

**DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO INTELIGENTE DE ASISTENCIA PARA LA
ADMINISTRACIÓN DE MEDICAMENTOS EN ADULTOS MAYORES: UN ESTUDIO
PILOTO**

ING. JAVIER RICARDO PARADA CALDERÓN

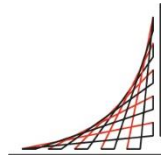
MAESTRÍA EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

Tutores

**MSc Pedro Aya Parra
MSc Jefferson Sarmiento Rojas**



**Universidad del
Rosario**



**ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA BIOMÉDICA
BOGOTÁ D.C
2021**

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	10
1.1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.2.	JUSTIFICACIÓN.....	14
1.3.	SOLUCIONES DISPONIBLES ACTUALES PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA MEDICACIÓN	14
1.4.	TRABAJOS RELACIONADOS.....	16
1.5.	OXIMETRÍA DE PULSO	18
1.6.	INTERNET DE LAS COSAS (IOT).....	19
1.7.	APLICACIÓN DE INTERNET DE LAS COSAS EN LA ASISTENCIA SANITARIA	21
2.	OBJETIVOS.....	23
2.1.	GENERAL.....	23
2.2.	ESPECÍFICOS.....	23
3.	METODOLOGÍA	24
3.1.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	24
3.2.	RECOPIACIÓN DE LOS REQUISITOS DE LOS USUARIOS.....	26
3.3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.....	27
3.4.	ARQUITECTURA DEL PASTILLERO	27
3.4.1.	CAPA DE PERCEPCIÓN.....	29
3.4.2.	CAPA DE TRANSMISIÓN	40
3.4.3.	CAPA DE SERVICIOS.....	41
3.4.4.	CAPA DE APLICACIÓN.....	44
3.4.5.	PRUEBAS DE DESEMPEÑO	46
3.5.	PRUEBA DE VALIDACIÓN Y USABILIDAD	48
3.6.	NIVEL DE MADUREZ TECNOLÓGICO (TRL) DEL PROTOTIPO PROPUESTO	49
4.	RESULTADOS.....	51
4.1.	SELECCIÓN DE LOS ESTUDIOS	51

4.2	ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS Y CONSTRUCCIÓN DE LOS ANTECEDENTES ...	51
4.2.	ANÁLISIS DE LA OPINIÓN DE LOS CUIDADORES DE ADULTOS MAYORES	52
4.3.	RESULTADOS DEL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO FINAL	57
4.4.	PRUEBAS DE DESEMPEÑO	61
4.3	RESULTADOS PRUEBAS DE VALIDACIÓN Y USABILIDAD	61
5.	DISCUSIÓN	63
6.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	64
7.	CONCLUSIONES	65
8.	BIBLIOGRAFIA	67
9.	ANEXOS	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sensor de pulso fotoeléctrico. Tomado de [29].	19
Figura 2. Implantación de IoT por segmentación. Tomado de [6].	20
Figura 3. Dispositivos IoT conectados. Tomado de [31].	20
Figura 4. Diseño centrado en el usuario. Fuente propia.	24
Figura 5. Protocolo de búsqueda. Fuente propia.	25
Figura 6. Tipos de arquitectura IoT. Fuente propia.	28
Figura 7. Capas del sistema. (1) Percepción, (2) Transmisión, (3) Servicios, (4) Aplicación. Fuente propia.	29
Figura 8. WeMos D1 mini ESP8266 WiFi. Figura tomada de [37].	30
Figura 9. Motor paso a paso 28BYJ-48. Figura tomada de [39]	30
Figura 10. Micro servo Tower pro MG90S. figura tomada de [40]	30
Figura 11. Sensor de pulsioximetría MAX30102. Figura tomada de [30].	31
Figura 12. Sensor SHARP GP2YOA51. Figura tomada de [43].	31
Figura 13. Modulo lector de huella. Figura tomada de [44]	32
Figura 14. Pantalla OLED. Figura tomada de [45]	32
Figura 15. Buzzer. figura tomada de [46]	32
Figura 16. modulo DC-DC y batería de litio.	33
Figura 17. Esquema general para la lectura de pulsioximetría. Fuente propia.	33
Figura 18. Esquema general para el control mecánico del pastillero. Fuente propia.	34
Figura 19. primera versión del pastillero electrónico. Fuente propia.	34
Figura 20. Planos mecánicos del diseño realizado en Tinkercad.	35
Figura 21. impresora UltiMaker	35
Figura 22. Prototipos iniciales primera versión del prototipo.	36
Figura 23. Prototipos finales primera versión del prototipo.	36
Figura 24. Ensamblaje del dispositivo en su primera versión.	37
Figura 25. Modificaciones hechas al prototipo inicial.	37
Figura 26 ensamblaje del dispositivo en su segunda versión.	38
Figura 27. Capa de transmisión. Fuente propia.	41
Figura 28. Flujos del código. Fuente propia.	42
Figura 29. salida obtenida del nodo "Fecha y hora actual".	42
Figura 30. Base de datos en tiempo real. Fuente propia.	43
Figura 31. Interfaz de usuario del Node-RED. Fuente propia.	44

Figura 32 ejemplo de la interfaz de diseñador. Diseño de la pantalla de bienvenida de la aplicación.	44
Figura 33. Ejemplo de la programación en bloque de una de las pantallas (screen1) de la aplicación desarrollada.	45
Figura 34. Interfaz de conexión Wifi. Fuente propia.	46
Figura 35 Prueba de dispensación (sensor activo). Fuente propia.	47
Figura 36 Prueba de dispensación (sensor inactivo). Fuente propia.	47
Figura 37. Comparación de medidas entre sensor MAX30100 y sensor comercial. Fuente propia.	48
Figura 38. Niveles de madurez tecnológica (TRL).Tomado de [52].	49
Figura 39. Resultados de búsqueda de artículos de literatura revisada académicamente. Fuente propia.	51
Figura 40. Diagrama del circuito del dispositivo. Fuente propia.	57
Figura 41. Foto del circuito interno.	58
Figura 42. prototipo desarrollado.	59
Figura 43. De izquierda a derecha. Bienvenida a la app, pantalla para la validación de usuario, pantalla de registro de usuario	60
Figura 44. De izquierda a derecha. Pantalla de inicio de sesión, pantalla de configuración de horarios, pantalla para el monitoreo de la oximetría de pulso.	60
Figura 45. diagrama de resultados prueba de usabilidad	62
Figura 46. Cuidadora probando el dispositivo.	75
Figura 47 Prueba de usabilidad - Rta 1	82
Figura 48 Pruebas de usabilidad - Rta 2	82
Figura 49. Pruebas de usabilidad - Rta 3.	82
Figura 50. Pruebas de usabilidad - Rta 4.	82
Figura 51. Pruebas de usabilidad - Rta 5.	82
Figura 52. Pruebas de usabilidad - Rta 6.	83
Figura 53. Pruebas de usabilidad - Rta 7.	83
Figura 54. Pruebas de usabilidad - Rta 8.	83
Figura 55. Pruebas de usabilidad - Rta 9.	83
Figura 56. Pruebas de usabilidad - Rta 10.	84
Figura 57. Pruebas de usabilidad - Rta 11.	84
Figura 58. Pruebas de usabilidad - Rta 12.	84
Figura 59. Pruebas de usabilidad - Rta 13.	84

Figura 60. Pruebas de usabilidad - Rta 14.

85

Figura 61. Comentario de las pruebas de usabilidad.

85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Soluciones disponibles vs Funcionalidades	15
Tabla 2. Género de la encuesta	52
Tabla 3. ¿Qué relación tiene con el adulto mayor?	52
Tabla 4. ¿Qué dificultades se presentan con el manejo de medicamentos?	53
Tabla 5. ¿Cómo recuerda que debe tomar sus medicamentos?	53
Tabla 6. ¿Cuántas pastillas debe tomar semanalmente?	54
Tabla 7. ¿tiene algún método para verificar si el adulto mayor tomo sus medicamentos de manera correcta?	54
Tabla 8. ¿suele llevar o consumir medicamentos fuera de su hogar?	55
Tabla 9. ¿Conoce o ha utilizado un pastillero electrónico?	55
Tabla 10. ¿Qué tipo de funcionalidades debería integrar el pastillero electrónico?	56
Tabla 11. ¿Qué tipo de alertas debería integrar el pastillero electrónico?	56

TABLA DE ANEXOS

Anexo 1. Criterios de selección de artículos	70
Anexo 2 .preguntas cuestionario aplicado	71
Anexo 3. Algoritmo de funcionamiento lectura sensor. Fuente propia.	73
Anexo 4. Algoritmo de funcionamiento dispensación de medicamentos. Fuente propia.	74
Anexo 5. Entorno de desarrollo de Node RED.	75
Anexo 6. Manual de usuario del prototipo.	75
Anexo 7. Prueba de usabilidad y análisis de las respuestas	75
Anexo 8. Resumen de las tecnologías principales y secundarias y actividades supervisadas. Fuente propia	76
Anexo 9. Resumen de las características principales, ventajas y limitaciones. Fuente propia.	77
Anexo 10. . Resumen de los estudios incluidos sobre los componentes electrónicos, sistema de alimentación y el tipo de comunicación utilizados. Fuente propia.	78
Anexo 11.Respuesta comité de ética	80
Anexo 12.Pruebas funcionales manuales	81
Anexo 13. Comparación entre sensor MAX30100 y pulsioxímetro comercial	81
Anexo 14. Resultados y análisis del cuestionario de usabilidad aplicado.	81

RESUMEN

Introducción: En general, los adultos mayores con múltiples afecciones crónicas toman muchos medicamentos; Sin embargo, el incumplimiento hacia la medicación es un problema frecuente y complejo, ya que es muy común que los adultos mayores se olviden de tomar sus medicamentos o que no recuerden si los ha tomado. Probablemente estos hechos se deban a procesos normales del envejecimiento, el descuido, el desconocimiento de la importancia del tratamiento para mejorar la salud o el desconocimiento de como tomar los medicamentos. No tomar los medicamentos a tiempo puede provocar un aumento en los costos de la atención médica y hospitalización, ya que puede afectar seriamente la salud de los adultos mayores, incluido el retraso en la recuperación, la aparición de nuevas enfermedades y en el mayor de los casos la muerte.

Objetivo: Este proyecto presenta el diseño y desarrollo de un prototipo electrónico para la dispensación de medicamentos de los adultos mayores, basado en el uso de Internet de las cosas (IoT), que permite administrar los regímenes de medicación independientemente de la ubicación del paciente, ya que deja configurar remotamente los horarios de medicación desde una aplicación móvil. Además, este dispositivo integra un sistema que permite monitorear la frecuencia cardiaca y el nivel de oxígeno en la sangre (Spo2) en tiempo real desde cualquier lugar.

Metodología: Para la realización del proyecto se adoptó un enfoque de diseño centrado en el usuario, que se utiliza para el diseño de tecnologías de asistencia y rehabilitación. Este enfoque de diseño se realiza a través de un modo proactivo en el cual se le da mucha importancia a las necesidades y requerimientos de los usuarios finales. El diseño centrado en el usuario está conformado por cuatro fases principales: revisión de la literatura, recopilación de los requerimientos de los usuarios, diseño y construcción y pruebas de validación y usabilidad.

Resultados: En esta sección se presentan los resultados obtenidos del análisis de los artículos relacionados con desarrollos de pastilleros electrónicos, donde se pudo extraer información clave que sirvió para el desarrollo de este proyecto; Se presentan los resultados del diseño y la construcción del prototipo final; además, se recopilan las pruebas realizadas al dispositivo desarrollado, a través de tablas de datos con la estadística correspondiente a las pruebas funcionales realizadas.

Conclusiones: Se logró construir un prototipo funcional de un sistema para la administración automática de medicamentos en adultos mayores, que puede ser configurado remotamente a través de una aplicación para Android. El dispositivo cuenta con alarmas audibles, sonoras y de notificación vía mensaje de texto para indicar que se deben tomar los medicamentos. Además, el sistema incorpora un sensor de oximetría que permite medir dos variables fisiológicas como la frecuencia cardiaca y la saturación de oxígeno en la sangre (Spo2), que pueden ser monitoreadas a través de una dirección IP o la misma aplicación para Android.

1. INTRODUCCIÓN

En varios estudios sobre el envejecimiento de la población se encontró que la esperanza de vida de las personas ha mejorado y se espera que el número de adultos mayores (personas mayores de 60 años), aumente significativamente en la mayoría de los países y regiones. A medida que las personas envejecen son más propensas a desarrollar enfermedades crónicas, discapacidad y una mayor hospitalización.

Con todos los avances que existen actualmente en el campo de la medicina, los procedimientos y medicamentos eficientes para tratar diferentes enfermedades y dolencias, aún hay un factor determinante que limita su efecto en términos de resultados de curación y aumento de la esperanza de vida, este factor se debe en gran medida al uso incorrecto de los medicamentos recetados ya sea por olvido de la hora de la toma, consumo de medicamentos incorrectos, orden incorrecto, entre otras causas. Como consecuencia, no solo reduce los resultados del tratamiento, sino que también ha llevado a un aumento de la enfermedad, hospitalización y muerte entre los adultos mayores.

Solo en Estados Unidos los regímenes de medicamentos deficientes aumentan las hospitalizaciones generales hasta en un 10% y causan hasta US \$ 300 mil millones de costos de atención médica evitables [1]. Se estima que un tercio de las visitas al departamento de emergencias se deben a una sobredosis involuntaria de medicamentos, y la tasa anual estimada de eventos adversos por medicamentos tratados en el departamento de emergencias para personas mayores de 65 años es más del doble que la de los menores de 65 años [2].

Actualmente, la prestación de servicios de atención médica se ha venido transformando a los servicios de atención domiciliaria. La atención médica domiciliaria basada en el uso de IoT se está utilizando en gran medida para superar las dificultades relacionadas con el envejecimiento de la población. La monitorización de los signos vitales y el manejo de medicamentos se encuentran entre las aplicaciones más destacadas para el cuidado de la salud de los adultos mayores [3].

Con el desarrollo de nuevas tecnologías como el Internet de las cosas (IoT), se pueden facilitar los enfoques alternativos para mejorar el cumplimiento hacia la medicación. Estas tecnologías van desde mensajes de texto de teléfonos celulares, pastilleros electrónicos, sistemas basados en teléfonos inteligentes y hasta sensores ingeribles [4]. Los pastilleros electrónicos, con su capacidad de proporcionar recordatorios sistemáticos de medicamentos, dispensación de pastillas y estrategias de asistencia a través de alarmas audibles y visibles que usan teléfonos celulares, se están convirtiendo en dispositivos de asistencia prometedores que pueden ayudar a las personas a cambiar su cumplimiento hacia la medicación.

Una revisión de literatura publicada por Antonio M. Cruz *et al.* [5] a finales del año 2018, permitió conocer los avances sobre el uso y desarrollo de pastilleros electrónicos para adultos mayores. En esta revisión se resalta la necesidad de que los nuevos desarrollos deben tener en cuenta las necesidades específicas que tiene esta población. Por ejemplo, los adultos mayores pueden tener limitaciones auditivas y problemas cognitivos, por lo tanto, se sugirió que los nuevos diseños posean múltiples estrategias de recordatorio. También se señaló que la mayoría de los pastilleros electrónicos tienen

muchos compartimentos pequeños, lo que dificulta el acceso a los medicamentos por parte de los adultos mayores. De igual manera, en la referencia [6] los autores recomendaron futuros diseños que permitan organizar más pastillas.

En este contexto, es importante reconocer al usuario final como principal objetivo al integrarlo en el diseño del sistema para evaluar la aceptación y usabilidad del prototipo final; los adultos mayores tienen diferentes preocupaciones de uso y barreras para la aceptación y adopción de tecnologías que deben tenerse en cuenta en comparación con personas más jóvenes. En este sentido, la participación del usuario final en todo el proceso de diseño y construcción es fundamental para la usabilidad y la adopción de la tecnología, particularmente para satisfacer las necesidades de los adultos mayores.

Ante esta situación el propósito de este trabajo es presentar el diseño y la construcción de un prototipo electrónico para la dispensación de medicamentos de los adultos mayores, basado en el uso de Internet de las cosas (IoT), que permita administrar los regímenes de medicación independientemente de la ubicación del usuario final. Además, que integre un sistema que permita monitorear la frecuencia cardíaca y el nivel de oxígeno en la sangre (Spo2) en tiempo real desde cualquier lugar.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El envejecimiento implica una serie de cambios físicos y psicológicos que reducen significativamente las capacidades cognitivas de una persona, impidiendo que se adapte mejor al entorno en el que se encuentra y, por tanto, a la condición de vida inestable sin el correspondiente apoyo.

Según un informe realizado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) el número de adultos mayores, de 60 años o más, ha venido aumentando significativamente en los últimos años en la mayoría de los países y regiones. Se prevé que el crecimiento se acelere en las próximas décadas, entre los años 2015 y 2030 se estima que el número de adultos mayores de 60 años crecerá un 56%, de 901 millones a 1.4 mil millones, y para el año 2050 el 44% de la población mundial vivirá en países relativamente envejecidos, es decir el 20% de la población será de 60 años o más, además se proyecta que para ese año la población mundial de adultos mayores será más del doble que en el año 2015, siendo casi 2.1 mil millones [7].

A medida que las personas envejecen, normalmente tienen más probabilidad de desarrollar una o más enfermedades crónicas. En varios estudios se encontró que la prevalencia de afecciones crónicas múltiples en adultos mayores supera el 60% [8]. Esto significa que los adultos mayores con múltiples enfermedades crónicas se enfrentan a la compleja tarea de manejar múltiples medicamentos de diferentes dosis en diferentes momentos del día y que en algunos casos pueden llegar a tomar hasta nueve medicamentos en promedio [9]. Desafortunadamente, más del 50% de estas personas no son adherentes a su régimen de medicación lo que puede tener un tremendo impacto en el costo de la atención médica, ya que conduce a un aumento de la enfermedad, hospitalización y muerte entre los adultos mayores [1].

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) ha difundido una serie de estrategias para optimizar el manejo de medicamentos en los adultos mayores para disminuir la

medicación inapropiada de medicamentos, la polifarmacia y la automedicación. Para evitar estas complicaciones, los servicios farmacéuticos deben brindar una atención diferenciada al adulto mayor que contribuya un mejor tratamiento, ya sea fomentando su participación o a través de cuidados farmacéuticos especiales [10].

La prescripción inadecuada de medicamentos comprende diversos errores como recetar los medicamentos que no corresponden al tratamiento, indicar medicamentos que pueden interactuar negativamente entre sí, recetar dosis de forma incorrecta o, incluso indicar una vía inapropiada para la administración de los medicamentos.

Tanzi, citado en [11], sugiere algunas pautas para la atención del adulto mayor, basadas en sus dificultades más comunes: evitar en lo posible confundir a los pacientes, aplicar herramientas como criterios de Beers o el “índice de adecuación de la medicación”, reducir al máximo el riesgo de caídas, evitar los anticolinérgicos, evitar el uso de antipsicóticos de segunda generación en psicosis mediada por demencia, poner énfasis en dosis bajas de anticoagulación oral, vigilar los medicamentos de venta sin prescripción, verificar necesidad de apoyo al manipular envases de medicamentos, y alertar sobre existencia de medicamentos homófonos u homógrafos.

También es importante que los adultos mayores y sus cuidadores contribuyan con ciertas acciones para asegurar una atención diferenciada, por lo que se recomienda:

- ✓ Hacer una lista para el médico, de todos los medicamentos usados en forma rutinaria u ocasionalmente.
- ✓ Informar al médico sobre cualquier condición que pueda afectar su capacidad para tomar ciertos medicamentos, como alergias, infartos, hipertensión, enfermedad cardíaca severa o problemas hepáticos, renales o pulmonares.
- ✓ Preguntar o aclarar cualquier duda que tenga.
- ✓ Siempre que sea posible, solicitar informaciones por escrito.
- ✓ Organizar sus medicamentos para facilitar su localización, identificación y administración.
- ✓ Revisar periódicamente sus medicamentos y descartar aquellos que estén vencidos.
- ✓ Hablar con su médico respecto a costos.

En el campo de la enfermería el uso de los 10 correctos es un protocolo muy utilizado que permite seguir algunas recomendaciones que se deben seguir para evitar posibles errores en la administración de medicamentos [12]. Este protocolo consiste en una serie de pasos que se mencionan a continuación:

1. Medicamento correcto.
2. Paciente correcto.
3. Dosis correcta.
4. Vía correcta.
5. Hora correcta.

6. Verificar fecha de vencimiento del medicamento.
7. Educar e informar al paciente sobre el medicamento.
8. Registrar medicamento aplicado.
9. Indagar sobre posibles alergias a medicamentos y estar enterados de posibles alteraciones.
10. Preparar, administrar y registrar usted mismo el medicamento.

Aunque se ha comprobado una disminución en las complicaciones por errores en la medicación a partir de dichas recomendaciones, los problemas que se generan frente al manejo farmacológico siguen siendo frecuentes en los adultos mayores. Probablemente estos hechos se deban al desconocimiento de como tomar los medicamentos (varias veces al día, varias píldoras a la vez, hora del medicamento, antes o después de las comidas), desconocimiento de la importancia del tratamiento para mejorar la salud y la disminución física y mental entre los adultos mayores [13]. De manera que necesitan algunos apoyos para que tomen los medicamentos correctamente.

De igual manera, monitorear la oximetría de pulso en los adultos mayores se considera indispensable para saber el estado de salud y la detección temprana de posibles enfermedades crónicas.

Actualmente esta medida ha cobrado importancia como medida preventiva frente al nuevo coronavirus (covid-19), dado que el deterioro avanzado de la salud de una persona se representa en cuadros de neumonía, y como resultado la baja saturación de oxígeno en la sangre entre otros factores. Al respecto, el neumólogo Jairo Roa Buitrago resalto la importancia de la oximetría en casa con el fin de identificar si una persona con covid-19 empieza a presentar complicaciones y deba ser trasladado a un hospital [14]. Teniendo en cuenta los efectos negativos que conlleva la mala administración de los medicamentos y la importancia de monitorear la oxigenación de la sangre, es recomendable que los adultos mayores dispongan de una solución tecnológica que les ayude a preservar su estado de salud.

En este sentido, se comprende que el avance de la tecnología ha abierto una ventana de posibilidades para dar solución a muchos de los problemas actuales, entre ellos aquellos que tienen que ver con el cuidado de la salud. Es ahí donde el Internet de las cosas (IoT) surge como una solución potencial para aliviar las presiones sobre los sistemas de atención en salud. Dentro de este orden de ideas, se puede decir que los servicios de asistencia domiciliaria a partir de la incorporación de nuevas tecnológicas se consideran soluciones prometedoras para superar las dificultades asociadas con el envejecimiento de la población y el aumento de las enfermedades crónicas [15].

1.2. JUSTIFICACIÓN

En base a las cifras descritas anteriormente, con respecto al envejecimiento de la población, las dificultades que se presentan frente al manejo de múltiples medicamentos, las recomendaciones que diferentes autores han difundido para mejorar el cumplimiento hacia la medicación y la importancia de la oximetría en casa, se da a entender que la problemática la cual pretende abarcar este proyecto es un asunto que provoca diferentes consecuencias negativas, no solo en la atención médica, si no que a su vez, en la salud de los adultos mayores, ya que las evidencias científicas han demostrado que el no seguir los horarios de medicación puede conllevar a consecuencias donde pueden incrementar su dolencia, crear inmunidad, complicaciones médicas, menor calidad de vida, hospitalización e incluso puede ocasionar la muerte.

Por dichas razones, la justificación para la realización de este proyecto radica en la necesidad de proporcionar una solución tecnológica basada en el concepto de IoT que permita mejorar el cumplimiento hacia la medicación de los adultos mayores. Además, que el sistema integre un medio para poder realizar un monitoreo continuo del porcentaje de oxigenación en la sangre y la frecuencia cardiaca en tiempo real y desde cualquier lugar de forma remota, mediante protocolos de comunicación que se usan en IoT; Medidas que son de vital importancia para conocer el estado de salud del corazón de una persona y más aun de los adultos mayores. Por lo tanto, se hará uso de un sensor de oximetría de pulso para medir estas variables.

1.3. SOLUCIONES DISPONIBLES ACTUALES PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA MEDICACIÓN

De acuerdo con Qudah *et al.* [16] las soluciones disponibles para ayudar a mejorar el cumplimiento de los medicamentos se pueden clasificar en cuatro grupos: cajas de pastillas, cajas de pastillas basadas en alarmas, pastilleros electrónicos y soluciones basadas en teléfonos móviles.

- **Cajas de pastillas:** son recipientes que sirven para llevar los medicamentos y por lo general se dividen en varios compartimentos. Las pastillas se cargan manualmente en cada compartimento dependiendo de la hora de toma. Estos pastilleros no cuentan con alarmas que avisen al paciente la hora de la medicación.
- **Cajas de pastillas basadas en alarmas:** son soluciones que integran un temporizador que permite activar algún tipo de señal que sirve para indicar al paciente el momento de tomar el medicamento. Así como las cajas de pastillas estos dispositivos están conformados por compartimentos para almacenar las pastillas.
- **Pastilleros electrónicos:** son dispositivos que dispensan medicamentos con sistemas de alarma integrados. Algunos permiten conectarse a internet y alertar al paciente o el cuidador a través del teléfono móvil si falta a la dosis. Están conformados por varios compartimentos que deben ser precargados manualmente. Algunos de estos dispositivos ayudan a los pacientes a manejar su régimen de

medicación. Sin embargo, estos dispositivos están diseñados únicamente para medir el cumplimiento de la medicación.

- **Soluciones basadas en teléfonos móviles:** son perfectos para administrar los regímenes de medicación independientemente de la ubicación del paciente. Algunos sistemas, por ejemplo, permiten configurar remotamente los horarios de medicación desde una aplicación móvil; otros sistemas permiten monitorear los signos vitales y se transmiten a través de correo electrónico al centro de vigilancia de salud.

A continuación, la Tabla 1 presenta un resumen general de las funcionalidades que ofrece cada una de las soluciones anteriormente mencionadas.

Tabla 1. Soluciones disponibles vs Funcionalidades

Funcionalidades	Cajas de pastillas	Pastilleros basados en alarmas	Pastilleros electrónicos	Basados en teléfonos inteligentes
Contenedor de pastillas	✓✓	✓✓	✓✓	xx
Recarga manual	✓✓	✓✓	✓✓	xx
Portabilidad	✓✓	✓✓	xx	✓✓
Programación de Alarmas Automáticas	xx	✓✓	✓✓	✓✓
Modificación del horario del medicamento	Manual	Manual	Manual	✓✓ Remota
Orientación de medicamentos y de dosis	Manual	Manual	✓✓	✓✓
Recopilación de datos	xx	xx	✓✓ Limitado	✓✓
Transferencia de datos al centro de salud	xx	xx	✓✓ Limitado	✓✓
Monitoreo remoto desde el centro de salud	xx	xx	xx	✓✓
Registro de la fecha y hora para la apertura del pastillero	xx	✓✓	✓✓	Manual
Manejo de citas medicas	xx	xx	xx	✓✓
Educación y concientización de los pacientes sobre la medicación	xx	xx	xx	✓✓
Personalización	xx	xx	✓✓	✓✓
Seguimiento de signos vitales	xx	xx	xx	✓✓

1.4. TRABAJOS RELACIONADOS

Al día de hoy se hay llevado a cabo varias investigaciones para el desarrollo de pastilleros electrónicos basados en sistemas informáticos o teléfonos móviles. Su principal interés desde una perspectiva medica se debe a que pueden mejorar el cumplimiento frente a la medicación debido a su capacidad de proporcionar recordatorios automáticos, dispensación de pastillas y estrategias para la supervisión y seguimiento de forma remota. A continuación, se mencionan algunos desarrollos realizados en diferentes artículos encontrados.

Una de las primeras investigaciones donde se llevó a cabo la construcción de un pastillero electrónico fue presenta por Tamara Hayes *et al.* [17], investigadores miembros de la IEEE, quienes en su artículo “ An Electronic Pillbox for Continuous Monitoring of Medication Adherence” publicado en el año 2006, proponen un sistema que basa su funcionamiento en un microcontrolador como controlador principal. El pastillero estaba conformado por 7 compartimentos para el almacenamiento de las pastillas. Fue diseñado para detectar la apertura y cierre de las tapas de cada compartimiento. El sistema utilizó tecnología Bluetooth para transmitir de forma inalámbrica los datos a una computadora. Sin embargo, no proporcionó ninguna función de recordatorio o confirmación. Además, era simple y propenso a errores, ya que considera cualquier evento de apertura de la tapa como una toma del medicamento.

Posterior a esto, en el año 2011, Wei Chang *et al.* [18] desarrolló uno de los primeros enfoques de sistema de “medicación inteligente” con 7 contenedores que tiene 4 secciones que corresponde a 4 momentos de medicación por día durante los 7 días de la semana. El dispositivo empleó las tecnologías de red de sensores inalámbricos (WSN). Las funciones principales del sistema incluyen: recordatorio de medicamentos, asistencia de dispensación de píldoras y registro de medicamentos para los pacientes con enfermedades crónicas.

En el año 2014, Li Shaun *et al.* [19] presenta un pastillero electrónico que diseño y fabricó en un software especializado y una impresora 3D. Es uno de los primeros desarrollos que incorporó un microcontrolador de Arduino como cerebro principal. El pastillero está conformado por tres subsistemas; un pastillero, una computadora y una pulsera. Todos los subsistemas se comunican de forma inalámbrica a través del protocolo de comunicación Zigbee. Cuando es la hora de tomar el medicamento se envía una señal de recordatorio desde una computadora hacia la pulsera que lleva el paciente. Luego el paciente se acerca al pastillero y es identificado gracias a la etiqueta que se encuentra en la pulsera y así poder acceder a los medicamentos. Los autores realizaron dos recomendaciones en cuanto al diseño: la primera recomendación que hicieron fue que el diseño permitiera organizar pastillas más pequeñas y la segunda recomendación fue que se pudieran organizar mayor cantidad de pastillas.

En el año 2015, Farcas *et al.* [20] muestra un dispensador semanal de píldoras con contenedores circulares. El sistema fue construido alrededor del microcontrolador PIC18F458 para hacer girar 7 compartimentos circulares unidos a un servomotor. El sistema incorpora una pantalla LCD como interfaz y algunos botones para la configuración de los horarios. Cuando llega la hora de la medicación el dispositivo libera las pastillas y genera una alarma audible para indicar a la persona que el medicamento debe ser administrado. Los autores recomendaron añadir una funcionalidad para la

enviar notificación por MSN para alertar a los pacientes que se olvidaron de tomar sus medicamentos.

Posteriormente, en el año 2016, se expone en [21] un prototipo de dispensador de píldoras con alarmas a través de notificaciones hacia un teléfono inteligente. Este dispositivo fue uno de los primeros desarrollos que incorporó un microcontrolador de Arduino como cerebro principal. Adicionalmente el prototipo incorporó un módulo de reloj en tiempo real (RTC) para ajustar la hora y fecha, sensores IR que detectan el número de píldoras que han caído, una pantalla LCD como interfaz principal del dispensador y una Raspberry Pi B + que es quien recibe la señal del microcontrolador y que luego envía una notificación al teléfono móvil a través de una aplicación *Instapush*. En este trabajo se utilizó material acrílico para el diseño del compartimiento de los medicamentos.

Otro estudio realizado en el mismo año propone un dispensador de píldoras autónomo. Se trata de un prototipo que tiene como principal objetivo dispensar la cantidad exacta de medicamento a través de un cono texturalizado. Este dispositivo es controlado por un microcontrolador de Arduino y una aplicación Android que permite al cuidador gestionar los horarios de las pastillas y que luego envía una señal Bluetooth a través del módulo HC-06 al Arduino cuando es el momento de tomar medicamentos. Así como el prototipo anterior, la aplicación también envía una notificación por SMS a los pacientes para recordarles que tomar las píldoras [22]. Los autores recomendaron una transferencia de señal serie Bluetooth más rápida y mayores tasas de entrega de SMS para evitar errores en la comunicación. Así mismo, recomendaron que se deben incluir enfoques futuros donde el paciente no tenga que hacer más cosa que acercarse al dispositivo y tomar el medicamento.

Mas tarde, en un estudio realizado en año 2017, se presentó en [23] un pastillero inteligente basado en el concepto de IoT. El sistema integra un microcontrolador de Arduino, un reloj en tiempo real (RTC), un motor encargado hacer girar los 11 compartimentos, un zumbador y un módulo WiFi. Cuando llega la hora de la medicación el dispositivo acciona el motor que hace girar los compartimentos y genera una alarma audible para indicar a la persona que el medicamento debe ser administrado. Gracias a la conexión WiFi, el sistema notifica al cuidador mediante un mensaje de texto vía correo electrónico si el paciente ha faltado a la medicación.

En el año 2018, Abdul Minaam junto a Mohamed fattah en su artículo “Smart drugs:Improving healthcare using Smart Pill Box for Medicine Reminder and Monitoring System” crearon un nuevo pastillero inteligente basado en el concepto de IoT para el recordatorio y monitoreo de medicamentos. El dispositivo cuenta con nueve compartimentos que se accionan a través de nueve motores diferentes. Este pastillero es controlado por un Arduino nano que se conecta a una red inalámbrica a través del módulo ESP8266. Cuando se establece el horario de la pastilla, el pastillero le recuerda al paciente a través de una señal de luz y sonido que se debe tomar la pastilla. Adicionalmente, el pastillero envía una advertencia a una aplicación Android previamente instalada en el teléfono móvil del paciente [24].

En el año 2019, Abdallah Kassem *et al.* [25] construyen un sistema de dispensación inteligente de medicamentos basado en una aplicación para teléfono inteligente como interfaz de usuario principal. Esta aplicación permite editar los horarios de las pastillas de forma remota, ver datos estadísticos sobre las pastillas y fechas de administración.

La aplicación almacena los datos en una nube y realiza la sincronización al iniciar sesión. Para dispensar las píldoras, el teléfono inteligente se conecta automáticamente a un microcontrolador de Arduino a través de Bluetooth y envía los comandos que indican que el motor paso a paso debe girarse y qué contenedor se debe abrir.

Finalmente, un trabajo reciente que se llevó a cabo en [26], expone el desarrollo de un sistema de dispensación de medicamentos basado en el concepto de IoT. Se trata de un pastillero inteligente que tiene la función de recordar el momento de toma de medicamentos de los adultos mayores. El pastillero contiene ocho compartimentos que giran gracias a un motor paso a paso; tiene un chip STM como controlador principal que se conecta a una red inalámbrica gracias al módulo ESP8266; cuenta con una aplicación móvil que sirve para la configuración de los horarios de las pastillas. Este trabajo fue uno de los pocos enfoques donde se encontró que la carcasa del pastillero se diseñó con un software de modelado 3D de SolidWorks e impresa en 3D.

Gran parte de las investigaciones encontradas en esta revisión bibliográfica proponen una solución a partir de la implementación de tecnologías basadas en IoT. La mayoría de los sistemas propuestos integran un sistema embebido que funciona como controlador principal con un módulo de comunicación inalámbrico que permite enviar o recibir información a otros dispositivos portátiles.

Sin embargo, en esta revisión de literatura no se pudo identificar una solución basada en IoT que integre un pastillero electrónico con funcionalidades para el seguimiento y monitoreo de la oximetría de pulso. En relación con lo anterior, el presente trabajo se propone la construcción de un dispositivo inteligente de asistencia fabricado en una impresora 3D para la administración de medicamentos y el monitoreo de la oximetría de pulso, por medio de sensores especializados que permite monitorear los niveles de saturación de oxígeno Spo_2 y frecuencia cardiaca; los criterios de diseño se establecieron a partir de las necesidades identificadas frente a la medicación de los adultos mayores y a través del uso de las nuevas tecnologías basadas en IoT.

1.5. OXIMETRÍA DE PULSO

Actualmente el monitoreo de los parámetros como la frecuencia cardiaca y la saturación de oxígeno en la sangre se han convertido en dos medidas fundamentales para el cuidado médico de pacientes y más aún de los adultos mayores. Conocer estos parámetros pueden brindar información importante acerca del estado de salud de una persona, aun cuando no se observe ningún síntoma. Además, cualquier desviación en los valores regulares de estos signos vitales puede indicar que la persona puede estar presentando algún tipo de estado físico anormal [27].

Según [28], son considerados signos vitales el ritmo cardiaco, la presión arterial, la temperatura y la frecuencia respiratoria, sin embargo, desde la aparición del primer oxímetro de pulso en el año 1975, la saturación de oxígeno en la sangre se considera el quinto signo vital. La medida de la frecuencia cardiaca se puede usar para detectar una gran cantidad de situaciones de emergencia, por ejemplo, paros cardiacos o embolias pulmonares. La medida de la saturación de oxígeno sirve como indicador de la función respiratoria y puede ayudar en el diagnóstico de afecciones como la hipoxia (bajo nivel de oxígeno en la sangre).

La oximetría de pulso es un método no invasivo que permite la estimación de la saturación de oxígeno de la hemoglobina arterial y también permite vigilar la frecuencia cardiaca. Los oxímetros de pulso miden el oxígeno en la sangre a través de un espectrofotómetro. Básicamente, dos LED, uno rojo y otro infrarrojo se dirigen a través de la piel. La hemoglobina absorbe gran parte de la luz transmitida pero no toda. La diferencia entre la luz transmitida y la luz recibida por los fotodiodos se utiliza para calcular la oxigenación en la sangre [29].

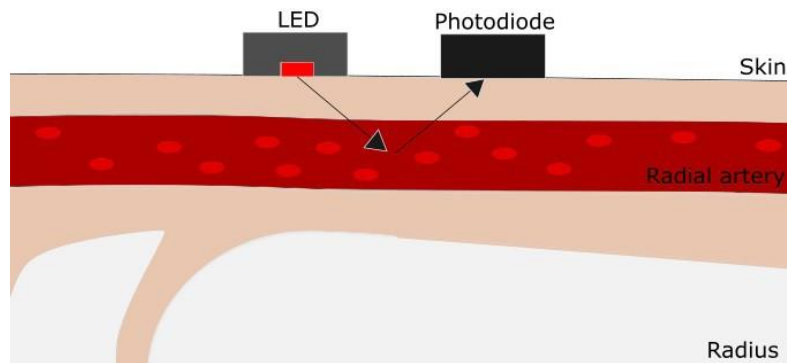


Figura 1. Sensor de pulso fotoeléctrico. Tomado de [29].

La lectura del oxímetro de pulso en 95% se considera normal. Una lectura de 75% se considera como hipoxia (disminución en la oxigenación de los tejidos). El valor normal es mayor a 95% para adultos sin patología pulmonar y mayor a 96% en pacientes pediátricos [30].

1.6. INTERNET DE LAS COSAS (IOT)

El Internet de las cosas (IoT) como su nombre lo indica es la conectividad de los dispositivos cotidianos entre sí a través de internet. Con el avance en la tecnología, nos estamos moviendo hacia una sociedad, donde todo esté conectado. La integración del mundo real con el digital, ha sido posible gracias a IoT y el crecimiento exponencial de objetos inteligentes con capacidad de procesamiento y conectividad a la red.

El concepto de IoT se define desde diferentes puntos de vista en la literatura. Según la publicación de Internet Society [15], se refiere a IoT como un escenario donde la conectividad de la red y la capacidad de procesamiento de cómputo se extiende a dispositivos de uso cotidiano, lo que quiere decir que estos dispositivos se pueden interconectar a través de protocolos de comunicación, con el fin de recopilar e intercambiar datos.

IoT, está desempeñando un papel muy importante en todo el proceso de transformación hacia la digitalización de los sistemas y los procesos industriales o también denominada por algunos autores como la revolución industrial 4.0.

Como toda transformación, la implantación de tecnologías IoT en el ámbito industrial requiere un cambio en los modelos de trabajo que muchas veces las empresas y sectores tradicionales no incorporan o adoptan con tanta facilidad. Sin embargo, son

muchos los sectores que han incorporado el uso de IoT en sus procesos y el número de proyectos basados en IoT no para de crecer en todo el mundo.

Según los datos de la Enterprise IoT Projects presentados en [6], que recopila más de 1.600 proyectos de gran escala, las ciudades inteligentes representan la mayor parte (23%), seguidos de los proyectos industriales de IoT (17%) y las aplicaciones para edificios inteligentes (12%). Por regiones, América del Norte lidera en lo que se refiere a proyectos específicos de ciudades inteligentes, pero es Europa finalmente quien lidera en número de proyectos de forma global, con un 45% del total. Además, se prevé que el crecimiento más importante se dará en el campo de las ciudades inteligentes, la salud y las cadenas de suministro, tal como se muestra en la Figura 2.

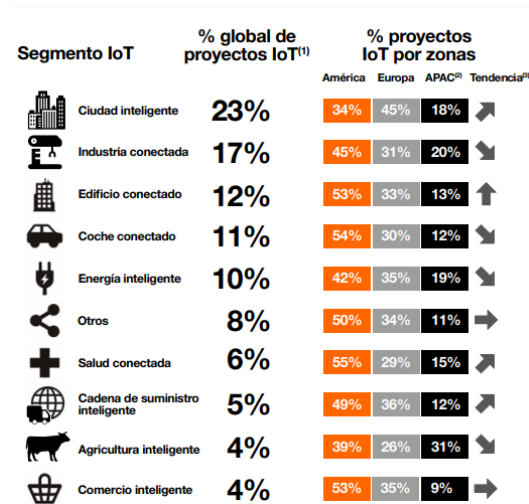


Figura 2. Implantación de IoT por segmentación. Tomado de [6].

De acuerdo con Manufacturing Trends Report, se estima que para el año 2021 el número de dispositivos IoT conectados en todo el mundo será aproximadamente de 36.130 millones, tal como se muestra en la Figura 3.

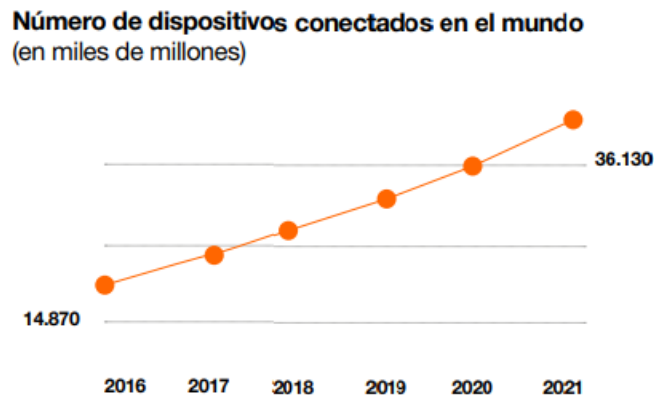


Figura 3. Dispositivos IoT conectados. Tomado de [31].

El almacenamiento y la minería de los datos generados por objetos IoT generalmente se lleva a cabo en la nube y permite el análisis y procesamiento de la información. Las aplicaciones de IoT pueden aprovechar los servicios que proporciona la nube y hacer uso de los recursos informáticos y de almacenamiento disponibles para satisfacer cada una de las necesidades que se requieran, se destaca por su implementación para reducir costos de la computación, el almacenamiento de los datos y análisis de la información.

Sin importar la cantidad de áreas de aplicación a los que se puede aplicar el IoT, los objetos o dispositivos conectados siempre comparten un mismo tipo de arquitectura: los datos se deben transportar, almacenar, procesar y poner a disposición de los usuarios. La mayoría de los enfoques de diseño para integrar la nube con IoT se basan en una arquitectura de cuatro capas: capa de percepción (dispositivos para la adquisición de las propiedades y magnitudes físicas); capa de transporte (para la transmisión de los datos); capa de servicios es el proveedor de la nube (análisis, procesamiento y almacenamiento de los datos); capa de aplicación (acceso a los datos a través de APIs o GUIs) [32].

1.7. APLICACIÓN DE INTERNET DE LAS COSAS EN LA ASISTENCIA SANITARIA

Con el aumento significativo de los adultos mayores, de 60 años o más, el aumento de las enfermedades crónicas, la escasez de personal sanitario y el aumento en los costos de la atención médica hacen que las tecnologías que se basan en el uso de IoT se estén implementando en gran medida hoy en día.

Actualmente la aplicación de IoT está desempeñando un papel destacado en el sector sanitario a través de la telemedicina y la telesalud como, por ejemplo, la monitorización remota de pacientes, el seguimiento de signos vitales, la gestión de situaciones de emergencia, el manejo de medicamentos, el seguimiento de los pedidos de material médico y medicamentos, las estrategias de rehabilitación en accidente cerebrovascular y los servicios de atención médica desde el hogar [3]. Esencialmente, el uso de IoT en la asistencia sanitaria puede mejorar el acceso a los recursos de atención médica, reduciendo las presiones sobre los recursos hospitalarios, como los médicos y las camas.

Varios estudios de investigación se han presentado hasta el día de hoy en temas relacionados con la aplicación de IoT en el sector salud. Por ejemplo, en [4, pp. 96] se muestra una nevera que sirve para el transporte de vacunas. Aunque las vacunas son responsables de salvar millones de vidas anualmente, todavía hay millones de personas que mueren por enfermedades para las que existen vacunas pero que no disponen de ellas por no existir un sistema de transporte y almacenamiento fiable. Esta nevera dispone de un sistema que permite monitorear la temperatura al interior y así garantizar la cadena de frío que requieren las vacunas, mientras que el seguimiento automático del inventario ahorra tiempo al personal y garantiza un suministro confiable. El sistema dispone de una plataforma IoT proporcionada por Azure Machine Learning que recopila datos en tiempo real de los sensores en cada unidad.

Por otra parte, monitorear la salud en el hogar ha sido tema de particular interés para varios investigadores. Por ejemplo, en [33] se propuso un sistema para el monitoreo de los niveles de glucosa en sangre en pacientes diabéticos. El sistema requiere que los

pacientes tomen lecturas de la glucosa en la sangre en diferentes intervalos de tiempo. Luego el sistema determina dos tipos de anomalías de glucosa en la sangre. El primero son niveles anormales de glucosa en la sangre y el segundo son lecturas de glucosa en sangre perdidas que se notifican al propio paciente, los cuidadores y los familiares, o los médicos dependiendo de la gravedad de la situación.

Se muestra un sistema de salud inteligente basado en IoT para el tratamiento de la enfermedad EPOC en [4, pp. 97], un mal que sufre el 3% de la población mundial y que produce más de 3 millones de muertes al año. Para tratar esta enfermedad es necesario utilizar espirómetros, muy costosos y solo disponibles en los hospitales. El sistema diseñado hacia uso de los micrófonos de los teléfonos inteligentes y un algoritmo capaz de medir la salud pulmonar de un paciente analizando el sonido producido al soplar el micrófono del celular. Un ordenador tenía la función de analizar la información y posteriormente enviarla al cuidador. Gracias a este sistema se pueden diagnosticar a los pacientes con mayor rapidez y remotamente llevar un seguimiento de la enfermedad.

En [34], se llevó a cabo la construcción de un sistema para realizar en monitoreo continuo del electrocardiograma de los pacientes, con el fin de prevenir eventos cardiacos peligrosos o fatales. El sistema incorpora un sensor de ECG que se utiliza para medir la actividad cardiaca, que es procesada mediante un microcontrolador de Arduino UNO. La información obtenida se transmite a través de Bluetooth al teléfono inteligente del usuario, donde los datos se analizan y se presentan mediante una aplicación de usuario.

2. OBJETIVOS

2.1. GENERAL

Construir un dispositivo inteligente de asistencia para la administración de medicamentos en adultos mayores, basado en el paradigma de Internet de las cosas (IoT).

2.2. ESPECÍFICOS

- a) Determinar el grado de madurez tecnológica existente en los pastilleros electrónicos, por medio de la actualización de la revisión de literatura existente.
- b) Identificar los requerimientos de los cuidadores a cargo de adultos mayores con la interacción de múltiples medicamentos para el diseño final del pastillero electrónico.
- c) Desarrollar un prototipo funcional de un pastillero electrónico que permita el monitoreo de frecuencia cardíaca y el nivel de oxígeno en la sangre (Spo2), basado en las necesidades de los usuarios, mediante el uso de IoT.
- d) Realizar pruebas de validación al pastillero electrónico en un ambiente simulado para comprobar su usabilidad y experiencia del usuario.

3. METODOLOGÍA

En este trabajo se adoptó un enfoque de diseño centrado en el usuario, que consiste en un proceso para el diseño y desarrollo de tecnologías de asistencia a partir de las necesidades, requerimientos y limitaciones de los usuarios finales. En [35], se explica como el diseño centrado en el usuario abarca una serie de enfoques que incluye el diseño participativo, donde los usuarios están involucrados a través de procesos activos. Este enfoque de diseño está conformado por cuatro fases principales como se ilustran en la Figura 4;



Figura 4. Diseño centrado en el usuario. Fuente propia.

Este proyecto se desarrolló con base a cuatro fases principales. En la primera fase se realizó una revisión de la literatura acerca de pastilleros electrónicos desarrollados a la fecha, como se nota en la sección de trabajos relacionados. La segunda fase consistió en identificar los requerimientos por parte de los cuidadores a cargo de adultos mayores con interacción de múltiples medicamentos para el diseño final del prototipo. En la tercera fase se llevó a cabo el diseño y la construcción del prototipo. Por último, se realizaron las pruebas de validación y usabilidad en un ambiente simulado con un profesional en enfermería para observar el comportamiento y funcionalidad del dispositivo.

3.1. REVISIÓN DE LITERATURA

Durante esta fase se realizó una revisión de literatura de tipo exploratorio acerca de los pastilleros electrónicos, que tuvieran la finalidad de monitorear y mejorar el cumplimiento de la medicación de los adultos mayores. El propósito de esta revisión fue extraer información relevante de cada uno de ellos que aportara a la investigación desarrollada en este trabajo. Lo anterior, con la intención de tener una mejor apropiación de los conceptos más relevantes e integrar aquellas tecnologías que mejor se adapten al desarrollo del presente proyecto. Así mismo identificar vacíos en el conocimiento donde se puedan incorporar potenciales mejoras al dispositivo en desarrollo.

Para la selección de los artículos se siguió una metodología de búsqueda que se muestra en la Figura 5; consiste en cuatro pasos: en primer lugar, se definen las estrategias búsqueda; segundo, se seleccionan las fuentes de información; luego se realizó la ejecución de la búsqueda; posteriormente se lleva a cabo un proceso de filtrado y selección de los artículos relevantes y por último se realiza el análisis de la información obtenida.



Figura 5. Protocolo de búsqueda. Fuente propia.

- **Estrategia de búsqueda:** se utilizaron dos cadenas de búsqueda; es importante resaltar que se hizo uso de los términos MeSH en combinación con los operadores lógicos AND y OR para la construcción de cada una de ellas:
 - i. *(Intelligent Pillbox OR dispenser OR pillbox) AND (electronic OR system OR smart OR technology OR design OR Internet of Things) AND (medication OR drug OR Pill OR administration OR schedule) AND (elderly OR older OR Aged).*
 - ii. *Elderly AND ("Intelligent Pillbox" OR pillbox OR "Assistive Technology" OR "Ambient Assisted Living") AND Design AND (Arduino OR "Internet of Things" OR "Medication Schedule")*
- **Fuentes de información:** los documentos se obtuvieron de las bases de datos con las que cuenta las dos universidades. Se seleccionaron 7 bases de datos debido a su calidad en la información y disponibilidad de la información, las cuales fueron PubMed, Scopus, Web Of Science, IEEE Explore, Medline ebsco y Medline ovid.
- **Ejecución de la búsqueda:** la búsqueda se llevó a cabo en un periodo comprendido entre el año 2018 y 2020. Se eligió este periodo de búsqueda porque se quiso partir de una revisión sistemática de literatura acerca de pastilleros electrónicos publicado por Antonio M. Cruz *et al.* [5], a finales del año 2018. Se aplicaron filtros específicos de artículos indexados escritos o publicados en inglés o español.
- **Filtrado y selección:** la selección de los artículos se realizó en base a los criterios de inclusión y exclusión (ver Anexo 1). Se llevo a cabo una búsqueda manual donde los artículos examinados fueron revisados en base al título y al resumen, conclusiones y las palabras claves, de esta manera se pudo identificar cuales tenían mayor relación con el proyecto.
- **Análisis de la información:** los artículos que se relacionaron con este proyecto se analizaron en su totalidad y aquellos que no tuvieron relación fueron descartados. Se compararon que tipo de funciones, características, tecnologías, componentes electrónicos, ventajas o limitaciones tuvieron estos estudios. Al igual que se analizó el tipo de Arquitectura que manejaban y los servicios adicionales que integraron.

3.2. RECOPIACIÓN DE LOS REQUISITOS DE LOS USUARIOS

Las actividades que se llevaron a cabo para la identificación de los requerimientos y las necesidades de los adultos mayores frente a la medicación son las siguientes:

Definición del objeto del estudio: El objetivo principal de esta fase es poder Identificar los problemas, necesidades y requerimientos más comunes de los adultos mayores con la interacción de múltiples medicamentos; por medio de una encuesta dirigida a cuidadores formales o informales. Esto con la finalidad de diseñar y construir un prototipo de pastillero electrónico que mejor se adapte a las necesidades y los requerimientos de los adultos mayores. Vale la pena aclarar que el uso de este dispositivo va dirigido a los adultos mayores, sin embargo, son los cuidadores quienes deben apoyar la configuración inicial del dispositivo.

Población: tal como se indicó anteriormente, la encuesta se aplicó a personas especializadas y familiares a cargo del cuidado de adultos mayores. La razón por la cual se seleccionó esta población se debe a que pueden proporcionar información muy importante con relación al cuidado y la medicación de adultos mayores basado en sus experiencias o su formación profesional y, además, que serán ellos los encargados de programar inicialmente el uso del dispositivo y la configuración de los horarios para la ingesta de los medicamentos.

Tipo de muestreo no probabilístico: Se utilizó un muestreo intencional o de conveniencia que consiste en tomar los elementos de los que podemos disponer de forma más fácil.

Ante de comenzar a diseñar las preguntas es necesario definir los aspectos concretos que serán evaluados en cada uno de sus atributos o dimensiones.

Se identifican las siguientes dimensiones o atributos a partir de la revisión de literatura:

- ✓ Régimen de medicación
- ✓ Necesidades y dificultades con el manejo de los medicamentos.
- ✓ Metodología actual para recordar tomar los medicamentos.
- ✓ Percepción acerca de los pastilleros electrónicos.
- ✓ Requerimientos y características que debería tener el pastillero electrónico para el diseño del dispositivo

Realización de las preguntas del cuestionario: Una vez definidas las dimensiones a evaluar se construyeron las preguntas y se redactaron de manera concreta y sencilla para su fácil comprensión evitando en lo posible el uso de tecnicismos. Las preguntas se diseñaron y evaluaron por 3 profesionales expertos en el tema y con experiencia en diseño de cuestionarios.

Instrumento: Se aplicó una encuesta diseñada en Google forms. La encuesta contiene 17 preguntas específicas de acuerdo con cinco dimensiones definidas a partir de la revisión de literatura; que se realizaron a cuidadores formales o informales de adultos mayores que decidieron apoyar la investigación y de esta manera conocer las necesidades y requerimientos de los adultos mayores frente a la medicación. La encuesta aplicada se muestra en el Anexo 2.

Encuesta online: Consiste en realizar el cuestionario utilizando el internet como medio de distribución, las encuestas online se caracterizan principalmente por ser económicas y tener un mayor índice de respuesta. Por motivos de contingencia nacional frente a la propagación del covid-19 el cuestionario se aplicó vía online.

Recolección y análisis de la información: una vez completados los cuestionarios se analiza y concluye cual sería el mejor diseño para lograr la construcción de un sistema que mejor se adapte a los requerimientos de los adultos mayores. Las respuestas de los participantes se registran automáticamente en la herramienta de Google Forms.

3.3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

El proyecto de titulación se basa en diseñar y construir un dispositivo de asistencia electrónico basado en IoT para la correcta administración de medicamentos en adultos mayores. El dispositivo contiene una aplicación móvil que permite configurar los diferentes horarios para la toma de las pastillas, la cual será de fácil uso y amigable con el usuario. Además, el pastillero es capaz de emitir alarmas tipo sonoras y lumínicas que sirven para indicar al adulto mayor que es momento de tomar sus medicamentos.

Cuando llega la hora de tomar sus medicamentos, el adulto mayor debe autenticarse a través de un sensor de huella que activa una pequeña compuerta en la parte inferior del pastillero para la dispensación del medicamento. Además, el sistema cuenta con un sistema de notificación a través de MSN, que sirve para indicar al cuidador si el adulto mayor tomo o no el medicamento establecido.

El dispositivo también incluye un sistema que permite medir la saturación de oxígeno en la sangre y la frecuencia cardiaca, que se pueden visualizar a través de una pantalla OLED incorporada en el pastillero y, además, esta medida se puede monitorear mediante un computador o teléfono celular desde cualquier lugar utilizando una red WiFi y una dirección IP. Gracias a este sistema, se puede mejorar el cumplimiento hacia la medicación y llevar a cabo el seguimiento en tiempo real de la oximetría de pulso

3.4. ARQUITECTURA DEL PASTILLERO

En varios estudios se han propuesto arquitecturas de referencia para la implementación de soluciones basadas en IoT [36], [37], [38]. En estos estudios se pudo identificar tres tipos de arquitectura de IoT que se clasifican según su nivel de complejidad como se muestra en la Figura 6;

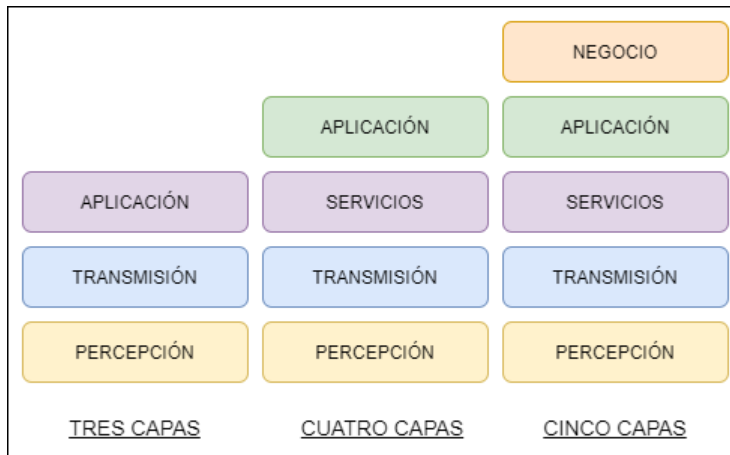


Figura 6. Tipos de arquitectura IoT. Fuente propia.

A continuación, se define cada una de las capas, teniendo en cuenta su principal objetivo [38]:

- ✓ **Capa de percepción:** también se conoce como “capa de dispositivos” o las “cosas”. Son los sensores, actuadores o dispositivos que se conectan directamente a la red o de manera inalámbrica. En esta capa se utilizan sensores que convierten las señales físicas a señales digitales para poder ser transmitidas.
- ✓ **Capa de transmisión:** también se conoce como 'Capa de red'. En esta capa se trasfiere la información obtenida de la capa de percepción hacia la capa de servicios. El medio de transmisión puede ser cableado o inalámbrico y la tecnología puede ser 3G, UMTS, Wifi, Bluetooth, infrarrojos, ZigBee, etc. Dependiendo de los dispositivos de sensor. En esta capa se incluyen los protocolos de transporte de información como MQTT.
- ✓ **Capa de servicios:** es la encargada de manipular, procesar, almacenar y analizar la información obtenida de la capa de red. En esta capa se incluyen las bases de datos, la computación en la nube, el procesamiento inteligente etc. La computación en la nube es la tecnología principal en esta capa.
- ✓ **Capa de aplicación:** es la interfaz que conecta la información almacenada en los servicios o aplicaciones con los usuarios. La función de esta capa es proporcionar todo tipo de aplicaciones, por ejemplo, salud inteligente, agricultura inteligente, hogar inteligente, ciudad inteligente, transporte inteligente, etc.
- ✓ **Capa de negocio:** tiene una perspectiva industrial que se encarga de la gestión del sistema IoT. Esta capa proporciona modelos de aprendizaje automático, minería de datos, planificación de modelos de negocio y reglas de negocios. Esta capa ayuda a mejorar la toma de decisiones y estrategias comerciales futuras.

Para el desarrollo del pastillero electrónico se decidió adoptar una arquitectura orientada a los servicios (SOA) que consta de cuatro capas principales, tal como se muestra en la Figura 7. Esta arquitectura garantiza la confiabilidad del sistema y la interoperabilidad entre los dispositivos heterogéneos [37].

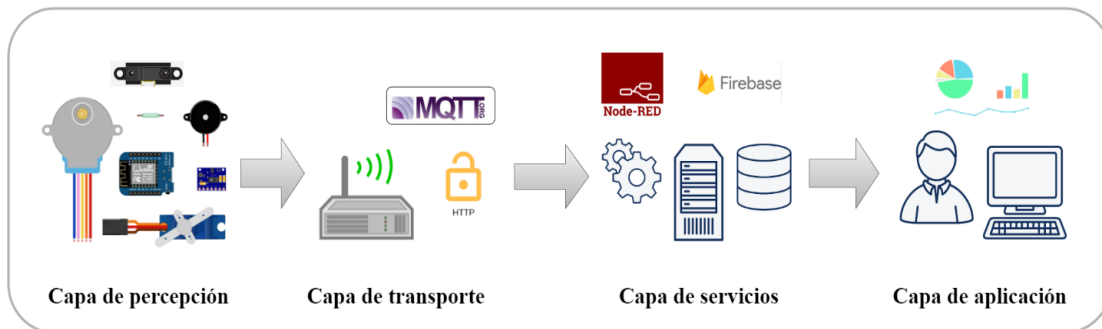


Figura 7. Capas del sistema. (1) Percepción, (2) Transmisión, (3) Servicios, (4) Aplicación. Fuente propia.

A continuación, se hace una descripción más detallada acerca de cada una de las capas que componen el sistema.

3.4.1. CAPA DE PERCEPCIÓN

✓ Selección de los materiales

Se realizó una lista de materiales necesarios para el correcto funcionamiento del sistema, los cuales incluyeron: dos sistemas embebidos, utilizados para adquirir, procesar y transmitir los datos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema; dos actuadores mecánicos utilizados para llevar a cabo el accionamiento mecánico de la dispensación de medicamentos; un sensor de oximetría, para medir 2 tipos de variables fisiológicas; un sensor biométrico de huella dactilar, el cual debe restringir el uso del sistema a solo personas autorizadas; pantalla, para la lectura de variables fisiológicas; la batería, la cual debe suplir energía a todo el sistema permitiendo que se pueda utilizar sin necesidad de conectarla a una toma eléctrica y un transductor electroacústico que servirá como indicador de alarma.

i. Selección del sistema embebido

El sistema propuesto está construido alrededor de 2 microcontroladores Wemos D1 mini que basan su funcionamiento en un microcontrolador ESP8266EX. Este módulo cuenta con características de conectividad WiFi que se pueden configurar desde un código de programación en lenguaje C++ por medio del entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino y que permiten el procesamiento y la transmisión de datos a través de una red WiFi. Este módulo opera con 5 voltios de entrada y 3.3 V de salida, proporciona 4 MB de memoria flash y cuenta 1 pin analógico y 11 pines digitales de entrada/salida con I2C y SPI.



Figura 8. WeMos D1 mini ESP8266 WiFi. Figura tomada de [37].

ii. Selección de los actuadores

El pastillero electrónico utiliza un motor paso a paso monopolar 28BYJ-48 que se utiliza con el fin de hacer girar los contenedores de medicamentos. Es un motor de corriente continua unipolar barato y de tamaño reducido de cuatro bobinas que operan con 5 voltios de alimentación. Este motor tiene en su interior una reducción de 1/64 (64 pasos por vuelta) y ofrece un buen torque para su tamaño [20]. El motor requiere un controlador para su funcionamiento que es el ULN2003.



Figura 9. Motor paso a paso 28BYJ-48. Figura tomada de [39]

También se empleó un micro servo de referencia Tower pro MG90S, mostrado en la Figura 10, que tiene la función de abrir y cerrar una pequeña compuerta para la dispensación de los medicamentos. Este servo posee engranajes metálicos y puede girar 180°, consta de tres cables, uno rojo que es la alimentación de 5 voltios, el marrón, que es la tierra (GND) y el naranja que es el cable para la señal de control y que debe estar conectado a la salida PWM del microcontrolador. Este actuador mecánico se adapta a perfectamente a las necesidades de este proyecto por su tamaño reducido.



Figura 10. Micro servo Tower pro MG90S. figura tomada de [40]

iii. Selección de los sensores

El dispositivo electrónico integra un módulo MAX30102 que permite realizar la medición de oximetría de pulso y monitorear el ritmo cardiaco, incluye LED internos, fotodetectores, elementos ópticos y electrónica de bajo ruido con rechazo de luz ambiental. Este módulo se comunica con la ESP8266 mediante el protocolo de comunicación serie I2C que requiere solo de tres hilos para su implementación [41]. El sensor tiene solo una línea para la transmisión de datos, lo que significa que el protocolo de comunicación es una línea bidireccional. Este protocolo necesita solamente una línea de 2 hilos, una línea a reloj para realizar la sincronización (SCL), y la otra línea para transferir los datos (SDA).



Figura 11. Sensor de pulsioximetría MAX30102. Figura tomada de [30].

En la primera versión del prototipo se incluyó un sensor de distancia que se encuentra en la categoría de los sensores ópticos. Básicamente, este sensor es lo mismo que un sensor infrarrojo (IR) convencional, el sensor SHARP GP2Y0A51 tiene una sección de transmisión y recepción. La parte del transmisor emitirá una señal IR, mientras que la reflexión del IR (si golpea un objeto) será capturada por la parte del detector [42]. La función principal de este sensor es detectar cuando el usuario final del pastillero electrónico se acerca a tomar sus signos de frecuencia cardiaca y oxígeno en la sangre y realizar la apertura de la compuerta de dispensación del medicamento. El sensor Sharp GP2Y0A51 puede medir la distancia de obstáculos en un área de 2 a 15 cm utilizando la emisión y recepción de rayos infrarrojos como medio para estimar la distancia.



Figura 12. Sensor SHARP GP2Y0A51. Figura tomada de [43].

Nota: este sensor se descartó del diseño final por un sensor de huella Finger Print AS608 para garantizar mayor seguridad al sistema y que personas no autorizadas pudieran acceder a los medicamentos.

El sensor de huella dactilar que se muestra en la Figura 13, es un sensor óptico digital que tiene la función de detectar y verificar huellas dactilares. Cuenta con un chip DSP de alta potencia AS608 que realiza la representación, el cálculo, la búsqueda de características y la búsqueda de imágenes. Utiliza el protocolo serial que permite ser utilizado con cualquier microcontrolador o tarjeta de desarrollo. La función principal de

este sensor de huella dactilar es permitir la dispensación de los medicamentos a través de la identificación de la huella del usuario final. Cuando el adulto mayor coloca su huella previamente registrada en la memoria del sensor, se activa el servomotor que permite la apertura de la compuerta que se encarga de liberar los medicamentos.



Figura 13. Modulo lector de huella. Figura tomada de [44]

iv. Selección de la pantalla

La pantalla utilizada en este proyecto es un módulo OLED (diodo emisor de luz orgánico) que es de baja potencia, liviano y fácil de usar a través del protocolo serie I2C. Tiene dos señales I2C de datos en serie (SDA) y reloj en serie (SCL) que está conectado a los pines GPIO de la placa Wemos [45]. La pantalla OLED incluye el controlador IC de SSD1306 y tiene una resolución de 128 * 64. Esta pantalla OLED se utiliza para mostrar los datos recuperados que se recopilan de la base de datos de la nube que incluye frecuencia cardiaca y la saturación del oxígeno.



Figura 14. Pantalla OLED. Figura tomada de [45]

v. Selección de la alarma sonora

Se selecciono un zumbador o “Buzzer”, el cual es un dispositivo de señalización de audio electromecánico. Este dispositivo será el encargado de dar la señal en el momento determinado para que el usuario final tome el medicamento.



Figura 15. Buzzer. figura tomada de [46]

vi. Selección del sistema de alimentación

La alimentación de todo el sistema se realiza a través de dos baterías de litio 1000 mAh de 3.7 V dispuestas en paralelo y conectadas a un convertidor DC-DC que se encarga de regular la tensión a los 5v y 2.5 A necesarios para alimentar el microcontrolador. Tales componentes se muestran en la Figura 16.

El convertidor DC-DC integra una pantalla que sirve para que visualizar el estado actual del nivel de carga de las baterías. Gracias a esta pantalla el usuario podrá saber en qué momento debe recargar las baterías de nuevo.



Figura 16. modulo DC-DC y batería de litio.

En las Figura 17 y Figura 18, se observan los esquemas generales de los componentes electrónicos que conforman la capa de percepción.

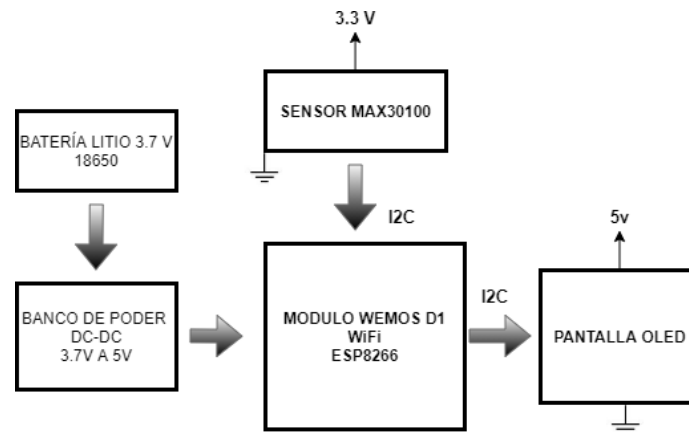


Figura 17. Esquema general para la lectura de pulsioximetría. Fuente propia.

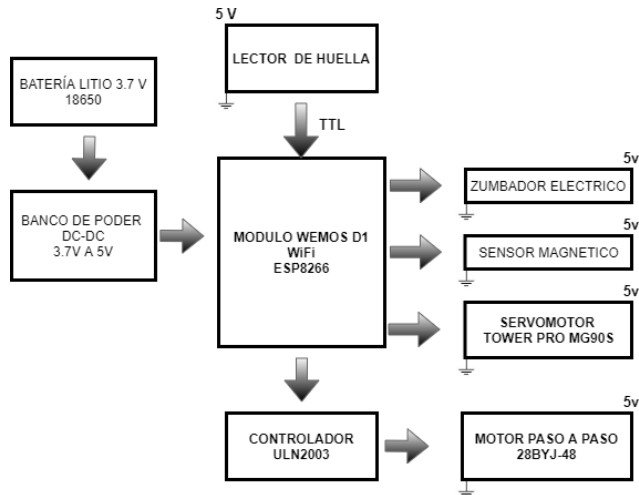


Figura 18. Esquema general para el control mecánico del pastillero. Fuente propia.

➤ Recubrimiento del sistema

Inicialmente en el epígrafe de diseño y construcción de la primera versión, se muestra de forma general el diseño del prototipo inicial en la Figura 19. El diseño inicial se llevó a cabo en el software Tinkercad, el cual es una herramienta de modelado en 3D.



Figura 19. primera versión del pastillero electrónico. Fuente propia.

Los planos mecánicos diseñados se muestran en la Figura 20. Estas piezas se descargaron en un formato de archivo STL.

Según [47] “STL es un formato de archivo informático de diseño asistido por computadora (CAD) que define geometría de objetos 3D, excluyendo información como color, texturas o propiedades físicas que si incluyen otros formatos CAD, el cual es un formato estándar para las tecnologías de fabricación aditiva”

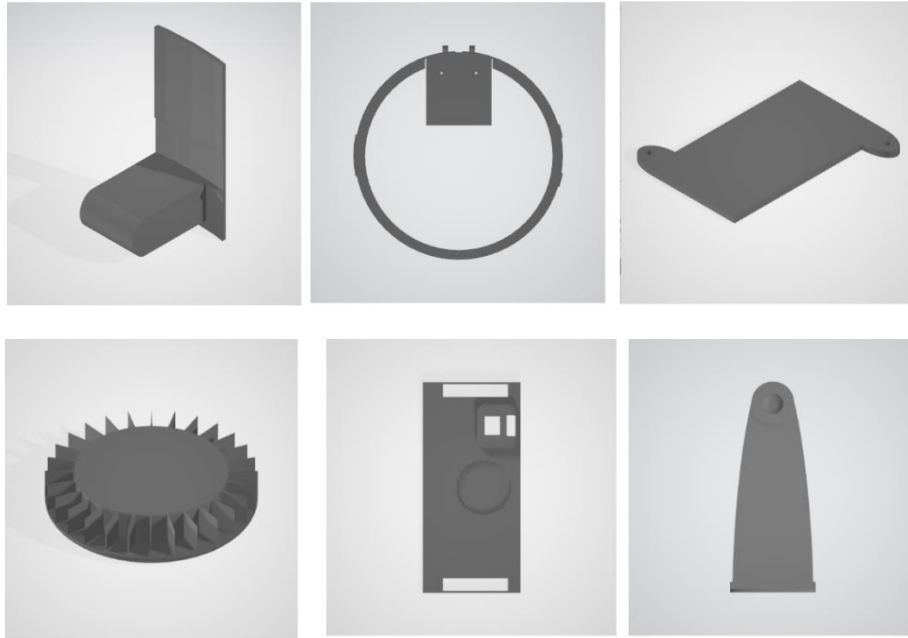


Figura 20. Planos mecánicos del diseño realizado en Tinkercad.

La fabricación de la carcasa y el mecanismo para la dispensación de pastillas se realizó a través de una impresora tridimensional de la marca UltiMaker 3 que pertenece a uno de los laboratorios del programa de ingeniería biomédica de la universidad del Rosario, tal como se observa en la Figura 21.

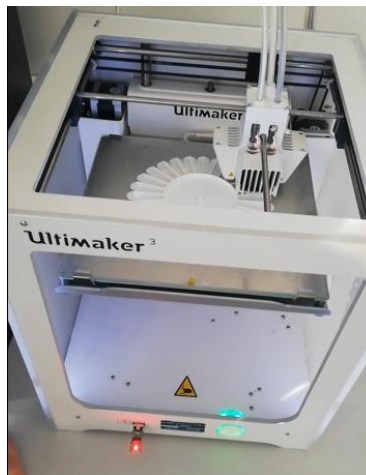


Figura 21. impresora UltiMaker

En el proceso de diseño y construcción del prototipo final se llevaron a cabo dos versiones de diseño ya que a medida que se iba avanzando en la construcción se fueron realizando diferentes modificaciones al diseño inicial.

i. Proceso de fabricación y ensamblaje del dispositivo (primera versión).

La Figura 22, muestra las primeras piezas que se imprimieron a modo de prueba. Se obtuvieron varios prototipos iniciales que sirvieron para mejorar el prototipo final y garantizar el funcionamiento adecuado del sistema.

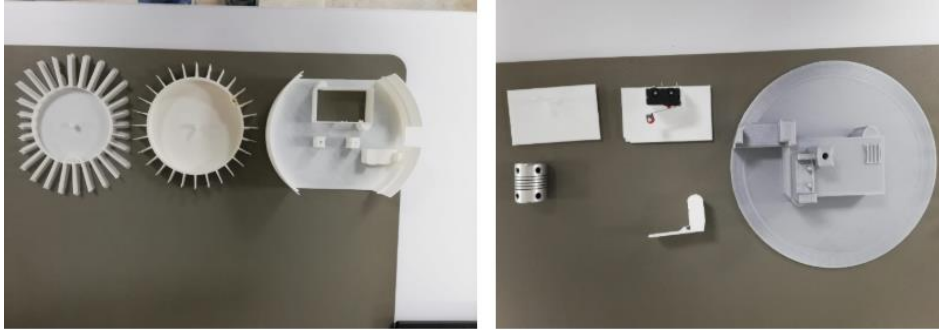


Figura 22. Prototipos iniciales primera versión del prototipo.

Las piezas que se obtuvieron finalmente se muestran en la Figura 23.

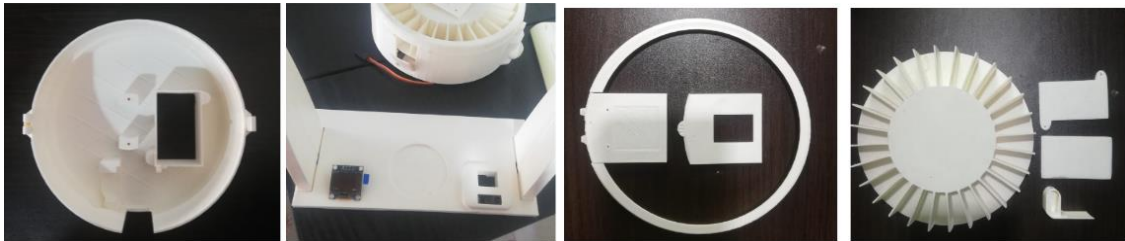


Figura 23. Prototipos finales primera versión del prototipo.

De izquierda a derecha se observa la carcasa del pastillero, donde ira ensamblada el motor paso a paso, el servomotor, la batería y los dos microcontroladores para la primera versión del pastillero ya que más adelante se modificó esta disposición. Luego se muestra la base que sirve de soporte, en la base se coloca el sensor de distancia y el sensor de pulsioximetria. En la segunda versión del pastillero se utilizó esta pieza para instalar toda la electrónica.

Luego se observa la tapa frontal, en ella va un acrílico transparente que tiene la función de sellar completamente el pastillero y la pantalla OLED.

Finalmente se ve el carrusel de contenedor de pastillas que está conformado por 28 compartimentos que permiten la dispensación para cuatro dosis diarias por 7 días de la semana.

En la Figura 24, se muestra el ensamblaje de todos los componentes. Inicialmente se instala el motor paso a paso en la parte central del pastillero con un mecanismo de acople flexible en el rotor para evitar rozamientos que pudieran frenar el contenedor de las pastillas. Luego se instala el servomotor y la placa de circuitos que se ajustan a la base con una silicona líquida. En la tapa se instala la pantalla y un acrílico que sirve para

sellar el contenedor de pastillas. El sensor de pulsioximetría y el sensor de distancia se ubican en unos orificios de la base del pastillero y su cableado se lleva a través de unas canaletas hacia los microcontroladores.

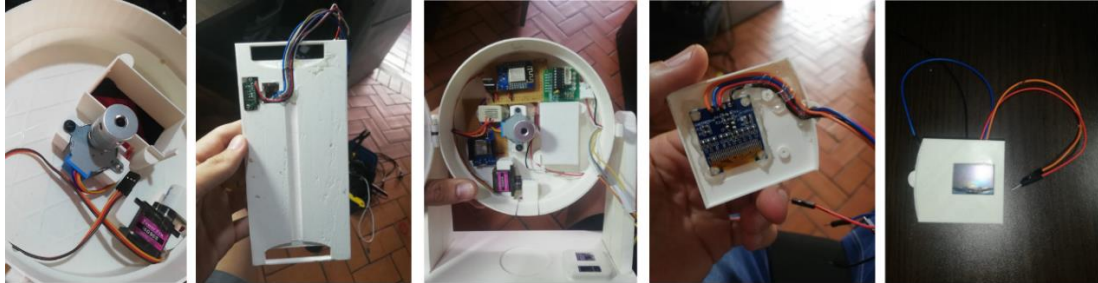


Figura 24. Ensamblaje del dispositivo en su primera versión.

Proceso de fabricación y ensamblaje del dispositivo (segunda versión)

La construcción del prototipo final tuvo una segunda versión en la que se realizaron una serie de modificaciones con respecto al primer diseño. Los cambios que se realizaron con respecto a la primera versión del prototipo son:

- ✓ Se cambió el sensor de distancia por un sensor de huella para mayor seguridad del sistema.
- ✓ Se realizó una adaptación en la base del pastillero para ensamblar la electrónica en la parte inferior de a base.
- ✓ Se hizo una adaptación de una abertura para la instalación de una pantalla que indica el estado de la carga de la batería.
- ✓ Se eliminó el sensor de distancia previamente diseñado en la versión uno del prototipo.

Estas modificaciones se realizaron con material PVC que sirvió para realizar todas estas adaptaciones, tal como se muestra en la Figura 25;



Figura 25. Modificaciones hechas al prototipo inicial.

En la Figura 26, se muestra el ensamblaje del dispositivo en su segunda versión. De izquierda a derecha se observa la conexión de los componentes electrónicos que se instalaron en la base del dispositivo. Esto permitió organizar de mejor manera todos los componentes electrónicos ya que se tenía más espacio que en la versión anterior. Luego se muestra la instalación final del sensor de huella dactilar y la pantalla que indica el nivel de carga de la batería.

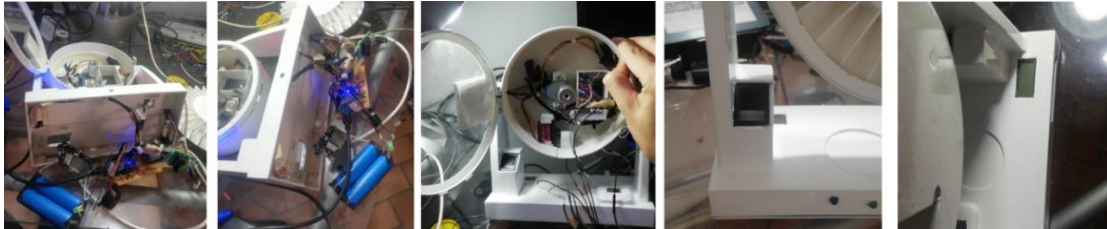


Figura 26 ensamblaje del dispositivo en su segunda versión.

El prototipo diseñado en su segunda versión se muestra más adelante en la sección de los resultados.

➤ **Algoritmo para la adquisición de datos**

El entorno de desarrollo escogido para escribir y cargar el código en el microcontrolador es el software de Arduino, un entorno de desarrollo integrado de código abierto, que dispone de varias herramientas y librerías que permiten, por ejemplo, establecer conexión por medio de protocolos de comunicación como MQTT y HTTP para la transmisión y de datos a través de una red WiFi.

En la construcción del programa se diseñaron dos códigos y sus respectivos diagramas de flujo. Primero, se presenta el código que se encarga de la adquisición, lectura y transmisión de datos del sensor de oximetría (MAX30100). Luego se presenta el segundo código que se encarga del control de la dispensación de los medicamentos. A continuación, se explican los bloques de cada uno de los códigos.

i. Primer código: Adquisición de datos registrados por el sensor MAX30100

El código para la programación del microcontrolador sigue el algoritmo de funcionamiento mostrado en el Anexo 3. A continuación, se explica cada bloque.

En primer lugar, se incluyeron las librerías que son creadas por otros usuarios de Arduino y que facilitan mucho la programación, dentro de estas se encuentran:

- ✓ **WiFiManager.h:** se utilizan para realizar la configuración de la red WiFi.
- ✓ **ArduinoMqttClient.h:** con la cual se habilita el envío y recepción de mensajes mediante el protocolo MQTT.
- ✓ **MAX30100_PulseOximeter.h:** la cual se utiliza para realizar la lectura de la frecuencia cardíaca y el porcentaje de saturación de oxígeno en la sangre.

- ✓ **Adafruit_GFX.h** y **Adafruit_SSD1306.h**: utilizadas para la visualización en pantalla OLED

En segundo lugar, se declaran las variables donde se asignan los valores predeterminados a cada variable y se define el tipo de variable. Adicionalmente, se declara una variable de tipo payload para posteriormente publicar el mensaje en formato JSON hacia el servidor en la nube. Se configura la red WiFi, se define el nombre de la red inalámbrica, la dirección del servidor, el puerto y el tópico para la comunicación MQTT.

En tercer lugar, la función Setup es donde se inicializan todas las funciones como: la conexión a la red Wifi, el sensor de oximetría, la pantalla OLED y la conexión al bróker. También se crean 3 funciones para las reconexiones en el caso de que fallen las conexiones de la red WiFi, el bróker MQTT, o el sensor de pulsioximetría. La función Setup se ejecuta solo una vez para luego dar paso a la función Void Loop.

Por último, se da inicio al Void Loop o ciclo principal, que es donde se ejecutan infinitamente todas las funciones que se encuentran dentro de este bucle a menos que se genere una interrupción. En este caso las tareas de este Loop son adquirir los valores registrados por el sensor a través de los comandos "pox.getHeartRate" y "pox.getSpO2" y presentar a través de pantalla el valor correspondiente a frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno. Luego se crea el mensaje para la transmisión de los valores registrados por el sensor en un formato válido para la comunicación por protocolo MQTT con la función "CrearJson" y enviar el dato a través de la función "onBeatDetected".

En la configuración dentro de la función "CrearJson" se crea el mensaje en un formato especial para el intercambio de datos denominado Json (JavaScript Object Notation), que es enviado a través de la función "onBeatDetected" por medio de un tópico llamado "MedidasSensor" previamente configurado en el servidor.

- ii. **Segundo código:** para la adquisición de datos de la dispensación de medicamentos

Así como se muestra el algoritmo de funcionamiento de la dispensación de medicamentos en el Anexo 4, se incluyeron las librerías WIFIManager y ESP8266WiFi para realizar la conexión WiFi. En la conexión WiFi se establece el nombre de la red, la contraseña y la dirección del bróker. También se incluye la librería PubSubClient.h con la cual se habilita el envío y recepción de mensajes a través del protocolo MQTT. Mas adelante en el código se inicializan las variables y se realiza la configuración de la red wifi y el bróker MQTT.

En la función Setup se definen los puertos de entrada y de salida de los diferentes componentes que irán conectados a los pines del microcontrolador, también se inicializa la conexión WiFi y la conexión al bróker. Luego de esto se crea una línea de código para hacer girar el motor paso a paso a una posición inicial que indica la posición cero del contenedor de pastillas o carrusel de compartimentos.

Posteriormente, se realiza la sincronización de la red WiFi, la conexión al bróker y que el motor se halla colocado en la posición inicial entra la función Void Loop. Dentro del Loop se ejecuta la función "callback" que tiene 3 funciones principales: Adquirir los

comandos necesarios desde el servidor para accionar el motor paso, enviar los mensajes al servidor en la nube y adquirir la hora actual de la red.

En la función “callback” se crea un tópico llamado “ComandosGiro”, donde se adquieren los comandos necesarios desde el servidor para accionar el motor paso a paso y posicionarse a ciertos grados dependiendo del comando recibido. Es decir, cuando es el momento de tomar las pastillas se recibe un comando que activa una alarma sonora y el motor gira a una determinada posición para la dispensación del medicamento. El sensor de huella se activa cuando detecta la presencia de una huella válida para indicar al servomotor que debe girar 40 grados para abrir la compuerta y dispensar los medicamento.

Cuando el servomotor se acciona envía un comando al servidor en la nube a través de un tópico llamado “EnvioNotificacion” creado en la función “callback” indicando que ha sido tomada la pastilla. Si por el contrario el sensor de huella no se activa en un lapso de 1 minuto, el servomotor no se acciona y la compuerta no se abrirá, en este caso se envía un comando al servidor a través del mismo tópico indicando que no ha sido tomada la pastilla.

La hora actual se obtiene del servidor a través de la función “callback” que se recibe en un tópico llamado “HoraActual” para ser comparada con la hora de toma de medicamento y así iniciar el temporizador de 1 minuto.

3.4.2. CAPA DE TRANSMISIÓN

El módulo Wemos D1 mini es una tarjeta de desarrollo que cuenta con características de conectividad vía WiFi que tiene como procesador el ESP8266. Este módulo permite transportar información entre dispositivos a través de un protocolo de comunicación utilizado en IoT denominado como “protocolo de transporte de mensajes” más conocido como MQTT por sus siglas en inglés, el cual basa su principio de interacción en el modelo de publicación / suscripción.

En el proceso de comunicación, la información se intercambia entre dispositivos, ya sean como datos o como comandos y para publicar o recibir los datos, siempre se debe especificar un tema o tópico. El protocolo MQTT utiliza un servidor intermediario denominado bróker y es el responsable de recibir y filtrar todos los mensajes, determinar qué dispositivos están interesados en el tema y enviar mensajes a todos los clientes suscritos. Una de las principales características del protocolo MQTT es que, a diferencia de otras arquitecturas de publicación / suscripción, los clientes no necesitan conocer la ubicación del servidor al cual accede, ya que la conexión entre ellos es manejada por el bróker. De esta forma se produce un desacoplamiento e independencia entre los diferentes componentes del sistema [48].

Por otro lado, la aplicación móvil desarrollada en App Inventor se comunica con el servidor en la nube llamado Node-RED a través de un servicio de almacenamiento proporcionado por Google, llamado Firebase. Esta comunicación se realiza mediante la utilización del protocolo de comunicación HTTP sus siglas en inglés “Hypertext Transfer

Protocol”, que basa su funcionamiento en el paradigma de cliente/servidor. La Figura 27 muestra todo el proceso de transmisión de la información.

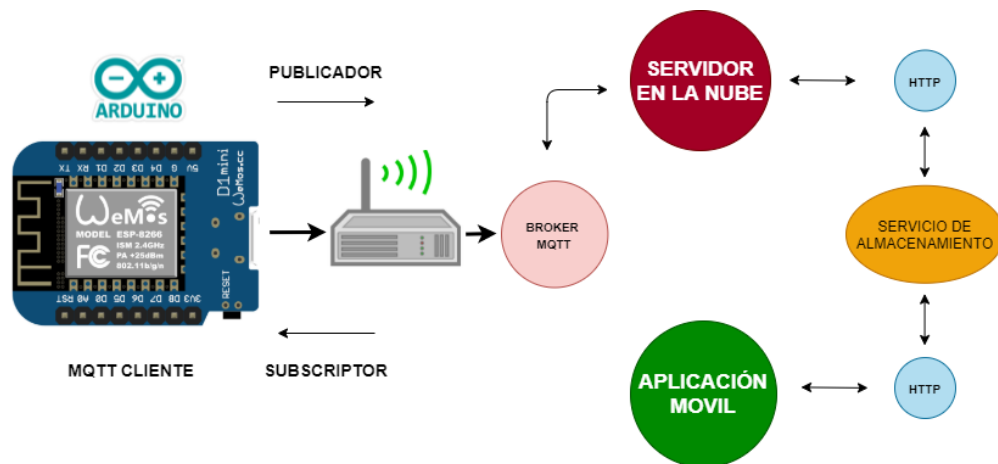


Figura 27. Capa de transmisión. Fuente propia.

3.4.3. CAPA DE SERVICIOS

Los datos recibidos se manipulan, transmiten y almacenan a través de la codificación de un programa utilizando la herramienta Node-RED la cual, tiene un enfoque amplio en aplicaciones de IoT.

El entorno de desarrollo de Node-RED que se muestra en el Anexo 5, es una herramienta de desarrollo visual basada en flujo de código abierto para la integración de dispositivos de hardware, interfaces de programación de aplicaciones web (API) y servicios en la nube, donde los usuarios pueden configurar su programa arrastrando y conectando nodos entre sí, sencillamente dibujando cables y añadiendo parámetros a ellos [49].

➤ Construcción del flujo en el editor de Node-RED

El flujo desarrollado en el software Node-RED que se muestra en la Figura 28, Permite el control de todos los elementos del dispositivo. El flujo número 1 muestra las conexiones de los nodos y las funciones creadas para el control de la dispensación de medicamentos. El flujo número 2 muestra la configuración realizada para la lectura de la base de datos. Por último, el flujo número 3 muestran los nodos y las conexiones realizadas que permiten adquirir la lectura del sensor de oximetría.

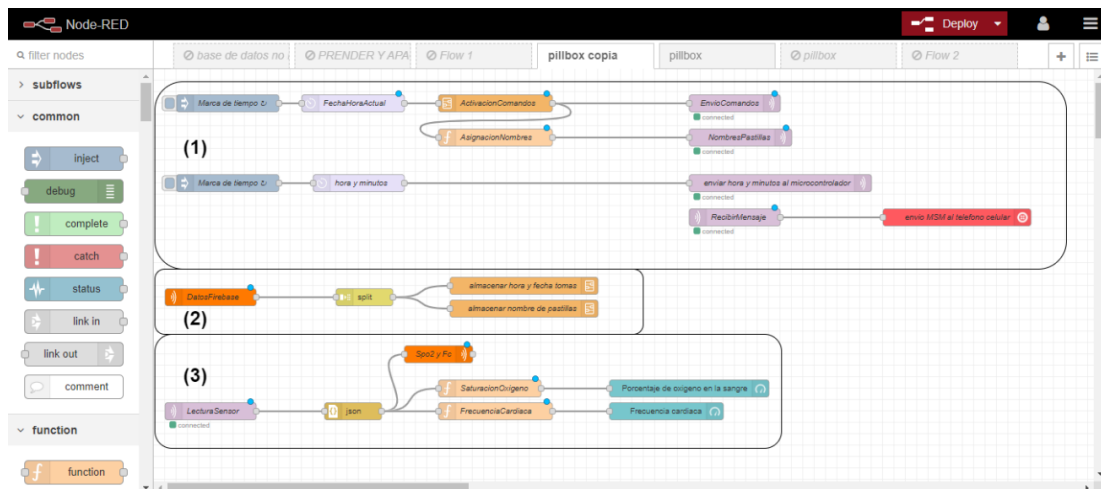


Figura 28. Flujos del código. Fuente propia.

i. Control de la dispensación de medicamentos (Flujo 1)

En la sección de la Figura 28.1 se ejecutan las funciones específicas que permiten estructurar mensajes y enviarlos a la tarjeta de control wemos D1 mini, la cual interpreta estos flujos y toma las acciones correspondientes para ejercer el control sobre la dispensación de las pastillas.

El nodo llamado “FechaHoraActual” produce una salida de fecha y hora. Este nodo permite ser configurado en cualquier formato o zona horaria que se desee como se muestra en la Figura 29. El uso más fácil de este nodo es alimentarlo con un nodo de inyección o marca de tiempo.

```
20/5/2021, 3:43:57 p. m. node: ab8e3450.503c48
msg.payload : string[24]
"20 de mayo de 2021 15:43"
```

Figura 29. salida obtenida del nodo “Fecha y hora actual”.

Conectado a este nodo se encuentra un subflujo llamado “ActivaciónComandos” que internamente evalúa unas reglas definidas en función de unas variables de contexto de flujo y envía el mensaje a las salidas correspondientes de las reglas coincidentes.

Lo que se quiere en este caso es realizar una comparación entre el mensaje entrante del nodo “FechaHoraActual” con las variables que contienen los horarios de toma de pastillas previamente configurados por el usuario en la aplicación móvil. A la salida del nodo se obtienen los diferentes comandos para la activación de los giros del motor a través del nodo MQTT llamado “EnvíoComandos”.

A través del nodo “AsignaciónNombres” se asigna a cada comando una variable que contiene el nombre de pastilla de cada compartimento. Luego este valor se envía al microcontrolador por medio del nodo MQTT llamado “NombresPastillas”.

Este proceso se realiza con el objetivo de determinar que medicamento corresponde a cada compartimento que se va activando con el tiempo. Luego, esta información se procesa en el código de Arduino y se recibe de nuevo al servidor a través de un nodo de MQTT llamado "RecibirMensaje", pero en este caso ya como un mensaje que servirá para enviar notificaciones como mensajes de texto al celular del cuidador a través del nodo "envío SMS".

- **Almacenamiento de datos (Flujo 2)**

Los horarios de toma de medicamentos que son configurados por el cuidador desde una aplicación y que son almacenados en la base de datos de Firebase como se muestra en la Figura 30, son adquiridos por el servidor en la nube Node-RED gracias a un nodo llamado "DatosFirebase" que se encarga de recibir los datos del servicio de almacenamiento Firebase, tal como se presentó anteriormente en la figura 28 en el numeral 2.

Conectado se encuentran un nodo llamado "Split" que se encarga de separar la información y luego almacenarla en unas variables de contexto por medio de los subflujos llamados "almacenar hora y fecha tomas" y "almacenar nombre de pastillas".

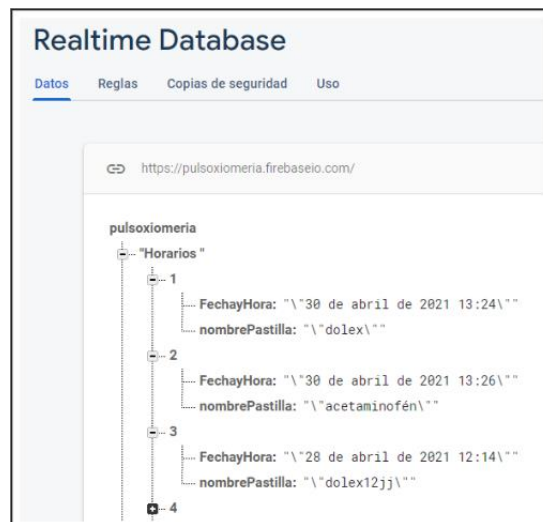


Figura 30. Base de datos en tiempo real. Fuente propia.

- ii. **Lectura del sensor de oximetría (Flujo 3)**

En la Figura 28.3 se presenta la configuración para adquirir la medida del sensor de oximetría. En el inicio de la configuración realizada se encuentra un nodo de entrada MQTT llamado "LecturaSensor" que se encarga de recibir los datos del sensor a través de un tópic. Conectado a este nodo se encuentra un nodo de tipo "Json" que tiene la función de convertir el mensaje a un formato compatible con JavaScript. A la salida del nodo Json se conectan dos nodos de función que se encargan de extraer las medidas de frecuencia cardíaca y saturación de oxígeno. A la salida del nodo Json también se conecta un nodo de tipo Firebase que se encarga de registrar los datos obtenidos

llamado “Spo2 y Fc”. Luego se encuentran dos nodos de función llamados “Saturacionoxigeno” y “FrecuenciaCardiaca” encargados de adquirir las dos variables medidas por el sensor de oximetría. Finalmente se incluyen unos nodos para la visualización de las medidas a través de una interfaz gráfica, tal como se muestra en la Figura 31;

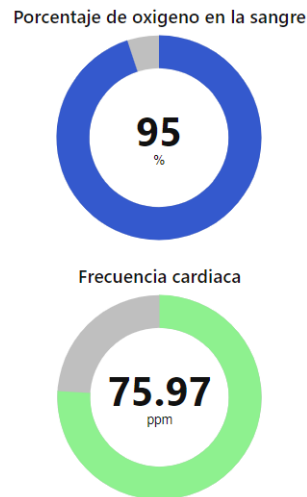


Figura 31. Interfaz de usuario del Node-RED. Fuente propia.

3.4.4. CAPA DE APLICACIÓN

➤ Diseño aplicación móvil e interfaz grafica

El desarrollo de la aplicación móvil se realizó bajo el entorno de desarrollo de software App inventor, creado principalmente por el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts, por sus siglas en inglés) y luego adaptado por Google para el diseño de aplicaciones móviles. App Inventor proporciona una interfaz gráfica de usuario y herramientas de diseño fáciles de usar, que permiten a los usuarios arrastrar y soltar objetos visuales para desarrollar aplicaciones que se puede ejecutar en teléfonos inteligentes basados en Android. A continuación, se muestra un ejemplo de una de las pantallas diseñadas en esta aplicación.

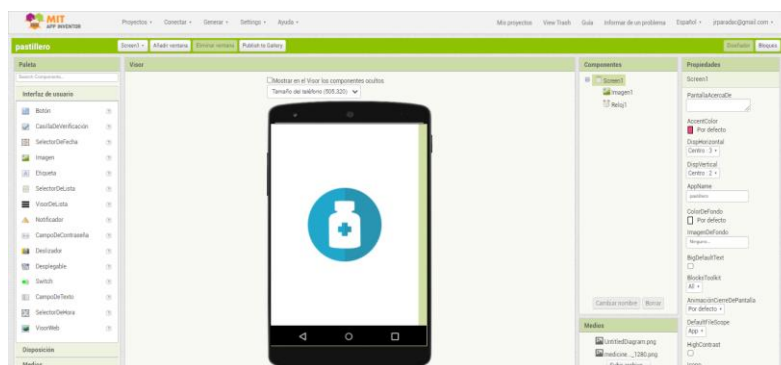


Figura 32 ejemplo de la interfaz de diseñador. Diseño de la pantalla de bienvenida de la aplicación.

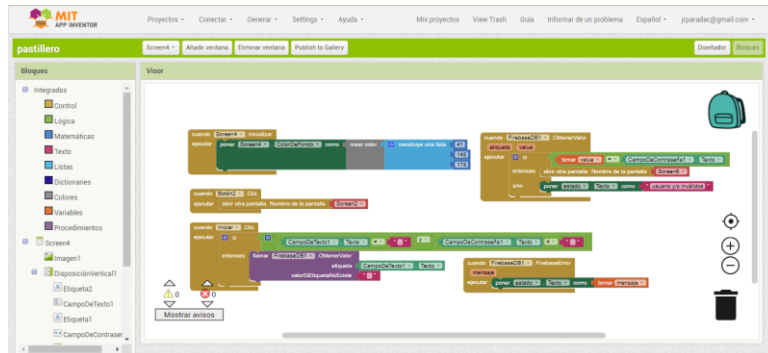


Figura 33. Ejemplo de la programación en bloque de una de las pantallas (screen1) de la aplicación desarrollada.

Lo que se quiere lograr con el diseño de esta aplicación es establecer por medio de una interfaz gráfica la configuración de los horarios para la toma de los medicamentos. Asimismo, se busca que por medio de la aplicación se pueda visualizar y monitorear la oximetría de pulso de los adultos mayores. La comunicación entre la aplicación y el dispositivo se efectúa gracias a los diversos protocolos de comunicación utilizados en IoT, las bases de datos y las herramientas que integra el software App Inventor. A continuación, se presenta el diseño y la definición de las principales pantallas (Screens) de la aplicación móvil y se describe la lógica implementada en ellas para su funcionamiento.

La Screen1 es la pantalla de bienvenida a la aplicación, en ella se integra un temporizador de 3000 mS que inicia y abre la pantalla (Screen2). La Screen2 consta de dos botones uno para el registro de un nuevo usuario y el otro para el ingreso de un usuario ya registrado. De modo que, cuando se presiona el botón de registro se inicia la pantalla (Screen3) y cuando se presiona el botón de ingresar se inicia la pantalla (Screen4).

Una vez la Screen 3 está abierta, aparecen tres campos para digitar texto: En el primero se digita el usuario; En el segundo, se digita una contraseña y en el tercer campo, se digitan la misma contraseña para su confirmación. Para guardar esta información se utiliza un botón llamado “Registrarse” que al ser presionado ejecuta la acción de guardar los datos en una base de datos previamente creada en Firebase. El almacenamiento se logra gracias a un nodo llamado “FierabaseDB1” proporcionado por App Inventor. En este nodo se configura un tópico llamado “credenciales de usuario” que es donde se guardan los datos de usuario y contraseña. De igual manera, se crean unos bloques que sirven para indicar si el registro fue correcto o si por el contrario no se llevó a cabo correctamente.

Una vez la Screen4 es abierta, se pide la autenticación del cuidador para iniciar la sesión, allí existen dos campos de texto donde se debe ingresar el usuario y la contraseña. Por el lado de la programación en bloques, se definen unos mensajes de alerta que sirven para indicar si el usuario o clave fueron digitados incorrectamente. Esta pantalla cuenta con un botón llamado “inicio de sesión” que, al ser presionado, se

consulta la información en la misma base de datos de Firebase donde fue guardada esta información.

La Scream5 es donde se configuran los horarios para la toma de los medicamentos. En ella se ingresa el nombre del medicamento y se selecciona la fecha y hora en la cual se deben tomar. En el entorno de programación de bloques, se disponen varias configuraciones que tienen la función de organizar, almacenar y consultar la información en la base de datos de Firebase.

Finalmente, la Scream6 es donde se muestra los datos obtenidos por el sensor de oximetría. Para adquirir estos datos de nuevo se hace uso del nodo "FierabaseDB1" a través de la etiqueta "DatosSensorPulso" previamente configurada en la base de datos de Firebase.

➤ Configuración de la red Wifi

Para realizar la conexión a la red wifi, el dispositivo debe ser configurado a través de una interfaz gráfica. Cuando el dispositivo ya se encuentra encendido es posible encontrar una red llamada "pastillero" a través de cualquier dispositivo electrónico que posea tecnología WiFi. Luego de seleccionar la red "pastillero" aparece una interfaz gráfica como se muestra en la Figura 34, donde se pueden seleccionar diferentes opciones para la configuración de la red WiFi. Cuando el cuidador selecciona la opción "configure WiFi" aparecen todas las redes disponibles.

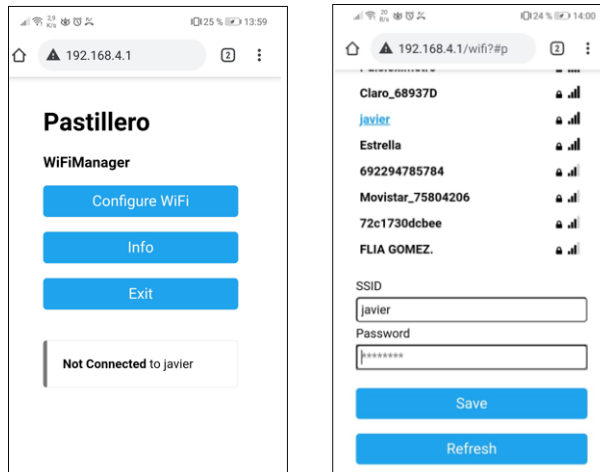


Figura 34. Interfaz de conexión Wifi. Fuente propia.

3.4.5. PRUEBAS DE DESEMPEÑO

En esta sección se presentan las pruebas realizadas para la validación de funcionamiento del sistema, con el fin de evaluar la respuesta del programa desarrollado en el software de Arduino y el funcionamiento de los componentes electrónicos. Inicialmente se realizaron pruebas funcionales mecánicas al prototipo para verificar la correcta dispensación de los medicamentos. Igualmente, se evaluó el funcionamiento del sensor de oximetría para determinar la eficacia y confiabilidad del sensor comparándolo con un sensor de uso comercial.

➤ Prueba de dispensación de los medicamentos

Para las pruebas de dispensación de pastillas, se desarrolló un diseño experimental con la finalidad de probar las siguientes funcionalidades que integran el sistema:

- ✓ Giros del motor paso a paso a través de los horarios configurados.
- ✓ Apertura y cierre de la compuerta de dispensación mediante la activación del sensor de huella.
- ✓ Envío de notificaciones mediante MSM.

Inicialmente se procede a realizar la configuración de los horarios de dispensación de pastillas mediante la aplicación móvil.

La prueba consistió en poner aleatoriamente en dos estados diferentes (activo / inactivo) el sensor de huella que tiene la función de accionar el servomotor para la apertura o cierre de la compuerta de dispensación de pastillas, siempre y cuando se cumpla el momento de toma mediante los horarios previamente configurados.

Para llevar a cabo la prueba fue necesario modificar el código de Arduino para imprimir por el monitor serial cada una de las acciones que se iban ejecutando en el programa. Al lado de las Figura 35 y Figura 36 se observan las pruebas ejecutadas por medio del monitor serial, con lo cual se nota el correcto funcionamiento del sistema.

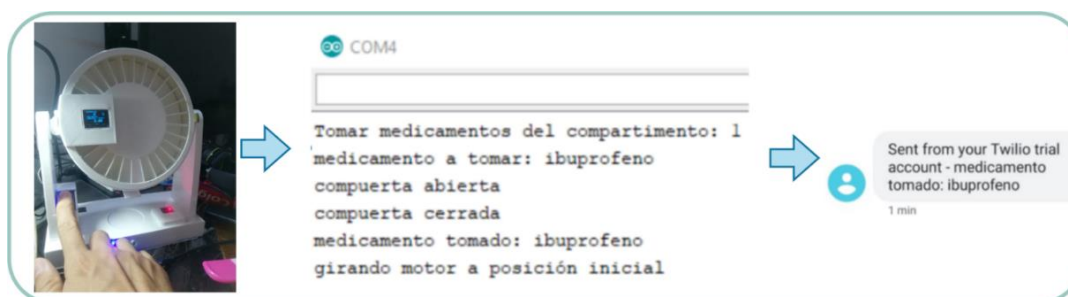


Figura 35 Prueba de dispensación (sensor activo). Fuente propia.

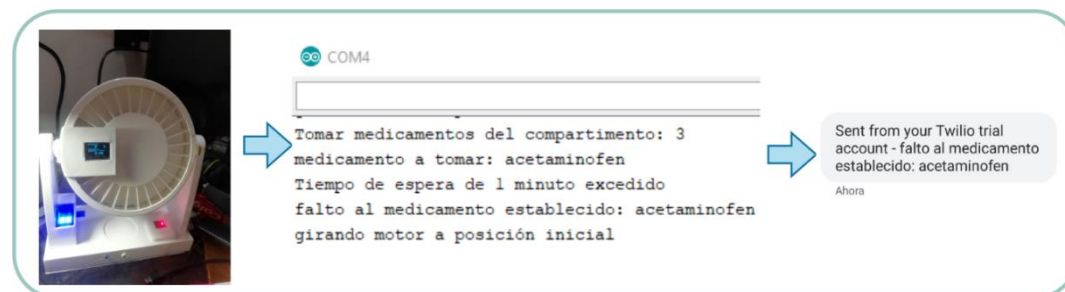


Figura 36 Prueba de dispensación (sensor inactivo). Fuente propia.

➤ Prueba del sensor de oximetría de pulso.

Con el fin de conocer si los datos medidos por el sensor son confiables es necesario asegurarse del correcto funcionamiento del mismo. Para ello se realizó una prueba comparativa del desempeño del oxímetro desarrollado en este trabajo con un oxímetro comercial, tal como se muestra en la Figura 37.

Para realizar la prueba se procedió a conectar el sensor de oximetría, además de cargar en el microcontrolador el programa encargado de recibir los datos provenientes del sensor para imprimirlos en el monitor serial del Arduino y la pantalla OLED.

Los datos medidos por ambos sensores se registraron en una tabla durante aproximadamente 2 horas donde se compararon las medidas obtenidas y posteriormente realizar el cálculo para obtener el error correspondiente a los parámetros de Spo2 y ritmo cardiaco.



Figura 37. Comparación de medidas entre sensor MAX30100 y sensor comercial. Fuente propia.

3.5. PRUEBA DE VALIDACIÓN Y USABILIDAD

Consistió en realizar una prueba para validar la usabilidad del prototipo, basado en la experiencia de un profesional en enfermería con experiencia en el cuidado de adultos mayores. Esta prueba se realiza bajo un ambiente con condiciones normales donde se le pide a la enfermera seguir con sus actividades cotidianas y a la vez usar el pastillero electrónico en un periodo de tiempo de 1 día. La prueba realizada siguió con un manual de uso del prototipo que se encontrara en el Anexo 6 y que se resume a continuación:

- ✓ Inicialmente, la enfermera debe configurar la conexión a la red wifi del pastillero a través de una red wifi llamada “pastillero electrónico”, donde debe ingresar el usuario y clave de su red WiFi personal.
- ✓ luego, debe organizar a modo de prueba las pastillas en los compartimentos y configurar los diferentes horarios a través del aplicativo móvil para los medicamentos.
- ✓ Cuando es el momento de tomar el medicamento se genera una alarma audible y lumínica que indica a la enfermera que debe acercarse al pastillero electrónico.

- ✓ Posteriormente, debe autenticarse en el sensor de huella y esperar a que se dispensen las pastillas.
- ✓ Al investigador deberá llegar un mensaje de texto indicando si la enfermera tomo o no el medicamento establecido.
- ✓ Cuando la enfermera así lo quiera, puede realizar la lectura de sus variables fisiológicas en el sensor de oximetría.

La enfermera como se observa en el Anexo 7, fue la encargada de realizar estas pruebas y al finalizar se le pide diligenciar una encuesta, la cual contaba con puntajes tipo escala Likert entre 1-5, donde 1 es totalmente en desacuerdo y 5 es totalmente de acuerdo.

La encuesta aplicada se basó en un formato, propuesto por John Brooke, respecto a la escala Likert de usabilidad de los sistemas (SUS) [50]. La Escala de Usabilidad del Sistema es una escala simple de diez ítems que brinda una visión global de las evaluaciones subjetivas de la usabilidad. Está conformada por preguntas de elección forzada donde se hace una declaración y el encuestado luego indica el grado de acuerdo o desacuerdo. El cuestionario aplicado se analiza y se muestra en el Anexo 14.

3.6. NIVEL DE MADUREZ TECNOLÓGICO (TRL) DEL PROTOTIPO PROPUESTO

Con el fin de identificar el grado de desarrollo en que se encuentra este prototipo de asistencia para la medicación, es conveniente establecer en que grado de madurez tecnológica o TRL se encuentra.

Básicamente el TRL sirve para medir el nivel de madurez de una determinada tecnología, se mide en una escala que consta de 9 niveles, tal como se muestra en la Figura 38. Desde una investigación básica (TLR 1) hasta un producto en comercialización (TLR 9) [51].

Nivel TRL	Descripción
TRL 1	Principios básicos observados y reportados
TRL 2	Concepto o tecnología formulados
TRL 3	Prueba de concepto
TRL 4	Validación a nivel de componentes en laboratorio
TRL 5	Validación de componente y/o disposición de los mismos en un entorno relevante
TRL 6	Modelo de sistema o subsistema o demostración de prototipo en un entorno relevante
TRL 7	Demostración de sistema o prototipo en un entorno real
TRL 8	Sistema completo y certificado a través de pruebas y demostraciones
TRL 9	Sistema probado con éxito en entorno real

Figura 38. Niveles de madurez tecnológica (TRL). Tomado de [52].

Con base a la propuesta presentada en este trabajo, donde se propuso la construcción de un “prototipo funcional” de pastillero electrónico, en la que se llevó a cabo una revisión del estado del arte con relación a los artículos científicos más relevantes, una identificación de las necesidades y requerimientos de los adultos mayores frente a la medicación, los procedimientos de diseño y desarrollo presentados y las pruebas de concepto desarrolladas, se puede determinar que el grado de madurez tecnológica de este desarrollo tecnológico corresponde a un nivel de TRL 3, el cual corresponde a prototipos en fase de pruebas de experimentales en laboratorio, dejando claro que esta aún no se debe probar en entornos reales.

4. RESULTADOS

4.1. SELECCIÓN DE LOS ESTUDIOS

La Figura 39, muestra gráficamente el resultado sintetizado de la búsqueda en las bases de datos sobre trabajos relacionados con desarrollos de pastilleros electrónicos. Este proceso de consulta proporciono 568 artículos de los cuales 457 fueron duplicados quedando así 111 artículos para revisar. De estos 111 documentos fueron excluidos 94 los cuales fueron filtrados a través de la lectura de los resúmenes y títulos, teniendo como base que no cumplieron con los criterios de inclusión. Los 17 artículos restantes se analizaron con más detalle ya que cumplían con los criterios de inclusión.

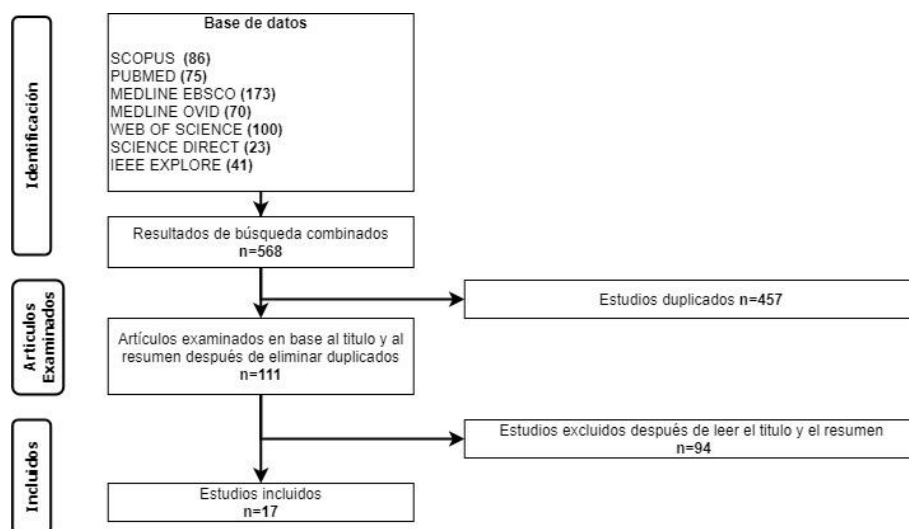


Figura 39. Resultados de búsqueda de artículos de literatura revisada académicamente. Fuente propia.

4.2 ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS Y CONSTRUCCIÓN DE LOS ANTECEDENTES

La construcción de los antecedentes tecnológicos incluidos en el este trabajo se construyó a partir de esta revisión bibliográfica. Adicional a esto, los resultados obtenidos del análisis de los artículos se presentan en 3 tablas diferentes.

- ✓ En el Anexo 8, se identifica la tecnología principal y secundaria de cada uno de los artículos encontrados.
- ✓ En el Anexo 9, se presentan las propiedades claves de los sistemas encontrados en los pastilleros electrónicos (principales características/ ventajas / limitaciones).
- ✓ En el Anexo 10, se extrae información relevante sobre: el propósito de la investigación, sensores utilizados, tipos de comunicación, unidad de procesamiento, actuadores utilizados, sistema de alimentación.

4.2. ANÁLISIS DE LA OPINIÓN DE LOS CUIDADORES DE ADULTOS MAYORES

Se realizó un muestreo no probabilístico a 45 personas entre cuidadores especializados y familiares de adultos mayores, las cuales previamente aceptaron responder a cada una de las preguntas de la encuesta a través de la aceptación del consentimiento informado que se envió en el mismo formulario de preguntas a través de correo electrónico (ver Anexo 11). La encuesta se llamó “**necesidades y requerimientos de los de adultos mayores con la interacción de múltiples medicamentos**” y fue realizada desde la plataforma de Google Forms.

Las respuestas del formulario fueron llevadas al software estadístico SPSS, con el fin de realizar un análisis unidimensional de la información y así poder representarla en el presente documento.

En la Tabla 2, se observa la distribución por género de los participantes encuestados. Observando un 60% de población femenina y un 40% masculina.

Tabla 2. Género de la encuesta

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Masculino	18	40,0	40,0	40,0
	Femenino	27	60,0	60,0	100,0
	Total	45	100,0	100,0	

Es interesante ver como más del 90% de los participantes en la encuesta son los mismos familiares de pacientes polimedicados, demostrando un interés y apoyo por la nueva tecnología propuesta.

Tabla 3. ¿Qué relación tiene con el adulto mayor?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Familiar Cuidador	41	91,1	91,1	91,1
	formal	4	8,9	8,9	100,0
	Total	45	100,0	100,0	

Con el fin de analizar los posibles motivos del olvido de los medicamentos se realiza la pregunta de la Tabla 4, obteniendo respuestas a ocho (8) posibles motivos identificados en la investigación distribuidos en confusión, caídas, olvido, pérdida y descuido.

Tabla 4. ¿Qué dificultades se presentan con el manejo de medicamentos?

Válido		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
	Confusión y toma de medicamentos no indicados	6	13,3	13,3	13,3
	Derrame o caída de los medicamentos	2	4,4	4,4	17,8
	Dificultad para identificar el medicamento	8	17,8	17,8	35,6
	Medicamentos al alcance de niños	3	6,7	6,7	42,2
	Olvido de la toma de su medicamento	18	40,0	40,0	82,2
	Perdida de los medicamentos	4	8,9	8,9	91,1
	Problemas al abrir los empaques de medicamentos	2	4,4	4,4	95,6
	Toma de medicamentos vencidos	2	4,4	4,4	100,0
	Total	45	100,0	100,0	

El 40% de la muestra encuestada olvida con frecuencia la toma de su medicamento, observando una alta probabilidad de aceptación ante un producto que pueda recordarles con total tranquilidad el consumo de estos.

Tabla 5. ¿Cómo recuerda que debe tomar sus medicamentos?

Válido		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
	Almacena de forma segura y ordenada los medicamentos	9	20,0	20,0	20,0
	Informa a sus amigos o familiares para que le ayuden a recordar	4	8,9	8,9	28,9
	Usa notificaciones como mensajes de texto o correos electrónicos	1	2,2	2,2	31,1
	Usa recordatorios electrónicos como un reloj, teléfono o computadora	9	20,0	20,0	51,1
	Usa recordatorios visuales como calendarios o notas adhesivas	15	33,3	33,3	84,4

Usa un pastillero	6	13,3	13,3	97,8
Verifica que medicamentos se encuentran vencidos	1	2,2	2,2	100,0
Total	45	100,0	100,0	

En la Tabla 5, se muestran diferentes métodos tradicionales de uso para el recordatorio de la toma de los medicamentos. Observando una alta participación en los recordatorios bien sean visuales, sonoros o tecnológicos.

Tabla 6. ¿Cuántas pastillas debe tomar semanalmente?

Válido		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
	De 1 a 5 pastillas	7	15,6	15,6	15,6
	De 6 a 10 pastillas	7	15,6	15,6	86,7
	De 11 a 15 pastillas	14	31,1	31,1	46,7
	De 16 a 20 pastillas	11	24,4	24,4	71,1
	Más de 20 pastillas	6	13,3	13,3	100,0
	Total	45	100,0	100,0	

En la Tabla 6, se observa un alto porcentaje de encuestados que toman entre 11 a 15 pastillas, las cuales son las suficientes como para necesitar de un pastillero.

Además, se afirma que 6 de los encuestados toman más de 20 pastillas semanales, representando el 13.3% de la muestra.

Para la pregunta de la Tabla 7, algunos participantes aseguran que únicamente con verificar su boca, sacando la lengua, marcando la caja, identificando por colores y monitoreando en el momento que esa sea la pastilla son algunos de los métodos coloquiales a la verificación del medicamento.

Tabla 7. ¿tiene algún método para verificar si el adulto mayor tomo sus medicamentos de manera correcta?

Válido		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
	No	30	66,7	66,7	66,7
	Si	15	33,3	33,3	100,0
	Total	45	100,0	100,0	

Es importante recalcar que estos métodos no son eficaces, y por tratarse de métodos humanos puedan cometerse errores comúnmente provocados por el descuido, el cansancio o el afán.

Ahora, esta premisa es afirmada por la Tabla 8, donde se muestra la frecuencia con la que las diferentes personas suelen llevar o consumir medicamentos fuera de su hogar, mostrando que 16 encuestados indican que algunas veces si deben consumir medicamentos por fuera de su hogar, representando el 35.6% de la muestra.

Tabla 8. ¿suele llevar o consumir medicamentos fuera de su hogar?

Válido		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
	Muy frecuentemente	5	11,1	11,1	88,9
	Frecuentemente	7	15,6	15,6	77,8
	Algunas veces	16	35,6	35,6	35,6
	Casi nunca	12	26,7	26,7	62,2
	Nunca	5	11,1	11,1	100,0
	Total	45	100,0	100,0	

Además, se observando que cerca de 12 personas (7 frecuentemente y 5 muy frecuentemente) consumen medicamentos por fuera de su hogar.

Una vez conocida la problemática a nivel muestral, se realizan preguntas con el fin de conocer la experiencia del encuestado ante un posible uso de pastillero electrónico, con el propósito de recopilar los posibles servicios, alertas y recordatorios que al usuario final le gustaría contar en el pastillero.

Más del 90% de los encuestados (41 personas) no han usado nunca un pastillero electrónico, como se observa en la Tabla 9.

Tabla 9. ¿Conoce o ha utilizado un pastillero electrónico?

Válido		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
	No	41	91,1	91,1	91,1
	Si	4	8,9	8,9	100,0
	Total	45	100,0	100,0	

Se ofrecen diferentes funcionalidades, las cuales fueron previamente mostrados en la investigación, con el fin de observar cual tendría mayor impacto en la muestra cómo se observa en la Tabla 10.

Tabla 10. ¿Qué tipo de funcionalidades debería integrar el pastillero electrónico?

Válido		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
	Configuración de horarios de pastillas a través del teléfono móvil	8	17,8	17,8	17,8
	Monitoreo y seguimiento a distancia de signos vitales	9	20,0	20,0	37,8
	Múltiples alarmas para recordar la toma de las pastillas	7	15,6	15,6	53,3
	Múltiples alarmas para recordar la toma de las pastillas, Portabilidad	1	2,2	2,2	55,6
	Portabilidad	4	8,9	8,9	64,4
	Recordatorio de medicamentos a través de notificaciones al teléfono móvil	16	35,6	35,6	100,0
	Total	45	100,0	100,0	

Son 16, los encuestados que afirman que un recordatorio de medicamentos a través de notificaciones al teléfono móvil sería la mejor funcionalidad para el pastillero electrónico. Servicio que es ofrecido, diseñado y expuesto en la presente investigación. Además, se conocen los tipos de alerta o notificaciones que el encuestado le gustaría tener en el pastillero. Se muestran las tres propuestas en este proyecto.

Señal de luz, sonora y notificación vía MSM o correo electrónico; y las respuestas se observan en la Tabla 11, donde se expone un gran gusto por las señales sonoras y las notificaciones por algún medio electrónico.

Tabla 11. ¿Qué tipo de alertas debería integrar el pastillero electrónico?

Válido		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
	Notificación a través de MSM o correo electrónico	10	22,2	22,2	22,2
	Señal de luz	9	20,0	20,0	42,2
	Señal de vibración	2	4,4	4,4	46,7
	Señal sonora	24	53,3	53,3	100,0
	Total	45	100,0	100,0	

Con esta información se da por completada la experiencia de usuario y se muestra la viabilidad del proyecto ante lo propuesto.

4.3. RESULTADOS DEL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO FINAL

En la Figura 40, se presenta el diagrama del circuito electrónico diseñado donde se muestra la interconexión entre cada uno de los componentes. El circuito electrónico se compone de dos módulos Wemos D1, un motor paso a paso con su controlador, un servomotor, el sensor de huella, un sistema de alarma conformado por un diodo LED y un zumbador, Interruptor magnético, el sensor de oximetría y una pantalla OLED.

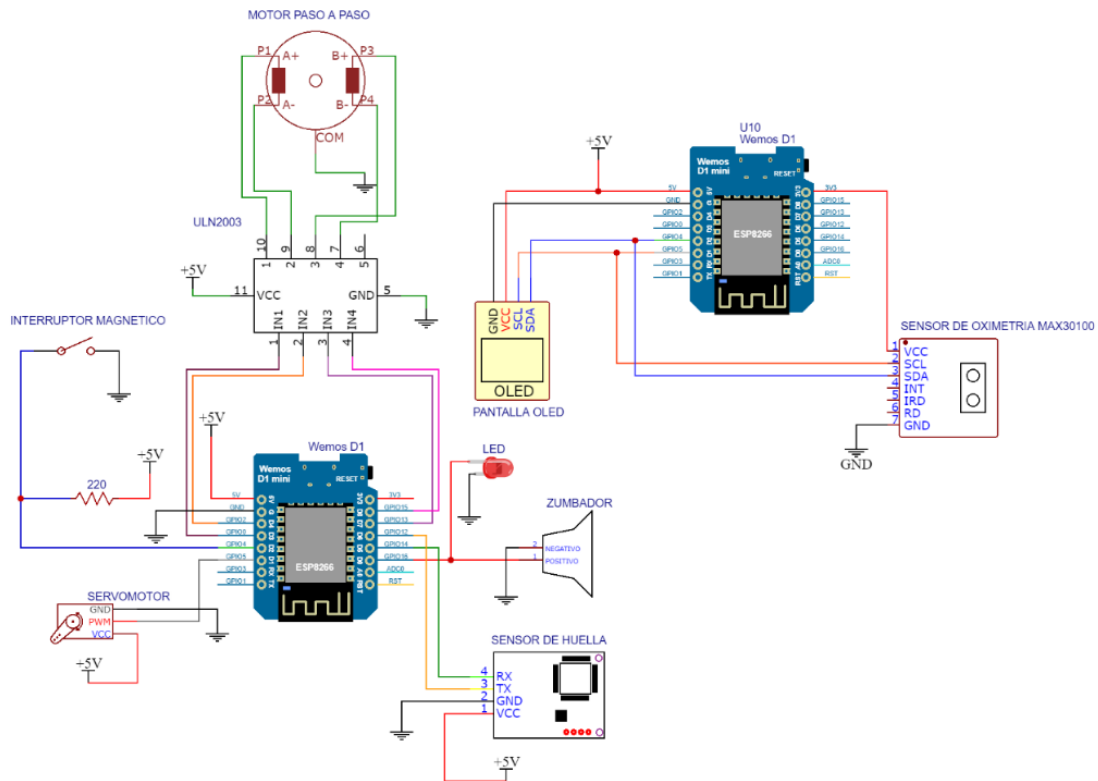


Figura 40. Diagrama del circuito del dispositivo. Fuente propia.

Como se mencionó anteriormente, el circuito está conformado por dos módulos microcontroladores que se alimentan a través de (5V) y tierra (GND) gracias a dos baterías de litio de 3.7V y un banco de poder DC-DC encargado de regular la tensión a 5V. En la parte izquierda de la Figura 40, se puede ver la conexión realizada para llevar a cabo el control de la dispensación de medicamentos. La conexión del motor paso a paso 28BYJ-48 se realiza a través del driver ULN2003A que permite controlar los sentidos de giro y velocidad mediante señales TTL que se reciben del microcontrolador a través de los puertos D3, D4, D7 y D8. La conexión del servomotor MG90S se realiza por medio del puerto D1 del microcontrolador y que es controlado por una señal PWM. El circuito integra un interruptor magnético que tiene la función determinar la posición actual del motor paso a paso. La conexión del interruptor se realizó en modo pull-up permitiendo determinar cuando este se encuentra activo. La transmisión de datos entre

el sensor de huella y el microcontrolador es mediante comunicación serial, puertos D5 y D6 del microcontrolador.

Ahora bien, en la parte derecha del diagrama se presenta la conexión del sensor MAX30100 y la pantalla OLED con el segundo microcontrolador. La comunicación de estos dos componentes con el microcontrolador es mediante el protocolo de comunicación I2C utilizando los puertos D1 y D2. El sensor de oximetría es alimentado a través del puerto de 3.3 V y GND del microcontrolador y la pantalla OLED a través de 5V y GND.

Todos estos componentes electrónicos se encuentran soldados sobre una baquela electrónica prefabricada con caminos de cobre similar a una Protoboard, tal como se muestra en la Figura 41. Toda la electrónica al final quedo en la parte de la base ya que como se había diseñado en la primera versión no fue posible acomodar toda la circuitería.

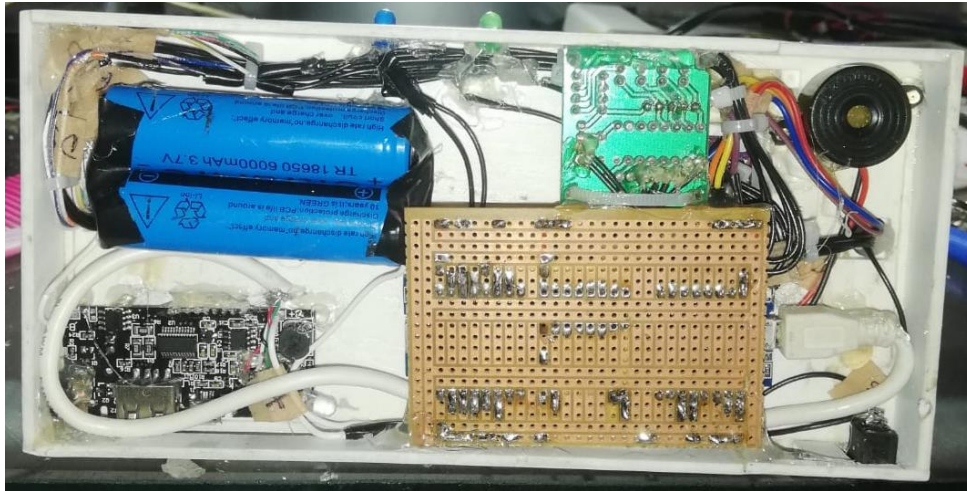


Figura 41. Foto del circuito interno.

El prototipo final se muestra en la Figura 42, el cual se diseñó con medidas de 20 cm de largo, 24 cm de alto y 10 cm de ancho y un peso de 500 g. Cuenta con 28 compartimientos de aproximadamente 8 cm cúbicos dispuestos en una especie de carrusel que se ensambla a un motor paso a paso que se encuentra en la base del pastillero. El carrusel se coloca dentro de la base circular que consta de una abertura en la parte inferior dispuesta para que caigan por gravedad los medicamentos. El motor paso a paso hace girar el carrusel hasta que el compartimiento correspondiente se encuentre encima de la abertura de la base. Cuando el micro servo se activa, este acciona una compuerta para dejar caer las pastillas que correspondan a la hora establecida.



Figura 42. prototipo desarrollado.

➤ Resultado del diseño de la aplicación móvil e interfaz grafica

A continuación, se presenta una descripción de las principales pantallas de la aplicación móvil que se muestran en las Figura 43 y Figura 44.

La primera pantalla de la aplicación es la de bienvenida, tiene un temporizador de 3 segundos que luego dirige a una segunda pantalla para la validación de usuario, donde se puede seleccionar dos opciones: la primera opción es la de registro, la cual al ser presionado va a direccionar a una tercera pantalla donde se realiza la configuración de usuario y contraseña que serán almacenadas en la base de datos de Firebase. La segunda opción es la de ingresar, la cual al ser presionada va a dirigir a una cuarta pantalla donde se realiza la autenticación de usuario, cuando se presiona el botón iniciar sesión, se accede a la misma base de datos en Firebase para validar los datos. Si la aplicación valida correctamente el usuario y la contraseña se direcciona a una quinta pantalla donde se configuran los nombres de las pastillas y los horarios de cada contenedor.

Finalmente hay una sexta pantalla llamada pulsioximetria, donde se pueden visualizar los valores actuales registrados por el sensor de saturación de oxígeno y de frecuencia cardíaca.

La aplicación diseñada está dirigida a ser usada por el cuidador del adulto mayor, ya que será el quien debe realizar la configuración inicial del dispositivo y configurar los horarios de toma de medicamentos. la información de la configuración de esta aplicación la encontrara igualmente en el Anexo 6 llamado manual de usuario del prototipo.

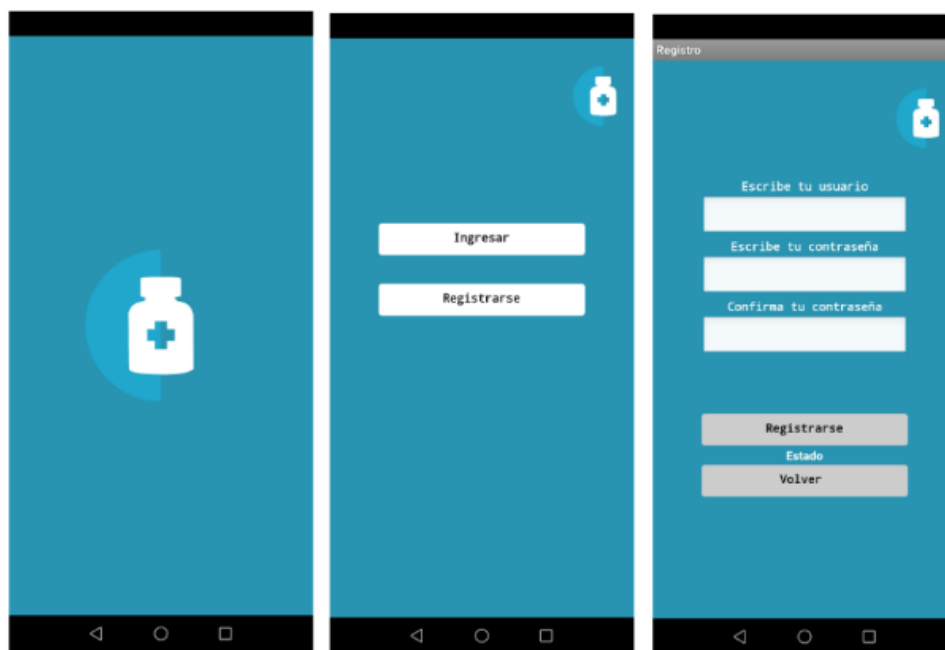


Figura 43. De izquierda a derecha. Bienvenida a la app, pantalla para la validación de usuario, pantalla de registro de usuario

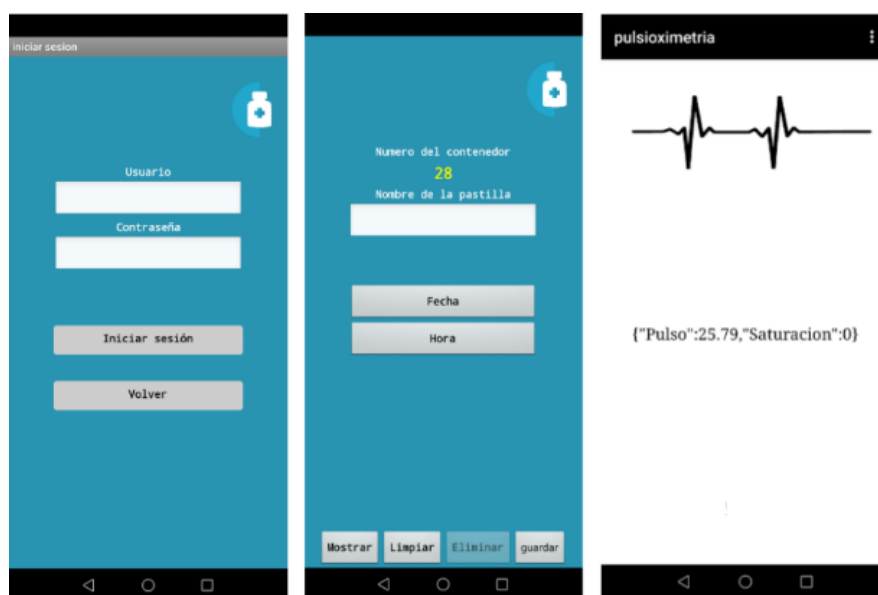


Figura 44. De izquierda a derecha. Pantalla de inicio de sesión, pantalla de configuración de horarios, pantalla para el monitoreo de la oximetría de pulso.

4.4. PRUEBAS DE DESEMPEÑO

➤ Resultados prueba de dispensación de los medicamentos

Se realizaron pruebas funcionales al prototipo con 20 casos de prueba en diferentes horarios, en los que se incluyeron casos exitosos y casos no exitosos pero válidos, es decir, casos en los que el sensor de huella no se activó por tanto la compuerta no tuvo que abrirse.

Para resumir estas pruebas se observa el Anexo 12, con el histórico de las pruebas manuales funcionales realizadas al pastillero.

El estado de la compuerta es habilitado únicamente cuando el sistema detecta la huella del adulto mayor, esto con el fin de evitar pérdidas en los medicamentos programados y que su uso sea totalmente restringido, con el propósito de aumentar la seguridad del dispositivo.

➤ Resultados prueba del sensor de frecuencia cardiaca y de saturación de oxígeno

De acuerdo con la información del Anexo 13, se observó que el error calculado con respecto a la frecuencia cardiaca no supero más del 6%, solo en tres ocasiones el error supero el 5% de resto se mantuvieron por debajo del 3%.

En cuanto al error calculado con respecto a la saturación de oxígeno no supero más del 3%.

4.3 RESULTADOS PRUEBAS DE VALIDACIÓN Y USABILIDAD

Esta prueba de validación y usabilidad se realizó con la finalidad de saber la percepción que tiene la enfermera con relación a las diferentes funcionalidades del prototipo desarrollado. Los resultados y el análisis del cuestionario aplicado se muestran en el Anexo 14. La evaluación fue diligenciada por un profesional en enfermería con experiencia en el cuidado de adultos mayores, siendo de aceptación positiva y con percepciones constructivas para el proyecto. Se aplicó a ella dado que el dispositivo diseñado presenta un grado de madures tecnológico corresponde a un nivel de TRL 3, que corresponde a prototipos en fase de desarrollo, por lo cual no es conveniente validar en entornos relevantes o reales con adultos mayores. Sin embargo, es importante destacar que realizar esta prueba con un profesional en enfermería y que, además, cuente con experiencia en el cuidado de adultos mayores es muy valioso para comprobar el correcto funcionamiento del sistema.

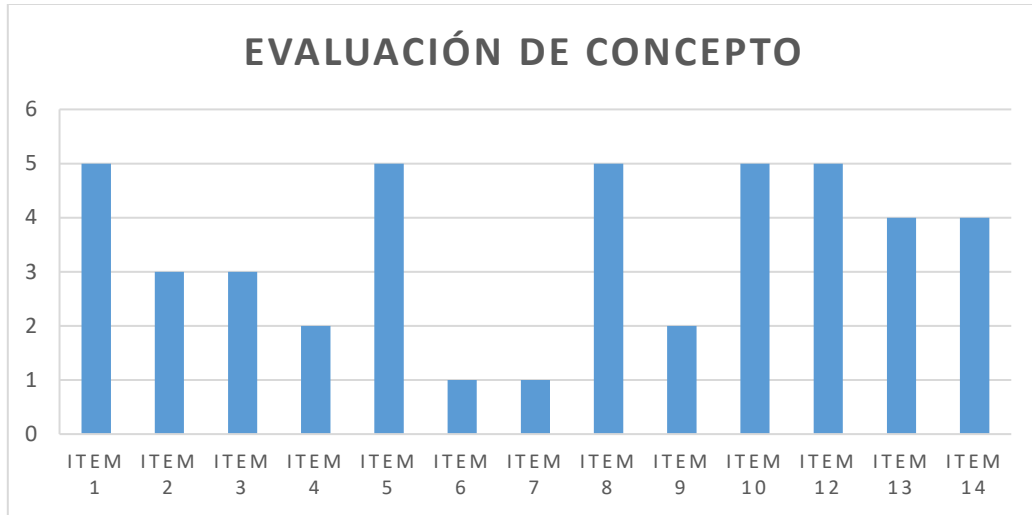


Figura 45. diagrama de resultados prueba de usabilidad

Esta misma prueba de usabilidad se espera sea aplicada y diligenciada en un entorno real con adultos mayores, una vez se mejore el nivel de madurez tecnológica (TLR) del prototipo propuesto en este trabajo.

5. DISCUSIÓN

El sistema diseñado para la dispensación de medicamentos y el monitoreo de la oximetría se logró implementar de forma exitosa ya que los resultados obtenidos en las pruebas funcionales y de usabilidad fueron de desempeño y funcionamiento óptimo.

A través del protocolo de pruebas implementado se pudo validar el funcionamiento del prototipo en un ambiente simulado, con el fin, de evaluar la respuesta del sistema. Se planteo una metodología que consistió en realizar dos pruebas. La primera prueba fue la evaluación del funcionamiento de la dispensación de los medicamentos, donde se verifico que la dispensación de las pastillas se realizara de forma correcta en el tiempo establecido. Esta prueba dio como resultado un 100% de efectividad en cada prueba realizada. La segunda prueba fue la comparación del sensor de oximetría usado en este proyecto con relación a un sensor comercial, esta prueba demostró que el porcentaje de error calculado no supero el 5 % en la lectura de la frecuencia cardiaca y el 3% en la lectura de la oxigenación de la sangre.

Durante la prueba de usabilidad con la enfermera, se pudo identificar la aceptación y empleabilidad del sistema diseñado. Se pudo determinar a partir de la encuesta de usabilidad que el prototipo tuvo buena aceptación, ya que la enfermera indica que el prototipo es fácil de usar y afirma que se sintió segura al utilizarlo. Además, indica que el proyecto ayuda a recordar el momento de ingesta de los medicamentos y monitorear las variables fisiológicas de frecuencia cardiaca y SPO₂. Finalmente, la enfermera afirma que el proyecto si podría beneficiar a los adultos mayores frente al consumo de medicamentos.

El diseño y construcción de este prototipo, se basó en gran medida en todo el trabajo previo realizado de revisión de literatura en el que se logró identificar los métodos para el diseño de tecnologías basadas en IoT y los componentes electrónicos más utilizados. En esta revisión de literatura también se logró evidenciar que ningún artículo revisado propone una solución que integre un sistema de dispensación de medicamentos en conjunto con un sensor de oximetría. Teniendo en cuenta esta situación se propuso construir un sistema para la dispensación de medicamentos que integrara dicho sensor. Así mismo los requerimientos obtenidos por parte de los cuidadores de adultos mayores ayudaron a determinar que otras funcionalidades se debían incorporar al pastillero electrónico.

Para el diseño del prototipo fue necesario tener en cuenta varios factores importantes, principalmente que el sistema fuera fácil de usar, que el diseño del pastillero permitiera la organización de diferentes medicamentos, que el sistema de comunicación fuera confiable y por último que el prototipo tuviera un sistema de batería autónomo, es por esto que el prototipo construido es pequeño en comparación con otros propuestos en el mercado, que cuenta con un peso de 500 g y medidas de 20 cm de largo, 24 cm de alto y 10 cm de ancho, e internamente cuenta con 28 compartimientos de aproximadamente 8 cm cúbicos, capacidad suficiente para almacenar medicamentos de todo tipo de tamaños.

6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este trabajo se presenta un prototipo funcional en el cual se usa un sensor de huella dactilar que tiene la función de restringir el uso del dispositivo a personas no autorizadas. La forma en que se guarda cada huella en el prototipo propuesto se debe realizar directamente en el código fuente lo que lo hace de alguna manera engorroso. Se recomienda para trabajos futuros que este proceso de registrar las huellas se haga a través de una interfaz amigable con el usuario final.

Se podría construir un sistema completo que adicione más sensores (por ejemplo, temperatura corporal, tensión arterial entre otros) permitiendo así el monitoreo completo de un adulto mayor.

Desafortunadamente, el prototipo propuesto no se pudo probar en entornos reales debido a su bajo TRL. Como trabajos futuros se recomienda realizar las pruebas con adultos mayores en un ambiente real.

Por último, para trabajos futuros se recomienda instalar un dosificador para que el pastillero pueda alojar más medicamentos en el mismo compartimiento, ya que esto mejoraría el rendimiento y evitaría la mantenibilidad del producto.

7. CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó una revisión de literatura de tipo exploratorio de algunos desarrollos de pastilleros electrónicos destinados a mejorar el cumplimiento hacia la medicación. Fue posible extraer información importante acerca de los aportes y contribuciones de cada uno de los estudios encontrados. Asimismo, fue posible identificar el tipo de arquitectura y los componentes electrónicos más utilizados, al mismo tiempo, se tomaron en cuenta las recomendaciones que los diferentes autores mencionaban para futuros trabajos. A partir de esta revisión de literatura también se pudo evidenciar como se está transformando la asistencia médica para el cuidado de la salud a partir del uso de nuevas tecnologías como la telemedicina y el Internet de las cosas (IoT).

En cuanto al diseño del dispositivo de asistencia para la administración de medicamentos en adultos mayores, a través del uso de IoT, se logró desarrollar de manera satisfactoria a partir de la revisión de literatura y la adopción de un enfoque de diseño centrado en el usuario. Se logró diseñar un dispositivo electrónico que se comunica a través de diferentes protocolos de comunicación como HTTP y MQTT haciendo uso de la tecnología WiFi. Además, el dispositivo integra un sistema que permite la notificación de mensajes de texto para así poder establecer si se cumplió con la medicación establecida. También, cuenta con un sistema que permiten el monitorio continuo de la oximetría de pulso, mejorando la calidad de vida del adulto mayor, ya que para este o su cuidador el poder observar constantemente estos valores permiten tratar con anticipación los problemas de salud.

Se pudo abarcar diferentes tipos de impacto de acuerdo a los resultados obtenidos en este proyecto. En primer lugar, conforme se planteó al inicio de este documento, el número de adultos mayores, de 60 años o más, ha aumentado significativamente en los últimos años. Además, se puede decir que los adultos mayores están en riesgo de vulnerabilidad, por diferentes factores tales como, vivir solas en casa o tener diferentes enfermedades crónicas, es evidente que la implementación de soluciones tecnológicas como el uso de IoT, tienen un fuerte impacto para mitigar esta problemática social. Enfocar esfuerzos para desarrollar tecnologías que contribuyan a mejorar la calidad de vida de los adultos mayores brindan una gran satisfacción, porque tarde o temprano, todos formaremos parte de esta población.

En segundo lugar, gracias a la posibilidad que ofrece este dispositivo de realizar la medición de la frecuencia cardiaca y la oxigenación de la sangre, desde la comodidad de su hogar y que la información pueda ser monitoreada de manera remota a través de una aplicación móvil por el familiar o el especialista de salud, dan la posibilidad mejorar los sistemas de salud, ya que este tipo de tecnologías permiten realizar chequeos generales sin tener que movilizarse a un centro de atención médica.

Finalmente, se realizó un prototipo funcional diseñado con electrónica robusta que permitió contribuir a la seguridad de los adultos mayores; además, la revisión literaria realizada muestra una deficiencia en esta área de investigación en Colombia, ya que la información de proyectos de investigación, artículos u otros documentos relacionados con desarrollos de pastilleros electrónicos es casi nula en el país; por otra parte, se utiliza la tecnología IoT, la cual es una de las tecnologías vanguardia de la industria 4.0

y como aporte final, se deja abierta la brecha de investigación en el área de la ingeniería biomédica que busque mejorar la asistencia que se presta al adulto mayor que requiere de apoyo en su medicación.

La solución obtenida, siendo la idea concebida inicialmente y la final, es bastante satisfactorio el resultado tanto funcionalmente como en usabilidad. Debido a que permite el control de la administración de los medicamentos de acuerdo a la preinscripción médica o cronograma programado, acompañado de un sistema que permite el monitoreo en tiempo real de dos variables fisiológicas.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] T. Hayes, N. Larimer, A. Adami, and J. A. Kaye, "Medication Adherence in Healthy Elders," *Aging Heal.*, vol. 21, no. 4, pp. 567–580, 2009.
- [2] A. Cohen *et al.*, "National Surveillance of Emergency Department Visits for Outpatient Adverse Drug Events in Children and Adolescents," *Epidemic Intell. Serv.*, 2019.
- [3] H. Ahmadi, G. Arji, L. Shahmoradi, R. Safdari, M. Nilashi, and M. Alizadeh, *The application of internet of things in healthcare: a systematic literature review and classification*, vol. 18, no. 4. Springer Berlin Heidelberg, 2019.
- [4] R. Subbaraman *et al.*, "Digital adherence technologies for the management of tuberculosis therapy : mapping the landscape and research priorities," *BMJ Glob Heal.*, pp. 1–16, 2018.
- [5] A. Miguel-cruz, A. Bohórquez, and P. Aya, "What does the literature say about using electronic pillboxes for older adults ? A systematic literature review," *Disabil. Rehabil. Assist. Technol.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–12, 2018.
- [6] orange, "Internet of Things. 29 buenas practicas en grandes empresas nacionales e internacionales," *foro de la empresa del mañana*, 2019. [Online]. Available: https://www.orange.es/static/pdf/InternetOfThingsGrandesEmpresas.pdf?internal_source=orange&internal_medium=informes&internal_term=informes+internet+of+things.
- [7] U. Nations, "World Population Ageing," *United Nations*, 2015.
- [8] B. Reeder, G. Demiris, and K. D. Marek, "Older adults ' satisfaction with a medication dispensing device in home care," *Informatics Heal. Soc. Car*, vol. 38, no. September, pp. 211–222, 2013.
- [9] E. M. Woodward *et al.*, "Problems with Medication Use in the Elderly : An Australian Perspective," *Pharm. Pract. Res.*, vol. 36, no. 1, 2006.
- [10] "Los adultos mayores y el consumo de medicamentos," *Organ. Panam. la salud*, p. 59.
- [11] P. Casas-Vásquez, P. Ortiz-Saavedra, and E. Penny-Montenegro, "Estrategias para optimizar el manejo farmacologico en el adulto mayor," *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Publica*, vol. 33, no. 2, pp. 335–341, 2016.
- [12] "Los 10 correctos - ENFERMERIA FUNDAMENTAL." [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/aprendedeenfermeriafundamental/evaluacion>. [Accessed: 21-Nov-2021].
- [13] K. Doughty, G. Williams, and L. Holloway, "TEMPEST-an intelligent pill reminder and delivery system for telecare applications," in *Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 1998, vol. 20, no. 3, pp. 1206–1209.
- [14] "La importancia de medir la oxigenación en el covid-19." [Online]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/La-importancia-de-medir-la-oxigenacion-en-el-covid-19.aspx>. [Accessed: 04-Feb-2021].
- [15] K. Rose, S. Eldridge, and L. Chapin, "La internet de las cosas-una breve reseña," *Internet Soc.*, pp. 63–112, 2015.
- [16] I. Qudah, P. Leijdekkers, and V. Gay, "Using mobile phones to improve medication compliance and awareness for cardiac patients," in *ACM International Conference Proceeding Series*, 2010.
- [17] T. L. Hayes, J. Hunt, A. Adami, and J. A. Kaye, "An Electronic Pillbox for Continuous Monitoring of Medication," in *EMBS Annual International Conference*, 2006, pp. 6400–6403.
- [18] W. Chang *et al.*, "A smart medication system using wireless sensor network technologies," *Sensors Actuators A. Phys.*, vol. 172, no. 1, pp. 315–321, 2011.
- [19] J. Li, S. J. Peplinski, S. M. Nia, and A. Farajidavar, "An Interoperable Pillbox System for Smart Medication Adherence," *IEEE*, pp. 1386–1389, 2014.

- [20] C. Farcas, I. Ciocan, N. Palaghita, and R. Fize, "Weekly Electronic Pills Dispenser with Circular Containers," *IEEE-international Symp. Des. Technol. Electron. Packag.*, pp. 125–129, 2015.
- [21] N. B. Othman and O. P. Ek, "Pill Dispenser with Alarm Via Smart Phone Notification," in *IEEE 5th Global Conference on Consumer Electronics Pill*, 2016, pp. 2–3.
- [22] S. Chawla, "The Autonomous Pill Dispenser: Mechanizing the Delivery of Tablet Medication," *IEEE*, pp. 2–5, 2016.
- [23] S. Shinde, T. Kadaskar, P. Patil, and R. Barathe, "A Smart Pill Box with Remind and Consumption Using IOT," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 04, no. 12, pp. 152–154, 2017.
- [24] D. S. Abdul Minaam and M. Abd-ELfattah, "Smart drugs:Improving healthcare using Smart Pill Box for Medicine Reminder and Monitoring System," *Futur. Comput. Informatics J.*, vol. 3, no. 2, pp. 443–456, 2018.
- [25] A. Kassem, W. Antoun, M. Hamad, and C. El-moucry, "A Comprehensive Approach for a Smart Medication Dispenser," *Int. J. Comput. Digit. Syst.*, vol. 2, no. 2, pp. 132–141, 2019.
- [26] B. Chen, Y. Ma, and J. Xu, "Research and Implementation of an Intelligent Medicine Box," in *International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG)*, 2019, pp. 203–205.
- [27] G. P. López-herranz, "Oximetría de pulso: A la vanguardia en la monitorización no invasiva de la oxigenación," *Rev. Médica del Hosp. Gen. México*, vol. 66, no. 3, pp. 160–169, 2003.
- [28] N. Thomas A, "Routine Oximetry A Fifth Vital Sign ?," *Chest*, vol. 94, no. 2, p. 227, 1988.
- [29] S. B. Baker, W. E. I. Xiang, S. Member, and I. A. N. Atkinson, "Internet of Things for Smart Healthcare : Technologies , Challenges , and Opportunities," vol. 5, 2017.
- [30] F. Arrieta and S. E. Canto, "Oxímetro de pulso con pletismografía por reflexión implementando el módulo MAX30100 mediante procesamiento digital con interfaz gráfica .," vol. 2, pp. 419–422, 2017.
- [31] A. Allcock, "2019 Manufacturing trends Report," 2019.
- [32] B. Dorsemaine, J. P. Gaulier, J. P. Wary, N. Kheir, and P. Urien, "Internet of Things: A Definition and Taxonomy," *Proc. - NGMAST 2015 9th Int. Conf. Next Gener. Mob. Appl. Serv. Technol.*, pp. 72–77, 2016.
- [33] S. Chang, R. Chiang, and S. Wu, "A Context-Aware, Interactive M-Health System for Diabetics," no. June, 2016.
- [34] G. Wolgast, C. Ehrenborg, A. Israelsson, J. Helander, E. Johansson, and H. Manefjord, "Wireless Body Area Network for Heart Attack Detection," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 58, no. 5, pp. 84–92, 2016.
- [35] M. Ienca, R. W. Kressig, F. Jotterand, and B. Elger, "Proactive Ethical Design for Neuroengineering, Assistive and Rehabilitation Technologies: The Cybathlon Lesson," *J. Neuroeng. Rehabil.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–11, 2017.
- [36] R. Khan, S. U. Khan, R. Zaheer, and S. Khan, "Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges," *Int. Conf. Front. Inf. Technol.*, pp. 257–260, 2012.
- [37] R. Buyya and A. V. Dastjerdi, *Internet of Things: Principles and Paradigms; Internet of things: an overview*. 2016.
- [38] M. Wu, T. J. Lu, F. Y. Ling, J. Sun, and H. Y. Du, "Research on the architecture of Internet of Things," *ICACTE 2010 - 2010 3rd Int. Conf. Adv. Comput. Theory Eng. Proc.*, vol. 5, no. September 2010, 2010.
- [39] "Electric Motors 28BYJ-48 2003 Stepper Motor Driver Module for Arduino+DC 12V Stepper Motor qualitylifecenter." [Online]. Available: <http://qualitylifecenter.org/Motor-Driver-Module-for-ArduinoDC-V-Stepper/Stepper-Motors-627333/>. [Accessed: 22-Feb-2021].
- [40] "owootecc 5Pcs 9G Servo Motor MG90S Micro Servo Metal Geared Mini Servo Motor 9G

- for Smart Robot Car Helicopter Plane Boat Toys & Games Motors.” [Online]. Available: <http://ijirst.org/Motors/948294-Boat-owootecc-5Pcs-9G-Servo-Motor-MG90S-Micro-Servo/>. [Accessed: 22-Feb-2021].
- [41] “MAX30102 pdf, MAX30102 description, MAX30102 datasheets, MAX30102 view :: ALLDATASHEET ::” [Online]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/859400/MAXIM/MAX30102.html>. [Accessed: 22-Feb-2021].
- [42] R. Ramadhan, “Pendeteksi Obyek Di Dalam Ruang Menggunakan Sensor Infra Merah,” *Univ. Gunadarma, Jakarta*, no. 1, pp. 1–15, 2012.
- [43] “Pololu - Sharp GP2Y0A51SK0F Analog Distance Sensor 2-15cm.” [Online]. Available: <https://www.pololu.com/product/2450>. [Accessed: 22-Feb-2021].
- [44] “MODULO LECTOR DE HUELLA FINGER PRINT AS608.” [Online]. Available: <https://www.mactronica.com.co/modulo-lector-de-huella-finger-print-as608>. [Accessed: 19-Aug-2021].
- [45] R. K. Kodali and A. Sahu, “An IoT based weather information prototype using WeMos,” *Proc. 2016 2nd Int. Conf. Contemp. Comput. Informatics, IC3I 2016*, no. December 2016, pp. 612–616, 2016.
- [46] “BUZZER Datasheet(PDF) - MN101E29 - Panasonic Semiconductor.” [Online]. Available: https://category.alldatasheet.com/index.jsp?sSearchword=Buzzer&gclid=CjwKCAiAyc2B BhAaEiwA44-wW433V1eL_lv_p0Z4YN1Ph86A-vi1ZHjfaELzu5BXt8sNdgvXjk_yjhoCas0QAvD_BwE. [Accessed: 22-Feb-2021].
- [47] “¿Qué es un fichero STL? - R3ALD.” [Online]. Available: <http://www.r3ald.com/que-es-un-fichero-stl>. [Accessed: 21-Nov-2021].
- [48] K. T. Kadhim, A. M. Alsahlany, S. M. Wadi, and H. T. Kadhum, “Monitoring Vital Signs of Human Hear Based on IOT,” *Al-Furat J. Innov. Electron. Comput. Eng.*, vol. 1, no. 2, p. 9, 2020.
- [49] M. Lekić and G. Gardašević, “IoT sensor integration to Node-RED platform,” *2018 17th Int. Symp. INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH 2018 - Proc.*, vol. 2018–Janua, no. March, pp. 1–5, 2018.
- [50] J. Brooke, “SUS - A quick and dirty usability scale,” *Iron Steel Technol.*, vol. 15, no. 8, pp. 41–47, 2018.
- [51] “DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE CIENCIA, TECNOLOGIA E INNOVACIÓN-COLCIENCIAS-CONVOCATORIA CIERRE DE BRECHAS TECNOLÓGICAS-2018 ANEXO 1. TECHNOLOGY READINESS LEVELS-TRL,” 2016.
- [52] J. Quintanar, “Nivel de madurez tecnológico (TRL) de la tecnología de secado solar en México,” *Reia*, vol. 4, pp. 2448–6817, 2018.
- [53] A. I. Alexan, A. R. Osan, and S. Oniga, “Advanced Medication Dispenser,” *Carpathian J. Electron. Comput. Eng.*, vol. 2, pp. 26–31, 2013.
- [54] L. Boquete, J. M. Rodriguez-ascariz, I. Artacho, J. Cantos-frontela, and N. Peixoto, “Dynamically Programmable Electronic Pill Dispenser System,” *Springer Sci.*, pp. 357–366, 2010.
- [55] L. Dash, R. Arun, R. Bhavani, and S. Rethnajennifer, “Flexible compartments IoT driven smart pill-box,” *Int. J. Sci. Res. Comput. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 5, pp. 220–228, 2018.
- [56] J. M. Parra, “INTELLIGENT PILLBOX : AUTOMATIC AND PROGRAMMABLE ASSISTIVE TECHNOLOGY DEVICE,” pp. 74–81, 2017.
- [57] M. L. Lee and A. K. Dey, “Real - time Feedback for Improving Medication Taking,” *Sess. Heal. Everyday Life*, pp. 2259–2268, 2014.
- [58] S. Huang, H. Chang, Y. Jhu, and G. Chen, “The Intelligent Pill Box - Design and Implementation,” *IEEE*, pp. 235–236, 2014.

9. ANEXOS

Anexo 1. Criterios de selección de artículos

- i. Criterios de inclusión para la elección de los artículos:
 - ✓ Cualquier fuente de información sobre pastilleros electrónicos destinado a ser utilizado como medicación en adultos mayores. Donde se haya documentado algún tipo de diseño o desarrollo.
 - ✓ El pastillero electrónico mencionado debe ser utilizado para ayudar a la medicación en cualquier intervención terapéutica en adultos mayores con el fin de mejorar su medicación.
 - ✓ Se incluirán estudios de pastilleros electrónicos independientemente de sus costes.
 - ✓ El pastillero electrónico desarrollado debe estar destinado a ser utilizado por adultos mayores (personas mayores de 60años).
- ii. Las fuentes de información incluirán:

Los artículos / documentos estarán en inglés o español.



Artículos / documentos desde 2018 hasta 2020.
- iii. Criterios de exclusión para descartar los artículos son:
 - ✓ Artículos que hablen de pastilleros electrónicos destinado a personas de 60 años o menos.
 - ✓ Artículos que no estaban disponibles.
 - ✓ Artículos que no proporcionaron suficiente información en el diseño o construcción del pastillero electrónico (por ejemplo, componentes utilizados, funcionamiento, Arquitectura de diseño etc.).
 - ✓ Estudios publicados en libro, capítulos de libro, tesis de doctorado o maestría
 - ✓ Artículos que explican solo un componente del único componente del pastillero electrónico

Anexo 2 .preguntas cuestionario aplicado

NECESIDADES Y REQUERIMIENTOS DE LOS DE ADULTOS MAYORES CON LA INTERACCIÓN DE MÚLTIPLES MEDICAMENTOS			
<p>Usted ha sido invitado a participar en una encuesta que tiene como objetivo identificar las necesidades y requerimientos de los adultos mayores frente a la medicación con el propósito de desarrollar un dispositivo electrónico de asistencia para la administración de medicamentos. El estudio se realizará con cuidadores formales o familiares que se contactaron vía telefónica o correo electrónico con autorización previa. La información aquí obtenida será usada exclusivamente con fines académicos y los análisis resultantes del proyecto podrán ser publicados en revistas científicas o libros de investigación, será tratada de manera confidencial, respetuosa y profesional por los integrantes del equipo de investigación, en ningún momento será entregada a terceras personas. La participación en la investigación no representa ningún tipo de riesgo para usted y es completamente voluntaria. Los participantes tienen la plena libertad para no responder a alguna de las preguntas que le sean formuladas y para dejar de participar cuando así lo deseen. Usted podrá solicitar en cualquier momento la información que considere necesaria con relación a los propósitos, procedimientos y actividades relacionadas con el estudio. Para tal fin puedes comunicarte con Javier Parada Calderón al correo electrónico jparadac@gmail.com o al teléfono 3105806748.</p>			
DIMENSIONES	No.	PREGUNTAS	OPCIONES DE RESPUESTA
Aceptación consentimiento informado	1	Si usted esta autorizado/a para dar información del adulto mayor y está de acuerdo con su participación en este estudio, por favor seleccione acepto. Si tiene alguna pregunta o inquietud por favor háganoslo saber antes de aceptar.	Acepto
			No acepto
Datos personales	2	Nombres y apellidos del participante	No aplica
	3	¿Qué relación tiene con el adulto mayor?	Cuidador formal Familiar
Necesidades y dificultades con el manejo de los medicamentos	4	¿Actualmente que dificultades se presentan con el manejo de los medicamentos?	Perdida de los medicamentos
			Confusión y toma de medicamentos no indicados
			Olvido de la toma de su medicamento
5	¿Cómo resuelve actualmente esas dificultades con el manejo de medicamentos?	Medicamentos al alcance de niños	
		Derrame o caída de los medicamentos	
6	¿Cuántas veces a lo largo del día el adulto mayor toma medicamentos?	Problemas al abrir los empaques de medicamentos	
		Dificultad para identificar el medicamento	
7	¿Cuántas pastillas diferentes toma diariamente?	Toma de medicamentos vencidos	
		Usa recordatorios visuales como calendarios o notas adhesivas	
8	¿Cuántas pastillas toma semanalmente?	Almacena de forma segura y ordenada los medicamentos	
		Usa un pastillero	
9	¿A una misma hora cuanto es el máximo de pastillas que se toman?	Usa recordatorios electrónicos como un reloj, teléfono o computadora	
		Informa a sus amigos o familiares para que le ayuden a recordar	
10	¿Tiene algún método para verificar que el adulto mayor consumió de forma correcta los medicamentos?	Usa notificaciones como mensajes de texto o correos electrónicos	
		verifica que medicamentos se encuentran vencidos	
11	¿Tiene algún método para verificar que el adulto mayor consumió de forma correcta los medicamentos?	uno	
		Dos	
12	¿Con que frecuencia el adulto mayor suele llevar o consumir medicamentos fuera de su hogar?	Tres	
		Cuatro o más	
13	¿Cuántas pastillas toma diariamente?	uno	
		Dos	
14	¿Cuántas pastillas toma semanalmente?	Tres	
		Cuatro o más	
15	¿A una misma hora cuanto es el máximo de pastillas que se toman?	De 1 a 5 pastillas	
		De 6 a 10 pastillas	
16	¿Tiene algún método para verificar que el adulto mayor consumió de forma correcta los medicamentos?	De 11 a 15 pastillas	
		De 16 a 20 pastillas	
17	¿Tiene algún método para verificar que el adulto mayor consumió de forma correcta los medicamentos?	uno	
		Dos	
18	¿Tiene algún método para verificar que el adulto mayor consumió de forma correcta los medicamentos?	Tres	
		Cuatro o más	
19	¿Tiene algún método para verificar que el adulto mayor consumió de forma correcta los medicamentos?	Si	
		No	
20	¿Tiene algún método para verificar que el adulto mayor consumió de forma correcta los medicamentos?	¿Cual?	
		Muy frecuentemente	
21	¿Con que frecuencia el adulto mayor suele llevar o consumir medicamentos fuera de su hogar?	Frecuentemente	
		Algunas veces	
22	¿Conoce o a utilizado un pastillero electrónico?	Casi nunca	
		Nunca	
23	¿Conoce o a utilizado un pastillero electrónico?	Si	
		No	
24	¿De las siguientes funcionalidades para el pastillero electrónico ¿Cuáles son las que mas le gustan?	Monitoreo y seguimiento a distancia de signos vitales	
		Recordatorio de medicamentos a través de notificaciones al teléfono móvil	
25	¿De las siguientes funcionalidades para el pastillero electrónico ¿Cuáles son las que mas le gustan?	Configuración de horarios de pastillas a través del teléfono móvil	
		Portabilidad	
26	¿De las siguientes funcionalidades para el pastillero electrónico ¿Cuáles son las que mas le gustan?	múltiples alarmas para recordar la toma de las pastillas	
		Tipo de pastilla	
27	¿De las siguientes funcionalidades para el pastillero electrónico ¿Cuáles son las que mas le gustan?	Días de la semana	
		Jornada del día (Mañana, tarde o noche)	
28	¿De las siguientes opciones ¿cuales son las que mas le gustan para que el pastillero electrónico le recordara la hora de la toma de medicamentos?	Orden de las tomas de pastillas	
		Señal de luz	
29	¿De las siguientes opciones ¿cuales son las que mas le gustan para que el pastillero electrónico le recordara la hora de la toma de medicamentos?	Señal sonora	
		Señal de vibración	
30	¿De las siguientes opciones ¿cuales son las que mas le gustan para que el pastillero electrónico le recordara la hora de la toma de medicamentos?	Notificación a través de MSM o correo electrónico	
		Semanalmente	
31	¿De las siguientes opciones ¿cuales son las que mas le gustan para que el pastillero electrónico le recordara la hora de la toma de medicamentos?	quincenalmente	
		mensualmente	

Link de acceso encuesta: <https://forms.gle/vXUHw9g2gWA3eSUD7>

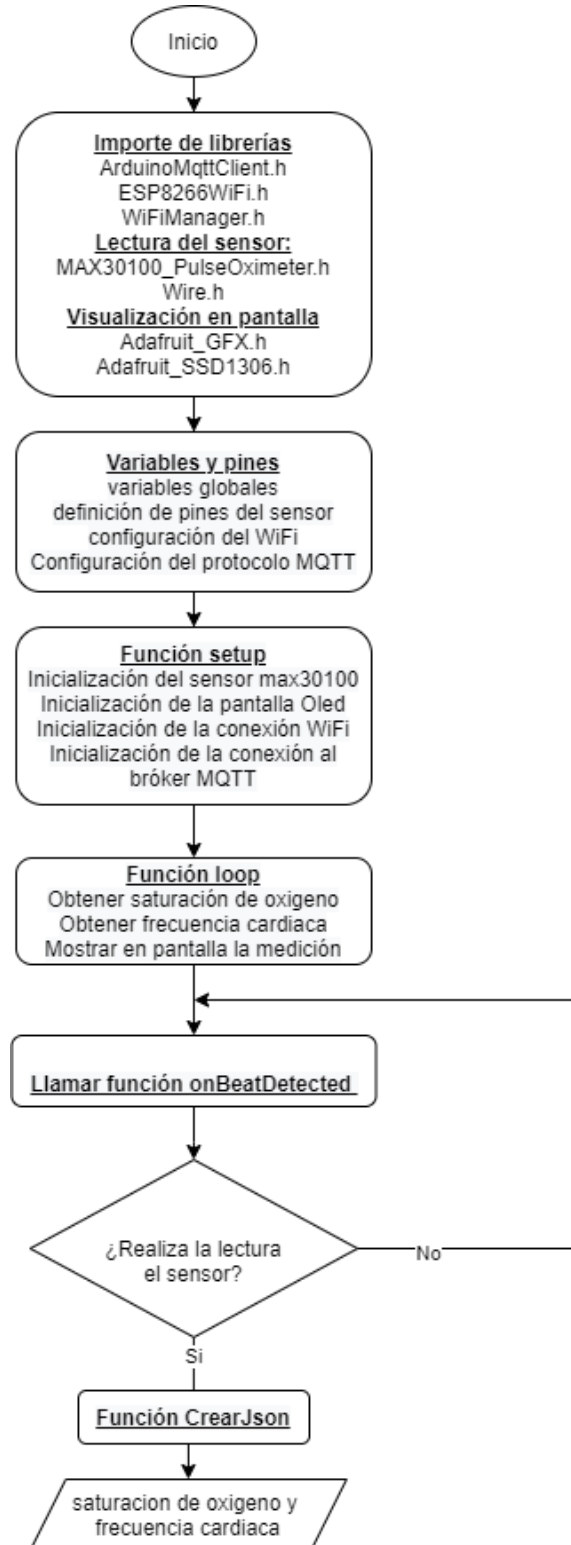
NECESIDADES Y REQUERIMIENTOS DE LOS DE ADULTOS MAYORES CON LA INTERACCIÓN DE MÚLTIPLES MEDICAMENTOS

 jrparadac@gmail.com (no compartidos) [Cambiar de cuenta](#)  Borrador restaurado

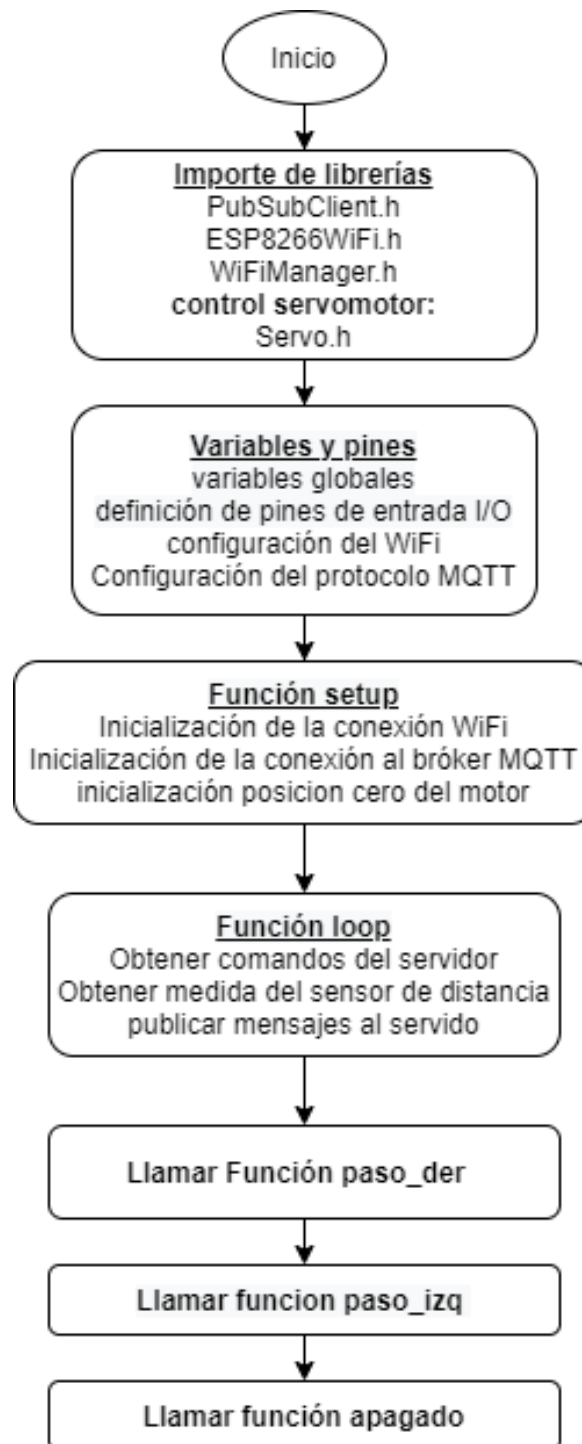
*Obligatorio

Usted ha sido invitado a participar en una encuesta que tiene como objetivo identificar las necesidades y requerimientos de los adultos mayores frente a la medicación con el propósito de desarrollar un dispositivo electrónico de asistencia para la administración de medicamentos. El estudio se realizará con cuidadores formales o familiares que se contactaron vía telefónica o correo electrónico con autorización previa. La información aquí obtenida será usada exclusivamente con fines académicos y los análisis resultantes del proyecto podrán ser publicados en revistas científicas o libros de investigación, será tratada de manera confidencial, respetuosa y profesional por los integrantes del equipo de investigación, en ningún momento será entregada a terceras personas. La participación en la investigación no representa ningún tipo de riesgo para usted y es completamente voluntaria. Los participantes tienen la plena libertad para no responder a alguna de las preguntas que le sean formuladas y para dejar de participar cuando así lo deseen. Usted podrá solicitar en cualquier momento la información que considere necesaria con relación a los propósitos, procedimientos y actividades relacionadas con el estudio. Para tal fin puedes comunicarte con Javier Parada Calderón al correo electrónico jrparadac@gmail.com o al teléfono 3105806748.

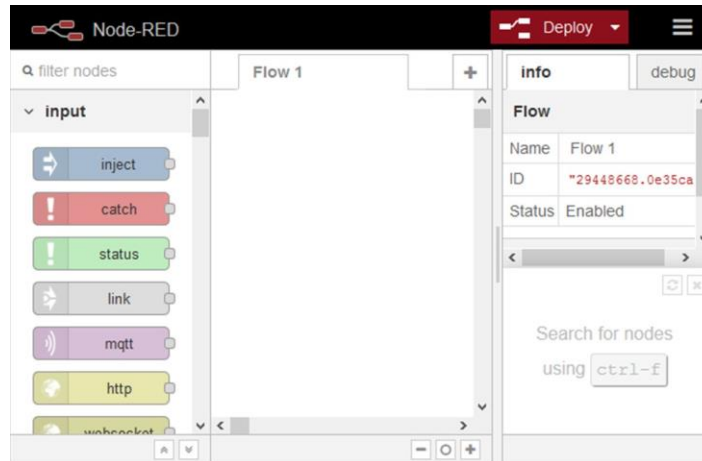
Anexo 3. Algoritmo de funcionamiento lectura sensor. Fuente propia.



Anexo 4. Algoritmo de funcionamiento dispensación de medicamentos. Fuente propia.



Anexo 5. Entorno de desarrollo de Node RED.



Anexo 6. Manual de usuario del prototipo.

Anexo 7. Prueba de usabilidad y análisis de las respuestas

PRUEBA DE USABILIDAD Y EXPERIENCIA CON EL
USUARIO FINAL



Nombre de la persona que evalúa el sistema: *Rocio Demaya Rivera*

Profesión: *Enfermera*



Figura 46. Cuidadora probando el dispositivo.

Anexo 8. Resumen de las tecnologías principales y secundarias y actividades supervisadas. Fuente propia

Reference	Tecnología principal	Tecnología secundaria	Actividades supervisadas y/o temas
Abdallah et al., 2019 [25]	Dispensador de medicamentos inteligente	Aplicaciones Android (sistema de notificación)	Registros de adherencia a medicamentos, toma de medicamentos
Wen-Wei et al., 2011 [18]	Sistema de medicación inteligente	Red de sensores inalámbricos	Toma de medicamentos, dispensación de píldoras, registro de medicamentos, detección de la existencia de píldoras
Shashank et al., 2017 [23]	Pastillero inteligente	Email (sistema de notición)	Alertar al usuario, extracción de píldoras, registros de adherencia a medicamentos, tomar medicamentos
A.I et al., 2013 [53]	Contenedor inteligente de medicamentos	RFI (sistema de notificación)	Apertura de la tapa, dispensación de píldoras, grabación de medicamentos, alertar al usuario, identificación de la persona a través de etiquetas RFID, monitoreo remoto
Hayes et al., 2006 [17]	Pastillero electrónico	-	Apertura de tapa
Jiajia et al., 2014 [19]	Pastillero inteligente	RFI	Alertar al usuario (señal a pulsera), apertura y cierre automático, monitoreo remoto (a través de ZigBee), detección de la existencia de píldoras, alerta para rellenar la pastilla
Boquete et al., 2010 [54]	Dispensador electrónico de pastillas	SMSs (sistema de notificación)	Alertar al usuario (señal audible), dispensación de píldoras, eliminación de píldoras, toma de medicamentos, enviar SMS al Centro de Control,
Dash et al., 2018 [55]	Pastillero inteligente	RFID, sistema de notificación (app)	Alertar al usuario (señal audible), identificación de la persona a través de RFID, dispensación de píldoras, monitoreo remoto, apertura y cierre automático de la tapa, junto con lecturas fisiológicas básicas
Krushna et al., 2018[56]	Pastillero inteligente	Sistema de notificación	Alertar al usuario (señal audible), apertura y cierre automático de la tapa, monitoreo remoto, dispensación de píldoras, enviar SMSs monitoreo remoto
Nurmiza et al., 2016[21]	Dispensador electrónico de pastillas	Sistema de notificación (app)	Toma de medicamentos, dispensación de píldoras, monitoreo remoto
Matthew et al., 2014 [57]	Pastillero aumentado con una pantalla ambiental	Retroalimentación en tiempo real, Acelerómetro	Tomar medicamentos, alertar al usuario, eliminación de píldoras, apertura de la tapa, monitoreo remoto, adherencia a medicamentos en tiempo real
Ben-vin et al., 2019 [26]	Pastillero inteligente	Sistema de notificación (app)	Alertar al usuario (buzzer), tomar medicamentos, información de medicamentos, identificación de la persona, dispensación de píldoras
Shaantam et al., 2016 [22]	Dispensador automático de pastillas	Sistema de notificación(app)	Dispensar la cantidad exacta de medicamentos, mecanización de la administración de medicamentos, alertar al usuario (buzzer), monitoreo remoto
Shih-chang et al., 2014 [58]	Pastillero inteligente	Sistema de notificación (Skype)	Eliminación de píldoras, monitoreo remoto, dispensación de píldoras, información sobre medicamentos
Farcas et al., 2015 [20]	Dispensador electrónico de pastillas	SMSs (sistema de notificación)	Alertar al usuario (señal audible), dispensación de píldoras, monitoreo remoto

Anexo 9. Resumen de las características principales, ventajas y limitaciones. Fuente propia.

Reference	Principales características	Ventajas	Limitaciones
Abdallah et al., 2019 [25]	Alerta multipaciente, canal de comunicación, datos de medicamentos de registro, estadísticas y aplicación Android	Características inteligentes que no existen en ningún otro dispensador automatizado.	Por lo general, no admite la movilidad.
Wen-Wei et al., 2011 [18]	Alerta multipaciente, puede recordar independientemente al usuario que tome medicamentos en momentos específicos, se propone un módulo para detectar la existencia de píldoras	Que se puede implementar fácilmente en un asilo de ancianos donde viven muchas personas mayores.	Por lo general, no admite la movilidad.
Shashank et al., 2017 [23]	La orden de compra de la medicación se envía automáticamente a la tienda médica	Dispensación exacta del medicamento.	Por lo general, no admite la movilidad.
A.I et al., 2013 [53]	Sólo permite que el usuario correcto reciba el medicamento	monitorea la actividad de dispensación de drogas en tiempo real	Por lo general, no admite la movilidad.
Hayes et al., 2006 [17]	Detecta la apertura de la tapa y la recogida de botellas	Posibilidad de permitir la movilidad	La vida útil del sistema está limitada por la batería. Detectar la actividad de toma de medicamentos con baja precisión
Jiajia et al., 2014 [19]	Comunicación con una aplicación informática y una pulsera hecha a medida, Detecta la existencia de medicamentos en los compartimentos de la pastilla.	Supervisa el gesto de la mano del usuario durante la ingesta de medicamentos	Necesita ser optimizado para píldoras más pequeñas
Boquete et al., 2010 [54]	Reprogramación dinámica, canal de comunicación, datos de medicamentos de registro, estadísticas	Portabilidad, larga duración de la batería	No se propuso una solución automatizada para la necesidad de llenar manualmente el dispensador
Dash et al., 2018 [55]	Apertura automática y recogida de píldora	Alerta multipaciente, aplicación móvil, dispensación al paciente autorizado	Por lo general, no admite la movilidad.
Krushna et al., 2018 [56]	Apertura automática y recogida de píldoras	Canal de comunicación	No hay dispensación exacta del medicamento, por lo general no apoyan la movilidad
Nurmiza et al., 2016 [21]	motor de vibración para que el medicamento se caiga del recipiente	Notificación telefónica, Dispensación exacta del medicamento.	Sólo tres tipos diferentes de píldora, por lo general no apoyan la movilidad
Matthew et al., 2014 [57]	Detecta la apertura de la tapa y la recogida de píldoras, un acelerómetro de 3 ejes para rastrear cuando se recoge la pastilla	Retroalimentación visual en tiempo real, una pantalla ambiental en el hogar, larga duración de la batería	No es posible verificar si la píldora fue ingerida
Ben-vin et al., 2019 [26]	Estructura de impresión de tecnología 3D, apertura automática y recogida de píldoras, sensor de tubo de caña se utiliza para identificar el número de la caja giratoria	Interfaz de aplicación fácil de usar	-
Shaantam et al., 2016 [22]	Un método de cono texturizado de atrapar precisamente una píldora, el usuario es notificado a través de SMS.	Integración Bluetooth, Dispensación exacta del medicamento	No hay dispensación exacta del medicamento, los pacientes con poco control motor pueden tener dificultad para voltear el dispositivo, la transmisión del rango de Bluetooth es demasiado corta
Shih-chang et al., 2014 [58]	Tiene motor que controla un resorte para poner la píldora en la bandeja, Combinando la caja de píldoras con la red inalámbrica puede enviar información a través de Skype	Las píldoras se mantienen en la ampolla	Por lo general, no es compatible con la movilidad, batería corta
Farcas et al., 2015 [20]	Alerta multipaciente, conexión - línea telefónica	Cada contenedor diario se está separando en 4 compartimentos	La notificación sólo es enviada por MSN, podría mejorar para enviarla a una aplicación

Anexo 10. . Resumen de los estudios incluidos sobre los componentes electrónicos, sistema de alimentación y el tipo de comunicación utilizados. Fuente propia.

Título de publicación	Uso de sensores	Tipo de comunicación	Unidad de procesamiento	Base de datos	Sistema de monitoreo o interfaz	Actuadores utilizados	Sistema de alimentación
A Comprehensive Approach for A Smart Medication Dispenser	-	Bluetooth	Arduino	Local SQLite y MySQL en línea	Aplicación Android	Motor paso a paso	-
A smart medication system using wireless sensor network technologies	1.Temperatura 2. Humedad 3.Magnetico	I2C bus pastillero-panel maestro	Chip de microcontrolador MSP430F1611	-	Pantalla táctil LCD en el panel maestro	-	Batería de litio 330mAh
A Smart Pill Box with Remind and Consumption Using IOT	1.Botón 2.RTC 1312 3.Buzzer	Modulo WIFI ESP8266	Arduino uno	-	Monitor LCD	Motor paso a paso	-
Advanced Medication Dispenser	1. RTC Maxim DS1375 2. RFID Reader ID-12LA (125 kHz) 3. PmodCDC1 - Capacitivo I/O	Chip Kit Wifi Shield	Digilent ChipKit Max32 Arduino	PIC 12f1840	LCD DM2021-3	GWS Servo Kit	-
An Electronic Pillbox for Continuous Monitoring of Medication Adherence	Interruptor y embolo	Banda Bluetooth(2.45GHz)/BlueStap BR-SC30A module	Microcontrolador PIC 18LF252	-	-	-	Batería 9V
An Interoperable Pillbox System for Smart Medication Adherence	1.Modulo RFID RC522 13.56 MHz lectura y escritura 2.Leds	Antena XBee 1mW	Arduino Fio	-	-	Motor paso a paso (Mercury Motor SM-42BYG011-25)	-
Dynamically Programmable Electronic Pill Dispenser System	1.Reloj en tiempo real DS1338 2.Sensor de efecto hall	1.Servicios de mensaje (SMS) 2. puerto RS232 3. Sistema Bluetooth	Microcontrolador ATmega128L	MySQL en línea	monitor (S6B0724 of 128x64	1.Motor DC 2.Controlador LM628 3.Convertidor de digital a análogo (DAC0800) 4. Amplificador (LM12CL).	Batería de litio recargable (4.2 V) o directamente desde una fuente de alimentación 2.5–6 V
Flexible compartments IoT driven smart pill-box	1.Lector RFID y etiqueta RFID 2.sensor de pulso, 3.Sensor de temperatura	Modulo WIFI ESP8266	ARM-7 [LPC 2148]	-	Monitor LCD	Motor paso a paso y DC	-
intelligent pillbox : automatic and programmable assistive technology	1.RTC DS 3231 2.LED infrarrojo IR 333-A 3.receptor led infrarrojo	Module SIM900 GSM	ARDUINO MEGA 2560	-	Pantalla LCD TFT	Motor paso a paso 28BYJ-48	Cable USB o adaptador de CA a CC

device	(Fotodiodo)PD 333-3B-HO-L2						
Pill Dispenser with Alarm Via Smart Phone Notification	Módulo RTC Sensor IR Modulo relé	Instapush	Arduino Mega 2560 Raspberry pi B+	-	Smartphone Modulo LCD	Motor de vibración, Servo motor	Fuente de poder 5v
Real - time Feedback for Improving Medication Taking	Acelerómetro	Red inalámbrica ZigBee	Microprocesador Pickaxe	-	-	-	-
Research and Implementation of an Intelligent Medicine Box	1.DHT111 2.Led 3.Sensor de cuerpo humano 4.Buzzer 5.Sensor de caña seca 6.Sensor táctil	Module WiFi ESP8266	STM32407ZGT6 chip	-	Pantalla OLED; app	Motor paso a paso A4988	Fuente de alimentación de tensión de 12 v
The Autonomous Pill Dispenser : Mechanizing the Delivery of Tablet Medication	Sensor de inclinación	HC-06 Bluetooth module	Arduino uno	-	Panel LCD	Servomotor DC motor	-
The Intelligent Pill Box - Design and Implementation	Sensor infrarrojo	Wi-Fi; ZigBee	Arduino uno	Base de datos SQL	Notificación vía Skype	Motor paso a paso	-
Weekly Electronic Pills Dispenser with Circular Containers	RTC DS1307	-	Microcontrolador PIC18F458	-	LCD display	Motor paso a paso28BYJ-48	Alimentado por una fuente de alimentación de 5V and 12V

Anexo 11. Respuesta comité de ética



COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DEL ROSARIO SALA DE CIENCIAS DE LA VIDA

MIEMBROS

CARLOS ENRIQUE TRILLOS, PRESIDENTE
MÉDICO CIRUJANO; MSC. EPIDEMIOLOGÍA

JUAN GUILLERMO PÉREZ CARREÑO
MÉDICO BIOTECNISTA;
SECRETARIO TÉCNICO

RAMON FAYAD NAFFAH
LIC. EDUCACIÓN; PHD MATEMÁTICAS

CARLOS ALBERTO CALDERÓN
MÉDICO; MSC. FARMACOLOGÍA

GLEDY VANESSA ESPINÁ
FONOAUDIÓLOGA, MSc Y PHD EN CIENCIAS

JAIID CONSTANZA ROJAS
BACTERIOLOGA; MSC. SALUD PÚBLICA;
MSC. BIOTECNIA

KATHERIN QUINTERO PARRA
QUÍMICA FARMACÉUTICA

LUISA FERNANDA RAMÍREZ
PSICOLOGA- PHD PSICOLOGÍA SOCIAL Y DE LA SALUD

MAGDA MILENA GAVIRIA
BIÓLOGA; MSC EN BIOLOGÍA

MARTHA ROCÍO TORRES NARVÁEZ
FISIOTERAPEUTA, MSC. BIOTECNIA

ANDREA TORRES RUIZ
INGENIERA BIOMÉDICA; MSC ING. ELECTRÓNICA Y DE
COMPUTADORES

CÉSAR PAVAN GÓMEZ
MÉDICO, MSC. GENÉTICA HUMANA; PHD CIENCIAS
BÁSICAS

JESUS ORLANDO CROCE
ABOGADO

KAREN JULIETH MORENO
FISIOTERAPEUTA; ESP. EPIDEMIOLOGIA

MARTHA ISABEL BAUTISTA DUEÑAS
AUXILIAR ADMINISTRATIVA



DVO005 1520-CV1235

Bogotá D. C., 19 de abril de 2021

Doctor

JAVIER RICARDO PARADA CALDERÓN

Investigador Principal

Estudio: "Desarrollo De Un Dispositivo Inteligente De Asistencia Para La Administración De Medicamentos En Adultos Mayores Sanos: Un Estudio Piloto".

Bogotá, D. C.

Respetado Investigador:

El Comité de Ética en investigación de la Universidad del Rosario (CEI-UR) evaluó de forma expedita la tercera versión de su proyecto de investigación "Desarrollo De Un Dispositivo Inteligente De Asistencia Para La Administración De Medicamentos En Adultos Mayores Sanos: Un Estudio Piloto". Fecha de recepción: 12 de marzo de 2021.

Luego de haber tenido en cuenta las observaciones efectuadas por el CEI-UR, se APRUEBA el protocolo en referencia junto con la información anexa.

Para el Comité de Ética es importante acompañarlo durante la ejecución del estudio. Por favor no dude en contactarnos en caso de tener alguna inquietud o de necesitar apoyo para el análisis de alguna situación específica. De igual forma le recomendamos notificar cualquier modificación en la ejecución del estudio no expuesta en la aprobación inicial del proyecto.

Cordialmente,

JUAN GUILLERMO PÉREZ MD, MSc
Secretario Técnico
(CEI-UR)

c.c. Archivo
Proyectó: Martha Isabel Bautista

Este comité se rige por los lineamientos jurídicos y éticos del país a través de las resoluciones 8430 de 1993 y 2378 de 2008 del Ministerio de Salud y Protección Social. Igualmente, se siguen los acuerdos contemplados en la declaración de Helsinki (Fortaleza, Brasil 2013) y de la Conferencia Internacional de Armonización para las Buenas Prácticas Clínicas. Recuerde visitar nuestra página web, en donde encontrará información actualizada de los procedimientos del Comité de Ética en Investigación de la Universidad del Rosario, así como cursos en ética de la investigación de acceso libre. <https://www.urosario.edu.co/Investigacion/Soporte-a-la-Investigacion/Comite-de-etica-en-investigacion/#id-tabs>

DVO005 1520-CV1235
Página 1 de 1

Carrera 24 N° 63C-69 Bogotá
Teléfono: 2970200 Ext. 3295
E-mail: comite.etica@urosario.edu.co

Anexo 12. Pruebas funcionales manuales

Prueba	fecha y hora de toma	Medicamento	¿Se realizó la activación del sensor?	Estado de la compuerta	Giros del motor paso a paso	Envío de MSM	Porcentaje de efectividad
1	5:39	acetaminofen	SI	abierta	Correcto	Correcto	100%
2	5:41	ibuprofeno	SI	abierta	Correcto	Correcto	100%
3	5:43	omeprazol	NO	Cerrada	Correcto	Correcto	100%
4	5:45	aspirina	NO	Cerrada	Correcto	Correcto	100%
5	5:47	ramipril	SI	abierta	Correcto	Correcto	100%
6	5:49	paracetamol	NO	Cerrada	Correcto	Correcto	100%
7	5:51	Salbutamol	NO	Cerrada	Correcto	Correcto	100%
8	5:53	lanoprazol	SI	abierta	Correcto	Correcto	100%
9	5:55	amoxicilina	SI	abierta	Correcto	Correcto	100%
10	5:57	Furosemida	SI	abierta	Correcto	Correcto	100%
11	5:59	waitavina	SI	abierta	Correcto	Correcto	100%
12	6:02	frsinapril	NO	Cerrada	Correcto	Correcto	100%
13	6:05	ibuprofeno	NO	Cerrada	Correcto	Correcto	100%
14	6:07	diazepam	NO	Cerrada	Correcto	Correcto	100%
15	6:09	morfina	SI	abierta	Correcto	Correcto	100%
16	6:11	prometazina	SI	abierta	Correcto	Correcto	100%
17	6:14	Clofexamida	SI	abierta	Correcto	Correcto	100%
18	6:16	Dolex	SI	abierta	Correcto	Correcto	100%
19	6:18	Trimebutina	NO	Cerrada	Correcto	Correcto	100%
20	6:20	nitroglicerol	NO	Cerrada	Correcto	Correcto	100%

Anexo 13. Comparación entre sensor MAX30100 y pulsioxímetro comercial

PRUEBA	HORA	SENSOR MAX30100		PULSIOXIMETRO COMERCIAL		% ERROR FRECUENCIA CARDIACA	% ERROR SATURACIÓN DE OXIGENO
		FRECUENCIA CARDIACA	SATURACIÓN DE OXIGENO	FRECUENCIA CARDIACA	SATURACIÓN DE OXIGENO		
1	3:19	72,63	96	71	94	2,3%	2,1%
2	3:22	75,97	97	74	96	2,7%	1,04%
3	3:29	76,42	96	77	95	3,3%	1,05%
4	3:39	74,07	95	73	98	1,5%	3,06%
5	3:43	74,06	96	73	95	1,5%	1,05%
6	3:55	75,80	96	72	96	2,2%	0%
7	4:11	71,40	96	68	95	5%	1,05%
8	4:14	73,86	96	75	97	1,5%	1,03%
9	4:20	71,80	97	70	97	2,6%	0%
10	4:24	76,05	97	76	97	0%	0%
11	4:29	77,03	97	75	96	2,7%	1,04%
12	4:37	78,85	96	75	96	5%	0%
13	4:45	75,60	96	76	97	0,3%	1,03%
14	4:50	74,86	96	70	96	6%	0%
15	4:53	75,05	96	74	98	1%	2%

Anexo 14. Resultados y análisis del cuestionario de usabilidad aplicado.

De acuerdo con la Figura 47, la primera pregunta permite conocer la percepción de la cuidadora donde está totalmente de acuerdo con que le gustaría utilizar el pastillero con frecuencia.

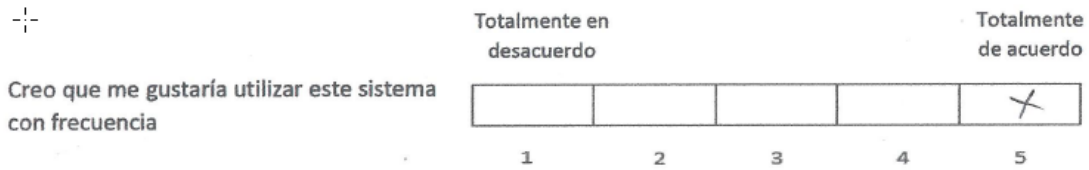


Figura 47 Prueba de usabilidad - Rta 1

En la Figura 48, la enfermera indica estar algo en desacuerdo en que el prototipo sea complejo de utilizar.

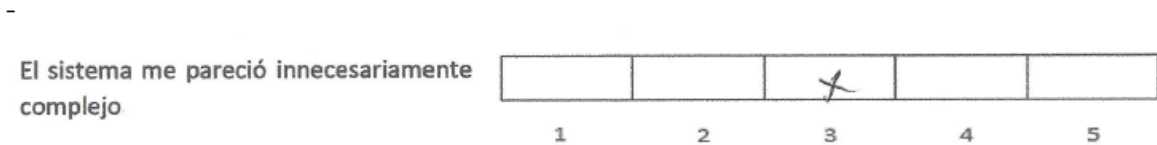


Figura 48 Pruebas de usabilidad - Rta 2

En la Figura 49, la enfermera nuevamente indica estar algo en desacuerdo con relación a que el prototipo sea fácil de usar.

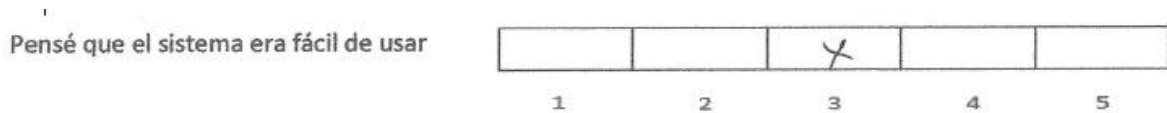


Figura 49. Pruebas de usabilidad - Rta 3.

En la Figura 50, la enfermera está en desacuerdo con la creencia de necesitar el apoyo de personas técnicas para poder utilizar el prototipo.

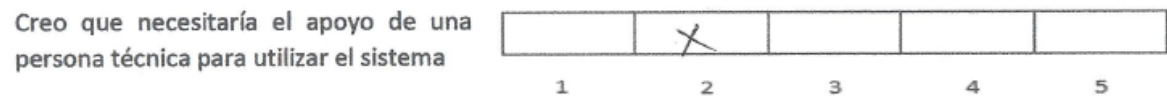


Figura 50. Pruebas de usabilidad - Rta 4.

La enfermera encontró que las diferentes funcionalidades del sistema se encuentran bien integradas, como se observa en la Figura 51.

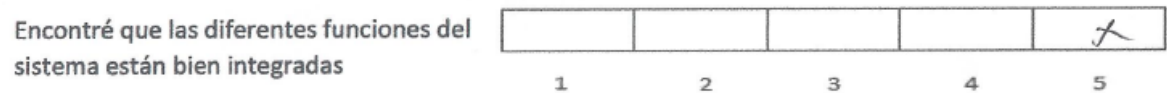


Figura 51. Pruebas de usabilidad - Rta 5.

En cuanto a la coherencia del prototipo, la enfermera afirma en la Figura 52 que realmente no existe ningún tipo de incoherencias en el sistema propuesto.

Pensé que había demasiada incoherencia en el sistema

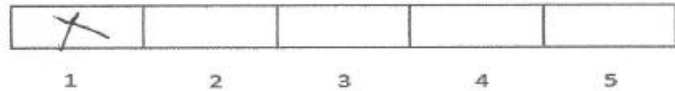


Figura 52. Pruebas de usabilidad - Rta 6.

Por otro lado, en cuanto al nivel de dificultad asociado al proyecto, la enfermera está en total desacuerdo con que el prototipo sea engorroso o complicado de usar, como se muestra en la Figura 53.

Me pareció que el sistema es muy engorroso de utilizar

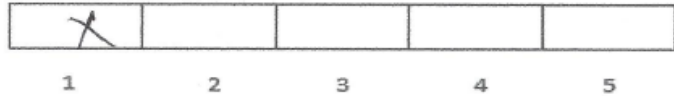


Figura 53. Pruebas de usabilidad - Rta 7.

Además, se buscaba que el sistema presentará facilidad de uso y que el usuario se sienta seguro al usarlo, y no sienta peligro con el prototipo. Para la Figura 54, la enfermera está en total acuerdo y afirma que se sintió segura usando el pastillero.

Me sentí muy seguro utilizando el sistema

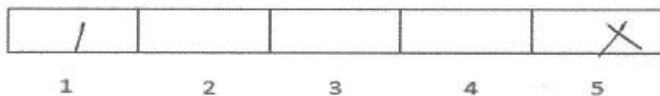


Figura 54. Pruebas de usabilidad - Rta 8.

Otra de las preguntas, se refiere a la facilidad, se requiere que el dispositivo sea sencillo, no requiera pasos muy complejos, sino por el contrario funcione de forma casi que automática al encenderse. La enfermera dice que está en desacuerdo, y además afirma que no es necesario aprender muchas cosas antes de poner en marcha el sistema, tal cual muestra la Figura 55.

Necesito aprender muchas cosas antes de ponerme en marcha con este sistema

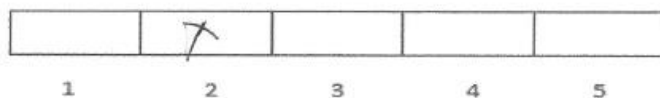


Figura 55. Pruebas de usabilidad - Rta 9.

Con el fin de evaluar al usuario, y que este de su voto respecto al trabajo realizado, la enfermera está en total acuerdo con que el proyecto ayuda a recordar el momento de ingesta de los diferentes medicamentos y, además, permite el monitoreo de la oximetría de pulso, como se muestra en la Figura 56.

Consideraría usted que este sistema cumple con el objetivo de: **Diseñar un dispositivo inteligente de asistencia para la administración de medicamentos en adultos mayores sanos, basado en el paradigma de internet de las cosas (IoT). Capturando variables de signos vitales y que ayuda a recordar el momento de ingesta de los diferentes medicamentos**

				X
1	2	3	4	5

Figura 56. Pruebas de usabilidad - Rta 10.

Además de conocer el sistema y su funcionamiento, la enfermera afirma que esta herramienta si podría beneficiar a los adultos mayores frente al consumo de medicamentos y la posible mejora del desempeño del sistema, estimando un 25% como porcentaje de mejora del desempeño del sistema, como se muestra en la Figura 57.

Luego de conocer el sistema y su funcionamiento, ¿considera usted que esta herramienta podría beneficiar a los adultos mayores frente al consumo de medicamentos o mejoraría el desempeño del sistema? Si la respuesta es afirmativa ¿en que porcentaje cree usted que mejoraría el desempeño del sistema

SI	NO	PORCENTAJE
X		25%

Figura 57. Pruebas de usabilidad - Rta 11.

La enfermera está en total acuerdo en que las funcionalidades agregadas al sistema si son de interés e importancia. (Ver Figura 58).

Considera usted que las funcionalidades agregadas al sistema son de interés e importancia para usted como usuario final

				X
1	2	3	4	5

Figura 58. Pruebas de usabilidad - Rta 12.

Además, se evalúa la app móvil realizada para corroborar que el uso de ella sea sencillo y facilite a cualquier usuario configurarla y manipularla. El resultado de la enfermera permite concluir en que la interfaz de usuario donde se configuran los horarios de los medicamentos es fácil de usar.

Considera que la interfaz de usuario donde se configuran los horarios de los medicamentos permite un fácil manejo

			X	
1	2	3	4	5

Figura 59. Pruebas de usabilidad - Rta 13.

Por última pregunta, la enfermera está de acuerdo en que la mayoría de las personas aprenderían a usar con facilidad y rapidez el sistema, como se muestra en la Figura 60, por su sencillez.

Me imagino que la mayoría de la gente aprendería a utilizar este sistema rápidamente.

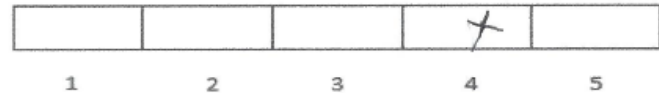


Figura 60. Pruebas de usabilidad - Rta 14.

Finalmente, la enfermera en su comentario final dice “considero que el manejo del pastillero electrónico lo manejarán prácticamente los cuidadores del adulto mayor, ya que estos no estarían en capacidades cognitivas (cabe aclarar que no se generaliza) en el manejo. Pero es muy interesante el pastillero y funciona para una institución de manejo de pacientes asistidos”.

Considero que el manejo del pastillero electrónico, lo manejarán prácticamente los cuidadores del adulto mayor, ya que estos no están en capacidades cognitivas en el manejo. Pero es muy interesante el pastillero y funciona para una institución de manejo de pacientes asistidos.

Figura 61. Comentario de las pruebas de usabilidad.