rolando Retana Badilla

5.3. COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN

A nivel de costos, en el siguiente cuadro, se muestra el detalle de los componentes utilizados y, los costos de operación y fabricación.

Tabla 5. Desglose de costos del dispensador por unidad

Rubro	Cantidad	Precio
Solenoides	4	\$6.95
Arduino MEGA	1	\$18.95
NodeMCU ESP8266	1	\$17.95
Módulo RTC	1	\$9.95
Módulo SD	1	\$4.95
Buzzer	1	\$1.95
LCD Display	1	\$13.95
Otros componentes menores	-	\$8
Costos de fabricación	-	\$33
TOTAL:	1	\$136.5

Fuente: Rolando Retana Badilla

A nivel de costos de operación, para implementar la sincronización del dispositivo o los dispositivos con el monitor web, se debe de contar con una red local de internet en el establecimiento o salón seleccionado, así como acceso a electricidad para lograr el funcionamiento en su totalidad de todas las funciones que el dispositivo puede brindar.

Estos requerimientos en la actualidad se encuentran en los lugares en donde el sistema dispensador de medicamentos llegaría a innovar, por lo cual no son ningún inconveniente ni impedimento para el funcionamiento del dispositivo.

5.3.1 VAN Y TIR

El VAN y el TIR son dos herramientas procedentes de las matemáticas financieras que permiten evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión.

El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto; para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, quedaría alguna ganancia. Si el resultado es positivo, el proyecto es viable.

Basta con encontrar el VAN de un proyecto de inversión para saber si es viable o no. El VAN también permite determinar cuál proyecto es el más rentable entre varias opciones de inversión. Incluso, si alguien ofrece comprar el producto, con este indicador se puede determinar si el precio ofrecido está por encima o por debajo de lo que generaría el no venderlo.

La fórmula del VAN es:

$$\text{VAN} = \text{BNA} - \text{Inversión}$$

En el caso del dispensador de medicamentos, suponiendo que se da la implementación en un salón con 25 pacientes o en un hogar de ancianos con 25 internados de forma anual, se obtiene los siguientes resultados:

El BNA es el valor anual del flujo de caja, el cual también consta de un valor TD que se descuenta del valor anual del flujo. Este valor es la tasa de oportunidad, rendimiento o rentabilidad mínima que se espera ganar. En este proyecto, se utilizará el 15%. Por lo tanto, el TD anual esperado es de \$511.8 dólares. Este será el valor que se empleará para el cálculo del VAN.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Flujo de caja neto	\$3412	\$3412	\$3412	\$3412	\$3412

En valor TD del dispensador anualmente será del 15% y la inversión será de \$136 dólares, lo cual incluye componentes y mano de obra. Este es un precio que se compara con dispensadores que actualmente se ofrecen en el mercado, como se presentó en las tablas comparativas.

El beneficio neto nominal sería de \$17060 (\$3412 + \$3412 + \$3412 + \$3412 + \$3412), y la utilidad lógica sería \$14501 (\$17060 – \$2559), pero este beneficio o ganancia no sería real (solo nominal) porque no se estaría considerando el valor del

dinero en el tiempo, por lo que cada periodo debe ser actualizado a través de una tasa de descuento (tasa de rentabilidad mínima que se espera ganar).

De esa manera, con un análisis a 5 años para el dispensador de medicamentos, se tendría los siguientes resultados para el valor del VAN:

$$VAN = \left[\frac{\$3412}{(1+0.15)^1} + \frac{\$3412}{(1+0.15)^2} + \frac{\$3412}{(1+0.15)^3} + \frac{\$3412}{(1+0.15)^4} + \frac{\$3412}{(1+0.15)^5} \right] - \$2559$$

$$VAN = (\$11454.09 - \$2559)$$

$$VAN = \$8895.09$$

Si el análisis se realiza a 36 meses o 3 años, los resultados obtenidos son los mostrados a continuación:

$$VAN = \left[\frac{\$3412}{(1+0.15)^1} + \frac{\$3412}{(1+0.15)^2} + \frac{\$3412}{(1+0.15)^3} \right] - \$1535.4$$

$$VAN = (\$7790.36 - \$1535.4)$$

$$VAN = \$6254.96$$

Una vez analizado el resultado, se halla que el producto diseñado al término de 3 y 5 años va ser un proyecto rentable, de acuerdo con la siguiente convención establecida.

$VAN > 0 \rightarrow$ el proyecto es rentable.

$VAN = 0 \rightarrow$ el proyecto es rentable también, porque ya está incorporado ganancia de la TD.

$VAN < 0 \rightarrow$ el proyecto no es rentable.

Pasando a la parte de la TIR, esta es la tasa de descuento (TD) de un proyecto de inversión que permite que el BNA sea igual a la inversión (VAN igual a 0). La TIR es la máxima TD que puede tener un proyecto para que sea rentable, pues una mayor tasa ocasionaría que el BNA sea menor que la inversión (VAN menor que 0).

Entonces para hallar la TIR se necesitan:

- Tamaño de inversión.
- Flujo de caja neto proyectado.

Para dar con la TIR, se utiliza la misma fórmula del VAN; solo que, en lugar de encontrar el VAN (el cual se reemplaza por 0), se halla la tasa de descuento:

Para el caso de la TIR, de igual manera se va a buscar los valores para la inversión a 5 y 3 años respectivamente:

- Cálculo de la TIR a 5 años:

$$VAN = BNA - Inversión$$

$$0 = \left[\frac{\$3412}{(1 + TD)^1} + \frac{\$3412}{(1 + TD)^2} + \frac{\$3412}{(1 + TD)^3} + \frac{\$3412}{(1 + TD)^4} + \frac{\$3412}{(1 + TD)^5} \right] - \$2559$$

$$TD = 19\%$$

$$TIR = 19\%$$

- Cálculo de la TIR a 3 años:

$$VAN = BNA - Inversión$$

$$0 = \frac{\$3412}{(1 + TD)^1} + \frac{\$3412}{(1 + TD)^2} + \frac{\$3412}{(1 + TD)^3} - \$1535.4$$

$$TD = 14\%$$

$$TIR = 14\%$$

Tomando en cuenta el análisis anterior, se puede concluir que a nivel de rentabilidad no solo el dispensador va a ofrecer una serie de facilidades y funcionalidades modernas, además de un buen precio para el usuario, sino que también a nivel de negocio sería una propuesta muy rentable en un periodo de 5 años, en donde además de recuperar la inversión se obtendrían ganancias significativas a nivel de producción.

Los más relevantes beneficios e impacto que el dispositivo pretende alcanzar son los siguientes:

- Facilitar los procesos de entrega de medicamentos en los hospitales, las clínicas y los hogares de ancianos.

- Brindar al usuario un dispensador de medicamento con un precio menor a los ofrecidos en la actualidad en el mercado, pero con una mayor cantidad de aportes y funcionalidades.
- Minimizar el error humano a la hora de manipular los medicamentos que pueda dar como resultado la omisión en la toma de algún medicamento o la toma de una pastilla o dosis errónea.
- Automatizar el proceso utilizado en la actualidad en los hospitales y permitir mantener una base de datos con el detalle de todos los medicamentos dispensados para cada paciente.
- Simplificar las tareas de los médicos y las enfermeras de los hospitales y las clínicas, así como de los cuidadores de los hogares de ancianos a través de la automatización de procesos.

5.4. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES LLEVADAS A CABO

Tabla 6. Cronograma de trabajo del dispensador

Fecha	Horas	Participante	Situación actual	Actividad	Objetivo	Resultado	Evolución
Mayo-Junio	2 meses	Rolando Retana	Diseño del informe escrito capítulo 1, 2 y 3	Seminario Universitario	Diseño informe escrito	Capítulo 1, 2 y 3 aprobado	Seminario completado
Julio	1 mes	Rolando Retana	Investigación de las posibles propuestas para el diseño del proyecto	Lectura y búsqueda de las alternativas disponibles en el mercado	Presentar una propuesta formal al tutor	Diseño de la propuesta basada en la información recolectada	Creación de un diseño a mano alzada del dispositivo
4 agosto	2 horas	Rolando Retana	Revisión general del proyecto y documento del seminario. Discusión sobre los objetivos del proyecto	Tutoría 1	Discusión general sobre la propuesta del proyecto	Se agregan 2 nuevos objetivos específicos y se corrige el general	Modificación del informe escrito
10 agosto	1 semana	Rolando Retana	Compra de los componentes principales para la fabricación del circuito	Búsqueda de precios y utilidades de los componentes disponibles	Adquirir los productos al menor precio posible	Componentes comprados	Se trabaja la propuesta conforme a los componentes comprados

Fecha	Horas	Participante	Situación actual	Actividad	Objetivo	Resultado	Evolución
16 agosto	2 días	Rolando Retana	Búsqueda del diseño del circuito temporizador	Análisis de códigos y funcionalidades requeridas	Realizar el posible montaje del circuito	Se encontraron 3 códigos q se pueden acoplar a lo requerido	Se trabaja en el posible montaje a realizar
25 agosto	2 días	Rolando Retana	Búsqueda acerca de las funcionalidades del RTC DS1307	Estudio de las funcionalidades del módulo RTC	Búsqueda de códigos usando el RTC DS1307	Se compiló 2 posibles códigos de prueba	Se trabaja en un posible uso del RTC para el circuito de reloj
16 Sep.	1 hora y 30 minutos	Rolando Retana	Simplificación de diagramas de flujos y revisión del cronograma de tareas	Tutoría 2	Discusión acerca de la reestructuración del prototipo	Revisión de diagramas de flujo	Definido el modelo del prototipo
29 Sep.	1 hora y 10 minutos	Rolando Retana	Posibilidad de usar el módulo WiFi ESP8266	Tutoría 3	Lograr comunicación Arduino-WiFi-web server	80% del capítulo 4 completado	Avance significativo en el código del reloj

Fecha	Horas	Participante	Situación actual	Actividad	Objetivo	Resultado	Evolución
06 octubre	1 hora	Rolando Retana	Utilización del módulo RTC DS1307 para la parte horaria y alarmas	Tutoría 4	Concluir el capítulo 4 de la tesina	Implementación en el informe de mejoras propuestas por la Dra. Angie Blanco	Prototipo del circuito de reloj funcionando usando el RTC
13 octubre	2 horas	Rolando Retana	Se revisa el documento hasta el capítulo 4	Tutoría 5	Finalizar el código del reloj del prototipo y trabajar la programación de alarmas	Montaje del circuito del reloj para probar su funcionalidad	Avance en la parte del prototipo explicado en el trabajo escrito
15 octubre	8 horas	Rolando Retana	Programación del código para lograr la implementación de alarmas en el dispositivo	Diseño, testeo y compilación de los códigos anteriormente encontrados	Lograr la activación y programación de una alarma	Montaje y prueba de los códigos realizados	Primer prototipo de circuito de alarmas en prueba

Fecha	Horas	Participante	Situación actual	Actividad	Objetivo	Resultado	Evolución
17 octubre	4 horas	Rolando Retana	Configuración y montaje de la pantalla LCD	Búsqueda de información para el montaje de la pantalla usando Arduino	Desplegar la hora y las alarmas programadas al usuario	Montaje y prueba de los códigos para la LCD	Montaje de la LCD completado
20 octubre	1 hora	Rolando Retana	Configuración de alarmas con el módulo RTC	Tutoría 6	Lograr la programación simultanea de hasta 4 alarmas	Montaje e implementación de mejoras al código	Se decide trabajar la parte del WiFi con el NodeMCU
21 octubre	5 días	Rolando Retana	Implementación del NodeMCU	Actualización del firmware y habilitación de puertos para Windows del NodeMCU	Lograr conexión a internet por medio del WiFi del NodeMCU	Descarga y prueba del <i>firmware</i> y librerías del NodeMCU	Prueba del primer circuito prototipo para conexión WiFi
1 nov.	1 día	Rolando Retana	Prueba del primer circuito de conexión WiFi en el NodeMCU	Programación y prueba de códigos	Encender y apagar un LED desde la web	Conexión WiFi lograda	Circuito WiFi avanzado

Fecha	Horas	Participante	Situación actual	Actividad	Objetivo	Resultado	Evolución
10 nov.	1 hora y 15 minutos	Rolando Retana	Análisis del circuito diseñado para la conexión WiFi	Tutoría 7	Discutir sobre el diseño físico del prototipo	Diseño propuesto aprobado	Los circuitos RTC y WiFi ya funcionan bien por separado
12 nov.	2 días	Rolando Retana	Fabricación del prototipo en acrílico	Construcción del prototipo	Lograr la construcción del prototipo para trabajar el montaje	Prototipo construido y listo para montaje de circuitos	Avance en el diseño de los circuitos que serán montados en el prototipo
15 nov.	3 días	Rolando Retana	Diseño de los menús de selección y navegación del dispensador	Programación y prueba de códigos	Lograr la navegación entre el modo reloj y el modo programación	Montaje y prueba de los códigos realizados	Circuito completado en un 90%
21 nov.	1 hora y 30 minutos	Rolando Retana	Detalles técnicos del montaje del prototipo	Tutoría 8	Lograr la sincronización de los códigos realizados	Circuitos listos para montaje Discusión sobre el diseño del monitor web	Conexión entre <i>webserver</i> y el NodeMCU lograda

Fecha	Horas	Participante	Situación actual	Actividad	Objetivo	Resultado	Evolución
22 nov.	10 horas	Rolando Retana	Diseño del monitor web	Búsqueda de alternativas de programación para web	Lograr la creación de un visualizador web manejado desde Arduino	Se trabaja sobre un código base y se logra la creación de la página	Sincronización idónea entre el NodeMCU y la web
28 nov.	1 hora y 45 minutos	Rolando Retana	Revisión de la página web y los circuitos sincronizados	Tutoría 9	Discusión sobre detalles de montaje y sincronización mínimos	Se logra una funcionalidad básica del prototipo	Se obtiene el correcto funcionamiento de los circuitos
29 nov.	6 horas	Rolando Retana	Sincronización de los circuitos RTC, NodeMCU y web server	Búsqueda de alternativas para almacenar datos en memoria SD	Crear un archivo Excel con los datos desplegados en el monitor web	Se consigue y prueba un código para memoria SD	Se logra la sincronización de los circuitos junto con la tarjeta SD
2 Dic	4 horas	Rolando Retana	Montaje de los circuitos en el prototipo físico diseñado	Ubicación de los módulos y los circuitos dentro del acrílico	Lograr el funcionamiento después del montaje realizado	Prototipo y montaje funcionando a la perfección	Se logra el funcionamiento óptimo con la web

Fecha	Horas	Participante	Situación actual	Actividad	Objetivo	Resultado	Evolución
5 dic.	45 minutos	Rolando Retana	Revisión de detalles finales del informe escrito	Tutoría 10	Trabajar en los últimos detalles solicitados por el tutor	Proyecto funcionando en buenas condiciones	Trabajo escrito y prototipo completado en un 80%
8 dic.	4 horas	Rolando Retana	Trabajo en los últimos capítulos y detalles del informe escrito	Redacción de los ítems pendientes	Finalizar informe escrito	Capítulo 5 completado y 6 en progreso	Depuración de errores del prototipo
13 Dic	1 hora y 30 minutos	Rolando Retana	Revisión final del prototipo	Discusión sobre alcances y limitaciones del proyecto	Entregar documentación para última revisión	Arreglar algunos detalles finales del informe escrito	Funcionamiento del prototipo aprobado
14 Dic	4 horas	Rolando Retana	Finalización de correcciones informe escrito	Redacción de las correcciones en el informe escrito	Entregar el informe para lector	Informe completado	Trabajo finalizado

Fuente: Rolando Retana Badilla

5.5. DETECCIÓN DE LAS DEBILIDADES O CARENCIAS

Dentro de las debilidades o carencias que se encontraron para el prototipo, se pueden mencionar las siguientes:

- Impedimento para dispensar medicamentos líquidos o inyectables, solamente trabaja medicamentos vía oral.
- Impedimento para dispensar medicamentos vía oral que tengan un tamaño distinto al estándar debido a que los recipientes no son ajustables.
- Imposibilidad de usar el monitor web si no se tiene una conexión a internet estable.

5.6. PROPUESTA DE ACCIONES DE MEJORAMIENTO

Después de ver las debilidades o las carencias del proyecto, se puede trabajar en la propuesta de las siguientes mejoras:

- Trabajar en la implementación de un módulo o sistema de válvulas de presión que permita dispensar dosis para los medicamentos líquidos.
- Ajustar recipientes para el almacenamiento de los medicamentos ajustables, los cuales permitan adaptarse a la mayoría de las pastillas disponibles en el mercado.
- Trabajar en una alternativa de respaldo que permita trabajar el monitor web, aunque no exista conexión a internet. Una de las propuestas es el uso de radiofrecuencia o Bluetooth
- Agregar opciones de navegación en el dispensador que permitan al usuario acceder a las funciones antes propuestas.
- Mejorar el diseño estético del monitor web o mudarlo a una página web que tenga opciones de encriptación de datos y despliegue de gráficos y estadísticas.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Después de realizado el trabajo y tomando como punto de partida los objetivos específicos y el objetivo general del proyecto propuestos al inicio del informe, es posible concluir que se logró automatizar satisfactoriamente el proceso de medicación y a su vez se pudo brindar una alternativa a los hospitales, las clínicas y los hogares de ancianos para una mejor atención y de una manera más ágil, así como también facilitar la toma de medicamentos a las personas farmacodependientes.

Además, el sistema pudo brindar facilidades y mejoras al sistema utilizado actualmente, brindando la posibilidad de contar con un monitor web centralizado y un sistema de almacenamiento de datos con el desglose exacto y en tiempo real de los medicamentos tomados por cada paciente.

Se identificaron los principales problemas generados por la toma incorrecta de medicamentos o la toma a destiempo, así como también las principales enfermedades que requieren la medicación constante. En la parte de restricciones médicas, el prototipo intentó en la medida de lo posible apegarse a las directrices que actualmente rigen el mercado en esta área.

El proyecto permitió conocer mejor las metodologías utilizadas en la actualidad para la distribución y el control de los medicamentos y ver el impacto logrado por medio de la automatización de tareas y el uso de la tecnología en el campo de la medicina. Tanto el prototipo realizado como el monitor web lograron brindar al usuario una herramienta de gran utilidad y eficiencia, pero de fácil

programación y acceso. Esto fue posible trabajando en la modernización de procesos, adaptando la mayoría de funciones y controles a la parte de *software* y dejando la parte de *hardware* simplificada al máximo y enfocada más en la parte estética, lo cual permite que el usuario pueda fácilmente entender el funcionamiento del dispositivo y logre una adaptación idónea.

Para finalizar, el dispositivo también logró ser fabricado y puesto en funcionamiento con un presupuesto bastante bajo; lo cual deja una alta rentabilidad y permite que el sistema dispensador de medicamento tenga un precio de mercado competitivo.

6.2. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones encontradas para el prototipo luego del trabajo elaborado son las siguientes:

- 1) Obtener los permisos correspondientes para poder realizar pruebas con el dispensador con pacientes reales en una primera instancia en hogares de ancianos y, posteriormente, en hospitales; de esa manera, se tendrá una realimentación acerca del funcionamiento del dispositivo.
- 2) Discutir los resultados obtenidos con especialistas en el área de la salud para conocer de ellos posibles correcciones o puntos de mejora para una nueva versión del prototipo.

- 3) Habilitar sensores de movimiento que permitan asegurar que el paciente tomó la pastilla del recipiente en el momento que fue dispensada para evitar alguna anomalía.
- 4) Diseñar una aplicación móvil conectada al monitor web que permita la visualización de datos de una forma más simple y concisa, y que brinde otra herramienta más a los usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Blanco, A. (2016). Doctora y enfermera, Hospital San Juan de Dios. Comunicación personal, 2 de septiembre 2016.
- Boylestad, Nashelsky. Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos (8ª ed.) Pearson Prentice Hall.
- Conexión memorias SD y micro SD (2016). Extraído el 8 de diciembre del 2016 del sitio web: <http://blog.filipeflop.com/modulos/cartao-sd-com-arduino.html>
- Driver NodeMCU. (2016). Extraído el 20 de noviembre del 2016 del sitio web: <https://odd-one-out.serek.eu/esp8266-nodemcu-getting-started-hello-world/>
- DS1307 Configuración de alarmas. (2016). Extraído el 5 de septiembre del 2016 del sitio web: <http://www.tuelectronica.es/tutoriales/arduino/reloj-alarma-con-arduino.html#>
- Enfermedades crónicas. (2016). Extraído el 2 de junio del sitio web de la OMS: http://www.who.int/topics/chronic_diseases/es/
- Madrigal, P. (2009). Farmacéutica LAYAFA (Laboratorio de Análisis y Asesoramiento Farmacéutico), UCR.

- Manejo de HTML usando Arduino para diseños web (2016). Extraído el 2 de diciembre del 2016 del sitio web: <http://www.w3schools.com/>
- Manejo de puertos NodeMCU (2016). Extraído el 22 de noviembre del 2016 del sitio web: <http://internetofthinking.blogspot.com/2015/12/control-led-from-webserver-using.html?m=1>
- Memorias SD y micro SD. (2016). Extraído el 8 de diciembre del 2016 del sitio web: http://www.naylampmechatronics.com/blog/38_Tutorial-Arduino-y-memoria-SD-y-micro-SD-.html
- NodeMCU firmware. (2016). Extraído el 22 de noviembre del 2016 del sitio web: <https://github.com/nodemcu/nodemcu-firmware/releases>
- Productividad. (2016). Extraído el 28 de mayo de 2016 del sitio web Wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/Productividad>
- Renta per cápita. (2016). Extraído el 28 de mayo de 2016 del sitio web Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Renta_per_c%C3%A1pita
- RTC módulo DS1307. (2016). Extraído el 3 de septiembre del 2016 del sitio web: <http://www.abcelectronica.net/proyectos/con-microcontrolador/artc/>

- Solís, M y otros. (2007). *Salud para todos* (24ª ed.). C.C.S.S
- The United States pharmacopeia convention (2016). Extraído el 30 de mayo de 2016 del sitio web de The United States Pharmacopeia: <http://www.usp.org/>
- Tocci, R; Widmer, N; Moss, G. (2007). *Sistemas Digitales, Principios y Aplicaciones* (10ª ed.). Pearson Prentice Hall.
- U.S Food and Drug administration. (2016). Extraído el 30 de mayo de 2016 del sitio web de Food and Drug administration: <http://www.fda.gov/>

ANEXOS

Anexo 1. Fotos sobre ideas para crear el dispositivo

Figura 17. Medicamentos 1



Fuente: Foto Rolando Retana Badilla

Figura 18. Medicamentos 2

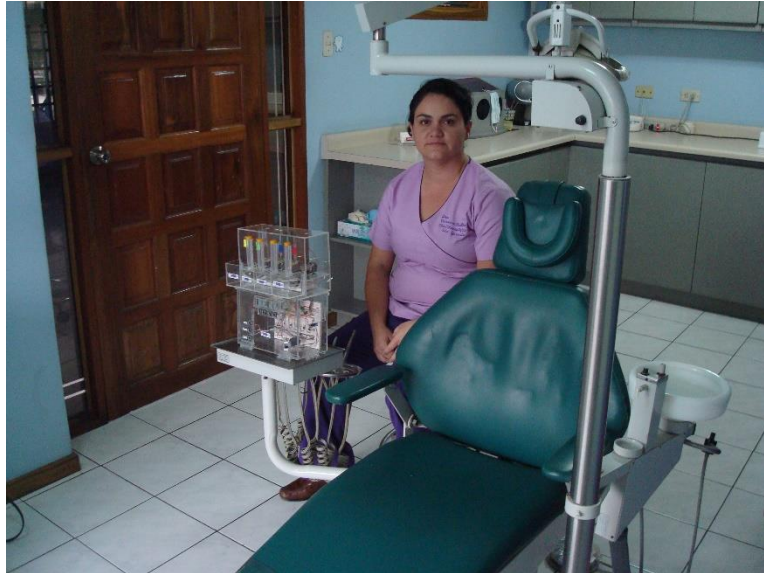
Fuente: Foto Rolando Retana Badilla

Figura 19. Panel propuesto

Fuente: Foto Rolando Retana Badilla

Anexo 2. Fotos sobre usuarios del dispositivo

Figura 20. Dra. Vannesa Badilla Fallas, Clínica San Gerardo



Fuente: Rolando Retana Badilla

Figura 21. Dra. Vannesa Badilla Fallas, Clínica San Gerardo 2



Fuente: Rolando Retana Badilla

Figura 22. Sra. América Retana Castro



Fuente: Rolando Retana Badilla

Figura 23. Sra. América Retana Castro 2



Fuente: Rolando Retana Badilla

APÉNDICES

Preguntas realizadas a la Dra. Angie Blanco

¿Existe algún número promedio de la cantidad de medicamentos que se les suministra a los pacientes internados?

¿Cuál es el procedimiento utilizado para entregar los medicamentos a estos pacientes?

¿Qué tan eficiente es el procedimiento anteriormente mencionado?

¿Qué experiencia ha tenido usted utilizando el procedimiento anterior?

¿Cuáles son las principales deficiencias o problemas que usted ha observado al utilizar este procedimiento?

¿En alguna ocasión se ha presentado alguna confusión entre los medicamentos de los pacientes o se ha entregado alguna dosis incorrecta?

¿Existe alguna base de datos en donde se almacena la información de los medicamentos suministrado a cada internado?

¿Cree usted que el sistema dispensador de medicamentos sería una buena alternativa para los hospitales?

¿Qué ventaja cree usted que podría aportar el sistema dispensador de medicamentos en comparación con el sistema actual?

¿Qué desventaja cree usted que tiene el sistema dispensador de medicamentos en comparación con el sistema actual?

¿Cree usted beneficioso que exista una base de datos con la información detallada de los medicamentos tomados y pendientes de cada paciente?

¿Cree usted que la automatización de parte del proceso trabajado en la actualidad traerá beneficio a los pacientes?

En términos generales ¿cómo considera usted el proyecto propuesto?