



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PROPUESTA DE UNA SOLUCIÓN DE TELEMEDICINA BASADA EN
DISPOSITIVOS IoT PARA PACIENTES CON COVID-19 EN
AISLAMIENTO DOMICILIARIO EN ECUADOR

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

AUTOR: VICTOR VLADIMIR SOLIZ URGILES

DIRECTOR: ING. JAIME EDUARDO ROJAS CORONEL

**AZOGUES - ECUADOR
2021**

*Yo me gradué en los
50 años de La Cato!*

©Copyright Victor Vladimir Soliz Urgiles
All Rights reserved

Dedicatoria

El presente trabajo de tesis quiero dedicar a Dios porque gracias a él logre concluir esta tesis, a mi padre quien me enseñó que el mejor conocimiento que se puede tener es el que se aprende por sí mismo. También está dedicado a mi madre, quien me enseñó que incluso la tarea más grande se puede lograr si se hace un paso a la vez, gracias por su amor ,paciencia y esfuerzo que me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía. A mi esposa por su cariño y apoyo incondicional por estar conmigo en todo momento, A mi hijo por estar conmigo en cada paso que doy por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente durante todo este periodo de estudio quien es mi inspiración, mi luz que hace que mis días sean maravillosos por él nunca me rendiré. A mis hermanos, sobrinos y cuñados por sus palabras de aliento y compañía quienes me impulsaron a seguir y buscar el sendero del camino deseado.

Agradecimiento

Deseo expresar mi gratitud a todas las autoridades y personal de la Universidad Católica de Cuenca sede Azogues. A mis tutores Ingenieros Jaime Rojas Coronel, Ismael Minchala Ávila quienes me ayudaron durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo, por compartir sus conocimientos con voluntad y dedicación.

Resumen

Las instituciones de educación superior tienen entre sus ejes estratégicos la vinculación con la sociedad; en este contexto, el actual panorama de salud mundial requiere el aporte de ideas o posibles soluciones a los problemas que se presentan y que se avecinan. Merced a esto, este documento contempla una propuesta de solución conceptual de telemedicina basada en dispositivos IoT para pacientes con COVID-19 en aislamiento domiciliario en Ecuador. La idea central es sensor algunos de los signos vitales de los pacientes afectados con este virus como temperatura, presión arterial, pulso y saturación de oxígeno. Esta información es posible compartirla con las instituciones de salud y, de esta manera brindar un acompañamiento al paciente e intervenir en tiempo y forma cuando la situación requiera. Inicialmente se estudian los parámetros vitales previamente mencionados, además de sus características en pacientes con COVID-19. Este estudio permite recopilar información técnica de dispositivos IoT aplicables a los propósitos de monitoreo de este proyecto, así como las diferentes necesidades de comunicaciones y tecnologías adicionales. Finalmente, se define la factibilidad técnica y económica de la solución y se redactan las conclusiones y recomendaciones necesarias.

Abstract

Higher education institutions have among their strategic axes the link with society; in this context, the current global health scenario requires the contribution of ideas or possible solutions to the problems that are presented and that are coming. Owing to this, this paper contemplates a proposal for a conceptual telemedicine solution based on IoT devices for patients with COVID-19 in home isolation in Ecuador.

The central idea is to sense some of the vital signs of patients affected with this virus, such as temperature, blood pressure, pulse, and oxygen saturation. This information can be shared with health institutions and, in this way, provide support to the patient and intervene promptly when the situation requires it. Initially, the previously mentioned vital parameters are studied, as well as their characteristics in patients with COVID-19. This study allows gathering technical information of IoT devices applicable to the monitoring purposes of this project, as well as the different communication needs and additional technologies. Finally, the technical and economic feasibility of the solution is defined, and the necessary conclusions and recommendations are drawn.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Motivación	2
1.2. Descripción del problema	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Estado del arte	3
1.5. Contribuciones de la tesis	4
2. Marco teórico	5
2.1. Generalidades y características del COVID-19	5
2.2. Parámetros a medir en personas infectadas con COVID-19	6
2.2.1. Temperatura corporal	6
2.2.2. Presión arterial	6
2.2.3. Pulso	7
2.2.4. Saturación de oxígeno	7
2.3. Historia de IoT	7
2.4. Aspectos tecnológicos de IoT	8
2.5. Uso de IoT en el campo de la salud	11
2.6. Sensores de monitoreo IoT	11
2.6.1. Sensor de temperatura	12
2.6.2. Sensor de presión	13
2.6.3. Sensor de pulso	14
2.6.4. Sensor de saturación de oxígeno	15
2.7. Plataformas para IoT	15
2.7.1. ThingSpeak	15
2.7.2. Cayenne	16
2.7.3. UBIDots	17
2.7.4. Azure	18
3. Metodología	19
3.1. Determinación de los componentes del sistema	19
3.1.1. Propuesta de sensores	19

3.1.2.	Sistema de procesamiento de datos	21
3.1.3.	Determinación de plataforma IoT	23
3.1.4.	Redes de comunicación	24
3.1.5.	Interfaces y protocolos	25
3.1.6.	Servidores y almacenamiento	26
3.2.	Propuesta de diseño	27
3.2.1.	Diseño del subsistema de sensado	27
3.2.2.	Diseño del subsistema de almacenamiento y monitoreo	28
3.2.3.	Diagramas de hardware	30
3.2.4.	Interfaz gráfica	33
3.2.5.	Diagrama de decisión de acciones a tomar	35
3.2.6.	Perspectiva del subsistema de sensado	35
3.2.7.	Perspectiva del subsistema de almacenamiento y monitoreo	37
3.2.8.	Perspectiva global de la solución planteada	38
4.	Análisis de resultados	41
4.1.	Análisis de factibilidad económica	41
4.2.	Análisis de factibilidad técnica	42
4.2.1.	Ventajas	42
4.2.2.	Desventajas	42
5.	Conclusiones	43
5.1.	Conclusiones	43
5.2.	Trabajo futuro	44
A.	Sensor Melexis MLX90614ESF	48
B.	Sensor MPX5100DP	51
C.	Sensor PulseSensor	54
D.	Sensor MAX30102	57
E.	Antiplagio	60
F.	Permiso de repositorio	63
G.	No adeudar libros	65

Índice de cuadros

2.1. Temperatura	6
2.2. Presión arterial	6
2.3. Pulso	7
2.4. Saturación de oxígeno	7
2.5. Principales tecnologías de comunicación en IoT	9
3.1. Sensores involucrados en la propuesta	21
3.2. Comparativa Panda-Raspberry	22
3.3. Compatibilidad de sensores con Raspberry Pi 4	23
3.4. Comparativa de plataformas IoT	23
3.5. Interfaces y protocolos de sensado	26
3.6. Interfaces y protocolos de opción 1 Bluetooth	26
3.7. Interfaces y protocolos de opción 2 Wifi	26
3.8. Interfaces y protocolos de opción 3 Ethernet	26
3.9. Comparativa de tipos de almacenamiento	27
3.10. Ubicación de sensores	27
3.11. Almacenamiento de datos	29
4.1. Precios aproximados de la propuesta	41

Índice de figuras

2.1. Efectos del COVID-19 en las personas	6
2.2. IoT Red de redes	8
2.3. Arquitectura IoT	9
2.4. Arquitectura IoT simplificada	10
2.5. Esquema de funcionamiento de sensores	12
2.6. Comparación de tipos de sensores	13
2.7. Funcionamiento sensor de pulso infrarrojo	14
2.8. Funcionamiento sensor de oxígeno en sangre	15
2.9. Plataforma ThingSpeak	16
2.10. Plataforma Cayenne	17
2.11. Plataforma UBIdots	18
2.12. Plataforma Azure	18
3.1. Sensor MLX90614ESF	19
3.2. Sensor serie MPX5100DP	20
3.3. Sensor de pulso	20
3.4. Oxímetro de pulso MAX30102	21
3.5. Raspberry Pi 4	22
3.6. Convertidor analógico/digital	23
3.7. Opción de comunicación 1 Bluetooth	25
3.8. Opción de comunicación 2 Wifi	25
3.9. Opción de comunicación 3 Ethernet	25
3.10. Almacenamiento de datos	28
3.11. Conexionado de sensores	29
3.12. Diagrama de almacenamiento de datos	30
3.13. Diagrama esquemático	31
3.14. Diagrama de pistas	31
3.15. Placa de frente	32
3.16. Placa posterior	32
3.17. Placa de costado	32
3.18. Interfaz LCD	33
3.19. Interfaz para celular - Paciente	34
3.20. Interfaz para celular - Médico	34

3.21. Interfaz para PC	35
3.22. Diagrama de decisión para software	36
3.23. Pinza en dedo	36
3.24. Banda en brazo	37
3.25. Banda en muñeca (sensores)	37
3.26. Banda en muñeca (Control)	37
3.27. Distribución de subsistema de sensado y control	38
3.28. Distribución de subsistema de almacenamiento y monitoreo	38
3.29. Vista general del prototipo de sensado	39
3.30. Partes del prototipo de sensado	39
3.31. Vista lateral del prototipo de sensado	40

Capítulo 1

Introducción

En la actualidad, las telecomunicaciones no interconectan únicamente a personas, organizaciones y/o recursos de información, sino también, gracias a la aparición del internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés), comunica a objetos que poseen diversas capacidades con relación a la información digital. Esta nueva forma de comunicación puede ser usada para incrementar la eficiencia en los parámetros de cada campo de acción y mejorar la vida de las personas de formas innovadoras.

El IoT es uno de los campos con más desarrollo en los últimos años a nivel mundial dentro de la rama de las tecnologías de la información y comunicación (TIC), conectando, no solo a personas sino también objetos [ITU, 2017]. Entre las definiciones de IoT se destaca aquella que implica a objetos interconectados que utilizan el internet como medio de comunicación, generalizando el concepto a una variedad de elementos u objetos de uso cotidiano, como sensores, teléfonos inteligentes, dispositivos de salud, entre otros [Rodríguez, 2017].

Entre las aplicaciones de IoT, se encuentran aquellas enfocadas al campo de la salud, en donde se muestra, entre otros problemas, al relacionado con la seguridad como un factor crítico, considerando la baja confiabilidad en los mecanismos de autenticación principalmente en el protocolo de aplicación restringida (CoAP) [Azzawi, 2016]. Por otro lado, en el trabajo de [Ahmadi, 2018] obtienen resultados de los campos más analizados en el área médica, los mismos que se podrían agrupar en: cuidado de la salud en el hogar, M-health and E-health (salud móvil/telefonía celular y tecnología de la salud respectivamente) y gestión hospitalaria. Este trabajo indica que los temas relacionados con el cuidado de la salud en el hogar es el área más popular para los dispositivos con arquitectura IoT, seguido de la administración del hospital, después lo que concierne a M-health y E-health que vienen en alza debido al aumento del uso de dispositivos inteligentes (teléfonos, tabletas, entre otros).

El autor [San Martín, 2016] entiende que se podrían ofrecer servicios con IoT en la salud y migrar a un modelo centrado en la atención en el hogar, reduciendo la intensidad laboral del personal, bajar el costo operacional y disminuir la ocupación de espacio físico en los hospitales. El protocolo que se analiza para el desarrollo es el LoWPAN, con tecnologías como: Wi-Fi, WiMAX, ZigBee, Bluetooth, aplicaciones de teléfonos inteligentes, RFID, entre otras. Las conclusiones obtenidas ofrecen un panorama prometedor para el sector salud y las TIC en general, ya que permite personalizar el servicio sanitario, y acelerar su evolución.

1.1. Motivación

La necesidad de constante aprendizaje está presente en los seres humanos, todos los días estamos aprendiendo cosas nuevas, tanto de forma académica como empírica. Dentro de este contexto, las instituciones de educación superior nos brindan las herramientas necesarias para que el conocimiento formal se intensifique y nos permita desarrollarlo, en este caso específico, el conocimiento técnico.

La situación actual del mundo se ve afectada con la aparición del virus COVID-19, por ello es necesario contribuir de manera activa en la búsqueda de soluciones aprovechando el avance constante de la tecnología, en lo referente a dispositivos de monitoreo y masificación de las comunicaciones. Es pertinente el uso de estas herramientas para ser analizadas y desarrolladas en escenarios de aprendizaje y posible solución de situaciones problemáticas.

Este trabajo de investigación está enfocado en la necesidad de aplicación de dispositivos IoT para colaborar, desde el campo educativo, con posibles soluciones a las carencias y dificultades que enfrentan los sistemas de salud público y privado en el Ecuador.

1.2. Descripción del problema

En diciembre del 2019, en Wuhan, China se conoció el primer caso del nuevo virus nombrado como coronavirus COVID-19. Desde ese día hasta la actualidad se ha diseminado hacia todos los países del mundo, infectando a millones de seres humanos y matando a otros cientos de miles. Este virus aún no posee una cura conocida y verificada [Yan-Rong and Guo, 2020].

Las principales características de este virus son: fiebre alta, tos, falta de aire o dificultad para respirar; estas características podrían servir para la detección y seguimiento de las posibles personas infectadas [Suraj Kapa, 2020].

Dentro de las recomendaciones fundamentales de la [OMS, 2020] para la prevención y manejo del virus están: distanciamiento social y aislamiento domiciliario. Solo los casos más complicados, con respecto a las condiciones físicas, requieren hospitalización y un porcentaje mucho menor requiere de cuidados intensivos.

A nivel mundial, el IoT se ha desarrollado (avances y mejoras tecnológicas) en el campo de la salud, siendo muy utilizadas para recopilar datos en tiempo real de pacientes y facilitando a los médicos el seguimiento de los casos e intervenir el momento que sea necesario. Es una constante a nivel mundial que las redes de área personal inalámbrica de baja potencia (LoWPAN, por sus siglas en inglés) se utilicen para el despliegue de tecnologías IoT, sobre todo por las prestaciones de seguridad que ofrece. Pero en lo que respecta al campo de la salud aún son bajos en número debido a temas de seguridad y privacidad de la información de las personas [Ahmadi, 2018].

Según [Kulkarni, 2014] la tecnología IoT se aplicará en muchos aspectos para el área de la salud, buscando nuevos enfoques en servicios, reducción de costos y mejora en la calidad de la atención médica.

Hoy en día los sistemas de salud, en la mayoría de países del mundo, mantienen a los pacientes, que requieren algún tipo de seguimiento, hospitalizados durante toda la duración del proceso de tratamiento. Muchos artículos, a nivel mundial, indican que la atención médica en casa es una de las principales áreas de aplicación de IoT por su flexibilidad y escalabilidad, mediante el uso de tecnologías como Wi-Fi, Bluetooth, RFID, ZigBee entre otros [Ahmadi, 2018].

[Dioses, 2020] indica que, en América Latina, existe un promedio de 27 camas en el área de la salud pública y privada por cada 10 mil habitantes y la falta de respiradores artificiales es muy alta, este último dato no solo de la región mencionada sino que incluye a la mayoría de países del mundo. En consecuencia, es importante analizar la factibilidad del uso de dispositivos IoT (en lo que refiere a sentido, seguridad, despliegue y confiabilidad) para el

monitoreo de pacientes con COVID-19 que tengan aislamiento domiciliario en Ecuador, para disminuir la cantidad de camas ocupadas en los hospitales y evitar que el sistema de salud se sature y colapse.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Proponer una solución conceptual de telemedicina basada en dispositivos IoT de captura de señales de temperatura, presión arterial, pulso y saturación de oxígeno para el seguimiento de pacientes con COVID-19 en aislamiento domiciliario en Ecuador.

1.3.2. Objetivos específicos

- Entender el comportamiento de los parámetros de temperatura, presión arterial, pulso y saturación de oxígeno de los pacientes con coronavirus COVID-19.
- Recopilar información técnica acerca de dispositivos IoT en el campo de la salud en Ecuador.
- Comparar las opciones de dispositivos IoT para determinar la más eficiente.
- Plantear una solución conceptual en base a la comparación realizada.
- Determinar las necesidades de comunicaciones y tecnologías adicionales para el uso de la solución planteada.

1.4. Estado del arte

Como se indica en la introducción 1 y descripción del problema 1.2, los trabajos realizados en el campo de la salud se agrupan en: cuidado de la salud en el hogar, M-health and E-health (salud móvil/telefonía celular y tecnología de la salud respectivamente) y gestión hospitalaria. Estos grupos de estudio se complementan entre sí para obtener desarrollos completos.

Según el trabajo presentado por [Ahmadi, 2018] el cuidado de la salud en el hogar es el área preferida por los investigadores para el uso de tecnologías IoT. Esto condice con las conclusiones obtenidas por [San Martín, 2016] en su trabajo de investigación, quien vaticina un panorama prometedor para el sector salud y las TIC en general.

El monitoreo de signos vitales es un área en desarrollo constante por la importancia de conocer el estado de salud de las personas y la posibilidad de cuantificarlos. Esto deriva en la realización de varios trabajos e investigaciones, a nivel mundial, para que los resultados obtenidos sean cada vez más exactos. Las investigaciones está dirigidas, tanto en el desarrollo de sensores sin contacto [Sinhala *et al.*, 2017] como en el monitoreo remoto de signos vitales, conocida también como telemetría de cuidado de la salud [Raji *et al.*, 2016].

Los sensores sin contacto permiten el monitoreo de uno o varios signos vitales, una de las técnicas estudiadas por [Wang and Han, 2017] es la de pulsos de penetración reflejados en el cuerpo de las personas. Estos sistemas monitorean de manera local, sin conexión a internet, su uso está enfocado a mejorar las técnicas para lectura de signos vitales. Dentro de los métodos más usados están los de radar mediante el efecto Doppler y los divisores de frecuencia de inyección bloqueada.

En lo referente a la segunda línea de investigación, de sensores y sistemas de monitoreo que transmiten la información de manera directa o mediante una computadora conectada a internet, existen trabajos como: monitoreo

de ritmo cardíaco [Mohammed *et al.*, 2014], temperatura corporal y saturación de oxígeno [Ramírez-López *et al.*, 2018] y un campo adicional con sensores muy pequeños que son ingeridos por pacientes y que pueden transmitir desde el interior del cuerpo humano [Traversr *et al.*, 2015].

En lo que hace referencia al COVID-19 la Organización mundial de la salud y varias instituciones privadas, de la rama de la investigación de la salud, están cada vez más cerca de entender por completo las diferentes características de la enfermedad, lo que se conoce hasta ahora ha servido para poder hacerle frente, pero cada día se conocen nuevos datos que permiten mejorar la atención preventiva y tratamientos para contrarrestar los efectos en personas infectadas.

1.5. Contribuciones de la tesis

Este trabajo aporta a la solución del problema planteado en la sección 1.2 de la siguiente forma:

- Propuesta técnica de solución de telemedicina para pacientes con COVID-19 en aislamiento domiciliario en Ecuador
- Propuesta económica de la solución de telemedicina planteada
- Experiencias de desarrollo propuestas en la sección 1.4 en base a conceptos IoT
- Criterios del estado actual de las telecomunicaciones y tecnologías adicionales para el uso de la solución planteada en el Ecuador
- Planteamiento de recomendaciones y conclusiones en base al desarrollo del documento de investigación

Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Generalidades y características del COVID-19

Según el informe de [Coiras, 2020] los síntomas clínicos detectados del COVID-19 son: fiebre, fatiga, dificultad para respirar, tos seca, dolor de garganta, pérdida de gusto y olfato, dolores musculares y de cabeza, entre otros, no siempre están presentes en el mismo individuo ni con la misma intensidad. Por lo general el sistema inmunitario de las personas es capaz de controlar este virus antes de que se disperse por todo el organismo, evitando, principalmente, que afecte a los pulmones. Pero cuando este virus se desarrolla, entre las características clínicas encontradas, se tiene (cito textual):

- Infección en los pulmones, con posible falta de oxígeno y aparición de neumonía
- Problemas en los riñones, incluido el fallo renal agudo
- Cardiopatías en el corazón: arritmias, trombos, infartos.
- Fallos en el hígado
- Alteraciones en el sistema digestivo, con náuseas, diarrea, dolor abdominal
- Aparición de coágulos sanguíneos
- Problemas neurológicos, desde migrañas y convulsiones a meningitis e ictus
- Respuesta inmunitaria descontrolada que puede ocasionar un fallo multiorgánico”

Lo que se busca es evitar que estos problemas clínicos se presenten y afecten a las personas infectadas, para ello se recomienda un seguimiento exhaustivo de parámetros y signos vitales como temperatura, presión arterial, pulso y saturación de oxígeno.

La figura 2.1 indica, en detalle, cómo puede afectar el COVID-19 en el organismo de cada persona, arrancando como una afectación a nivel respiratorio y pulmonar pero, claramente, generando estragos por todo el cuerpo, con sintomatologías complicadas en órganos vitales como cerebro, corazón, hígado, sistemas digestivo, circulatorio entre otros, lo que obliga a ejercer un control general y exhaustivo en los contagiados.

Cabe recalcar que los efectos pueden presentarse de maneras diferentes en cada caso, pueden ser varios o en simultáneo y con intensidades variadas. Todo depende de las características de salud previas de las personas.



Figura 2.1: Efectos del COVID-19 en las personas

Fuente: [Coiras, 2020]

2.2. Parámetros a medir en personas infectadas con COVID-19

El COVID-19 es una enfermedad infecciosa respiratoria aguda causada por la infección por coronavirus subtipo SARS-CoV-2, afecta principalmente a los pulmones y provoca complicaciones en todo el sistema sanguíneo. En consecuencia, es importante entender los parámetros biológicos a monitorizar, además de los límites establecidos por los profesionales de la salud para considerar la intervención física o farmacológica en los pacientes [OMS, 2020].

2.2.1. Temperatura corporal

La temperatura corporal es un indicador de la regulación térmica de las personas, se consideran similares en adultos y en niños con una diferencia de 1 o 2 grados centígrados. Para su medición se recomienda hacerlo en axilas, boca o recto. Los parámetros normales y de alerta ante una posible complicación se muestran en el cuadro 2.1 [Alger *et al.*, 2020].

Cuadro 2.1: Temperatura

	Rango normal	Valor de alarma
Temperatura	35 a 37° C	≥ 38,5° C

2.2.2. Presión arterial

La presión arterial es la fuerza con la que la sangre empuja contra las paredes de las arterias, para su medición se recomienda el método auscultatorio o tradicional, alrededor del brazo unos dos o tres centímetros por sobre el codo. Los parámetros normales y de alerta ante una posible complicación se muestran en el cuadro 2.2 [Alger *et al.*, 2020].

Cuadro 2.2: Presión arterial

	Rango normal	Valor de alarma
Presión arterial	120/80mmH	≥ 125-130mmH o ≤ 100mmH (sistólica)

2.2.3. Pulso

El pulso o frecuencia cardíaca es el número de contracciones del corazón por unidad de tiempo, se expresa en pulsaciones por minuto, para su medición se recomienda ubicar el dispositivo a usar en la parte interna de la muñeca para detectar la variación de presión en el flujo de sangre que circula por la arteria ubicada en esa parte del cuerpo. Los parámetros normales y de alerta ante una posible complicación se muestran en el cuadro 2.3 [Alger *et al.*, 2020].

Cuadro 2.3: Pulso

Pulso	Rango normal	Valor de alarma
3-4 años	80 – 120 ppm	Cualquier valor fuera de rango
5-9 años	70 – 110 ppm	Cualquier valor fuera de rango
≥ 10 años	60 – 100 ppm	Cualquier valor fuera de rango

2.2.4. Saturación de oxígeno

El término saturación de oxígeno se usa para cuantificar la cantidad de oxígeno dentro de un líquido, en este caso la sangre. Existen varios tipos de mediciones de saturación, para este trabajo en específico, se considera la saturación de oxígeno en sangre, específicamente saturación arterial (SaO₂), es muy importante en la evaluación del sistema respiratorio, depende mucho del cuadro clínico y edad de las personas, ayudando a determinar el estado de la función y la actividad pulmonar. Para su medición se recomienda colocar el dispositivo a utilizar en el dedo índice de la mano (de preferencia tibia) para detectar la cantidad de oxígeno que tiene la sangre, ya que en este punto del cuerpo la piel es mucho más transparente. Los parámetros normales y de alerta ante una posible complicación se muestran en el cuadro 2.4 [Alger *et al.*, 2020].

Cuadro 2.4: Saturación de oxígeno

	Rango normal	Valor de alarma
Saturación de oxígeno	≥ 95 %	≤ 93 %

Según la [OMS, 2020] y lo indicado en la sección 2.1 los parámetros de temperatura, presión arterial, pulso y saturación de oxígeno proporcionarían información suficiente para brindar un seguimiento adecuado de un paciente con COVID-19, sobre todo si se consideran métodos de monitoreo no invasivos y de utilización directa ya sea por el mismo paciente o por terceros.

2.3. Historia de IoT

La historia del internet de las cosas arranca con la historia del internet como tal. Es difícil establecer una fecha exacta de la creación del internet ya que nace de varias investigaciones realizadas en distintos lugares. Los trabajos fundamentales son: la teoría de redes de datos, arquitectura e implementación, y la creación de ARPA (Advanced Research Projects Agency, por sus siglas en inglés) que fue la agencia que financió e implementó esta tecnología. Después, la unión de estos dos trabajos desarrolló el ARPANET (ARPA Network).

Gracias a la aparición de ARPANET, en agosto de 1962, se habla por primera vez el concepto de red galáctica de rápido acceso para poder conectar computadoras en diferentes lugares del mundo y compartir información y servicios. En 1965 se realizó la comunicación entre un computador llamado TX-2 en Massachusetts y el computador

llamado Q-32 en California a través de una línea telefónica conmutada de baja velocidad creando la primera red de área amplia (actualmente llamada WAN), demostrando que estas máquinas pueden interactuar y ejecutar tareas simultáneas [Londoño, 2016].

La evolución de estas comunicaciones generó la necesidad de desarrollo de un protocolo para gestionar y administrar dicho sistema, así nació el protocolo NCP (Network Control Program) que después se llamaría TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) y que usamos hoy.

De esta manera IoT se convirtió en la primera evolución de Internet, logrando que esta red se vuelva sensorial (temperatura, vibración, luz, humedad, entre otras), permitiendo que se expanda hacia lugares inalcanzables, como por ejemplo dispositivos que ingresan a un cuerpo humano para ayudar a los médicos a diagnosticar y determinar las causas o colocar sensores en plantas o animales y conectarlos a Internet [Evans, 2011].

2.4. Aspectos tecnológicos de IoT

[Dioses, 2020] Conceptualiza al internet de las cosas es la red de las redes, ya que implica la unificación de actividades individuales que utilizan un mismo recurso (internet) para generar, enviar y recibir información en tiempo real, como lo ilustra en la figura 2.2.

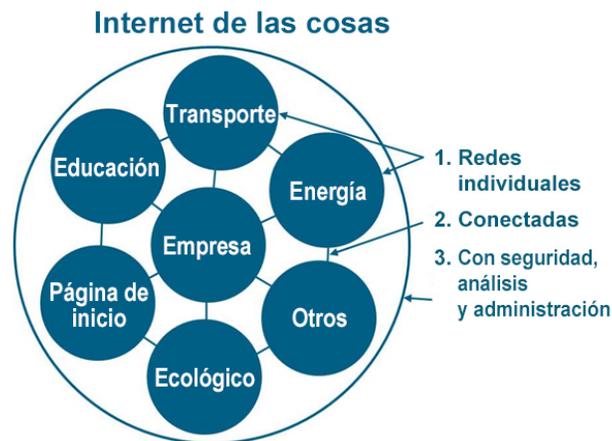


Figura 2.2: IoT Red de redes

Fuente: [Dioses, 2020]

Desde la aparición del concepto de IoT se debate sobre las características, cualidades y aspectos tecnológicos, varios autores coinciden en la mayoría de los criterios, como los de [Gubbi, 2013] quien indica algunos parámetros principales, tales como:

1. **Inteligencia:** en los dispositivos IoT se integran sistemas inteligentes que realizan acciones de manera automática a través de hardware y software para controlar diferentes variables para diversas aplicaciones. Lo que se busca es impulsar el trabajo autónomo no solo de manera local sino también en la interacción por la comunicación en red.
2. **Conectividad:** los dispositivos como tal pueden considerarse inteligente por el hecho de estar conectados y trabajar de manera independiente entre sí. IoT posee la flexibilidad de conexión por medio cableados o de

manera inalámbrica, esta última posee protocolos que le permiten el uso de infraestructuras existentes como RFID, ZigBee, WPAN, WSN, DSL, UMTS, GPRS, WiFi, WiMax, LAN, WAN, 3G, etc.

Cuadro 2.5: Principales tecnologías de comunicación en IoT

Protocolo	Alcance	Tasa de Transmisión
Ethernet	100/2.000m	10Gbps
Wi-Fi	50m	1.300Mbps
Bluetooth	80m	1Mbps
ZigBee	100m	250Kbps
3G/4G	35/200 Km	1/10Mbps

3. Interacción: la idea de IoT es trabajar de manera automática (procesar y compartir información, configuración, mantenimiento y reparación) sin necesidad de la intervención de personas sino, solamente, entre los dispositivos que forman parte de la red creada.

Con lo anteriormente expuesto como premisa, otro autor, en este caso [Yashiro, 2013] plantea, en la figura 2.3, un modelo de capas para la definición de la arquitectura de IoT.

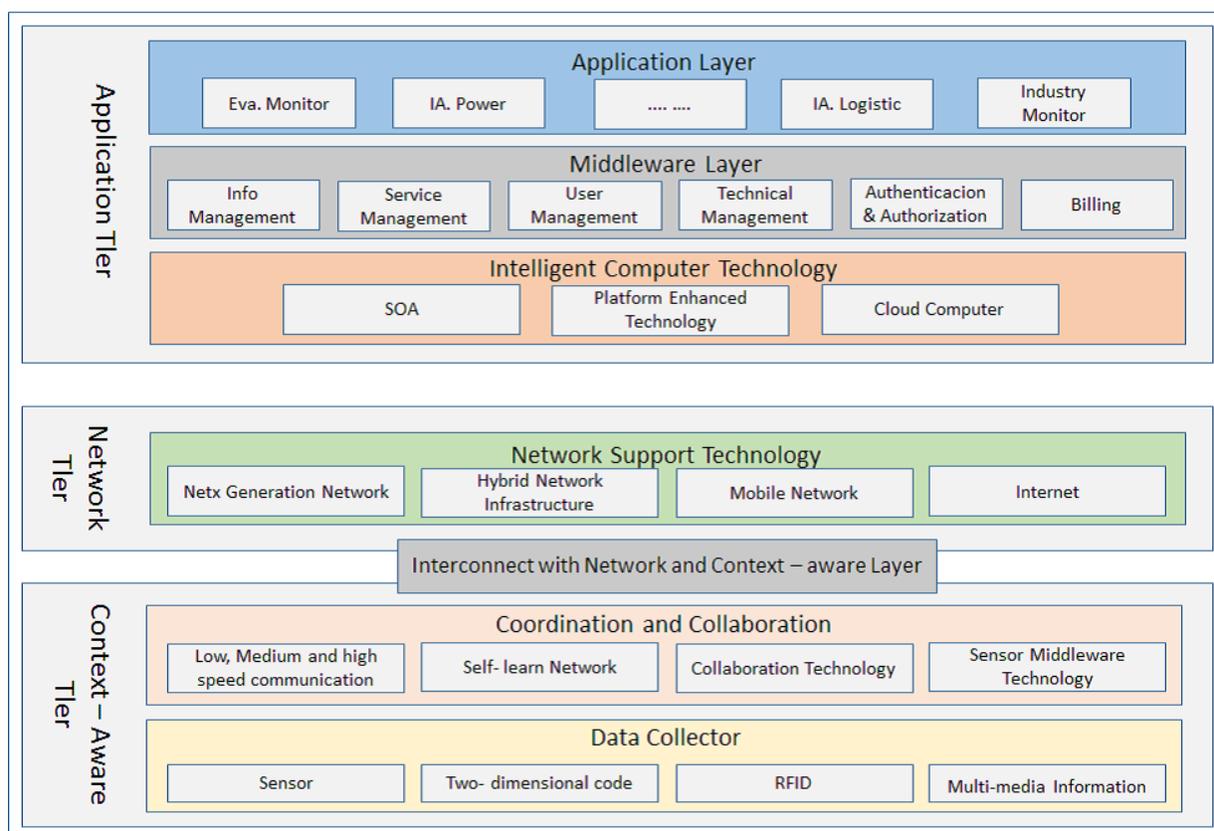


Figura 2.3: Arquitectura IoT

Fuente: [Yashiro, 2013]

Según el informe de [Cruz Vega, 2015] se simplifica un poco más el concepto de arquitectura que se revisó en el párrafo anterior como se indica en la figura 2.4, la misma que tiene como niveles:

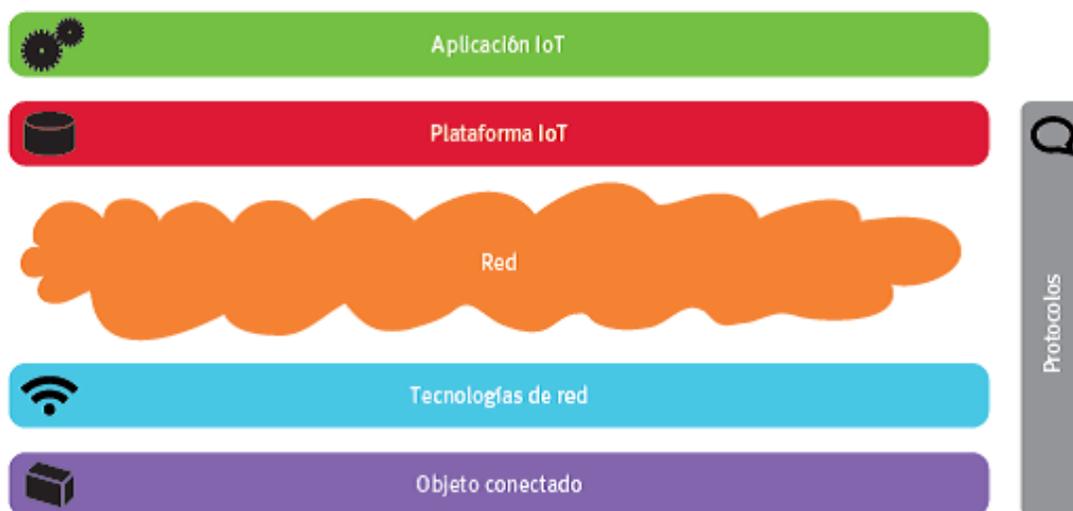


Figura 2.4: Arquitectura IoT simplificada

Fuente: [Cruz Vega, 2015]

Los objetos/cosas conectadas pueden o no estar dotados de inteligencia, ser autónomos o depender de una interacción con personas (se tiende a buscar una independencia general), la conexión a internet es fundamental, ya sea de manera directa o por medio de un dispositivo concentrador (teléfono inteligente). La estandarización de redes y protocolos es fundamental para poder trabajar de manera conjunta así, permitiendo la masificación de conceptos como IPv6, también los recursos destinados para la información generada por los dispositivos como el almacenamiento en la nube y soluciones de “Big Data”.

Las aplicaciones toman un rol fundamental ya que son las que se encargan de actuar como interfaz para el correcto uso de los dispositivos IoT. La energía para la alimentación de sensores, actuadores y demás partes de los sistemas IoT cada vez es más importante, existen avances gracias a los estudios en el campo del almacenamiento de corriente continua y la nanotecnología.

Los dispositivos IoT por lo general se componen de cuatro unidades básicas:

- **Procesamiento y memoria:** Unidad dedicada al almacenamiento de los datos y la ejecución de las secuencias lógicas que le permiten dotarlo de inteligencia
- **Comunicación:** Unidad que permite la conexión directa a internet del dispositivo o la conexión a un sistema complementario para su posterior interacción con internet.
- **Energía:** Unidad responsable de la alimentación eléctrica de los componentes, puede ser mediante el uso de toma de corriente (corriente alterna) o de una batería (corriente continua).
- **Sensores y actuadores:** Son las unidades dedicadas a la interacción con el ambiente en cuestión.

2.5. Uso de IoT en el campo de la salud

IoT marca una diferencia notable en el campo de la salud debido a las ventajas que brinda; objetos de uso personal como biosensores pueden ayudar a las personas a llevar una vida sana, tomando mediciones de signos vitales, previniendo enfermedades y realizando un tratamiento mucho más preventivo y en tiempo real. Otra posibilidad es la de los sensores externos, ubicados en el hogar, la ropa, manillas, relojes zapatos, entre otros, los mismos que permiten un monitoreo de algunos signos vitales y, además, control de actividades específicas como: las fases de sueño, la cantidad de actividad física realizada y demás actividades relacionadas con el exterior.

Lejos de los aspectos tecnológicos, los problemas más complejos que enfrenta el IoT son la privacidad y la seguridad. La mayoría de las personas que tienen acceso a internet están en contacto con situaciones que pueden pasar desapercibidas, como la información que ingresan en sus cuentas de redes sociales o los sensores y dispositivos que las aplicaciones de los teléfonos inteligentes usan en segundo plano. Pero cuando se habla de datos mucho más sensibles como estados bancarios, estado de salud o resultados médicos no se permite que dicha información sea enviada a través de internet.

El riesgo no solamente está del lado de la privacidad sino la seguridad, ya que el 90 % de los dispositivos recolectan algún tipo de información personal, de esos el 70 % transmite sin ningún tipo de encriptación, el 80 % no requiere autenticación compleja y el 60 % presenta vulnerabilidad en sus interfaces web. Estos resultados indican que las empresas de IoT que intervienen en el campo de la salud deben tener un nivel muy elevado de trabajo en temas de privacidad y seguridad [HewlettPackard, 2014].

Sin embargo existen muchos estudios resonantes en el campo de la salud, existen centenares de artículos a cerca de estudios realizados con IoT en la salud, en el trabajo de [Ahmadi, 2018] se analizaron al rededor de 60 artículos y publicaciones donde se obtuvieron los resultados de los campos más analizados en el área médica:

- Cuidado de la salud en el hogar
- M-health and E-health
- Gestión hospitalaria

Así como muchos productos comerciales que hoy en día se encuentran en el mercado, de los cuales se destacan los relacionados con monitoreo de pacientes:

- BeClose: Es un sistema de monitoreo para que personas mayores manejen su rutina diaria, con sensores de movimiento, geoposición y en objetos de uso cotidiano alrededor de su espacio físico, la actividad se monitorea a través de un aplicativo web, con alarmas personalizadas y configurables [ShowMeSystem, 2012].
- BodyGuardian: Es un sistema parecido al descrito en el ítem anterior pero de monitoreo remoto no intrusivo con un dispositivo de banda o parche que controla actividad cardiográfica, respiración, pulso, actividad y posición. Los datos, almacenados en la nube, se pueden consultar a través de aplicaciones conectadas a internet desde dispositivos inteligentes [Preventice, 2012].

2.6. Sensores de monitoreo IoT

Los sensores representan una parte fundamental en los sistemas IoT ya que están encargados de la adquisición de datos para su posterior procesamiento. Estos dispositivos reciben un estímulo de entrada y lo traducen a una

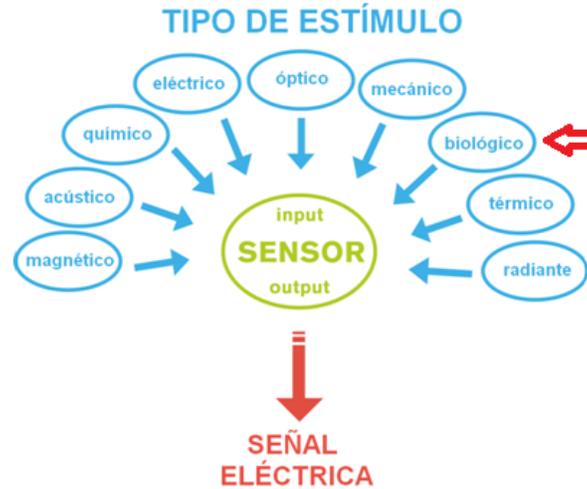


Figura 2.5: Esquema de funcionamiento de sensores
Fuente: [Bruno *et al.*, 2018]

señal eléctrica de salida legible por los circuitos electrónicos posteriores, es decir, convierten magnitudes físicas del ambiente en el que se desenvuelven en señales digitales, como se observa en la figura 2.5 [Bruno *et al.*, 2018].

En base a lo anteriormente expuesto y a la información recopilada en 2.2 se profundiza el estudio de sensores de medición de temperatura, presión, oxígeno y pulso. Dentro de los sensores de monitoreo de signos vitales existen muchas diferenciaciones, una de ellas hace referencia a elementos con o sin contacto, en estos últimos se encuentran los que se pueden usar de manera externa (sobre la piel) o los intrusivos/invasivos (de inserción corporal o colocación subcutánea).

2.6.1. Sensor de temperatura

Los sensores de temperatura se pueden clasificar de diferentes maneras, ya sea por su funcionamiento, la forma en la que transforman la señal o por el ambiente de uso en que se pretenden utilizar; según esto se puede analizar, principalmente, tres tipos de sensores: termopares, RTD (Resistance Temperature Detector) y termistores [Benitez, 2019].

- Termopares: son los más usados en sistemas de medición de temperatura por su precio y facilidad de instalación, pero presentan inconvenientes debido a su tiempo de respuesta lento en comparación con sensores similares. El funcionamiento se basa en dos hilos metálicos de distintos materiales unidos en dos extremos, el primero mediante una junta caliente, también conocida como junta de medición y el segundo extremo separado conocido como junta fría. La diferencia de temperatura entre ambas juntas genera una diferencia de potencial que envía la señal al dispositivo correspondiente. Dependiendo de los materiales de los hilos se pueden llegar a mediciones de entre -200°C hasta 1600°C aproximadamente. se utilizan en ambientes y aplicaciones que no requieren un monitoreo de variación sensible.
- Sensores RTD: estos sensores funcionan en base a la resistencia que el material utilizado posee con respecto a la temperatura, por lo general está compuesto por un alambre enrollado y cubierto por una superficie de vidrio o cerámica. Este tipo de sensores son, principalmente, utilizados en entornos industriales ya que poseen

una gran inmunidad al ruido eléctrico. Poseen rangos de medición que van desde los -200°C hasta 900°C aproximadamente, este rango varía en base al material utilizado para su elaboración como platino, cobre, níquel, entre otros.

- Sensores termistores: son sensores compuestos por materiales semiconductores, la característica de resistividad de estos materiales varía según los cambios de temperatura que estos perciban, los electrodos internos detectan el aumento de temperatura y la miden mediante impulsos eléctricos. Existen dos tipos: NTC (Negative Temperature Coefficient) a mayor temperatura, menor resistencia, son usados en aplicaciones que requieren amplios rangos de temperaturas, y PTC (Positive Temperature Coefficient) a mayor temperatura, mayor resistencia, son usado en aplicaciones con cambios drásticos la temperatura a controlar. Para ambos tipos el rango de temperatura fluctua entre -200°C y 350°C .

La figura 2.6 muestra las curvas de salida (variación de voltaje y resistencia) que generan los tres tipos de sensores descritos, con respecto a la temperatura medida.

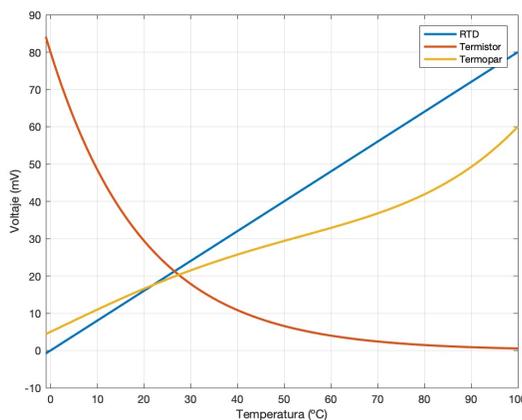


Figura 2.6: Comparación de tipos de sensores

Fuente: [Benitez, 2019]

Otro tipo de sensor para medición de temperatura, que es muy usado en aplicaciones que requieren mediciones de alta precisión y sensibilidad, es el sensor de tipo infrarrojo. Este sensor se diferencia de los tres previamente analizados y no se lo compara directamente debido a que no necesita contacto para realizar la medición. Basa su funcionamiento en la emisión y recepción de luz infrarroja sobre la superficie de un objeto, de esta manera detecta la radiación térmica del objeto o porción de objeto medido y no su temperatura como tal. Es utilizado en varios campos y aplicaciones, principalmente en productos de origen vegetal y medición de temperatura corporal animal y humana [Benitez, 2019].

2.6.2. Sensor de presión

Dentro de los sensores de presión se pueden diferenciar tres métodos para la medición: absoluta (con referencia a la presión atmosférica, usada en altímetros y mediciones de presiones al vacío), manométrica (con referencia a la presión atmosférica del ambiente medido, usada en medidas de presión de neumáticos y presión arterial) y

diferencial (muy similar a la presión manométrica, pero usa una presión determinada como referencia, usada en mediciones de tanques compresores).

Existen varios tipos de sensores de presión debido al método de medición, condiciones del ambiente, rangos y materiales usados en la elaboración de los sensores [Lucerna, 2014]:

- Sensores basados en puente: son sensores basados en el principio de puente de Wheatstone o tensión, este tipo de sensores son muy usados debido a su precisión, costo, dimensiones y robustez. Poseen rango amplio (altas y bajas presiones) y pueden medir presión absoluta, manométrica y diferencial. Usan unas galgas extensiométricas para detectar la deformación del diafragma sometido a la presión, generando un cambio en la resistividad de la galga extensiométrica.
- Sensores de Presión Capacitivos: estos sensores miden la variación de capacitancia entre un diafragma de metal y un metal fijo debido a la variación de distancia entre estos dos diafragmas debido a la presión aplicada. Son un poco más costosos debido a la complejidad de la construcción y a la fiabilidad de medición que generan.
- Sensores de presión piezoeléctricos: estos sensores trabajan con cristales de cuarzo, los electrodos internos transfieren carga desde los cristales a un amplificador cuando son sometidos a tensión. No requieren una fuente de excitación externa, son muy resistentes, usados en aplicaciones industriales de alta presión, no requieren circuito de amplificación de carga.

2.6.3. Sensor de pulso

El pulso cardíaco es una de las magnitudes o signos vitales más complejos de medir mediante sensores, ya que la idea es contar la cantidad de ondas de presión provocada por la expansión de las arterias debido a la circulación de la sangre bombeada desde el corazón. Para esto se utilizan varios métodos, están los sensores basados en el sonido que provoca el pulso que, mediante electrónica específica, cuentan el número de sonidos generados a manera de un estetoscopio digital.

También están los sensores que utilizan señales infrarrojas para su funcionamiento, esto sensores están formados pares de fotodiodos, unos que emiten luz infrarroja, mientras que sus pares reciben dicha la luz que es reflejada en la sangre que circula por las venas y arterias, como se observa en la figura 2.7.

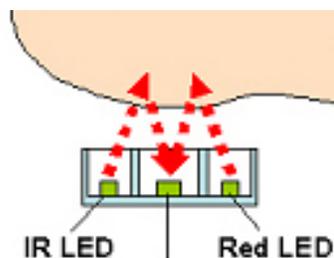


Figura 2.7: Funcionamiento sensor de pulso infrarrojo

Fuente: [De la Torre, 2013]

El corazón bombea sangre varias veces por minuto, segundo a segundo el nivel de sangre en las diferentes partes del cuerpo varía, esta variación produce diferentes reflexiones de la luz infrarroja emitida e indican las pulsaciones respectivas con un nivel de precisión bastante bueno [De la Torre, 2013].

2.6.4. Sensor de saturación de oxígeno

La saturación de oxígeno es un parámetro que se considera de mucha importancia en el momento de monitorear a los pacientes, existen varios métodos que permiten la determinación de este parámetro:

- Sensores integrados: son chips invasivos que se introducen vía cateter y tienen la capacidad de medir con muchas precisión no solo saturación de oxígeno, sino también parámetros como el flujo sanguíneo, presión, etc. Ideales para casos de intervenciones quirúrgicas de riesgo.
- Sensores por reflexión: son sensores que usan el principio de reflexión de luz infrarroja, similares a los medidores de pulso revisados en 2.6.3 se suelen colocar generalmente en la frente.
- Emisión y absorción de luz: Este tipos de sensores son los más usados por su precisión y costo. Se suelen colocar en el lóbulo de la oreja pero es mucho más común hacerlo en el dedo índice. Estos sensores ópticos trabajan emitiendo luz en cierta longitud de onda (entre 662nm y 940nm según el fabricante) lo que permite determinar la saturación de oxihemoglobina en base a lo absorbido por la sangre y lo recibido del otro lado del dedo (en el caso más común que se presenta en la figura 2.8). La cantidad de oxihemoglobina tiene relación estrecha con la coloración de la sangre, siendo un rojo más fuerte cuanto más oxihemoglobina contiene la sangre y más tenue cuanto menos oxihemoglobina existe, por eso la medición óptica es muy usada ya que permite identificar esta variación [Laborde, 2004].

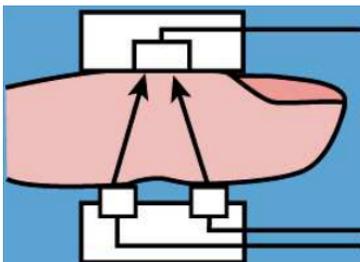


Figura 2.8: Funcionamiento sensor de oxígeno en sangre

Fuente: [Laborde, 2004]

2.7. Plataformas para IoT

Una de las unidades fundamentales en los sistemas IoT son las plataformas, que se pueden describir como el ambiente programado por medio del cual se conectan los dispositivos físicos, los puntos de acceso y las redes que permiten la interacción con las aplicaciones a las que acceden los usuarios finales. En el mercado existen varias plataformas para el uso de tecnologías IoT, dependen de las capacidades de uso, el tipo de almacenamiento, las aplicaciones a las cuales apuntan y el costo de uso [Rodríguez, 2017]. A continuación se citan y describen las más populares y utilizadas en la actualidad.

2.7.1. ThingSpeak

Es una plataforma Open Source que permite el almacenamiento y recuperación de datos de los objetos a través de una interfaz de programación de aplicaciones (API) y el uso del protocolo HTTP, permite la integración de su

plataforma con:

- Arduino
- Raspberry Pi
- Aplicaciones web y móviles

Esta plataforma es la contribución de MathWorks, (creadores de MathLabs), para el mundo del IoT, es una de las más reconocidas por programadores y desarrolladores de este tipo de soluciones. Esta plataforma está basada en canales, con un tiempo de actualización de 15 segundos, que se componen de 3 elementos:

- 8 campos para almacenamiento de datos
- 3 campos para almacenamiento de geoposición
- 1 campo para almacenar del estado

Otra característica de esta plataforma es la posibilidad de desarrollo de plugins para crear aplicaciones de forma nativa, con soporte HTML, CSS y JavaScript. Estos plugins pueden ser públicos o privados según el caso. En la figura 2.9 se observa un pantallazo de la ventana principal del sistema de monitoreo y del ambiente de trabajo de la plataforma [Loureiro, 2015].

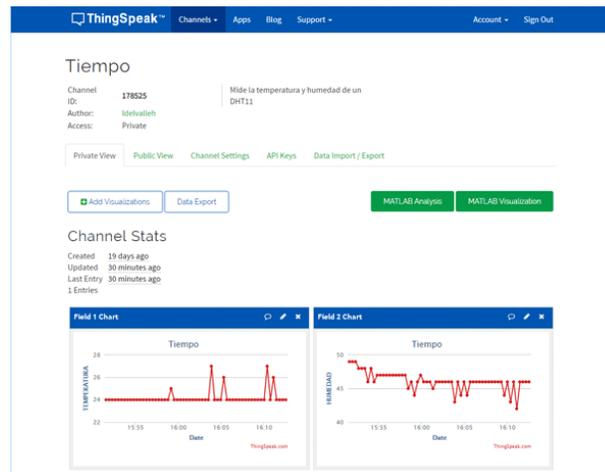


Figura 2.9: Plataforma ThingSpeak

Fuente: (ThingSpeak)

2.7.2. Cayenne

Es una de las plataformas más sencillas de usar, trabaja con un gestor visual muy amigable que permite la configuración de sistemas IoT con solamente arrastrar y soltar los dispositivos que se requieren conectar. Cayenne, a través de sus aplicaciones móviles, permite supervisar y controlar remotamente los proyectos a través de teléfonos inteligentes en sistemas operativos como Android o iOS así como en navegadores web, también, mediante widgets que facilitan la visualización de datos.

Cayenne facilita varios dispositivos precargados (como sensores y actuadores) pero también permite crear dispositivos personalizados. Una de las ventajas de esta plataforma es la posibilidad de interactuar a través de mensajes de texto SMS y notificaciones de correo electrónico, también permite controlar de manera remota los proyectos IoT mediante aplicaciones desde diferentes dispositivos. Permite la programación de prototipos en ordenadores, microcontroladores, sensores y actuadores conectados.

Las diferentes interfaces permiten un acceso y visualización en tiempo real, así como de los datos históricos de todos los dispositivos conectados, posee conexión directa con dispositivos equipados con LoRa (especificación para redes LPWAN diseñada para dispositivos de bajo consumo eléctrico, con alcance global) para recopilar, transferir y mostrar datos.

En la figura 2.10 muestra un pantallazo de la ventana principal del sistema de monitoreo y el ambiente de trabajo de la plataforma [Martinez, 2019].



Figura 2.10: Plataforma Cayenne

Fuente: (Cayenne)

2.7.3. UBIDots

Plataforma de IoT basada en dispositivos globales cloud, de bajo costo y con un alto grado de fiabilidad, permite el envío de datos de sensores hacia la nube, facilita la configuración de tableros y alertas, se puede conectar con otras plataformas, usa herramientas analíticas y genera mapas de datos en tiempo real en base a la información de entrada.

Esta plataforma se especializa en soluciones de hardware y software de monitoreo, control y automatización de procesos de manera remota, muy utilizada en los campos de salud, transporte, industria, fabricas y servicios estatales.

Dentro de sus principales características tenemos que se pueden configurar de forma automática tanto sus variables como propiedades y apariencia de los dispositivos, posibilita la personalización de APIs, transforma datos nativos en información mediante variables sintéticas, creacuadros de mando en tiempo real para el análisis de datos y control de los dispositivos y sensores, permite una interacción con aplicaciones web privadas y móviles entre otras

En la figura 2.11 se observa un pantallazo de la ventana principal del sistema de monitoreo y el ambiente de trabajo de la plataforma [Martinez, 2019].

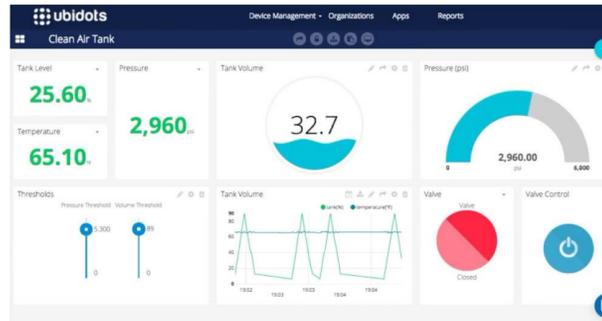


Figura 2.11: Plataforma UBIdots

Fuente: (UBIdots)

2.7.4. Azure

Microsoft incursionó en el mercado del IoT con Azure, una plataforma cloud con capacidad de gestionar dispositivos, datos y demás herramientas de un sistema IoT. Se puede gestionar una cuenta gratuita pero, una vez se finalizado el periodo de prueba, se debe pagar por los servicios utilizados.

Microsoft Azure es una plataforma con la que se puede crear, desarrollar, implementar y administrar aplicaciones IoT, también se pueden diseñar aplicaciones de alta disponibilidad con administración de los directa a través de Azure Portal o mediante APIs.

Ofrece servicios de inteligencia artificial (IA) y datos solidos, generando así el concepto de aplicaciones inteligentes en entornos web, back-ends y aplicaciones móviles. Provee requisitos de seguridad y privacidad, que son muy importantes en aplicaciones de salud y empresariales, su infraestructura trabaja con el concepto de servicio IaaS (Infraestructure as a Service) con compatibilidad en sistemas operativos Windows o Linux.

En la figura 2.12 muestra un pantallazo de la ventana principal del sistema de monitoreo y el ambiente de trabajo de la plataforma [Martinez, 2019].

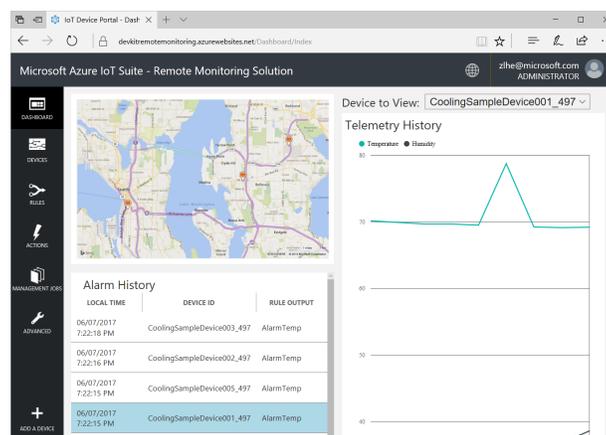


Figura 2.12: Plataforma Azure

Fuente: (Azure)

Capítulo 3

Metodología

3.1. Determinación de los componentes del sistema

En este punto se determinan los componentes a utilizar en la propuesta así como un aproximado del precio de cada uno de los elementos principales, adicionales y servicios requeridos para el correcto funcionamiento del sistema.

3.1.1. Propuesta de sensores

En base a lo revisado a lo largo del capítulo 2, se proponen los sensores que se utilizarán para el desarrollo del sistema de telemedicina. Esto en base al análisis realizado tanto de la parte técnica como en las necesidades de medición de cada uno de los parámetros (temperatura, presión, pulso y saturación de oxígeno).

- La temperatura corporal es una característica física de las personas, existen diferentes formas de medirla así como una variedad de elementos que permiten su sensado. Dentro de los elementos más utilizados para la fabricación de termómetros digitales se encuentra el MLX90614ESF-BAA de [Melexis, 2019] de la figura 3.1 con un rango de medición de -70°C a $+382^{\circ}\text{C}$ y resoluciones que van de 10 bits (0.14°C) a SMBus (TWI, I2C) (0.02°C) brindando una alta precisión y sensibilidad permitiendo detectar variaciones de décimas de grados centígrados.



Figura 3.1: Sensor MLX90614ESF

Fuente: [Melexis, 2019]

- La presión arterial depende del género y edad de las personas, un promedio aceptable va entre 120/80mmH. Existen muchos tipos de sensores de presión, uno de los más usados en el campo médico es el sensor de presión de silicio MPX5100DP que se observa en la figura 3.2, posee un voltaje de salida de 0.2 V a 4.7 V, y un rango de medición de hasta 3000mmH, ideal para sistemas de microprocesadores o microcontroladores [NXPSemiconductors, 2018].



Figura 3.2: Sensor serie MPX5100DP

Fuente: [NXPSemiconductors, 2018]

- La frecuencia cardíaca en una persona está entre 60 y 100 latidos por minuto en condiciones normales. Para su medición existen varios sensores, uno de los más usados en el campo de las investigaciones es el PulseSensor de la marca World Famous Electronics, con un diseño plug and play, alimentación eléctrica de 3 a 5 Vcc, y facilidad de aplicaciones en código abierto. En la figura 3.3 se observa el dispositivo [WORLD FAMOUS ELECTRONICS, 2015].



Figura 3.3: Sensor de pulso

Fuente: [WORLD FAMOUS ELECTRONICS, 2015]

- El porcentaje normal de oxígeno en sangre en las personas es de entre el 95 % y el 100 %, es importante mantener esos niveles para evitar inconvenientes posteriores. La mayoría de sistemas de medición utilizan el MAX30102 que se indica en la figura 3.4, formado por fotodetectores, elementos ópticos y electrónica de bajo ruido, usado para dispositivos móviles y portátiles. Para su funcionamiento un emisor de luz emite un rayo que a su vez es detectado por un fotodetector, generalmente con un soporte en forma de pinza y colocado en el dedo. Requiere una fuente de alimentación de 1.8 a 3.3 Vcc, interfaz I2C, ideal para aplicaciones de investigación en el área médica [MaximIntegrated, 2018].



Figura 3.4: Oxímetro de pulso MAX30102

Fuente: [MaximIntegrated, 2018]

En la tabla 3.1 se observan listados los sensores, sus características y los parámetros que miden, en base a las necesidades de los pacientes infectados con COVID-19 indicados en 2.1 y por la [OMS, 2020]. Así también, en la misma tabla se indican los precios aproximados (en dólares) a los que se consiguen dichos sensores en Ecuador o en su defecto, los costos de tenerlos en el país.

Cuadro 3.1: Sensores involucrados en la propuesta

Modelo	Parámetro a medir	Rango de medida	Precio
MLX90614ESF-BAA	Temperatura corporal	-70° a +382° C	12 USD
MPX5100DP	Presión arterial	hasta 3000mmH	21 USD
Pulsesenser	Pulso cardíaco	Indefinido	25 USD
MAX30102	Saturación de oxígeno	Indefinido	10 USD

Los sensores numerados en la tabla 3.1 cumplen con los requerimientos para medición planteados en la sección 2.2 de este documento, es decir, los parámetros que vamos a medir están dentro de los rangos y sensibilidad que manejan estos dispositivos.

Los datos mostrados en la tabla 3.1 fueron recopilados en base a la bibliografía del capítulo 2 y a las hojas de datos de los elementos citados que constan en los anexos de este documento.

3.1.2. Sistema de procesamiento de datos

Dentro de los sistemas IoT una de las partes fundamentales es el sistema de procesamiento de datos, en este caso, la forma en la que recibimos, procesamos y enviamos información recopilada por los sensores, para este fin existen un sin número de posibilidades, desde microcontroladores, microprocesadores hasta sistemas de cómputo completos.

En la tabla 3.2 se presenta una comparativa técnica, económica y de disponibilidad entre los dispositivos de cómputo comúnmente usados en sistemas IoT, esta comparación se realiza en base a la necesidad de determinar el mejor dispositivo para el planteamiento de la propuesta y considerar las principales opciones existentes en el mercado.

En base a la comparativa de la tabla 3.2 se define que la mejor opción en precio-prestaciones es Raspberry Pi 4 (figura 3.5), que, además de las características analizadas, posee 2 conectores micro HDMI (4Kp60), 2 puertos MIPI CSI para cámara, conexión de audio estéreo, 2 puertos USB 3.0, 2 puertos 2.0 y conectividad Power of Ethernet (PoE).

Cuadro 3.2: Comparativa Panda-Raspberry

	LattePanda	Raspberry Pi 4
Procesador	1,8GHz INTEL Z8300 4 núcleos	1,2GHz Broadcom BCM2711 4 núcleos
RAM	2-4GB	1-4GB
Alimentación eléctrica	5Vcc	5Vcc
WIFI	2.4 GHz y 5.0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac	2.4 GHz y 5.0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac
Bluetooth	Bluetooth 4.0	Bluetooth 5.0 BLE
Ethernet	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet
Puertos digitales	50 puertos GPIO	40 puertos GPIO
Puertos analógicos	50 puertos GPIO	40 puertos GPIO
Almacenamiento	64GB	MicroSDHC
Precio	USD 150.00	USD 53.23
Disponibilidad	Inmediata	Inmediata



Figura 3.5: Raspberry Pi 4

Fuente: (RaspberryPi)

Cabe indicar que Raspberry Pi no incluye directamente convertidores de señales analógicas a digitales (ADC). Es necesario incluir un módulo que permita realizar esta tarea. Para esto se considera el módulo RPi-ADS1115-ADC (figura 3.6) que es un ADC de precisión, cuyo precio aproximado es de USD 11. Este chip posee una precisión de muestreo de 16 bits, con transmisión de datos I2C y 4 entradas de señales analógicas, ideales para la propuesta a plantear. Pese a la necesidad de un módulo adicional la comparativa con la opción LattePanda sigue siendo favorable al Raspberry Pi 4 elegido.

La información de Raspberry Pi 4 se obtiene y detalla en la hoja de datos que consta en los anexos de este documento.

Una vez definidos los elementos a utilizar, en la tabla 3.3 se presenta el tipo de conectividad y la compatibilidad de los sensores con la placa Raspberry Pi 4.



Figura 3.6: Convertidor analógico/digital

Fuente: (RaspberryPi)

Cuadro 3.3: Compatibilidad de sensores con Raspberry Pi 4

Sensor	Parámetro a medir	Conectividad	Compatibilidad con Raspberry Pi 4
MLX90614ESF-BAA	Temperatura corporal	Digital	SI
MPX5100DP	Presión arterial	Analógica	SI
PulseSensor	Pulso cardíaco	Digital	SI
MAX30102	Saturación de oxígeno	Digital	SI

3.1.3. Determinación de plataforma IoT

Una vez determinados los sensores a utilizar y el procesamiento de los datos obtenidos, el siguiente paso es determinar la forma de procesar dichos datos, para esto se analiza la información recopilada en el capítulo 2 específicamente en la sección 2.7 de plataformas IoT.

Las cuatro plataformas analizadas presentan similitudes en sus características y prestaciones, es por eso que se arma la tabla 3.4 para poder identificar, en base a parámetros y necesidades del proyecto, cual de las opciones es la mejor para ser utilizada en esta propuesta.

Cuadro 3.4: Comparativa de plataformas IoT

	ThingSpeak	Cayenne	UbiDots	Azure
Código abierto	SI	SI	SI	NO
Complejidad	BAJA	BAJA	MEDIA	BAJA
Almacenamiento en la nube	SI	SI	SI	SI
Costo	BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO
Compatibilidad con sistema de procesamiento	SI	SI	SI	NO
Escalabilidad	ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA
Flexibilidad	ALTA	ALTA	MEDIA	MEDIA

De las plataformas comparadas en la tabla 3.4 la que más se acerca a los requerimientos necesarios de esta propuesta de diseño es la Cayenne que permite la conectividad a la nube y la interconexión de los distintos dispositivos que componen el sistema. También permite la generación y creación de widgets visualizables tanto en computadoras y laptops como en teléfonos inteligentes y tablets a través de aplicaciones (Apps). Cayenne posee la capacidad de automatizar varias secuencias de dispositivos, e interactuando de manera bidireccional con sensores e indicadores que se añadirán posteriormente.

Otro motivo de selección de la plataforma Cayenne es la gran escalabilidad y flexibilidad que ofrece, permitiendo realizar mejoras y cambios en versiones que se puedan sugerir. Finalmente acotar que Cayenne ofrece una interfaz enteramente personalizable, manejo remoto y un sistema de alertas mediante interfaces API, correo electrónico y/o mensajería de texto SMS.

3.1.4. Redes de comunicación

Una vez determinados los componentes principales de la propuesta de diseño, se plantean las diferentes formas en las cuales se va a interactuar con dichos componentes, es decir, establecer los medios de comunicación adecuados para la consecución de lo planificado. Para esto es necesario indicar que, la propuesta planteada consta de tres posibilidades de comunicación:

1. Conectividad a través de un dispositivo concentrador (Smartphone, tablet o similar)
2. Conectividad con un punto de acceso (AP, Access Point) inalámbrico
3. Conectividad con un punto de conexión cableado

Estas tres posibilidades podrían funcionar en simultáneo, lo que significa que no son independientes entre sí (esto se ampliará más adelante en este mismo capítulo). La primera red de comunicación establecida es la cableada entre los sensores y la placa Raspberry, la naturaleza de la conectividad se indica en la tabla de compatibilidad 3.3.

Para la primera opción la idea es conectar el dispositivo concentrador, con la información de los sensores previamente conectada, hasta un dispositivo concentrador (HUB) para esto se define la tecnología Bluetooth como la mejor opción, por sobre otras tecnologías de comunicación PAN, debido a:

1. Bluetooth no consume mucha energía, lo que sería ideal para aplicaciones de este tipo (en 5.0 usa sistema BLE, Bluetooth Low Energy)
2. Esta tecnología está presente en la mayoría (por no decir en todos) los dispositivos de comunicación actual como teléfonos celulares inteligentes, tabletas e inclusive laptops y computadoras de escritorio
3. La tasa de transferencia de datos de Bluetooth es la ideal para lo que se espera enviar y recibir en esta propuesta (hasta 2 Mbps)

La idea sería utilizar Bluetooth 5.0, la que a su vez tiene retro compatibilidad con versiones anteriores, ajustando detalles de transferencia y comunicación.

En esta primera opción la comunicación a internet del dispositivo la realizará el HUB planteado, es decir, la forma en la que el celular, tablet o laptop se conecta a internet. La idea es interactuar a través de una aplicación específica para conectividad, como se indica en la figura 3.7.

Para la segunda opción la idea es conectar el dispositivo de manera directa hasta un AP, para esto se define a la tecnología WiFi como la opción a tomar en cuenta, ya que:

1. WiFi (en 2,4 y 5 GHz) maneja tasas de transferencia de datos superiores a las requeridas en la propuesta planteada
2. Esta tecnología es la más usada por las empresas proveedoras de servicio de acceso a internet
3. La placa Raspberry seleccionada tiene embebida la antena WiFi para conectividad

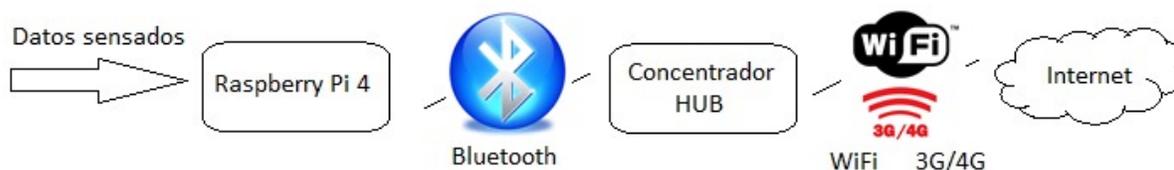


Figura 3.7: Opción de comunicación 1 Bluetooth

Fuente: (Elaboración propia)

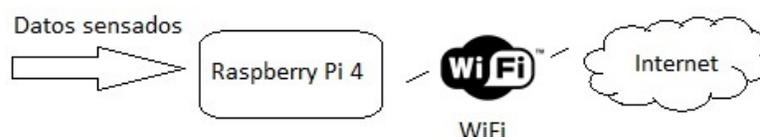


Figura 3.8: Opción de comunicación 2 Wifi

Fuente: (Elaboración propia)

En esta segunda opción la comunicación a internet del dispositivo se realizará de manera directa, como se indica en la figura 3.8.

La tercera opción de conectividad posible es la que se plantea a través del puerto RJ45 que se encuentra en la placa Raspberry, el mismo que podría proveer el acceso (mediante cable UTP) a internet del dispositivo, como se indica en la figura 3.9.

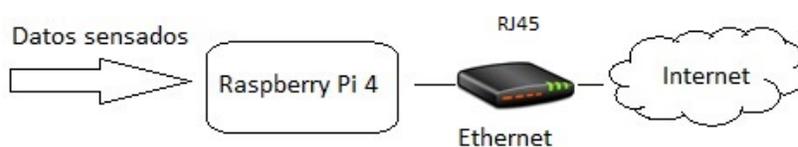


Figura 3.9: Opción de comunicación 3 Ethernet

Fuente: (Elaboración propia)

3.1.5. Interfaces y protocolos

En este punto se determinan las interfaces físicas y los protocolos a utilizar para la conectividad de cada una de las etapas de la propuesta. La tabla 3.5 muestra la información referente al conexionado de los sensores con la placa Raspberry Pi. La conectividad de dispositivo 1 y 2 es bidireccional, es decir que se comunican de la misma manera en ambos sentidos.

En la tabla 3.6 se observa el detalle para la opción uno propuesta en el punto 3.1.4, con las dos opciones de comunicación del HUB planteadas.

En la tabla 3.7 se observa el detalle para la opción dos propuesta en el punto 3.1.4.

Cuadro 3.5: Interfaces y protocolos de sensado

Dispositivo 1	Dispositivo 2	Interfaz	Protocolo
MLX90614ESF-BAA	Raspberry Pi 4	Cable de cobre	Digital
MPX5100DP	Raspberry Pi 4/módulo ADC	Cable de cobre	Analógico
Pulsesenser	Raspberry Pi 4	Cable de cobre	Digital
MAX30102	Raspberry Pi 4	Cable de cobre	Digital

Cuadro 3.6: Interfaces y protocolos de opción 1 Bluetooth

Dispositivo 1	Dispositivo 2	Interfaz	Protocolo
Raspberry Pi 4	HUB	Inalámbrica	IEEE 802.15
HUB	AP WiFi	Inalámbrica	IEEE 802.11b/g/n/ac
HUB	Radio Base 3G/4G	Inalámbrica	TCP/IP

Cuadro 3.7: Interfaces y protocolos de opción 2 Wifi

Dispositivo 1	Dispositivo 2	Interfaz	Protocolo
Raspberry Pi 4	AP WiFi	Inalámbrica	IEEE 802.11b/g/n/ac

Y en la tabla 3.8 se observa el detalle para la opción tres propuesta en el punto 3.1.4.

Cuadro 3.8: Interfaces y protocolos de opción 3 Ethernet

Dispositivo 1	Dispositivo 2	Interfaz	Protocolo
Raspberry Pi 4	Puerto de red	Cable UTP	IEEE 802.3

3.1.6. Servidores y almacenamiento

Una vez determinados los componentes de sensado, procesamiento y plataforma a sugerir en este proyecto lo que resta es indicar la forma en que los datos, que han sido recopilados, van a ser almacenados y/o presentados para su análisis y posterior toma de acciones y decisiones.

Es importante considerar que los datos que vamos a almacenar deben estar disponibles en todo momento y deben tener facilidad de acceso para lectura y escritura, pero sobre todo velocidad al ejecutar estas acciones.

Para el almacenamiento se pueden analizar dos tipos o formas posibles de hacerlo:

- Almacenamiento local: Este tipo de almacenamiento requiere de un servidor físico con características y capacidades suficientes para satisfacer la cantidad de información generada, pero sobre todo, conectividad a una red con acceso a internet, cumpliendo el concepto de NAS (Network Attached Storage).
- Almacenamiento en la nube: Esta forma de almacenar la información consiste en alquilar o arrendar espacio de almacenamiento (y/o procesamiento) en internet o en la nube (Cloud). Este tipo es básicamente igual al almacenamiento local, con la diferencia que el usuario no tiene que adquirir ni mantener los servidores física y localmente.

Para tomar una decisión de uso se presenta la tabla comparativa 3.9 entre los tipos de almacenamiento citados.

Cuadro 3.9: Comparativa de tipos de almacenamiento

	Almacenamiento local	Almacenamiento en la nube
Mantenimiento	SI	NO
Infraestructura de red	SI	NO
Infraestructura física	SI	NO
Compatibilidad con plataforma Cayenne	Media	Alta
Costo	Alto	Medio-Bajo

En base a los datos de la tabla 3.9 se determina que la mejor opción es la arquitectura de almacenamiento basada en la nube, ya que al estar dedicada exclusivamente a esta finalidad suele poseer una mayor capacidad de procesamiento y capacidad de almacenamiento, con soluciones escalables y de fácil ajuste en función de la complejidad y el tipo de proyecto. Además de escalabilidad, la misma que permite a las aplicaciones acceder y procesar cada vez mayor cantidad de datos.

La solución Cayenne (Cayenne myDevices) permite programar y mostrar datos recopilados de muchas maneras diferentes, a través de gráficas, widgets e interacción con terceros a través de APIs. Los datos se pueden consultar en vivo y con acceso a históricos con una velocidad de refresco por minuto, hora, día, semana, mes, año o intervalos personalizados.

Actualmente la plataforma MyDevices es gratuita, posee seguridad en el manejo de los datos, tanto en transmisión y recepción de los mismos como en el almacenamiento, sin limitaciones de cantidad de información. Aunque, a futuro, Cayenne proyecta lanzar planes a medida de las necesidades del mercado.

En la figura 3.10 se muestra la forma de interacción de los datos, tanto con los dispositivos IoT como con los sistemas de monitoreo y control.

3.2. Propuesta de diseño

3.2.1. Diseño del subsistema de sensado

La etapa de sensado es fundamental para el desempeño de la propuesta ya que es la base y entrada de información para entender el estado del paciente de cara al posterior análisis, de los parámetros medidos, por parte del profesional de la salud. Para esto se propone, en la tabla 3.10 la ubicación de los sensores, en base a la información recopilada a lo largo de la sección 2.2.

Cuadro 3.10: Ubicación de sensores

Sensor	Sugerencia de ubicación	Detalle
MLX90614ESF-BAA	Muñeca	Apuntando hacia el área de la muñeca
MPX5100DP	Brazo (entre codo y hombro)	Banda de sujeción adicional
Pulsesenser	Muñeca	Banda de sujeción adicional
MAX30102	Dedo índice	Pinza de sujeción adicional

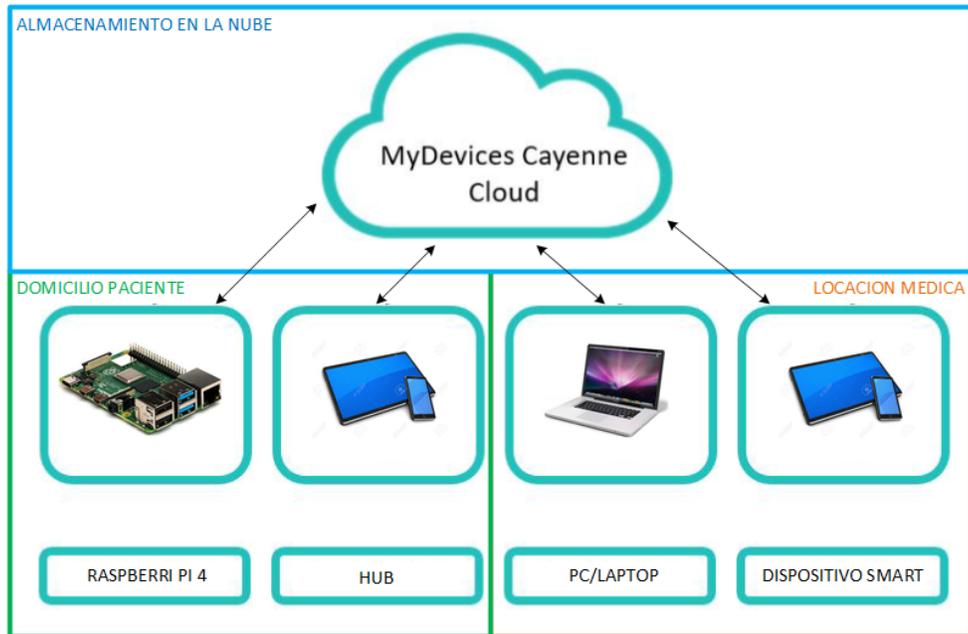


Figura 3.10: Almacenamiento de datos

Fuente: (Elaboración propia)

El tipo de conexionado que tendrán los sensores con los elementos adicionales se presentan en la figura 3.11, en la que se observa el uso de cable UTP flexible para poder llegar a las ubicaciones, en el cuerpo del paciente, de cada uno de los sensores.

3.2.2. Diseño del subsistema de almacenamiento y monitoreo

Según lo detallado en la sección 3.1.6 de determinación de servidores y almacenamiento, la idea principal es el uso de herramientas en línea o conocidas como cloud. En este caso Cayenne dispone de un sistema propio llamado Cayenne MyDevices, el mismo que cumple con todas las características necesarias de capacidad, seguridad y compatibilidad con y para el sistema propuesto.

Así también, la intención es que la información no solamente se almacene en la nube sino que también pueda ser almacenada de manera local, tanto en los dispositivos de cara al paciente como del lado del médico o profesional de la salud encargado del seguimiento. Para esto se presenta el cuadro 3.11 en donde se indican las características propuestas para almacenamiento y descarga de la información.

* Laptop/dispositivo inteligente concentrador de información.

** Laptop/dispositivo inteligente de monitoreo.

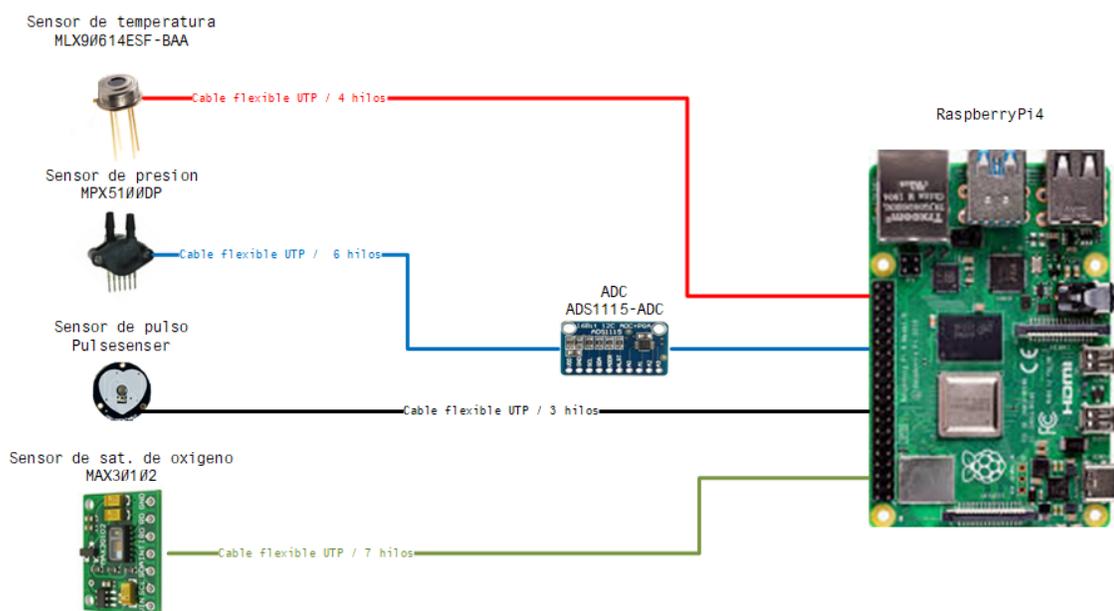


Figura 3.11: Conexión de sensores
Fuente: (Elaboración propia)

Cuadro 3.11: Almacenamiento de datos

Dispositivo	Modalidad	Almacenamiento
MyDevice Cayenne	Cloud	Datos enviados por sensado y monitoreo
RaspberryPi4	Local	Datos de sensado local
HUB*	Cloud/Local	Toma de datos de Cayenne, posibilidad de descarga
Dispositivos de monitoreo**	Cloud/Local	Toma de datos de Cayenne, posibilidad de descarga

En resumen, el almacenamiento principal o primario de los datos se realizará en la nube, mientras que los respaldos o almacenamientos secundarios se podrán descargar en los dispositivos que se contemplan en la solución planteada.

En la figura 3.12 se observa el diagrama propuesto de conexión para la transmisión, recepción y almacenamiento de los datos generados en la etapa de sensado.

El monitoreo se plantea desde dos puntos de vista diferentes:

- Paciente: Para el monitoreo por parte del paciente se plantean tres escenarios posibles (los tres escenarios pueden trabajar en simultáneo o de manera individual).
 - Indicadores mediante LEDs y pantalla LCD en el sistema de sensado.
 - Interfaz gráfica en HUB (App para dispositivo inteligente)
 - Interfaz gráfica para laptop
- Médico: Para el monitoreo por parte del personal médico se plantean interfaces gráficas mediante App para dispositivos inteligentes y laptops.

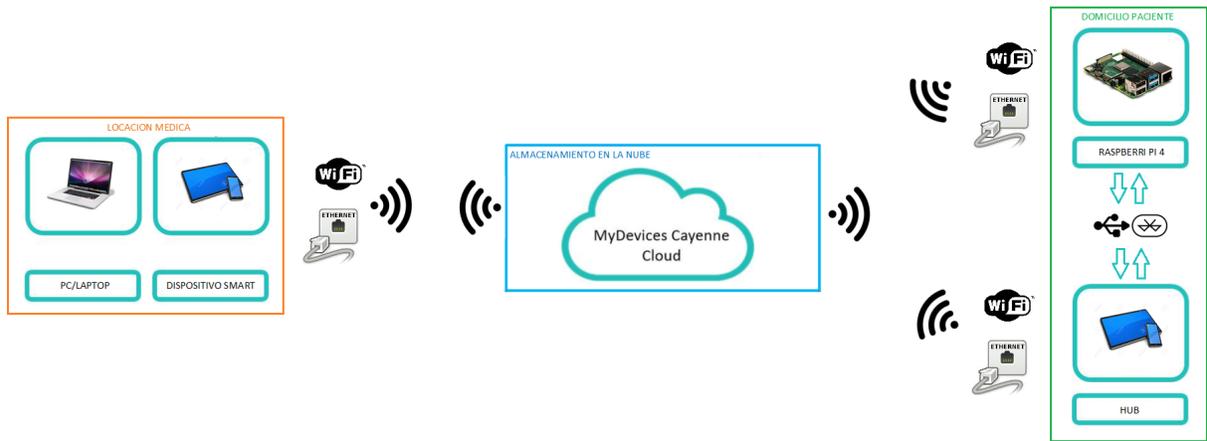


Figura 3.12: Diagrama de almacenamiento de datos
 Fuente: (Elaboración propia)

La propuesta del monitoreo se plantean en la sección 3.2.7 de perspectiva del subsistema de almacenamiento y monitoreo que se desarrolla más adelante en este capítulo.

3.2.3. Diagramas de hardware

Una vez identificadas todas las parte que van a interactuar en la propuesta y planteados los diseños de los subsistemas considerados, se generan, a modo descriptivo, los diagramas necesarios para entender la electrónica sugerida, su conexionado y armado, específicamente en lo que corresponde a la etapa de sensado y partes a tener en cuenta en el dispositivo IoT como tal. En la figura 3.13 se observa el diagrama esquemático de los elementos sobre la placa principal propuesta.

La figura 3.13 se compone de los elementos que se necesitan para generar la placa electrónica principal, en este punto es interesante entender que la RaspberryPi 4 se podría llegar a adaptar a esta placa, de esta manera se unificarían todos los dispositivos en un solo elemento.

En la figura 3.14 se pueden observar tanto las dimensiones de la placa como el conexionado físico de las pistas, cabe indicar que la idea es realizar un ruteado de pistas de dos caras para evitar aglomeraciones, fallas y sobre todo no agrandar más el area de la placa diseñada.

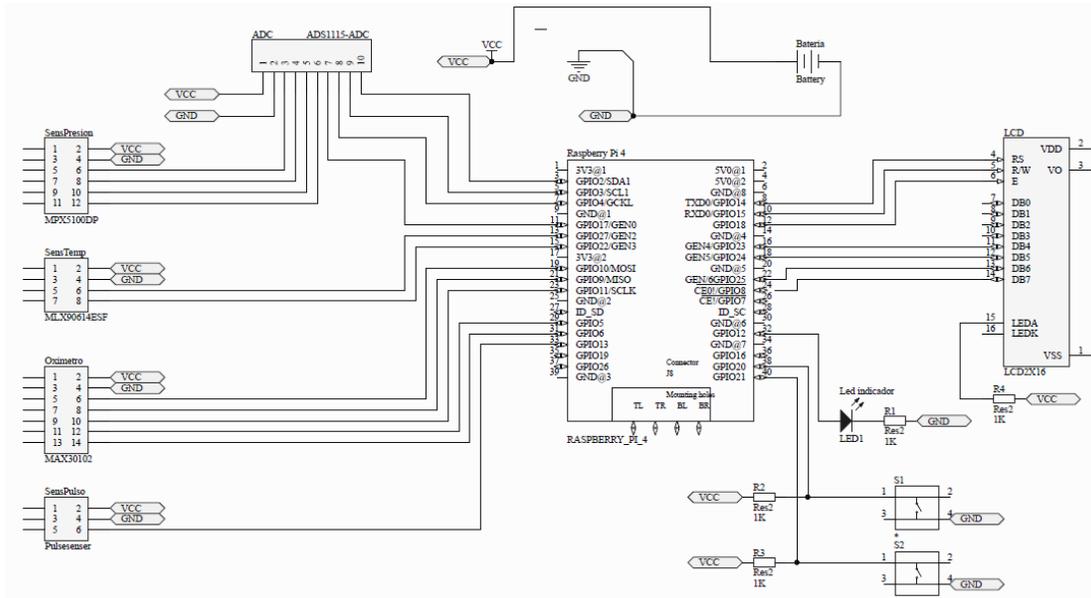


Figura 3.13: Diagrama esquemático
Fuente: (Elaboración propia)

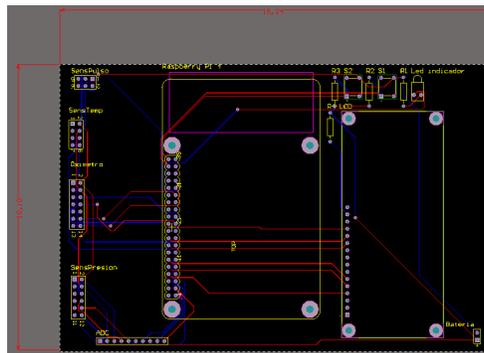


Figura 3.14: Diagrama de pistas
Fuente: (Elaboración propia)

Las figuras 3.15, 3.16 y 3.17 indican una vista en tres dimensiones de cómo quedarían las placas impresas en su formato PCB (Printed Circuit Board) tanto de frente, posterior como de costado.

Todos los diagramas presentados fueron realizados mediante el uso de la herramienta Altium, que permite diseñar el circuito y obtener el modelo de la placa para su visualización y posterior impresión.

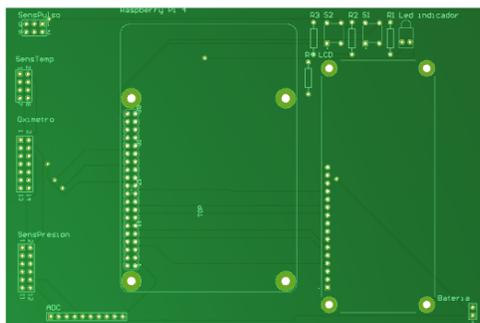


Figura 3.15: Placa de frente
Fuente: (Elaboración propia)

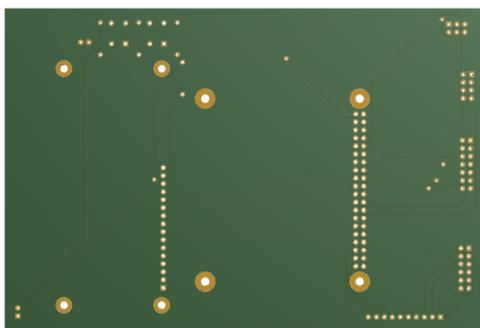


Figura 3.16: Placa posterior
Fuente: (Elaboración propia)

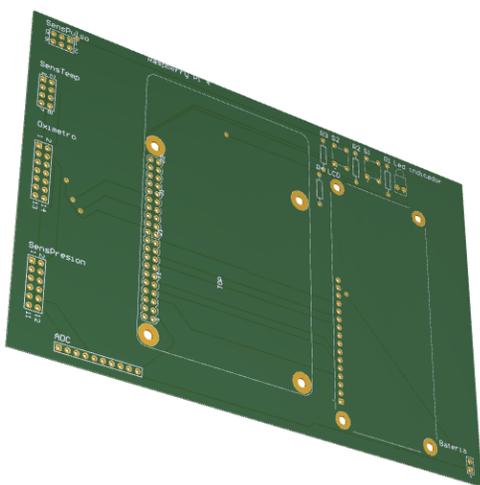


Figura 3.17: Placa de costado
Fuente: (Elaboración propia)

3.2.4. Interfaz gráfica

La idea principal de este sistema es que, tanto el paciente como el médico tratante, estén siempre al tanto de los parámetros medidos, para esto se proponen las siguientes interfaces de visualización en base al diseño planteado:

- Visualización del paciente a través de display LCD

En la figura 3.18 se observan las propuestas de visualización gráfica del sistema, donde se pueden tener en cuenta los parámetros actuales, las alarmas que se puedan llegar a presentar y las opciones de comunicación y configuración.

- Ver: Visualizar parámetros actuales
- Men: Menú principal
- Opc: opciones de configuración

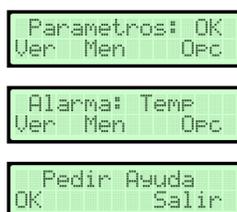


Figura 3.18: Interfaz LCD

Fuente: (Elaboración propia)

- Visualización del paciente a través de aplicación en dispositivo inteligente

La idea es crear una aplicación descargable, tanto para sistemas operativos Android como iOS, de esta manera tener acceso a las métricas individuales de monitoreo, conocer los detalles del tratamiento (medicamentos y su forma de tomarlos, cuidados a tener, entre otros) y tener un medio de comunicación automático (mediante el seteo de umbrales de los parámetros) y manual con el médico tratante para casos de emergencia. En esta aplicación se podría añadir cualquier otra característica que permita mejorar el control, la comunicación y la interacción entre los subsistemas propuestos y las personas que intervienen.

En la figura 3.19 se observa una propuesta de como se vería la aplicación en un celular inteligente, esta misma interfaz podría ser utilizada en diferentes marcas de celulares y/o tablets.

- Visualización del médico a través de aplicación en dispositivo inteligente

Al igual que la visualización del paciente, la idea es crear una segunda aplicación descargable, tanto para sistemas operativos Android como iOS, en la que el médico podrá tener acceso a las métricas de monitoreo de todos sus pacientes, indicar los detalles del tratamiento (medicamentos y su forma de tomarlos, cuidados a tener, entre otros) y tener un medio de comunicación automático (mediante el seteo de umbrales de los parámetros) y manual con cada uno de sus paciente en casos de emergencia. En esta aplicación se podría añadir cualquier otra característica que permita mejorar el control, la comunicación y la interacción entre los subsistemas propuestos y las personas que intervienen.

En la figura 3.20 se observa una propuesta de como se vería la aplicación en un celular inteligente, esta misma interfaz podría ser utilizada en diferentes marcas de celulares y/o tablets.



Figura 3.19: Interfaz para celular - Paciente
Fuente: (Elaboración propia)



Figura 3.20: Interfaz para celular - Médico
Fuente: (Elaboración propia)

- Visualización del médico - paciente a través de aplicación web

En consecuencia con las visualizaciones planteadas para aplicaciones descargables para sistemas operativos Android y iOS, la idea es acceder a través de una interfaz web, para trabajar desde computadoras personales, laptops

o de escritorio. En este caso se podrían conceder permisos mediante perfiles de usuarios para que puedan realizar las mismas tareas descritas en las opciones móviles más algunas otras, como la posibilidad de descargar datos, entre otras.

En la figura 3.21 se observa una propuesta de como se vería la aplicación web en una computadora personal.



Figura 3.21: Interfaz para PC

Fuente: (Elaboración propia)

3.2.5. Diagrama de decisión de acciones a tomar

En la fig3.22 se presenta un diagrama de flujo para que el software pueda determinar aquellas acciones que se tomarán, de manera automática o a través del personal de salud correspondiente, en base a las alarmas que se generen en caso de tener valores fuera del rango establecido en el la sección 2.2.

3.2.6. Perspectiva del subsistema de sentido

La idea de este punto es plasmar todo lo que se viene diagramando hasta ahora, especialmente lo que hace referencia a la subsección 3.2.1 de diseño de subsistema de sentido. Para eso se propone la utilización de bandas de material de tela o similares y pinzas de sujeción para la colocación de los sensores respectivos y demás dispositivos involucrados en la propuesta, conforme a lo indicado hasta ahora y lo que se detalla en las siguientes figuras.

La figura 3.23 indica la ubicación del sensor de oxígeno en sangre (oxímetro) que, con la ayuda de una pinza, se sujeta al dedo índice para la medición respectiva.

La figura 3.24 indica la ubicación del sensor de presión que, con la ayuda de una banda, se ajusta al rededor del brazo, por sobre el codo y debajo del hombro, para realizar la medición respectiva.

La figura 3.25 indica la ubicación de los sensores de pulso y temperatura que, con la ayuda de una banda, se ajusta al rededor de la muñeca para realizar las mediciones respectivas.

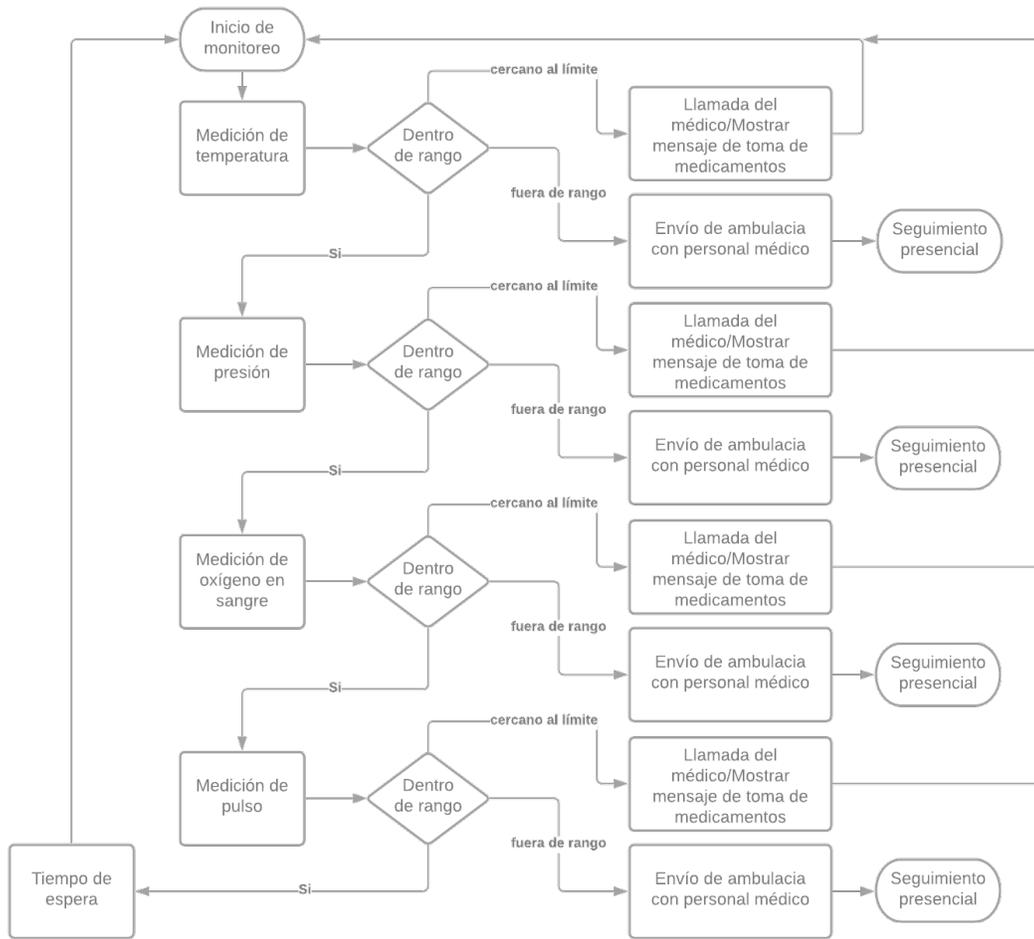


Figura 3.22: Diagrama de decisión para software
 Fuente: (Elaboración propia)

Sensor Oxímetro
 MAX30102



Figura 3.23: Pinza en dedo
 Fuente: (Elaboración propia)

La figura 3.26 hace referencia a la misma banda descrita en la figura 3.25, ya que en esta banda se ubica el sistema de control general, con toda la electrónica sugerida y ubicada en una carcasa plástica a medida. A este punto se integran, mediante los cables correspondientes, todos los sensores ubicados en las bandas y pinza respectivos.

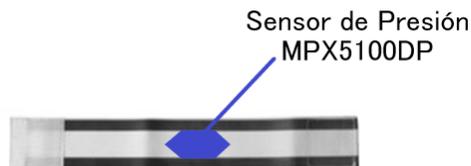


Figura 3.24: Banda en brazo
Fuente: (Elaboración propia)

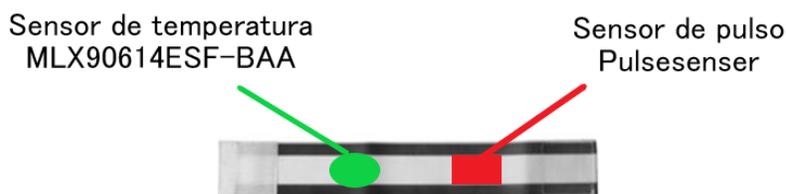


Figura 3.25: Banda en muñeca (sensores)
Fuente: (Elaboración propia)

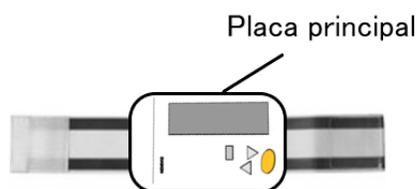


Figura 3.26: Banda en muñeca (Control)
Fuente: (Elaboración propia)

Dentro del sistema de control general, ubicado en la banda de la muñeca, se distribuye todo lo referido a la electrónica propuesta, tanto los elementos principales de monitoreo, comunicación, control y visualización, como la conectorización de los sensores y la alimentación eléctrica necesaria. En la figura 3.27 se observa lo expresado en este párrafo.

3.2.7. Perspectiva del subsistema de almacenamiento y monitoreo

Como se planteó en la subsección 3.2.2 donde se establece el diseño de subsistema de almacenamiento y monitoreo, se pretende guardar los datos en la nube, mediante la posibilidad que brinda la plataforma Cayenne a través de MyDevice Cayenne Cloud.

Así mismo, en todos los dispositivos inteligentes y computadoras personales planteados para el control, visualización de datos y comunicación entre paciente y médico se podrá descargar los datos almacenados en la plataforma IoT para, de esta manera almacenarlos de forma local para su posterior análisis. No está de más indicar que, mediante la programación de las aplicaciones y plataformas, se podrá generar un almacenamiento periódico de datos a manera de respaldo, en algún dispositivo físico, como por ejemplo: un servidor.

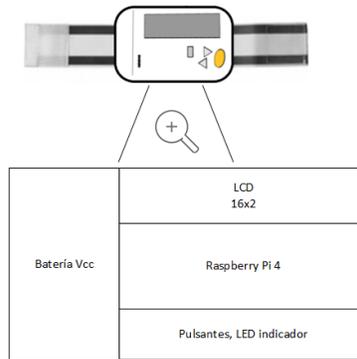


Figura 3.27: Distribución de subsistema de sensado y control

Fuente: (Elaboración propia)

En la figura 3.28 se identifican los dispositivos que tienen comunicación con internet, ya sea de manera directa o indirecta (como se indica en las opciones de comunicación planteadas en 3.1.5), y la forma en la que estos pueden almacenar la información (de manera local y/o en la nube).

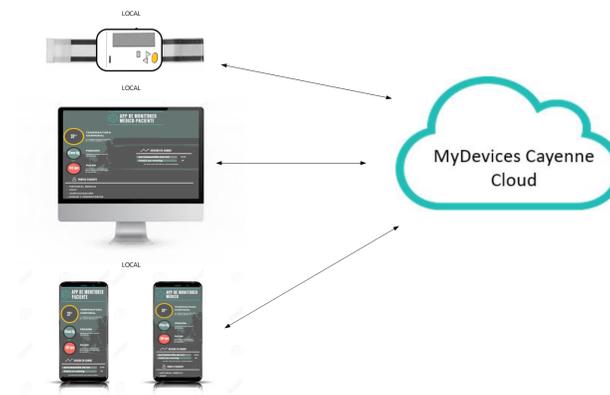


Figura 3.28: Distribución de subsistema de almacenamiento y monitoreo

Fuente: (Elaboración propia)

Cabe recalcar que la idea de almacenamiento de datos no solamente está enfocada a los parámetros medidos (temperatura corporal, presión, pulso y oxígeno en sangre) sino también a los datos personales de los pacientes, médicos, medicamentos y forma de tomarlos, direcciones, contactos y cualquier otra información de relevancia que se necesite.

3.2.8. Perspectiva global de la solución planteada

Una vez determinadas las partes fundamentales que conforman la solución, se presenta una perspectiva, en tres dimensiones, generada mediante la aplicación SketchUp. En las siguientes imágenes se podrá apreciar la forma de uso, ubicación y detalles de conexionado de la propuesta planteada.

En la figura 3.29 se detalla una vista general del dispositivo, que consta de dos bandas que se sujetan al brazo y a la muñeca del paciente, además de una pinza especial para dedo que contiene el sensor de oxígeno.

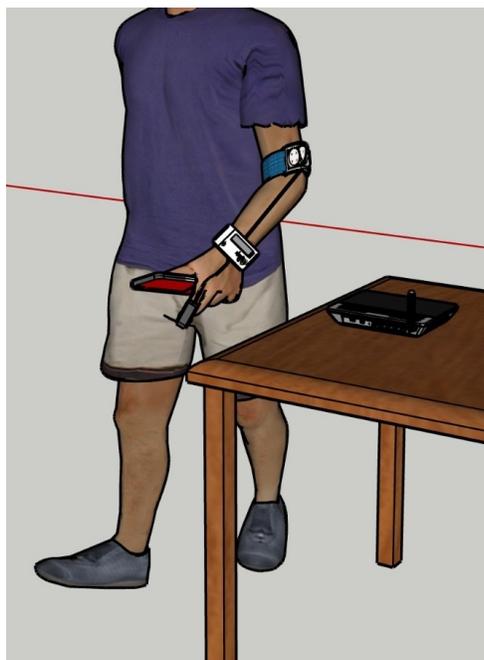


Figura 3.29: Vista general del prototipo de sensorado
Fuente: (Elaboración propia)

En la figura 3.30 se visualiza, de mejor manera, las partes descritas en el párrafo anterior, con foco en el dispositivos de control colocado sobre la banda ubicada a la altura de la muñeca.

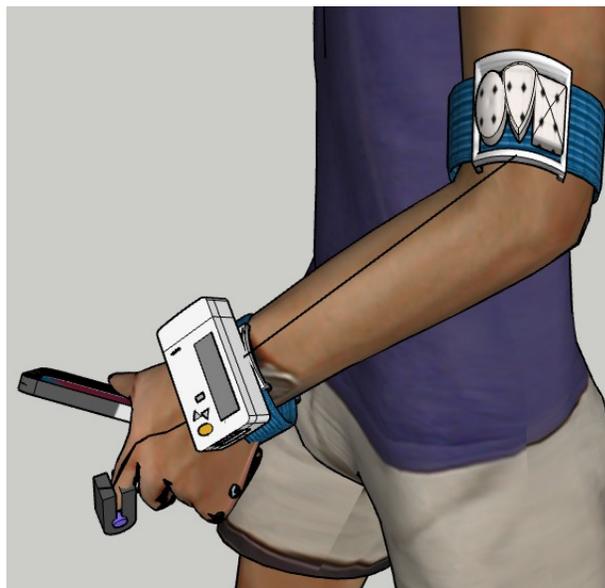


Figura 3.30: Partes del prototipo de sensorado
Fuente: (Elaboración propia)

Finalmente, en la figura 3.31 se identifican, además de los elementos de la solución, los dispositivos que nos ayudarán a la comunicación de los datos, es decir, el dispositivo móvil y un modem/router que permita el acceso a internet.

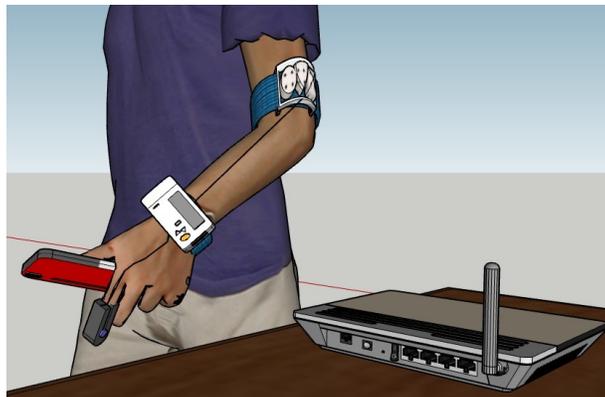


Figura 3.31: Vista lateral del prototipo de sensor
Fuente: (Elaboración propia)

Capítulo 4

Análisis de resultados

4.1. Análisis de factibilidad económica

De acuerdo a todo el análisis realizado en el capítulo 3 se pueden determinar los precios aproximados de todos los elementos necesarios para la elaboración de la propuesta presentada, la misma que incluye un tentativo de materiales y servicios adicionales que son necesarios para su correcto funcionamiento.

Cuadro 4.1: Precios aproximados de la propuesta

Modelo	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Total	Precio +500
SW_2-1825910-7	Pulsante	2	U	\$ 0,45	\$ 0,90	\$ 0,77
ADS1115-ADC	Convertidor ADC	1	U	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 4,25
Battery	Sócalo batería	1	U	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,21
LCD2X16	Pantalla LCD2X16	1	U	\$ 25,00	\$ 25,00	\$ 21,25
LED1	Diodo Led	1	U	\$ 0,40	\$ 0,40	\$ 0,34
MAX30102	Oxímetro	1	U	\$ 10,00	\$ 10,00	\$ 8,50
MLX90614ESF	Sensor de Temperatura	1	U	\$ 12,00	\$ 12,00	\$ 10,20
MPX5100DP	Sensor de Presión	1	U	\$ 21,00	\$ 21,00	\$ 17,85
Pulsesenser	Sensor de pulso	1	U	\$ 25,00	\$ 25,00	\$ 21,25
RASPBERRY_PI_4	RaspberryPi4	1	U	\$ 53,23	\$ 53,23	\$ 45,25
Res2	Resistencia	4	U	\$ 0,25	\$ 1,00	\$ 0,85
PE-PCB	Placa electrónica	1	U	\$ 10,00	\$ 10,00	\$ 8,50
CA-PLA	Caja plástica	1	U	\$ 20,00	\$ 20,00	\$ 17,00
CA-MP-F	Cable multipar flexible	5	mts	\$ 2,00	\$ 10,00	\$ 8,50
BA-LI-5	Batería 5Vcc	1	U	\$ 15,00	\$ 15,00	\$ 12,75
MISC-MAT	Miscelaneos Materiales	1	U	\$ 30,00	\$ 30,00	\$ 25,50
MISC-SERV	Miscelaneos Servicios	1	U	\$ 50,00	\$ 50,00	\$ 42,50
				Total	\$ 288,78	\$ 245,46

En la tabla 4.1 se presentan los precios finales tomados de un relevamiento en tiendas de venta de productos electrónicos, tanto físicas como virtuales. Estos precios se pueden clasificar en precios normales y en precios a

manera de descuento cuando la cantidad supera las 500 unidades.

De la tabla 4.1 se obtiene un precio referencial total que incluye el servicio de internet y el equipamiento necesario para el funcionamiento del dispositivo en casa del paciente y el acceso a la información de lado del médico y/o institución de salud. Este precio se compara con el dato de precios de internación, que en clínicas privadas varía entre los USD 400 - USD 1200 en un piso normal y entre USD 600 - USD 1400 en sala de cuidados intensivos, todos estos precios son por día y fuera de medicaciones e indumentaria adicional.

Si bien es cierto que en los hospitales del servicio de salud pública la internación normal y la de cuidado intensivos es gratuita, fuera de medicaciones e indumentaria adicional, no es menos cierto que la capacidad y disponibilidad es mucho menor.

4.2. Análisis de factibilidad técnica

Para analizar la factibilidad técnica de aplicación de la propuesta planteada se enumeran las ventajas y desventajas, desde el punto de vista tecnológico, que ayuden o impidan la posibilidad de desarrollo de lo planteado:

4.2.1. Ventajas

- Utilización de dispositivos con concepto IoT.
- Envío y recepción de datos en tiempo real.
- Diferentes formas de almacenamiento (local y en la nube).
- Uso de múltiples tecnologías de comunicación (bluetooth, wifi, redes móviles)
- Facilidad y comodidad de uso.

4.2.2. Desventajas

- Dependencia de cobertura de servicios de acceso a internet fijos o móviles.
- Necesidad de contar con al menos un dispositivo inteligente o computadora personal del lado del paciente.
- Necesidad de contar con al menos un dispositivo inteligente, computadora de uso personal y/o general del lado del médico o institución de salud.

Capítulo 5

Conclusiones

5.1. Conclusiones

Este trabajo de investigación que se basa en la propuesta de una solución de telemedicina con conceptos IoT para el monitoreo de pacientes con COVID-19 en aislamiento domiciliario en Ecuador dio como resultado el diseño conceptual de un prototipo de sistema de medición de los signos vitales como: temperatura, presión sanguínea, pulso y oxígeno en sangre y su correspondiente envío, mediante el uso de internet, al personal de salud capacitado, de manera automática y en tiempo real.

La telemedicina aplicada al contexto actual de pandemia que atraviesa el mundo entero, del que nuestro país no está exceptuado, es una herramienta muy eficiente debido a que ayuda a la descongestión de los sistemas de salud públicos y privados y permite un control directo a aquellas personas infectadas con el virus COVID-19 para evitar que cualquiera de los signos monitoreados sufra variaciones por fuera de los rangos normales.

La idea principal de este sistema es mantener a los pacientes que no son críticos aislados en sus domicilios con un control de manera remota, de esta manera se asegura que, ante cualquier inconveniente detectado por los sensores, los médicos puedan recetar algún medicamento o tratamiento y en caso de ser necesario acudir o pedir el traslado del paciente hasta un centro médico.

Del análisis económico se puede inferir que el costo de desarrollar este prototipo no es elevado, con respecto a los costos que implican la internación en salas normales o de cuidados intensivos de las clínicas y hospitales, respecto a sistema de medición de signos vitales por separado y también en la utilidad que se le puede dar a esta propuesta, ya que, más allá de la situación actual, este sistema puede servir para el seguimiento remoto de diferentes patologías.

El uso de tecnologías basadas en IoT marca una diferencia debido a que, en la actualidad, este tema está en franco crecimiento y masificación, gracias al avance de las redes de telecomunicaciones cableadas e inalámbricas, las mismas que prestan cada vez mayores velocidades de transmisión de datos.

Los problemas de acceso a internet en el país son notorios, esto dificulta la aplicabilidad global de la propuesta, esto sumado al tema económico que impide el pago de un servicio o la adquisición de un dispositivo de comunicación podría perjudicar la llegada de este tipo de tecnología para todos.

En base a las funciones de la propuesta planteadas en los objetivos, se definieron todos los elementos a usar para la consecución de los mismos, todos estos elementos, más las programaciones y servicios son accesibles y se encuentran a disposición en el país.

5.2. Trabajo futuro

El presente trabajo incluye el análisis, recolección de información y propuesta de diseño conceptual de un sistema de monitoreo de signos vitales para pacientes con COVID-19 en Ecuador. Cumpliendo con los objetivos y las expectativas planteadas al inicio, llegando a las conclusiones de factibilidad de posible implementación.

Al tratarse de un diseño conceptual los trabajos que se pueden proyectar están basados en lo propuesto en este documento, poniendo especial énfasis en la implementación del mismo.

Para esto se plantean dos posibles escenarios o líneas de investigación:

1. Implementación de esta solución de telemedicina basada en IoT para pacientes con COVID-19.
2. Uso de la solución de telemedicina planteada para realizar mejoras técnico-económicas y/o escalar a patologías diferentes a las del COVID-19.

Bibliografía

- [Ahmadi, 2018] H Ahmadi. The application of internet of things in healthcare: a systematic literature review and classification. *Univ Access Inf Soc*, 2018.
- [Alger *et al.*, 2020] J Alger, T Alvarado, O Gómez, C Javier, and L Lagos. Infectología y covid-19. *Sociedad Hondureña de Enfermedades Infecciosas*, 2020.
- [Azzawi, 2016] M. A. Azzawi. A review on internet of things (iot) in healthcare. international journal of applied engineering. *Paper: A Review on Internet of Things (IoT) in Healthcare. International Journal of Applied Engineering.*, 2016.
- [Benitez, 2019] E Benitez. Sensores de temperatura. *Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú*, 2019.
- [Bruno *et al.*, 2018] PS Bruno, Lams, Claysonceles, Joaborges, B Peres, MM Vieira, and LF Vieira. Internet das coisas: da teoria à prática. *Departamento de Ciência da Computação Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) Belo Horizonte, MG, Brasil*, 2018.
- [Coiras, 2020] M. Coiras. Informe del grupo de análisis científico de coronavirus del instituto de salud carlos iii. *Madrid, MCI*, 2020.
- [Cruz Vega, 2015] M Cruz Vega. La tecnología iot dentro de la industria conectada 4.0i. *Madrid, Fundación EOI*, 2015.
- [De la Torre, 2013] I De la Torre. Medida del pulso cardiaco basado en diodos emisores de luz: acondicionamiento de señales electrónicas en sensores. *Universidad de Salamanca, España*, 2013.
- [Dioses, 2020] J. J. Dioses. América latina. la cruda realidad de los sistemas de salud y la pandemia. *VaticanNews*, 2020.
- [Evans, 2011] D Evans. Internet de las cosas. cómo la próxima evolución de internet lo cambia todo. *Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG)*, 2011.
- [Gubbi, 2013] R. B. Gubbi. Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Futur. Gener. Comput. Syst.*, 2013.
- [HewlettPackard, 2014] HewlettPackard. Internet of things research study. *HP*, 2014.
- [ITU, 2017] ITU. Itu. *International Telecommunications Union*, 2020:2017-PR60, 2017. ITU. (15 de Noviembre de 2017). ITU. <https://www.itu.int/es/mediacentre/Pages/2017-PR60.aspx>.

- [Kulkarni, 2014] A. S. Kulkarni. Healthcare applications of the internet of things : A review. *Computer Science.*, 2014.
- [Laborde, 2004] M Laborde. Medida de la saturación de oxígeno por medio optico. *Universidad de la República Oriental del Uruguay*, 2004.
- [Londoño, 2016] R. Londoño. Internet de las cosas. *Universidad de Manizales*, 2016.
- [Loureiro, 2015] R Loureiro. Estudio plataformas iot. *PFC*, 2015.
- [Lucerna, 2014] P Lucerna. Transductores de presión y de flujo. *Fac. de Med. e Ing., Universidad de la República, Montevideo, Uruguay*, 2014.
- [Martinez, 2019] F Martinez. Diseño e implementación de un sistema de alarma iot basada en tecnologías open source. *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA*, 2019.
- [MaximIntegrated, 2018] MaximIntegrated. *High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health*, 2018.
- [Melexis, 2019] Melexis. Mlx90614 family datasheet. *Datasheet Single and Dual Zone Infra Red Thermometer in TO-39*, 2019.
- [Mohammed *et al.*, 2014] J Mohammed, C Lung, and A Oceanu. nternet of things: Remote patient monitoring using web services and cloud computing. *IEEE International Conference on Internet of Things. Taipei, Taiwan*, pages 256–263, 2014.
- [NXPSemiconductors, 2018] NXPSemiconductors. *MPX5100, 0 to 100 kPa, Differential, Gauge, and Absolute, Integrated, Pressure Sensors*, 2018.
- [OMS, 2020] OMS. Advertencias covid-19. *Organización Mundial de la Salud*, 2020, 2020. OMS. (Marzo de 2020). Organización Mundial de la Salud Advertencias. <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>.
- [Preventice, 2012] Preventice. *How it works Body Guardian.*, 2012.
- [Raji *et al.*, 2016] A Raji, P Devi, and P Jeyaseeli. Respiratory monitoring system for asthma patients based on iot. *Online International Conference on Green Engineering and Technologies Proceedings*, pages 1–6, 2016.
- [Ramírez-López *et al.*, 2018] L Ramírez-López, A Marín-López, and A Rodríguez. Aplicación del internet de las cosas en la salud: caso en la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. *Ciencia y poder aéreo*, 13(1):89–93, 2018.
- [Rodriguez, 2017] J Rodriguez. Metamodelo para la integración de la internet de las cosas y redes sociales. *Universidad de Oviedo*, pages 337–351, 2017.
- [San Martín, 2016] M. San Martín. Internet of things and home-centered health. *Salud Uninorte*, pages 337–351, 2016.
- [ShowMeSystem, 2012] ShowMeSystem. *Show me system BeClose*, 2012.

- [Sinha *et al.*, 2017] R Sinhal, K Singh, and A Shankar. Estimating vital signs through non-contact video-based approaches: A survey. *International Conference on Recent Innovations in Signal processing and Embedded Systems Proceedings. Bhopal, India*, pages 139–141, 2017.
- [Suraj Kapa, 2020] M.D. Suraj Kapa. Síntomas coronavirus. *Mayo Clinic*, 2020, 2020. MayoClinic. (Marzo de 2020). Mayo Clinic. <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/coronavirus/symptoms-causes/syc-20479963>.
- [Traversr *et al.*, 2015] G Traversr, Ciccareli G, and Schwartz S. Physiologic status monitoring via the gastrointestinal tract. *Plos One*, 27:1–13, 2015.
- [Wang and Han, 2017] G Wang and S Han, Hand Kim. Wireless vital sign monitoring using penetrating impulses. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 27:94–96, 2017.
- [WORLD FAMOUS ELECTRONICS, 2015] WORLD FAMOUS ELECTRONICS. *PULSE SENSOR THE EASY TO USE HEART RATE SENSOR KIT*, 2015.
- [Yan-Rong and Guo, 2020] DC Yan-Rong and Q Guo. The origin, transmission and clinical therapies on coronavirus disease (covid-19) outbreak-an update on the status. *Military Medical Research*, 2020. The origin, transmission and clinical therapies on coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak-an update on the status. Military Medical Research.
- [Yashiro, 2013] S. K. Yashiro. An internet of things (iot) architecture for embedded appliances. *IEEE Reg. 10 Humanit. Technol. Conf*, 2013.

Apéndice A

Sensor Melexis MLX90614ESF

Features and Benefits

- Small size, low cost
- Easy to integrate
- Factory calibrated in wide temperature range:
-40 to 125 °C for sensor temperature and
-70 to 380 °C for object temperature.
- High accuracy of 0.5°C over wide temperature range (0..+50°C for both Ta and To)
- High (medical) accuracy calibration
- Measurement resolution of 0.02°C
- Single and dual zone versions
- SMBus compatible digital interface
- Customizable PWM output for continuous reading
- Available in 3V and 5V versions
- Simple adaptation for 8 to 16V applications
- Power saving mode
- Different package options for applications and measurements versatility
- Automotive grade

Applications Examples

- High precision non-contact temperature measurements;
- Thermal Comfort sensor for Mobile Air Conditioning control system;
- Temperature sensing element for residential, commercial and industrial building air conditioning;
- Windshield defogging;
- Automotive blind angle detection;
- Industrial temperature control of moving parts;
- Temperature control in printers and copiers;
- Home appliances with temperature control;
- Healthcare;
- Livestock monitoring;
- Movement detection;
- Multiple zone temperature control – up to 100 sensors can be read via common 2 wires
- Thermal relay/alert
- Body temperature measurement

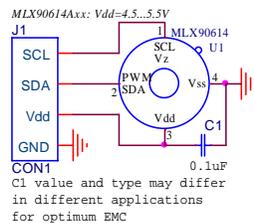
Ordering Information



Part No.	Temperature Code	Package Code	- Option Code
MLX90614	E (-40°C to 85°C) K (-40°C to 125°C)	SF (TO-39)	- X X X (1) (2) (3)
(1) Supply Voltage/ Accuracy	(2) Number of thermopiles:	(3) Package options:	
A - 5V B - 3V C - Reserved D - 3V medical accuracy	A – single zone B – dual zone	A – Standard package B – Reserved C – 35° FOV	

Example:
MLX90614ESF-BAA

1 Functional diagram



MLX90614 connection to SMBus

Figure 1 Typical application schematics

2 General Description

The MLX90614 is an Infra Red thermometer for non contact temperature measurements. Both the IR sensitive thermopile detector chip and the signal conditioning ASSP are integrated in the same TO-39 can.

Thanks to its low noise amplifier, 17-bit ADC and powerful DSP unit, a high accuracy and resolution of the thermometer is achieved.

The thermometer comes factory calibrated with a digital PWM and SMBus (System Management Bus) output.

As a standard, the 10-bit PWM is configured to continuously transmit the measured temperature in range of -20 to 120 °C, with an output resolution of 0.14 °C and the POR default is SMBus.

General description (continued)

The MLX90614 is built from 2 chips developed and manufactured by Melexis:

- The Infra Red thermopile detector MLX81101
- The signal conditioning ASSP MLX90302, specially designed to process the output of IR sensor.

The device is available in an industry standard TO-39 package.

Thanks to the low noise amplifier, high resolution 17-bit ADC and powerful DSP unit of MLX90302 high accuracy and resolution of the thermometer is achieved. The calculated object and ambient temperatures are available in RAM of MLX90302 with resolution of 0.01 °C. They are accessible by 2 wire serial SMBus compatible protocol (0.02°C resolution) or via 10-bit PWM (Pulse Width Modulated) output of the device.

The MLX90614 is factory calibrated in wide temperature ranges: -40 to 125 °C for the ambient temperature and -70 to 382.2 °C for the object temperature. The 10-bit PWM is as a standard configured to transmit continuously the measured object temperature for an object temperature range of -20 to 120 °C with an output resolution of 0.14 °C. The PWM can be easily customized for virtually any range desired by the customer by changing the content of 2 EEPROM cells. This has no effect on the factory calibration of the device.

The PWM pin can also be configured to act as a thermal relay (input is To), thus allowing for an easy and cost effective implementation in thermostats or temperature (freezing/boiling) alert applications. The temperature threshold is user programmable. In an SMBus system this feature can act as a processor interrupt that can trigger reading all slaves on the bus and to determine the precise condition.

As a standard, the MLX90614 is calibrated for an object emissivity of 1. It can be easily customized by the customer for any other emissivity in the range 0.1-1.0 without the need of recalibration with a black body.

The thermometer is available in 2 supply voltage options: 5V compatible or 3V (battery) compatible. The 5V can be easily adopted to operate from a higher supply voltage (8-16V, for example) by use of few external components (refer to "Applications information" section for details).

An optical filter (long-wave pass) that cuts off the visible and near infra-red radiant flux is integrated in the package to provide sunlight immunity.

Apéndice B

Sensor MPX5100DP



MPX5100, 0 to 100 kPa, Differential, Gauge, and Absolute, Integrated, Pressure Sensors

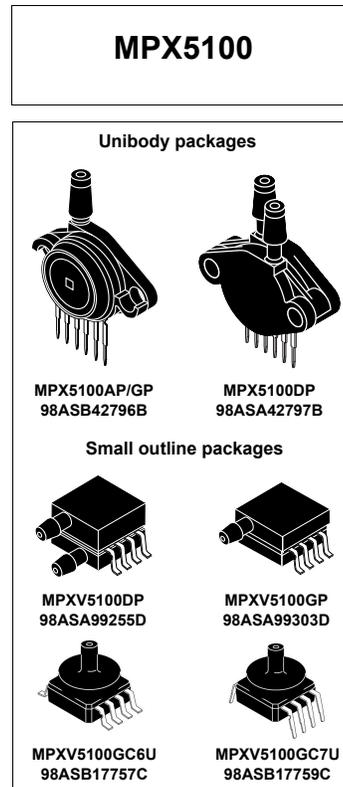
The MPX5100 series piezoresistive transducer is a state-of-the-art monolithic silicon pressure sensor designed for a wide range of applications, but particularly those employing a microcontroller or microprocessor with A/D inputs. This patented, single element transducer combines advanced micromachining techniques, thin-film metallization, and bipolar processing to provide an accurate, high-level, analog output signal that is proportional to the applied pressure.

Features

- 2.5% maximum error over 0 to 85 °C
- Ideally suited for microprocessor or microcontroller-based systems
- Patented silicon shear stress strain gauge
- Available in absolute, differential and gauge configuration
- Durable epoxy unibody element
- Easy-to-use chip carrier option

Typical applications

- Patient monitoring
- Process control
- Pump/motor control
- Pressure switching
- White goods



Ordering information									
Device name	Shipping	Package	# of Ports			Pressure type			Device marking
			None	Single	Dual	Gauge	Differential	Absolute	
Unibody Package (MPX5100 Series)									
MPX5100AP	Tray	98ASB42796B		•				•	MPX5100AP
MPX5100DP	Tray	98ASB42797B			•		•		MPX5100DP
MPX5100GP	Tray	98ASB42796B		•		•			MPX5100GP
Small Outline Package (MPXV5100 Series)									
MPXV5100DP	Tray	98ASA99255D			•		•		MPXV5100DP
MPXV5100GC6U	Rail	98ASB17757C		•		•			MPXV5100G
MPXV5100GC7U	Rail	98ASB17759C		•		•			MPXV5100G
MPXV5100GP	Tray	98ASA99303D		•		•			MPXV5100GP

NXP reserves the right to change the detail specifications as may be required to permit improvements in the design of its products.

© 2018 NXP Semiconductors, B.V.



1 General Description

1.1 MPX5100AP/DP/GP Block diagram

Figure 1 shows a block diagram of the internal circuitry integrated on a pressure sensor chip in a unibody package.

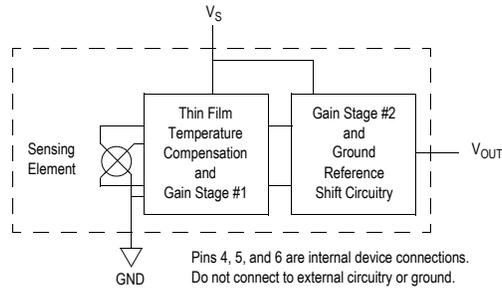


Figure 1. Integrated pressure sensor block diagram

1.2 MPX5100AP/DP/GP Pinout (Unibody)

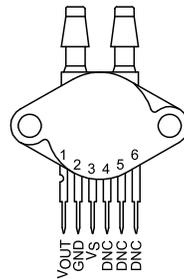


Figure 2. Device pinout (top view)

Table 1. Pin functions

Pin	Name	Function
1	V_{OUT}	Output voltage
2	GND	Ground
3	V_S	Voltage supply
4	DNC	Do not connect to external circuitry or ground.
5	DNC	Do not connect to external circuitry or ground.
6	DNC	Do not connect to external circuitry or ground.

Apéndice C

Sensor Pulsesenser

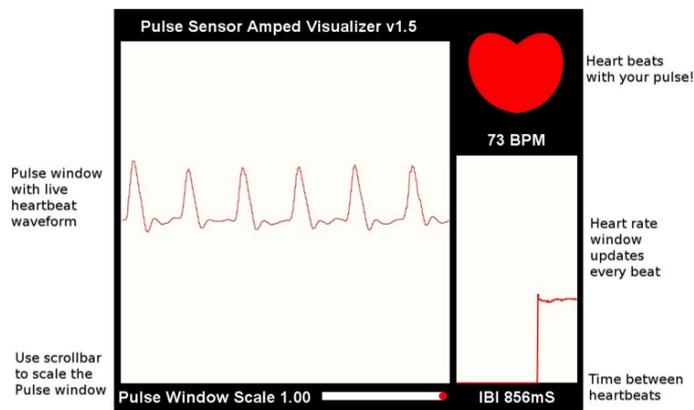
Sensor de pulso cardiaco

(Versión 29-6-18)



La siguiente figura corresponde a un proyecto desarrollado en Processing.

Processing es un lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado de código abierto basado en Java, de fácil utilización, y que sirve como medio para la enseñanza y producción de proyectos multimedia e interactivos de diseño digital. Processing es la base del código de Arduino.



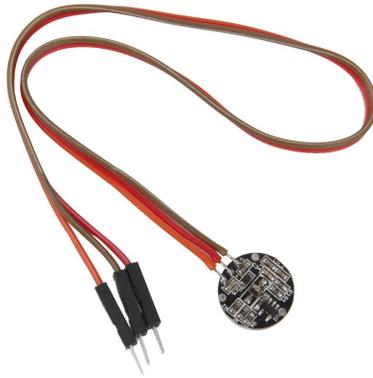
Descripción del Producto

Los datos de la frecuencia cardíaca pueden ser muy útiles cuando se esté diseñando una rutina de ejercicios, estudiando la actividad física o niveles de ansiedad o simplemente si quiere que su camisa parpadee con los latidos de su corazón. El problema es que la frecuencia cardíaca puede ser difícil de medir. Afortunadamente, el sensor de pulso puede resolver ese problema.

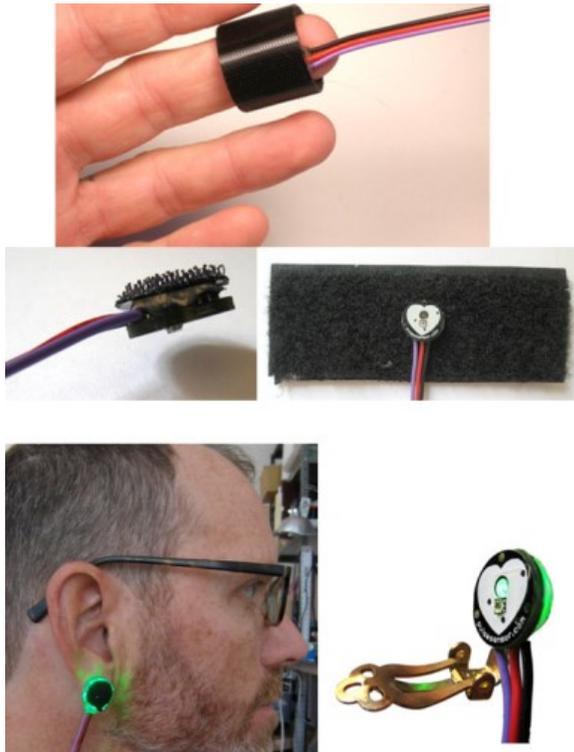
El Sensor de pulso es un sensor de frecuencia cardíaca plug-and-play para Arduino. Puede ser utilizado por estudiantes, artistas, atletas, fabricantes y desarrolladores de juegos y dispositivos móviles que deseen incorporar fácilmente datos de frecuencia cardíaca en vivo en sus proyectos. Combina esencialmente un sensor de frecuencia cardíaca óptico simple con circuitos de cancelación de ruido y amplificación que lo hacen rápido y fácil para obtener lecturas de pulso confiables. Además, consume solo 4mA de corriente a 5V, por lo que es ideal para aplicaciones móviles.

¡Simplemente coloque el Sensor de pulso en el lóbulo de su oreja o en su dedo y conéctelo a su Arduino de 3.3 o 5 V y estará listo para leer la frecuencia cardíaca! El cable del Sensor de pulso termina con unos pines macho estándar, por lo que no se requiere soldadura. Por supuesto, el código de ejemplo de Arduino está disponible, así como un programa de procesamiento para visualizar datos de frecuencia cardíaca.

La esencia de estos circuitos es un sensor integrado de circuito de amplificación óptica y con un circuito de eliminación de ruido de la frecuencia cardíaca todo ello alimentado con una tensión de alimentación: 3.3V ~ 5 V. O sea esta optimizado a la señal que va a percibir.



Lo ideal para medir el pulso es poner el sensor de pulso en el dedo o lóbulo de la oreja, directamente o bien mediante algún sistema mecánico que lo deje fijo como por ejemplo alguno de los sistemas que mostramos a continuación:



Apéndice D

Sensor MAX30102

Click [here](#) for production status of specific part numbers.

MAX30102

High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health

General Description

The MAX30102 is an integrated pulse oximetry and heart-rate monitor module. It includes internal LEDs, photodetectors, optical elements, and low-noise electronics with ambient light rejection. The MAX30102 provides a complete system solution to ease the design-in process for mobile and wearable devices.

The MAX30102 operates on a single 1.8V power supply and a separate 3.3V power supply for the internal LEDs. Communication is through a standard I²C-compatible interface. The module can be shut down through software with zero standby current, allowing the power rails to remain powered at all times.

Applications

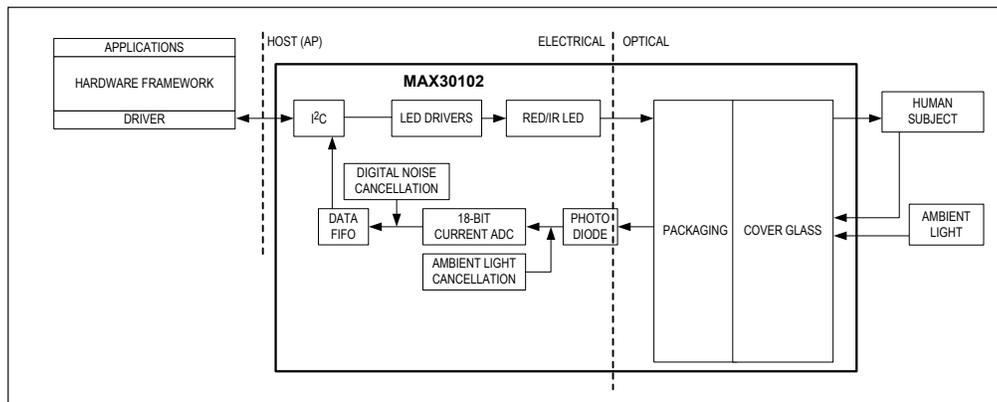
- Wearable Devices
- Fitness Assistant Devices
- Smartphones
- Tablets

Benefits and Features

- Heart-Rate Monitor and Pulse Oximeter Sensor in LED Reflective Solution
- Tiny 5.6mm x 3.3mm x 1.55mm 14-Pin Optical Module
 - Integrated Cover Glass for Optimal, Robust Performance
- Ultra-Low Power Operation for Mobile Devices
 - Programmable Sample Rate and LED Current for Power Savings
 - Low-Power Heart-Rate Monitor (< 1mW)
 - Ultra-Low Shutdown Current (0.7μA, typ)
- Fast Data Output Capability
 - High Sample Rates
- Robust Motion Artifact Resilience
 - High SNR
- -40°C to +85°C Operating Temperature Range

Ordering Information appears at end of data sheet.

System Diagram



Absolute Maximum Ratings

V _{DD} to GND	-0.3V to +2.2V	Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)	
GND to PGND	-0.3V to +0.3V	OESIP (derate 5.5mW/°C above +70°C)	440mW
V _{LED+} to PGND	-0.3V to +6.0V	Operating Temperature Range	-40°C to +85°C
All Other Pins to GND	-0.3V to +6.0V	Junction Temperature	+90°C
Output Short-Circuit Current Duration	Continuous	Soldering Temperature (reflow)	+260°C
Continuous Input Current into Any Terminal	±20mA	Storage Temperature Range	-40°C to +105°C
ESD, Human Body Model (HBM)	2.5kV		
Latchup Immunity	±250mA		

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only; functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Package Information

PACKAGE TYPE: 14 OESIP	
Package Code	F143A5MK+1
Outline Number	21-1048
Land Pattern Number	90-0602
THERMAL RESISTANCE, FOUR-LAYER BOARD	
Junction to Ambient (θ _{JA})	180°C/W
Junction to Case (θ _{JC})	150°C/W

Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to www.maximintegrated.com/thermal-tutorial.

For the latest package outline information and land patterns (footprints), go to www.maximintegrated.com/packages. Note that a "+", "#", or "-" in the package code indicates RoHS status only. Package drawings may show a different suffix character, but the drawing pertains to the package regardless of RoHS status.

Electrical Characteristics

(V_{DD} = 1.8V, V_{LED+} = 5.0V, T_A = -40°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values are at T_A = +25°C) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
POWER SUPPLY						
Power-Supply Voltage	V _{DD}	Guaranteed by RED and IR count tolerance	1.7	1.8	2.0	V
LED Supply Voltage V _{LED+} to PGND	V _{LED+}	Guaranteed by PSRR of LED driver	3.1	3.3	5.0	V
Supply Current	I _{DD}	SpO ₂ and HR mode, PW = 215μs, 50sps		600	1200	μA
		IR only mode, PW = 215μs, 50sps		600	1200	
Supply Current in Shutdown	I _{SHDN}	T _A = +25°C, MODE = 0x80		0.7	10	μA

Apéndice E

Antiplagio

PROPUESTA DE UNA SOLUCIÓN DE TELEMEDICINA BASADA EN DISPOSITIVOS IoT PARA PACIENTES CON COVID-19 EN AISLAMIENTO DOMICILIARIO EN ECUADOR

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%	4%	2%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.esp8266learning.com Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Sheffield Hallam University Trabajo del estudiante	1%
3	www.itc.mx Fuente de Internet	1%
4	www.freescale.com Fuente de Internet	1%
5	dcw.co Fuente de Internet	1%

Excluir citas Activo Excluir coincidencias < 1%
Excluir bibliografía Activo

www.ucacue.edu.ec

Apéndice F

Permiso de repositorio

PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **VICTOR VLADIMIR SOLIZ URGILES**, portador (a) de la cédula de ciudadanía Nro. **0302386230**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “**PROPUESTA DE UNA SOLUCIÓN DE TELEMEDICINA BASADA EN DISPOSITIVOS IoT PARA PACIENTES CON COVID19 EN AISLAMIENTO DOMICILIARIO EN ECUADOR**” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de Los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, 06 de abril de 2021

F:

VICTOR VLADIMIR SOLIZ URGILES

0302386230

Apéndice G

No adeudar libros

EL BIBLIOTECARIO DE LA SEDE AZOGUES

CERTIFICA:

Que, **SOLIZ URGILES VICTOR VLADIMIR**. Con cédula de ciudadanía **Nro.**

0302386230 de la carrera de **INGENIERIA ELECTRONICA**.

No adeuda libros, a esta fecha.

Azogues, 25 de marzo del 2021.



Byron Alonso Torres Romo
BIBLIOTECARIO

Biblioteca Universitaria
MONS. "FROILAN POZO QUEVEDO"