

Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña
Facultad de Ciencias y Tecnología
Escuela de Informática

PROTOTIPO DE MONITOR DE SIGNOS VITALES EN PACIENTES
VETERINARIOS DE ESPECIE CANINA UTILIZANDO IOT



Trabajo de Grado presentada por

Luis Federico Tull Soriano

para la obtención del grado Ingeniero en Sistemas Computacionales [o Licenciado en
Informática o Ingeniero en Sistemas

Santo Domingo, D.N.

2021

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer al Sr. Edison Rodríguez, quien como asesor me brindó sus conocimientos y me guió a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados esperados.

También quiero agradecer al Sr. Ulises Agüero, quien de forma amable me dio sus puntos de vista y observaciones al momento de dar origen a la idea y motivos de este proyecto.

Igualmente quiero agradecer a las siguientes entidades: Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña por impartir esta carrera y abrirme las puertas a la formación profesional. La escuela de Ing. de Sistemas de nuestra universidad, por apoyarnos y guiarnos en cada paso de nuestra carrera. La clínica veterinaria Dr. Tull Datt, por facilitarme los pacientes y equipos para llevar a cabo las pruebas funcionales de este proyecto.

Por último, quiero agradecer a mi familia por apoyarme aun cuando mis ánimos decaían como también por brindarme las facilidades y recursos que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación.

Luis F. Tull.

RESUMEN

La tecnología forma un rol muy importante en la mejora de procesos y aspectos de la vida, al momento de encontrar tareas que requieren de mucho esfuerzo y atención por parte de las personas es bueno pensar en cómo la tecnología puede hacer más eficientes estas labores. En el caso de los médicos veterinarios y sus pacientes es muy común ver que los pacientes de cuidados intensivos requieren un cuidado y observación especial, labor que consume mucho tiempo y esfuerzo por parte del personal encargado de llevarlo a cabo, entonces surge la idea de la creación de un dispositivo que pueda realizar estas tareas de forma eficiente y reduzca la cantidad de recursos dedicados al seguimiento de estos pacientes.

Se determino que con la selección adecuada de componentes y sensores es posible realizar el seguimiento de signos vitales en los pacientes de forma eficiente y obtener alertas en caso de la identificación de anomalías para llevar a cabo las intervenciones necesarias de forma oportuna.

ABSTRACT

Technology plays a very important role in improving processes and aspects of life. When finding tasks that require a lot of effort and attention from people, it is good to think about how technology can make these tasks more efficient. In the case of veterinary doctors and their patients, it is very common to see that intensive care patients require special care and observation, a task that consumes a lot of time and effort by the personnel in charge of carrying it out, so the idea of creation of a device that can perform these tasks efficiently and reduce the amount of resources dedicated to monitoring these patients.

It was determined that with the proper selection of components and sensors, it is possible to efficiently monitor vital signs in patients and obtain alerts in the event of anomalies being identified in order to carry out the necessary interventions in a timely manner.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	2
TABLA DE FIGURAS	7
Capitulo 1 Introducción	10
Objetivo General.....	10
Objetivos específicos	11
1.1 Antecedentes	11
1.1.1. Los siguientes son productos con funcionalidad similar:.....	12
A. Monitor ECG veterinario para Iphone.....	12
B. Collar Inteligente PetPace	13
Definición del problema	14
Justificación	14
1.2 Originalidad.....	14
1.3 Profundidad	15
1.4 Impacto	15
Marco teórico	16
1.5 Sensor IoT.....	17
1.6 Actuador IoT.....	17
1.7 Cloud	18
1.8 Big Data	18
1.9 IoT y su relación al Big Data	18
1.10 Sensores relevantes para el proyecto.....	20
1. Sensor de temperatura	20
2. Sensor de frecuencia cardiaca	21

3.	Sensor de actividad cardiaca AD8232	22
1.11	Modelos de microcontrolador Arduino para IoT	22
1.12	Arduino UNO	22
1.13	Arduino MKR WiFi – Arduino MKR GSM	23
1.14	Arduino MKR 1010	23
1.15	Internet de las cosas.....	16
1.16	Arquitectura internet de las cosas	16
1.17	Arduino.....	19
1.18	Signos vitales	19
1.19	Temperatura corporal.....	19
1.20	Frecuencia cardiaca.....	20
	Alcance.....	23
	Limitaciones.....	24
	Cronograma	24
Capitulo 2	Resultados	26
1.21	Cumplimiento de objetivos	26
1.21.1	Requerimientos	26
1.21.2	OE1. Concebir el prototipo (definiendo los requerimientos funcionales del mismo) 27	
1.	Sensor de temperatura	27
2.	Sensor de frecuencia cardiaca XD-58C (No viable para pacientes veterinarios).....	27
3.	Sensor Electrocardiograma (ECG) AD8232	28
1.21.3	OE2. Diseñar el prototipo (definiendo elementos de estructura y comportamiento de los distintos componentes seleccionados).	28

1.21.4 OE3. Implementar el prototipo (incluyendo construcción física y programación).	30
1.21.5 OE4. Poner en operación el prototipo para fines de pruebas y ajustes.	46
Capitulo 3 Conclusiones	60
Capitulo 4 Referencias	62
Referencias	62

TABLA DE FIGURAS

Ilustración 1 Sensor de temperatura DS18B20	21
Ilustración 2 Conexión sensor de frecuencia cardiaca XD-58C	28
Ilustración 3 Conexión sensor de temperatura DS18B20	29
Ilustración 4 Conexión Sensor (ECG) AD8232	29
Ilustración 5 Ciclo PQRST ECG	30
Ilustración 6 Lectura obtenida en un paciente de cirugía ocular (Golden retriever).....	31
Ilustración 7 Librería OneWire sensor DS18b20	32
Ilustración 8 Lógica de función del prototipo.....	34
Ilustración 9 Lógica de medición de signos vitales.....	35
Ilustración 10 Parámetros de frecuencia cardiaca aceptables en caninos según caso..	36
Ilustración 11 Tabla de parámetros de temperatura normales según especie. (Klein, Cunningham Fisiología Veterinaria 5ta. Edicion., 2013)	37
Ilustración 12 Aplicación móvil para monitoreo de signos vitales.....	40

Ilustración 13 Notificaciones resultantes de la lectura de parámetros irregulares por el dispositivo.....	41
Ilustración 14 Opciones para agregar dispositivos.....	42
Ilustración 15 Opciones dispositivos Arduino	43
Ilustración 16 Parámetros recibidos en la plataforma desde el dispositivo IOT.....	43
Ilustración 17 Editor web arduino iot cloud	44
Ilustración 18 Sección del dashboard donde podemos visualizar los signos vitales en la plataforma Arduino.	45
Ilustración 19 Descarga de histórico de datos de cada propiedad.	45
Ilustración 20 Estándar posicionamiento electrodos.....	46
Ilustración 21 Chihuahua operado por obstrucción en la vejiga urinaria debido a piedras.	47
Ilustración 22 Signos vitales obtenidos por equipos médicos.	48
Ilustración 23 Signos vitales obtenidos por equipos médicos.	48
Ilustración 24 Evaluación de signos vitales en paciente de reconstrucción de rodilla. .	49
Ilustración 25 Valores obtenidos por monitor en caso 2	50
Ilustración 26 Lecturas herradas obtenidas por monitor signos vitales en caso 2	50
Ilustración 27 Alerta frecuencia cardiaca alta, caso 2	51
Ilustración 28 Prueba en paciente Chihuahua.	52
Ilustración 29 Lectura de signos vitales afectada por la interferencia de la superficie de metal.....	53
Ilustración 30 Prueba prototipo y actuadores en Shih-tzu	54
Ilustración 31 Signos vitales registrados en la prueba del paciente Chubby (en presencia de interferencia por parte de la superficie).....	55
Ilustración 32 Monitoreo de signos vitales realizados mediante la aplicación móvil caso Chubby.....	56

Ilustración 33 Lectura de signos vitales de chubby luego de utilizar periódico para evitar interferencia por la superficie.	57
Ilustración 34 Histórico frecuencia cardiaca obtenida en proceso de cirugía.	65
Ilustración 35 Elementos utilizados para la construcción del prototipo.	66
Ilustración 36 Diseño placa indicadores led prototipo.	67
Ilustración 37 Placa indicadores led prototipo.	68
Ilustración 38 Componentes interconectados y funcionales del prototipo.	69
Ilustración 39 Componentes interconectados y funcionales del prototipo.	69
Ilustración 40 Prototipo funcional.	70
Ilustración 41 Interior prototipo funcional.	71
Ilustración 42 Prototipo final.	71
Ilustración 43 Prueba realizada en Golden retriever en proceso de recuperación de reconstrucción de parpado.	72

Capítulo 1 Introducción

Este proyecto busca dar a conocer el diseño de un dispositivo para supervisar los signos vitales de pacientes veterinarios que se encuentren en cuidados intensivos aplicando los beneficios ofrecidos por el Internet de las Cosas (*IoT, por sus siglas en inglés*), de forma que sea posible dar seguimiento a estos pacientes desde cualquier ubicación que nos brinde una conexión a internet.

Para esto se utilizarán tecnologías de Cyber Physical Systems (CPS), los cuales combinan la capacidad de cómputo de componentes electrónicos con una infraestructura de red, de modo que se puedan aprovechar las capacidades de estos para ser aplicados al internet de las cosas (IoT).

En base a la investigación de estos dispositivos se determino que el mas apropiado para el trabajo de monitoreo es el esquema de Arduino, en su versión MKR-1010 debido a versatilidad en la aceptación de otros elementos como actuators y sensores, a su capacidad de recibir programas que permitan ejecutar acciones y la gran variedad de documentación que existe sobre el mismo.

Objetivo General

Desarrollo de un prototipo para la medición de signos vitales en pacientes veterinarios de especie canina utilizando las técnicas de Internet de las Cosas (IoT).

Objetivos específicos

- OE1. Concebir el prototipo (definiendo los requerimientos funcionales del mismo)
- OE2. Diseñar el prototipo (definiendo elementos de estructura y comportamiento de los distintos componentes seleccionados).
- OE3. Implementar el prototipo (incluyendo construcción física y programación).
- OE4. Poner en operación el prototipo para fines de pruebas y ajustes.
- OE5. Establecer conclusiones en base a esta investigación que permitan su posterior replicación e implementación.

1.1 Antecedentes

En una investigación realizada a causa de la gran cantidad de personas que padecen de condiciones médicas de alto riesgo en México se comprobó que mediante un prototipo de medición cardiaca se puede verificar de forma eficaz el estado de salud de una persona como también identificar situaciones de riesgo mediante la implementación de un giroscopio para la detección de caídas por medio del análisis de las lecturas obtenidas, identificando así los patrones de riesgo y notificando a los familiares por medio de bluetooth a una aplicación móvil, reduciendo el tiempo de acción en caso de ocurrencia de alguna emergencia. (A. Barreto, 2018)

1.1.1. Los siguientes son productos con funcionalidad similar:

A. Monitor ECG veterinario para Iphone

Es un dispositivo diseñado por la empresa AliveCor para monitorear la función del corazón de los pacientes y analizar la información mediante una aplicación móvil para dispositivos iPhone y con la capacidad de subir la información recolectada a la nube para su posterior análisis, este está diseñado en forma de protector para ser utilizado en conjunto con el teléfono móvil. (Woodley Veterinary Diagnostics, n.d.)



B. Collar Inteligente PetPace

Collar inteligente diseñado en base al concepto de los monitores de actividad por la empresa PetPace, con la finalidad de que las mascotas puedan utilizarlo como un accesorio común mientras este supervisa los signos vitales y actividad de las mascotas, de forma que sea posible identificar cambios significativos en el comportamiento o signos vitales de las mascotas que puedan derivar de una condición desfavorable en la salud de las mascotas. (PetPace, n.d.)



Definición del problema

Los pacientes veterinarios que se encuentran en cuidados intensivos requieren una atención constante para validar que sus signos vitales están en los parámetros establecidos y afianzar las posibilidades de recuperación de los mismos. Esto demanda que haya personal médico presente para identificar a tiempo cualquier anomalía y responder con las medidas correspondientes. Con fines de reducir la demanda de presencia de personal médico para realizar seguimiento del estado del paciente, se diseñará un prototipo de medidor de signos vitales aplicando las técnicas de IoT, de forma que se posibilite el seguimiento de estos desde cualquier lugar con conexión a internet, manteniendo así la capacidad de identificar a tiempo cualquier eventualidad relacionada a la salud de los pacientes.

Justificación

Este proyecto se concentrará en el diseño y elaboración de un prototipo para la medición de signos vitales en pacientes veterinarios aplicando las técnicas de (IoT), buscando así reducir la demanda de personal relacionada al seguimiento de pacientes en cuidados intensivos y manteniendo las posibilidades de identificar a tiempo las anomalías relacionadas al cuadro de salud de estos.

1.2 Originalidad

La aplicación del IoT, en el seguimiento de signos vitales a pacientes veterinarios, actualmente existen equipos que realizan las funciones de seguimiento de signos vitales, pero a pesar de que existen productos IoT similares, en República Dominicana no hay productos similares ni esfuerzos de desarrollo para este fin. (carecen de aplicación de IoT).

La implementación de una unidad de cuidados intensivos veterinarios, y los resultados de información estadística que esta nos podrá reportar en base a los distintos pacientes veterinarios que sean monitorizados. Esta información nos podrá brindar la posibilidad de realizar nuevos trabajos basados en la identificación patrones de evolución en la recuperación de los pacientes, predicción de condiciones en pacientes de cuidados intensivos, relación sintomatológica en base a los patrones de signos vitales.

1.3 Profundidad

En la investigación se hará énfasis en los siguientes puntos:

- Qué modelo de microcontrolador Arduino debemos utilizar para la investigación.
- Explicar las razones por las que seleccionamos los componentes.
- Implementación de actuadores para identificar que paciente esta fuera de los parámetros.
- Explicar la configuración y función de los componentes.
- Programación del dispositivo para que este registre los signos vitales y envíe los datos a la plataforma IoT.
- Desarrollo de app móvil para realizar el seguimiento de los signos vitales registrados por el dispositivo.
- Funcionamiento del dispositivo en relación a los parámetros de signos vitales establecidos y las lecturas realizadas a los pacientes.

1.4 Impacto

- Aumentar la productividad en los hospitales veterinarios ya que el personal que se encarga de dar seguimiento a estos pacientes puede dedicarse a otras tareas.
- Reducción de costos en la atención a estos pacientes ya que el sistema haría el seguimiento sin necesidad de personal presente.
- Reducción en los tiempos de intervención a pacientes en caso de detección de un cuadro de evolución no favorable.

Marco teórico

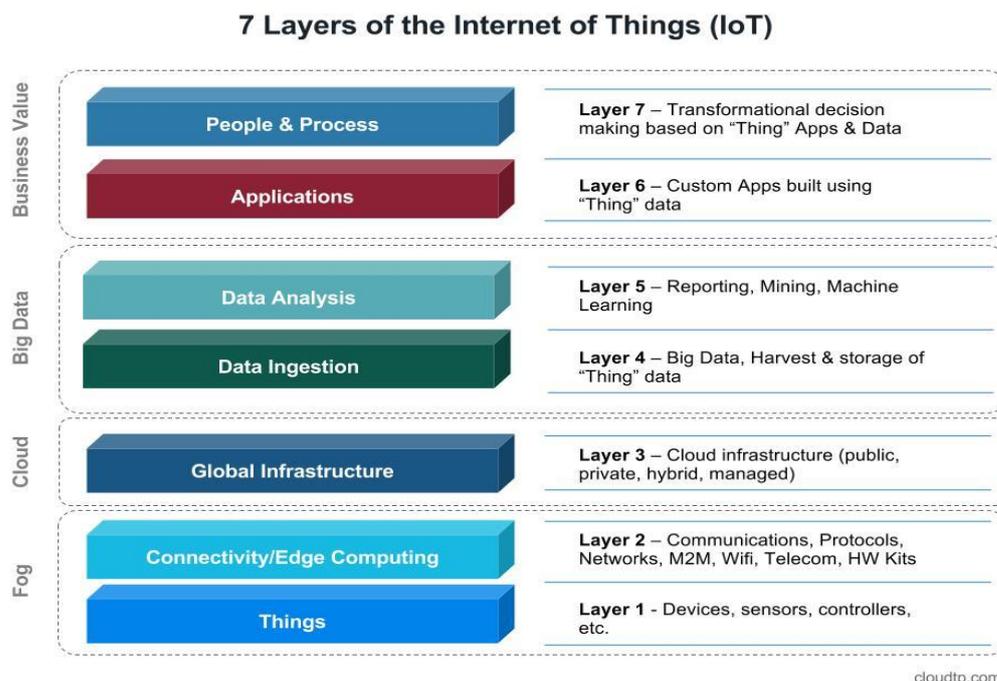
En la actualidad, el internet de las cosas (IoT), tiene un gran impacto en el diario vivir de las personas ya que este paradigma se ha permeado en la mayoría de aspectos de la vida cotidiana por medio de convertir datos en información valiosa, como analizar datos de personas, objetos y lugares para ofrecer conocimiento útil del entorno. Uno de los aspectos fundamentales para la sociedad es la salud, en el cual se concentrará esta investigación.

1.5 Internet de las cosas

El internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) es un sistema de dispositivos de computación interrelacionados, máquinas mecánicas y digitales, objetos, animales o personas que tienen identificadores únicos y la capacidad de transferir datos a través de una red, sin requerir de interacciones humano a humano o humano a computadora. (Rouse, 2017)

1.6 Arquitectura internet de las cosas

“En IoT se sigue una arquitectura por capas. **Modelo de 7 capas de la arquitectura IoT:**



La arquitectura describe la estructura de su solución de IoT, lo que incluye los aspectos físicos (esto es, las cosas) y los aspectos virtuales (como los servicios y los protocolos de comunicación).” (aprendiendoarduino.wordpress.com, n.d.)

“Estaba hablando de que la cadena de suministro es una 'Red de cosas' y que Internet es una 'Red de bits', y de cómo la tecnología de sensores fusionaría los dos. Entonces pensé en un "Internet de las Cosas". “Kevin Ashton”. (Elder, 2019)

“El internet de las cosas es la proliferación de artefactos con la habilidad de comunicar y transmitir información entre todos, permitiendo nuevas capacidades de comunicación, procesamiento de datos y acceso a la información. Generando así impacto social y económico entre la sociedad consumidora de información.” (Watts, 2016)

1.7 Sensor IoT

Un sensor es un dispositivo que se utiliza para medir una propiedad física y convertir esa información en una señal eléctrica u óptica.

(bankinter., n.d.)⁸

1.8 Actuador IoT

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar una señal eléctrica u óptica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto. Generalmente, un actuador realiza una función física, es decir, hace que las cosas sucedan.

(bankinter., n.d.)

1.9 Cloud

Suministro de archivos o recursos a petición del usuario a través de una conexión a internet. Como casi cualquier conexión hay un solicitante (el usuario) y un receptor (el servidor), el solicitante pide un recurso a través de su aplicación y el receptor se lo proporciona. (Profesional Review, n.d.)

1.10 Big Data

El Big Data es el análisis masivo de datos. Una cuantía de datos, tan sumamente grande, que las aplicaciones de software de procesamiento de datos que tradicionalmente se venían usando no son capaces de capturar, tratar y poner en valor en un tiempo razonable.

Igualmente, el mismo término se refiere a las nuevas tecnologías que hacen posible el almacenamiento y procesamiento, además de al uso que se hace de la información obtenida a través de dichas tecnologías. (Universidad complutense de Madrid, n.d.)

1.11 IoT y su relación al Big Data

Vivimos en un mundo cada vez más interconectado ya que la digitalización del mundo físico es una realidad, la combinación de hardware y software dota a un producto de vida e inteligencia.

El IoT y Big Data se compenetran perfectamente, ya que una de las consecuencias de la llegada del IoT es la generación de muchos datos que son analizados a través de la tecnología Big Data con el fin de ofrecer mejores servicios ante el usuario.

Los objetos inteligentes ofrecen millones de datos provenientes del aumento del número de dispositivos conectados entre sí, ya sea a través de internet o microchips. Y todos esos datos son gestionados por las empresas a través de una analítica de datos masivos.

La instauración del IoT hubiese sido compleja si no se hubiera seguido una estructura de Big Data, ya que sin esta tecnología no se tendría una forma eficiente de analizar grandes cantidades ingentes de datos. (Big Data International Campus, n.d.)

Gracias a la escalabilidad ofrecida por las soluciones en cloud y el análisis masivo de datos se abren posibilidades como la creación de aplicaciones móviles personalizadas para determinados servicios.

1.12 Arduino

Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador re-programable y una serie de pines hembra, los que permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla. (arduino.cl, n.d.)

1.13 Signos vitales

“Los signos vitales son mediciones de las funciones más básicas del cuerpo.”

(GWHeartandvascular.org, n.d.)

Las siguientes son las mediciones más importantes y relevantes en este proyecto:

Temperatura corporal y Frecuencia cardiaca.

1.14 Temperatura corporal.

Temperatura corporal es la medida relativa de calor o frío asociado al metabolismo del cuerpo humano y su función es mantener activos los procesos biológicos, esta temperatura varía según la persona, la edad, la actividad y el momento del día y normalmente cambia a lo largo de la vida. (Ecured, n.d.)

1.15 Frecuencia cardiaca.

La frecuencia cardíaca es el número de contracciones del corazón o pulsaciones por unidad de tiempo. Se mide en condiciones bien determinadas (de reposo o de actividad) y se expresa en pulsaciones por minuto a nivel de las arterias periféricas y en latidos por minuto (lat/min) a nivel del corazón. (Wikipedia.org, n.d.)

“En el sector sanitario, hay mucha información en todos estos silos separados que no pueden conectarse entre sí; Permitir que aquellos estén conectados y hacer visible lo invisible es algo realmente importante en lo que la tecnología puede ayudar.” “Amber Case”. (Case, 2011)

1.16 Sensores relevantes para el proyecto

Los siguientes son los sensores relevantes para el proyecto.

1. Sensor de temperatura

Algunos de los ejemplos más populares de sensores semiconductores de temperatura con salida digital incluyen la serie TMP102 de Texas Instruments, serie MCP9808 de Microchip, Serie LM73 de Texas Instruments, National Semiconductor, y serie DS18B20 de Maxim. Todos estos componentes pueden medir un rango típico de temperatura de sensores semiconductores, desde aproximadamente -50 hasta +150 grados centígrados. La mayoría de ellos reclaman una precisión en la región de más o menos 1 grado sobre el rango completo o 0.5 grados en el rango de 0 a 100. Con la excepción de la Maxim DS18B20, que usa su propio protocolo único, los componentes se comunican a través de Protocolo I2C o SMBus.

A diferencia de la mayoría de los sensores digitales, este componente usa un cable de tres hilos, porque utiliza un protocolo único propiedad de Maxim "Bus de 1 cable". El bus permite el acceso a un registro de 2

bytes que almacena salida digital del sensor de temperatura, pero también permite al usuario realizar otras funciones, como establecer la resolución de un convertidor analógico a digital incluido (que tiene una máxima resolución de 12 bits), estableciendo una alarma de temperatura alta y baja. (Platt, 2016)

Se utilizará el DS18B20, gracias a que este tiene un rango de operación en voltajes de entre 3.0v a 5.5v, lo que lo hace compatible con los microcontroladores Arduino y su diseño en forma cilíndrica resistente al agua y demás medios de uso lo hace propicio para la aplicación en pacientes veterinarios haciendo menos probables los daños que pueda ocasionar el uso del mismo.



Ilustración 1 Sensor de temperatura DS18B20

2. Sensor de frecuencia cardíaca

Es un sensor de frecuencia cardíaca plug-and-play diseñado para conexión a Arduino en caso de acoplar a una Raspberry PI o PIC se debe utilizar un conversor Análogo a Digital (ADC), este módulo combina esencialmente el sensor de frecuencia cardíaca óptico XD-58C con circuitos de cancelación de ruido y amplificación que lo hacen eficiente y fácil para obtener unas lecturas de pulso confiables. (compelelectronica, n.d.)

Se utilizará el XD-58C, gracias a que este tiene un rango de operación en voltajes de entre 3.0v a 5.5v, lo que lo hace compatible con los microcontroladores Arduino y este viene acompañado de un set de accesorios que son propicios para prolongar su vida útil y facilitar la aplicación en pacientes tanto humanos como veterinarios.

3. Sensor de actividad cardiaca AD8232

El AD8232 es un sensor que tiene un rango de operación en voltajes de entre 2.0v a 3.5v, este es un sensor análogo totalmente compatible con la placa Arduino seleccionada ya que esta tiene un canal de alimentación de 3.3v, haciendo que no requiera del uso de resistencias o componentes adicionales para su correcto funcionamiento. Este sensor funciona por medio de 3 puntos de lectura que se colocan en el cuerpo del paciente para obtener los datos de las frecuencias eléctricas emitidas en el funcionamiento del corazón. (AllDataSheet.com, n.d.)

1.17 Modelos de microcontrolador Arduino para IoT

Entre los modelos de microcontrolador de Arduino más convenientes para proyectos de IoT que encontramos en el mercado podemos ver los siguientes:

1.18 Arduino UNO

La placa Arduino UNO es la mejor placa para iniciar con la programación y la electrónica. Si es tu primera experiencia con la plataforma Arduino, la Arduino UNO es la opción más robusta, más usada y con mayor cantidad de documentación de toda la familia Arduino.

Arduino UNO es una placa basada en el microcontrolador ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden ser usando con PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de 16Mhz, conexión USB, conector jack de alimentación, terminales para conexión ICSP y un botón de reseteo. Tiene toda la electrónica necesaria para que el microcontrolador opere, simplemente hay que conectarlo a la energía por el puerto USB o con un transformador AC-DC. (Arduino.cl, n.d.)

1.19 Arduino MKR WiFi – Arduino MKR GSM

“La familia de Arduino MKR son una serie de placas con un factor de forma diferente al de Arduino mucho más pequeño y basados todos en el microcontrolador de 32 bits de Atmel SAMD21. Estas placas están pensadas principalmente para IoT.”
(aprendiendoarduino.wordpress.com, n.d.)

1.20 Arduino MKR 1010

El Arduino MKR 1010 está equipado con un módulo ESP32 hecho por U-BLOX. Esta tarjeta está diseñada para acelerar y simplificar el prototipado de aplicaciones IoT basadas en el WiFi gracias a la flexibilidad del ESP32 y su bajo consumo de energía.

El MKR WIFI 1010 cuenta con una arquitectura computacional de 32 bits, un conjunto amplio de interfaces I/O y Wi-Fi de bajo consumo con un Cryptochip que utiliza encriptación SHA-256 para una comunicación segura. Además, ofrece una gran facilidad de uso, desarrollo y programación gracias al Software de Arduino (IDE). Todas estas características hacen a esta placa la preferida para proyectos IoT energizados mediante baterías.

La placa es compatible con dos formas de alimentación; una batería de Li-Po y USB de 5V. Debido a que la tarjeta cuenta con un circuito de carga es posible suministrar 5V mediante USB mientras la batería es recargada. El cambio de fuente de energía es realizado automáticamente por el Arduino MKR WIFI 1010. (330ohms, n.d.).

Alcance

1. El presente proyecto explorara la elaboración de un prototipo monitor de signos vitales aplicando lot.
2. El proyecto documentara los componentes utilizados para su construcción y como estos son configurados para su funcionamiento.
3. Establecerá los puntos más eficientes para la medición de los signos vitales en pacientes veterinarios de especie canina.
4. Interacción del dispositivo con la plataforma lot.
5. Desarrollo de app móvil para seguimiento de signos vitales.

Limitaciones

1. La falta de suplidores que provean sensores relacionados el monitoreo de presión sanguínea, (se realizará la evaluación cardiaca por medio de la medición de frecuencia cardiaca).

Cronograma

El siguiente es el cronograma de actividades propuesto, por objetivo, iniciando a partir de la aprobación de la propuesta:

Objetivo específico	Actividad por objetivo	Resultado esperado de la actividad				
			1	2	3	4
OE1. Concebir el prototipo (definiendo los requerimientos funcionales del mismo)	Selección de modelo de Arduino a utilizar para el prototipo.	Seleccionar un microcontrolador de Arduino que nos facilite cumplir con los objetivos establecidos.				
	Selección de sensores a utilizar para evaluar los signos vitales.	Seleccionar sensores adecuados para la función que van a desempeñar.				
OE2. Diseñar el prototipo (definiendo elementos de estructura y comportamiento de los distintos componentes seleccionados).	Realizar la conexión de sensores con el controlador Arduino.	Determinar la forma de conexión de los sensores con el controlador Arduino de forma que funcionen correctamente.				
OE3. Implementar el prototipo (incluyendo construcción física y programación).	Programación de Arduino para la lectura de datos desde los sensores.	Configurar y programar el controlador Arduino para que este pueda realizar la lectura de los sensores.				
	Programación de los sensores para realizar lectura de datos.	Poder realizar lectura de los valores de signos vitales.				
	Configuración de distintos patrones de signos vitales aceptables.	Que sea posible identificar cuando los signos vitales registrados no son los adecuados.				
	Selección de plataforma para enviar los datos obtenidos.	Seleccionar una plataforma de servicios de IoT que nos permita manejar los datos registrados por el prototipo de forma eficiente.				

Objetivo específico	Actividad por objetivo	Resultado esperado de la actividad				
			1	2	3	4
		Desarrollo de app móvil para realizar seguimiento de signos vitales.				
	Pruebas de envío y recepción de datos a la plataforma.	Que los datos registrados por el prototipo puedan ser visualizados desde cualquier lugar.				
	Establecer parámetros de signos vitales aceptables y medios para notificar cuando estos signos estén fuera de los parámetros establecidos.	Integración de alertas que permitan al usuario identificar una ocurrencia. Integración de actuadores en el dispositivo.				
OE4. Poner en operación el prototipo para fines de pruebas y ajustes.	Identificación de puntos de medición de signos vitales en pacientes.	Identificar en que puntos del cuerpo del paciente es posible obtener los signos vitales de forma eficiente.				
	Pruebas de datos obtenidos por medio del prototipo y comparativas con valores obtenidos desde equipos médicos.	Validar el grado de precisión de los datos obtenidos.				
OE5. Establecer conclusiones en base a esta investigación que permitan su posterior replicación e implementación.	Documentar los componentes utilizados en el diseño del prototipo y los factores tomados en cuenta en su elaboración.	Documentación referente a la concepción del prototipo.				
		Documentación de conclusiones y recomendaciones a tomar en cuenta.				

Capítulo 2 Resultados

El diseño y elaboración del prototipo se pudieron llevar a cabo gracias a la correcta selección de componentes para concebirlo, mediante la fase de pruebas fue posible identificar que no es posible realizar la toma de valores de frecuencia cardiaca con sensores ópticos por las diferencias de piel que tienen los pacientes veterinarios con relación a los humanos, por lo que fue tomada la decisión de utilizar un sensor ECG el cual funciona con las frecuencias eléctricas que produce el funcionamiento del corazón. Por medio de las pruebas y comparaciones se obtuvieron resultados favorables con relación a los valores obtenidos por el prototipo.

1.21 Cumplimiento de objetivos

1.21.1 Requerimientos

- Portabilidad: El dispositivo debe ofrecer la posibilidad de ser compacto y ligero para facilitar su operación y debe tener la capacidad de operar sin necesidad de estar conectado a una computadora.
- Selección de hardware orientado a IOT, este debe facilitar la conectividad.
- Sensores que permitan supervisar los signos vitales seleccionados (Frecuencia cardiaca, temperatura corporal).
- El dispositivo debe indicar cuando las lecturas de signos vitales están fuera de los parámetros establecidos.
- El dispositivo debe enviar las lecturas de signos vitales a una plataforma de IOT, de forma que permita supervisar estos sin necesidad de la presencia de personal donde se encuentra el paciente.

1.21.2 OE1. Concebir el prototipo (definiendo los requerimientos funcionales del mismo)

1.21.2.1 Selección de modelo de Arduino a utilizar para el prototipo.

Para concebir el prototipo fue seleccionado el (Arduino MKR 1010 WiFi) debido al tamaño reducido de este y a que el mismo tiene un módulo WiFi integrado que permite establecer conexión con la red sin la necesidad de agregar dispositivos adicionales.

Este board también ofrece una conexión JST para agregar baterías de litio a los proyectos y un consumo reducido que brinda varios días de autonomía.

1.21.2.2 Selección de sensores a utilizar para evaluar los signos vitales.

1. Sensor de temperatura

Se utilizará el DS18B20, gracias a que este tiene un rango de operación en voltajes de entre 3.0v a 5.5v, lo que lo hace compatible con los microcontroladores Arduino y su diseño en forma cilíndrica resistente al agua y demás medios de uso lo hace propicio para la aplicación en pacientes veterinarios haciendo menos probables los daños que pueda ocasionar el uso del mismo.

2. Sensor de frecuencia cardiaca XD-58C (No viable para pacientes veterinarios)

El XD-58C es un sensor que tiene un rango de operación en voltajes de entre 3.0v a 5.5v, lo que lo hace compatible con los microcontroladores Arduino y este viene acompañado de un set de accesorios que son propicios para prolongar su vida útil y facilitar la aplicación en pacientes tanto humanos como veterinarios.

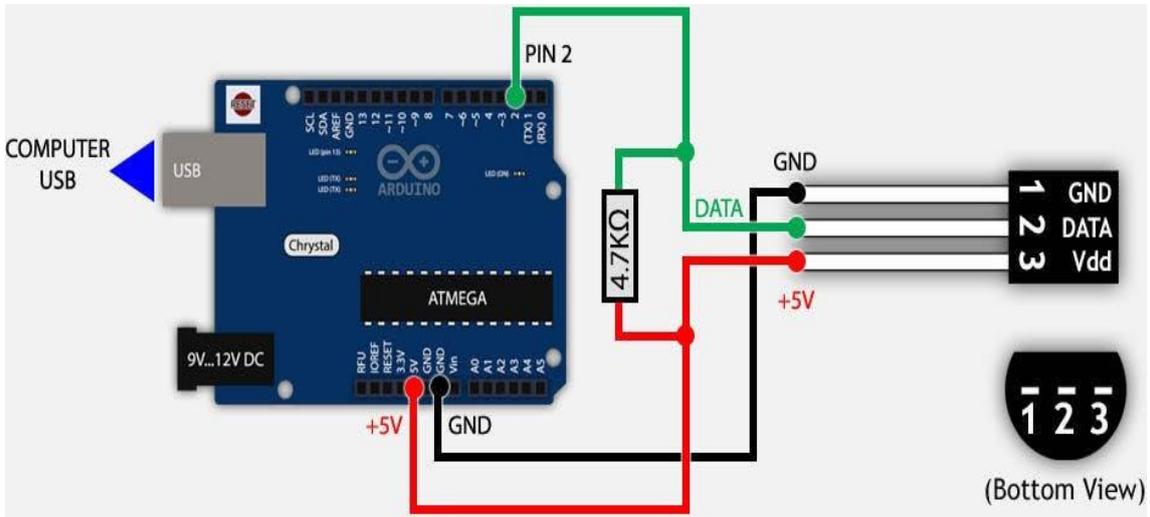


Ilustración 3 Conexión sensor de temperatura DS18B20

Connection Diagram

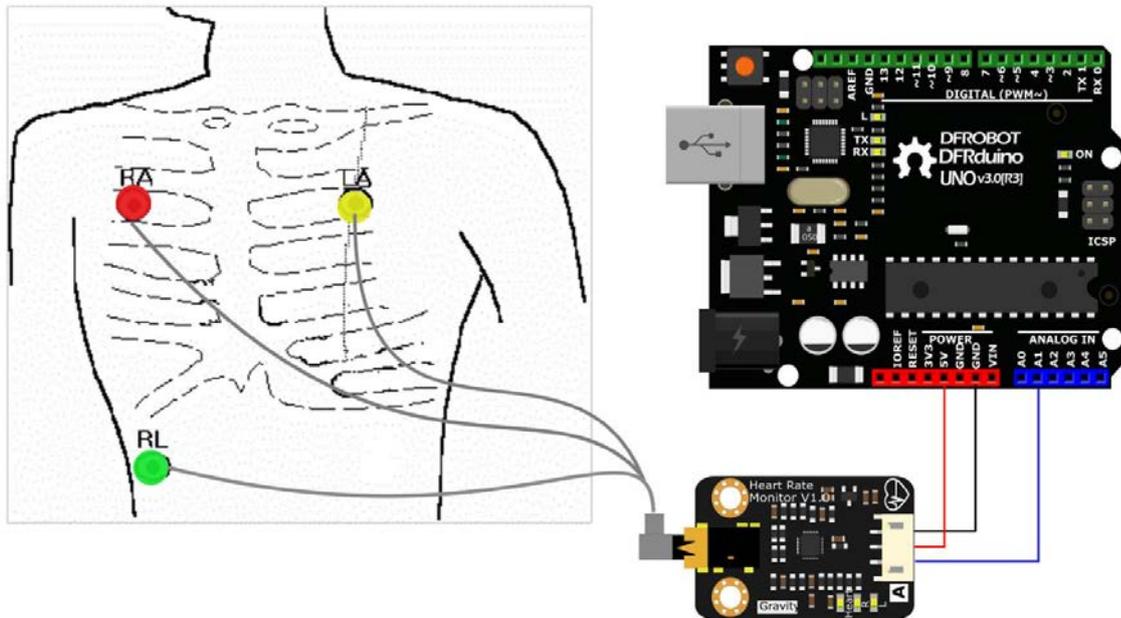


Ilustración 4 Conexión Sensor (ECG) AD8232

1.21.4 OE3. Implementar el prototipo (incluyendo construcción física y programación).

1.21.4.1 Programación de Arduino para la lectura de datos desde los sensores.

La medición de la frecuencia cardiaca se basa en el ciclo PQRST del electrocardiograma el cual divide en secciones los movimientos que realiza el corazón por cada latido.

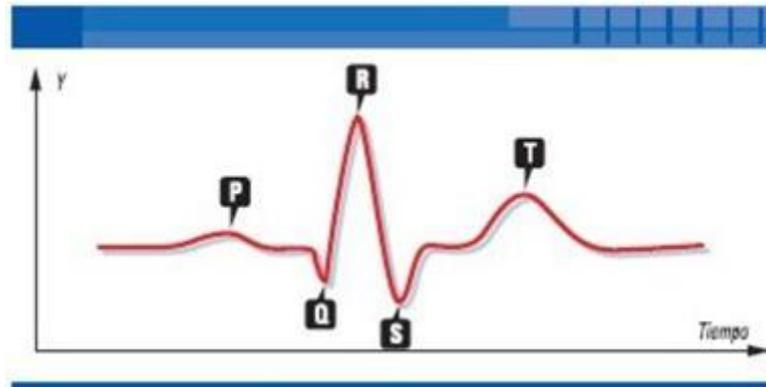


Ilustración 5 Ciclo PQRST ECG

Basados en la composición del ciclo PQRST identificado en el electrocardiograma, se puede determinar el momento en el que el corazón realiza el bombeo de sangre, este se encuentra en el segmento QRS, por lo que este será utilizado para validar que el corazón se encuentra latiendo y también con qué frecuencia este lo hace.

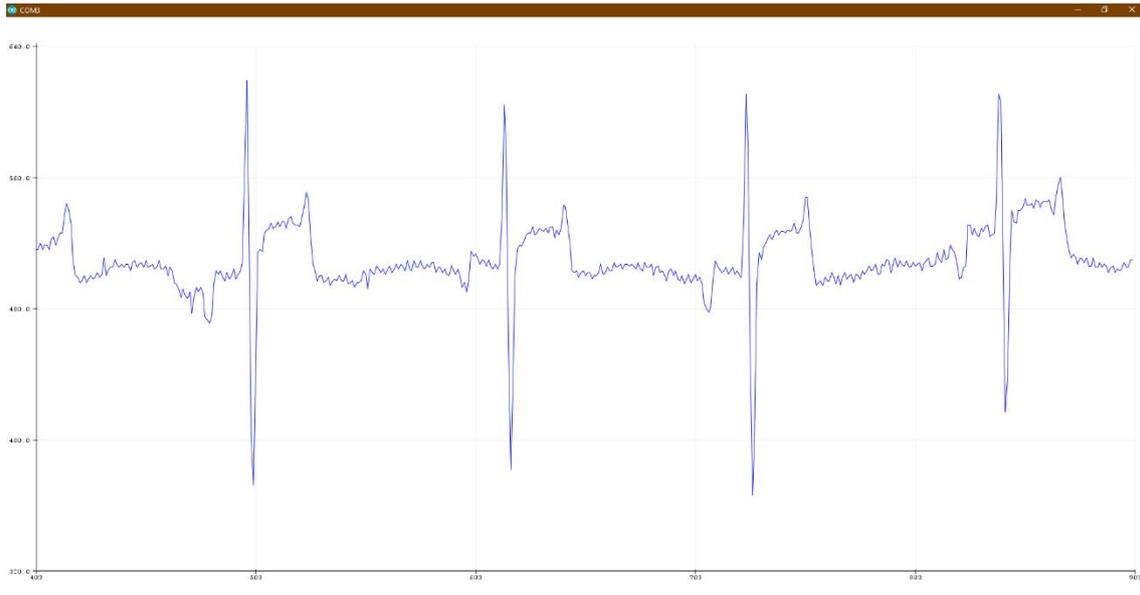


Ilustración 6 Lectura obtenida en un paciente de cirugía ocular (Golden retriever).

La lógica aplicada a la programación y cálculo de la frecuencia cardiaca se basa en la realización de lectura analógica de datos por parte del sensor ECG, los picos identificados en la gráfica se definen como el valor más alto de la lectura cardiaca, este valor se utiliza como referencia para contar la cantidad de veces que late el corazón, esta lectura se realiza en periodos de 30 segundos, al final de estos 30 segundos se multiplica el acumulado de latidos contados por 2, obteniendo así la cantidad de latidos en el periodo de 1 minuto.

El sensor de temperatura realiza lecturas por medio de una librería proporcionada por el fabricante del mismo, y este va conectado a uno de los puertos digitales del board utilizado. Por medio de esta librería se obtiene la unidad de medida en grados Celsius.

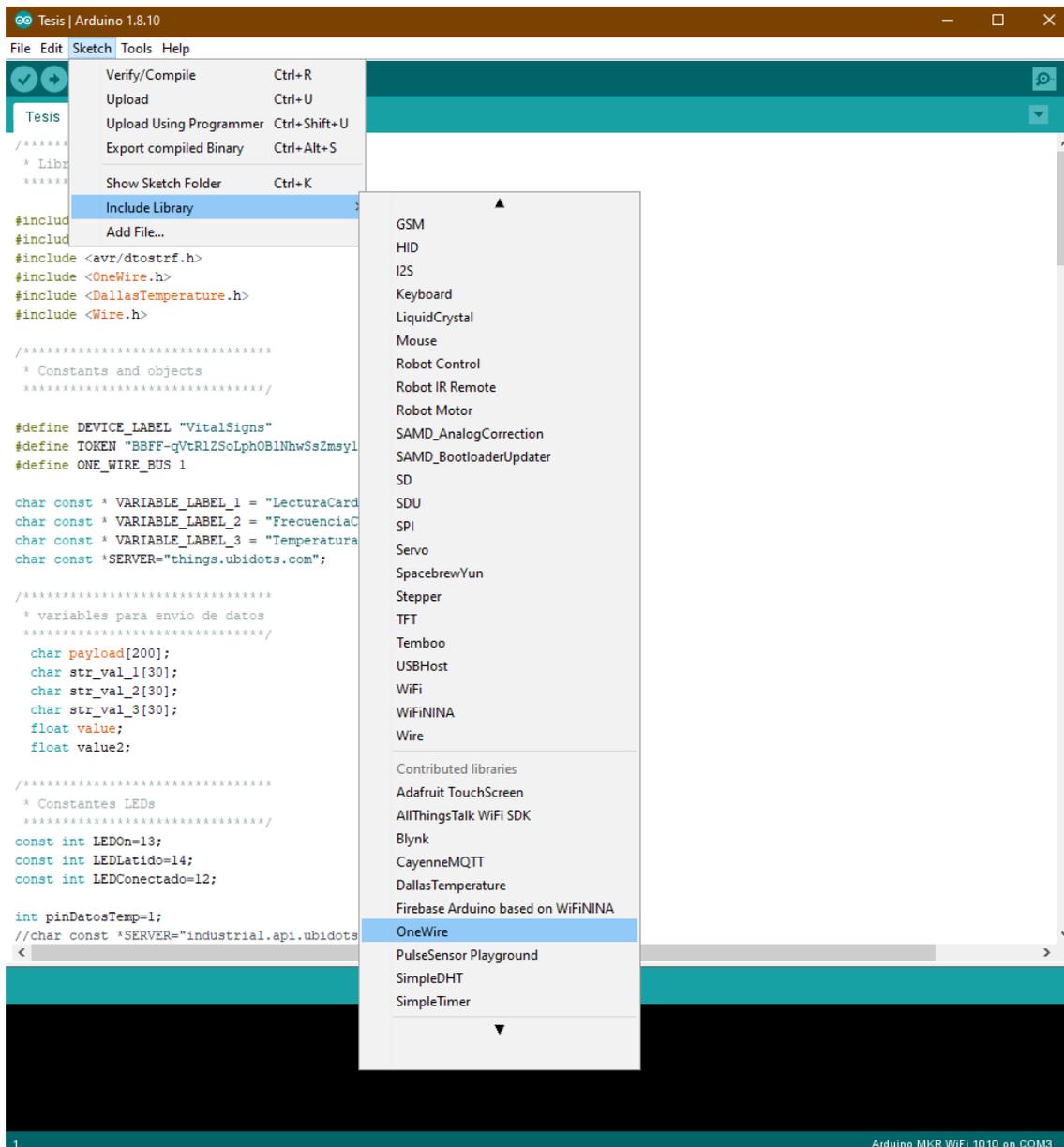


Ilustración 7 Librería OneWire sensor DS18B20

1.21.4.2 Programación de los sensores para realizar lectura de datos.

La programación de los sensores para la lectura de datos para el sensor de frecuencia cardiaca se realiza por medio de los pines análogos, por lo cual no requiere una lógica sofisticada para su realización.

La lectura de datos del sensor de temperatura se realiza por medio de los pines digital y esta funciona por medio de una librería ofrecida por el fabricante del sensor.

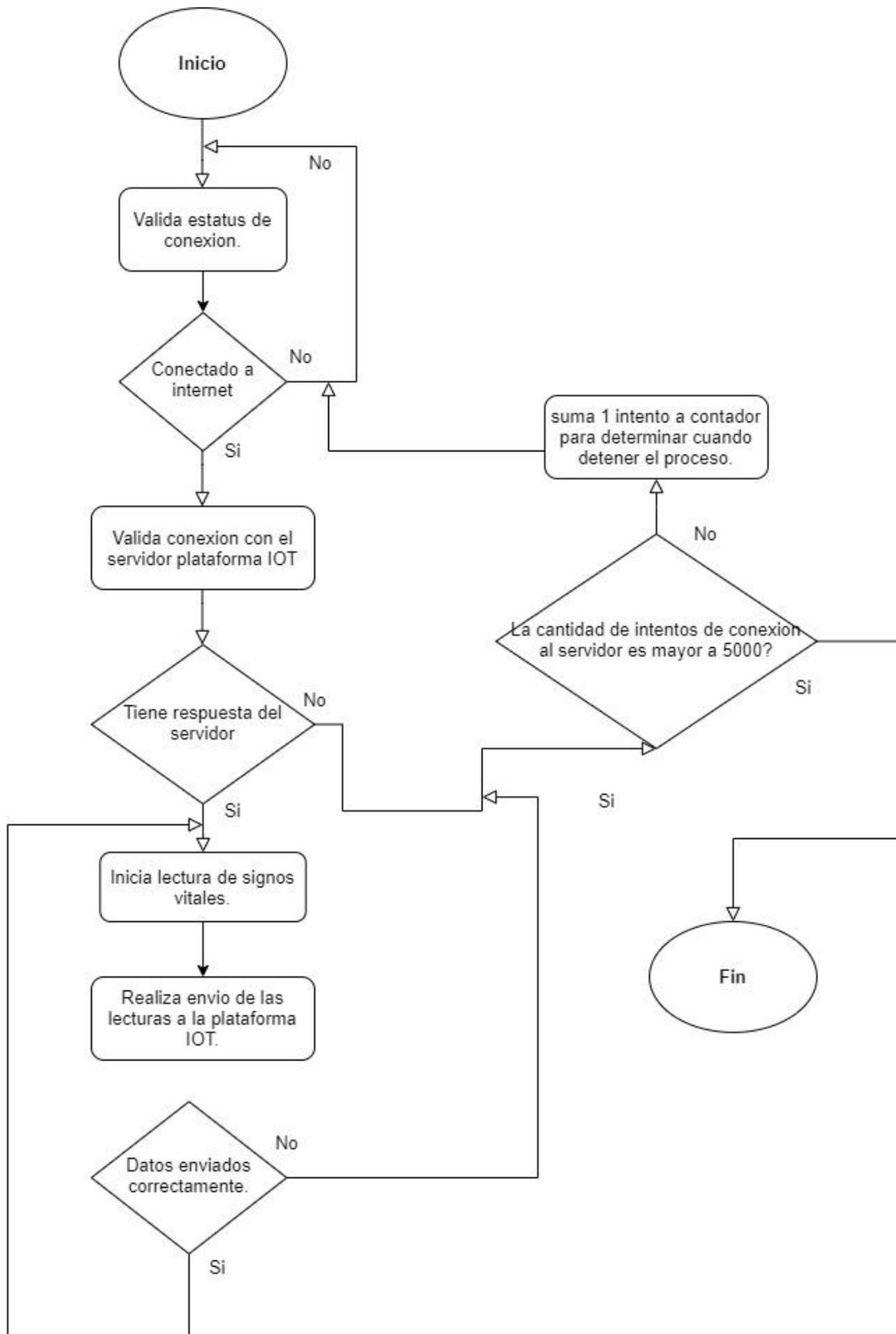


Ilustración 8 Lógica de función del prototipo

La lógica de función del prototipo establece que para este iniciar a realizar la medición de signos vitales primero debe de establecer una conexión a internet y verificar que este tiene acceso a la plataforma IOT, una vez esta conexión se establece inicia la lectura y envío de los signos vitales, en caso de que se manifieste algún problema de conexión este inicia un ciclo de reconexión mediante el cual realiza 5000 intentos de conexión previo a cesar sus funciones (el periodo de los 5000 intentos ocurre en un periodo menor a 10 minutos, este permite al dispositivo realizar una reconexión en caso de pérdida de conexión o algún error con el servicio de red).

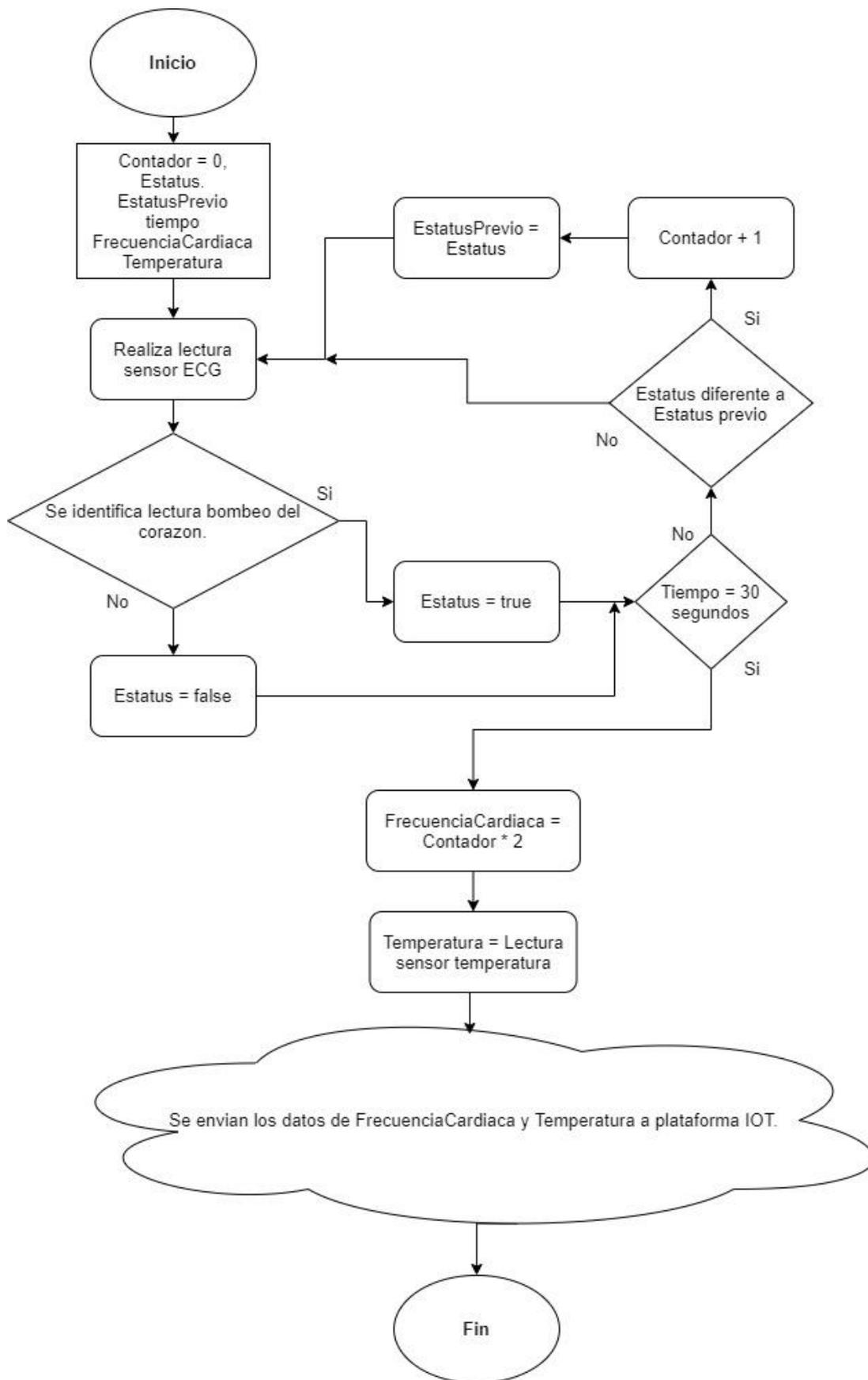


Ilustración 9 Lógica de medición de signos vitales

La lógica de lectura de los signos vitales se divide en la medición de la frecuencia cardiaca y la medición de la temperatura corporal.

Medición de frecuencia cardiaca: está basado en la identificación del patrón QRS del electrocardiograma el cual es el punto más alto de la lectura del sensor ECG y es donde se produce el bombeo de sangre por parte del corazón, de esta forma cada vez que se produce un latido este se registra en un contador el cual cada 30 segundos inicia el cálculo de la frecuencia cardiaca mediante multiplicar la cantidad de latidos registrados en 30 segundos por 2, así obtenemos la frecuencia cardiaca que es equivalente a la cantidad de veces que el corazón late en un periodo de 60 segundos.

Medición de temperatura: esta es realizada por medio de una librería ofrecida por parte del fabricante del sensor.

1.21.4.3 Configuración de distintos patrones de signos vitales aceptables.

1.21.4.3.1 Parámetros de frecuencia cardiaca normales en pacientes veterinarios de especie canina.

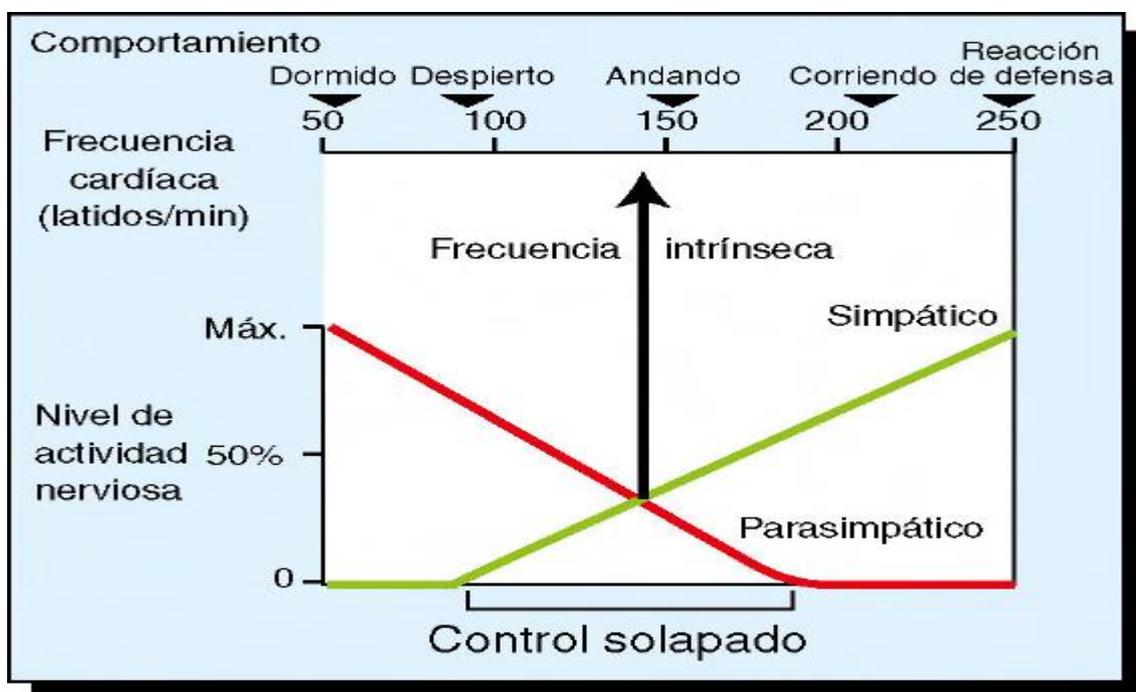


Ilustración 10 Parámetros de frecuencia cardiaca aceptables en caninos según caso.

FIGURA 19-9 La escala de arriba muestra que la frecuencia cardiaca de un perro grande normal se encuentra entre 50 y 250 latidos/min, según su estado. La grafica ilustra que este amplio intervalo de frecuencias cardiacas esta provocado por las interacciones entre la actividad nerviosa simpática, que acelera el corazón por encima de su frecuencia intrínseca, y la parasimpática, que lo hace más lento hasta por debajo de su frecuencia intrínseca. Los nervios parasimpáticos y simpáticos están activos simultáneamente durante un intervalo considerable de la frecuencia cardiaca (*control solapado*). Nótese que el corazón late a su frecuencia intrínseca (alrededor de 140 latidos/min) ya sea en ausencia de cualquier influencia nerviosa, o cuando los efectos simpáticos y parasimpáticos son iguales y opuestos. (Klein, Cunningham Fisiologia Veterinaria 5ta edicion., 2013)

1.21.4.3.2 Parámetros de temperatura normales en pacientes veterinarios de especie canina.

TABLA 53-2 Temperatura rectal (en °C) de mamíferos domésticos

Especie	Promedio	Intervalo
Gato	38,6	38,1-39,2
Vacuno (carne)	38,3	36,7-39,1
Vacuno (leche)	38,6	38,0-39,3
Perro	38,9	37,9-39,9
Asno	37,4	36,4-38,4
Cabra	39,1	38,5-39,7
Caballo	37,7	37,2-38,2
Cerdo	39,2	38,7-39,8
Oveja	39,1	38,5-39,9

Ilustración 11 Tabla de parámetros de temperatura normales según especie. (Klein, Cunningham Fisiologia Veterinaria 5ta. Edicion., 2013)

El control de la temperatura del paciente es un elemento básico dentro de la monitorización anestésica. La observación continua de la temperatura corporal permite la detección temprana de hipertermia maligna, así como las pérdidas accidentales de calor, lo que es mucho más frecuente. Durante la anestesia es común que se pierda entre 1 y 4 °C. Esta pérdida moderada no conlleva efectos serios, puede producir letargo en el paciente, reducción de los requerimientos anestésicos, enlentecimiento de la recuperación y escalofríos anestésicos. Pacientes que tiritan aumentan su consumo de O₂ hasta en un 300%. (Acevedo Arcique, Gutiérrez Blanco, & Ortega Pacheco, n.d.)

Por medio de la plataforma de Ubidots fueron configuradas alertas de acuerdo a los parámetros normales de signos vitales, en caso de que los valores obtenidos se salgan de los parámetros regulares se enviarán mensajes de alerta para garantizar que se tome acción de forma oportuna.

Para la fase de desarrollo e integración de una aplicación móvil para el seguimiento de los signos vitales se determinó como más eficiente la plataforma de Arduino IOT cloud, ya que esta plataforma nos permite el almacenamiento histórico de los valores registrados por el prototipo y ofrece un API que nos permite conectar nuestra aplicación móvil y consultar las propiedades registradas por nuestro dispositivo IOT, como también incluye la integración con plataforma como IFTTT, para crear condiciones que entren en función si una de nuestras propiedades no está dentro de los parámetros establecidos.

Selección de plataforma para enviar los datos obtenidos.

Para la elaboración de este proyecto se evaluaron varias plataformas que brindan soporte a proyectos de IOT, como lo son Blynk, Cayenne, Ubidots, Arduino lot cloud y Firebase.

De las distintas plataformas de IOT la que mejor compatibilidad ofrece para el Board Arduino seleccionado para el proyecto fue Ubidots, por lo cual fue seleccionada como la preferida para este proyecto ya que ofrece opciones que van acorde con las necesidades del proyecto.

Ubidots es una plataforma que permite administrar proyectos de IOT, realizar envío y recepción de datos, brinda herramientas para representar las variables obtenidas de los dispositivos IOT como también incluye un histórico de los datos recibidos de los sensores y la función de configurar alarmas o alertas mediante parámetros establecidos por el usuario.

Al momento de desarrollar la aplicación para móvil se utilizó la plataforma de MIT App inventor ya que esta ofrece un modelo de diseño intuitivo y simple, y la plataforma de Arduino IOT cloud ya que brinda una funcionalidad más flexible para su integración con aplicaciones de terceros y la consulta de datos de las propiedades registradas dentro de la plataforma.

La plataforma de Arduino lot cloud ofrece las funcionalidades que tiene Ubidots adicionando las ventajas de su editor en línea y la integración de eventos con If This Then That (IFTTT), la cual nos permite la configuración de las alertas en los dispositivos móviles.

Monitor de signos vitales

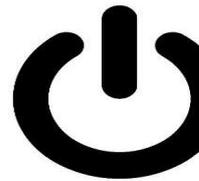
Cubiculo 1



254



36.0625



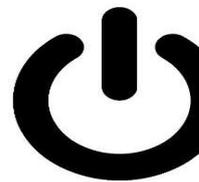
Cubiculo 2



N/A



N/A



Solicitando informacion

Ilustración 12 Aplicación móvil para monitoreo de signos vitales.

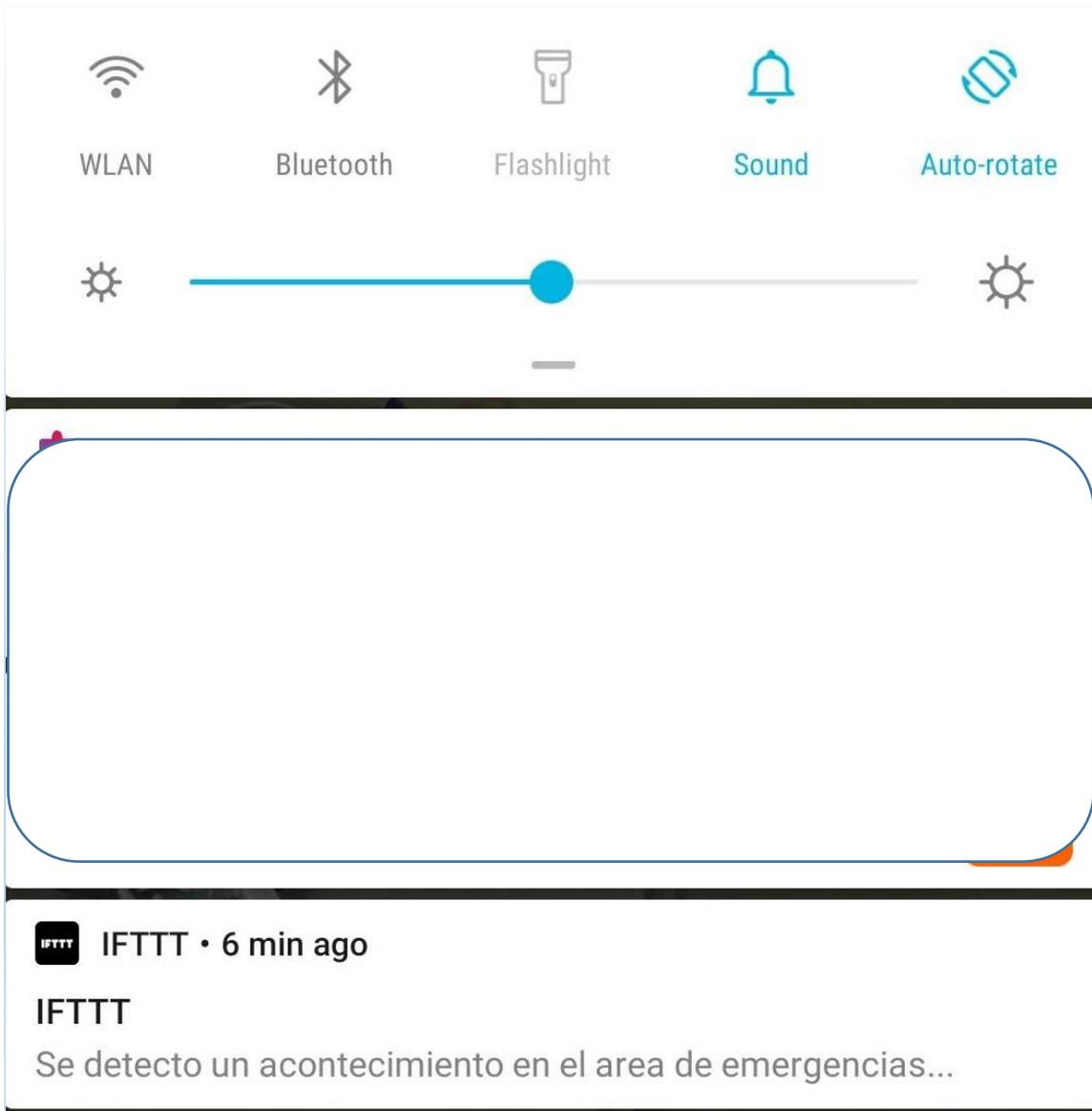


Ilustración 13 Notificaciones resultantes de la lectura de parámetros irregulares por el dispositivo.

1.21.4.4 Pruebas de envío y recepción de datos a la plataforma.

Esto es posible gracias a que la plataforma IOT seleccionada tiene una página web donde podemos consultar los datos adquiridos mediante los sensores del dispositivo como también ofrece una App móvil que permite al usuario consultar la información desde cualquier lugar que le ofrezca conexión a internet.

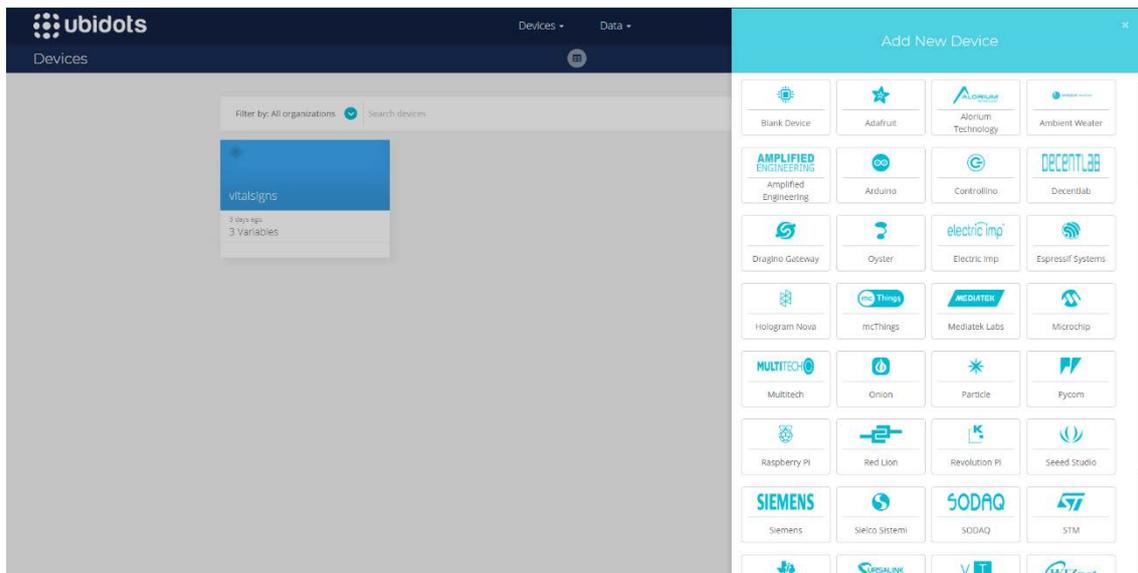


Ilustración 14 Opciones para agregar dispositivos

La plataforma de Ubidots brinda facilidades al usuario para agregar una amplia gama de dispositivos IOT como también ofrece las librerías de conexión para los distintos dispositivos.

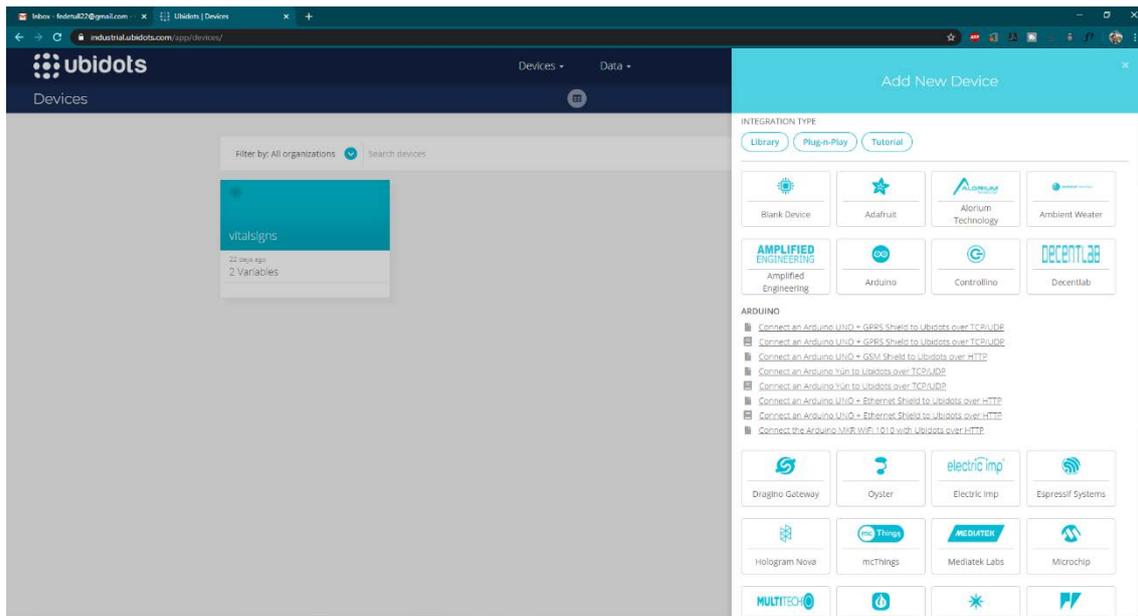


Ilustración 15 Opciones dispositivos Arduino

Luego de seguir los pasos que ofrece la plataforma se realizan las pruebas de envío de datos, estos se envían utilizando un ejemplo que contiene la librería de como enviar los datos en formato Json a un api ofrecido por la plataforma a cada usuario.

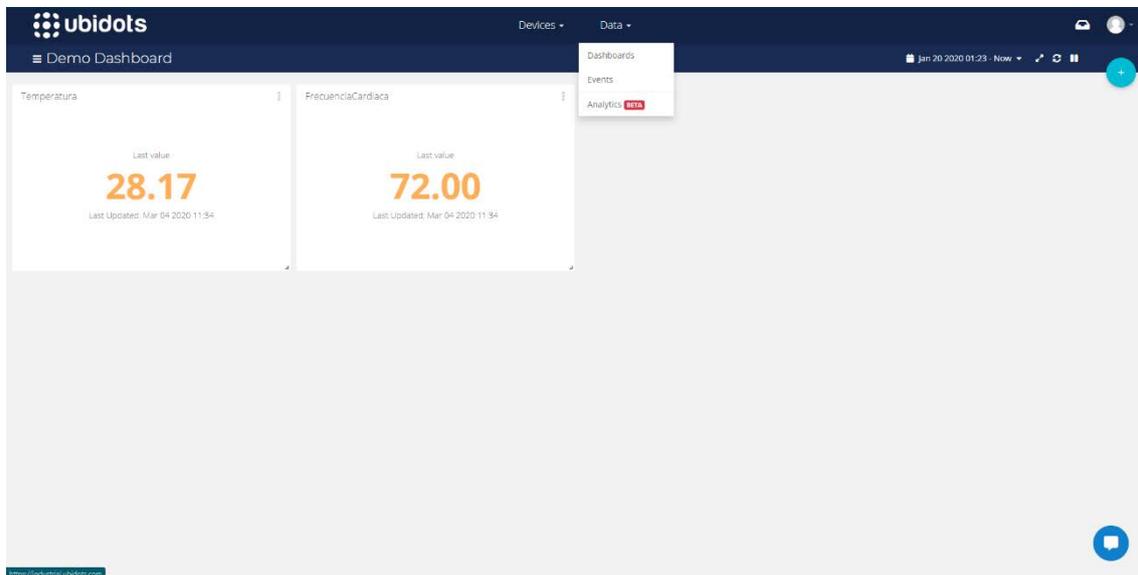
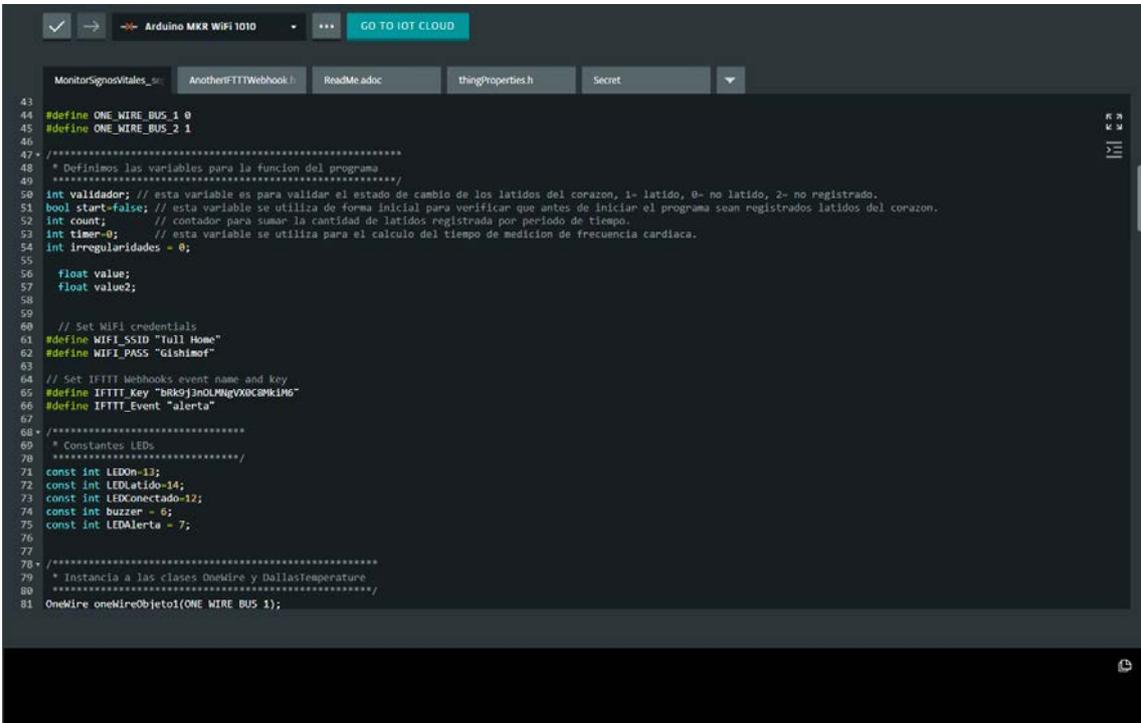


Ilustración 16 Parámetros recibidos en la plataforma desde el dispositivo IOT

Para realizar la integración de una app móvil y tener más flexibilidad en la consulta de datos registrados por el dispositivo se utilizó la plataforma de Arduino lot cloud ya que esta ofrece un entorno de desarrollo integrado que nos permite realizar la programación del dispositivo en su plataforma web y también integra esta con el dispositivo y las propiedades del mismo, permitiendo así supervisar las lecturas de los signos vitales registradas por el dispositivo y la programación y configuración de las mismas.



```
43
44 #define ONE_WIRE_BUS_1 0
45 #define ONE_WIRE_BUS_2 1
46
47 *
48 * Definimos las variables para la función del programa
49 *
50 int validador; // esta variable es para validar el estado de cambio de los latidos del corazon, 1- latido, 0- no latido, 2- no registrado.
51 bool start=false; // esta variable se utiliza de forma inicial para verificar que antes de iniciar el programa sean registrados latidos del corazon.
52 int count; // contador para sumar la cantidad de latidos registrada por periodo de tiempo.
53 int timer=0; // esta variable se utiliza para el calculo del tiempo de medicion de frecuencia cardiaca.
54 int irregularidades = 0;
55
56 float value;
57 float value2;
58
59
60 // Set WIFI credentials
61 #define WIFI_SSID "Tull Home"
62 #define WIFI_PASS "Gishmof"
63
64 // Set IFTTT webhooks event name and key
65 #define IFTTT_Key "B8S9J3nDLWgV8C3MR1M6"
66 #define IFTTT_Event "alerta"
67
68 *
69 * Constantes LEDs
70 *
71 const int LED0n=13;
72 const int LEDLatido=14;
73 const int LEDConectado=12;
74 const int buzzer = 0;
75 const int LEDAlerta = 7;
76
77
78 *
79 * Instancia a las clases OneWire y DallasTemperature
80 *
81 OneWire oneWireObjeto1(ONE_WIRE_BUS_1);
```

Ilustración 17 Editor web arduino iot cloud

La plataforma de Arduino lot cloud ofrece bastante documentación sobre como integrar su API con App inventor y tiene menos limitantes al realizar consumo de datos comparándolo con Ubidots.

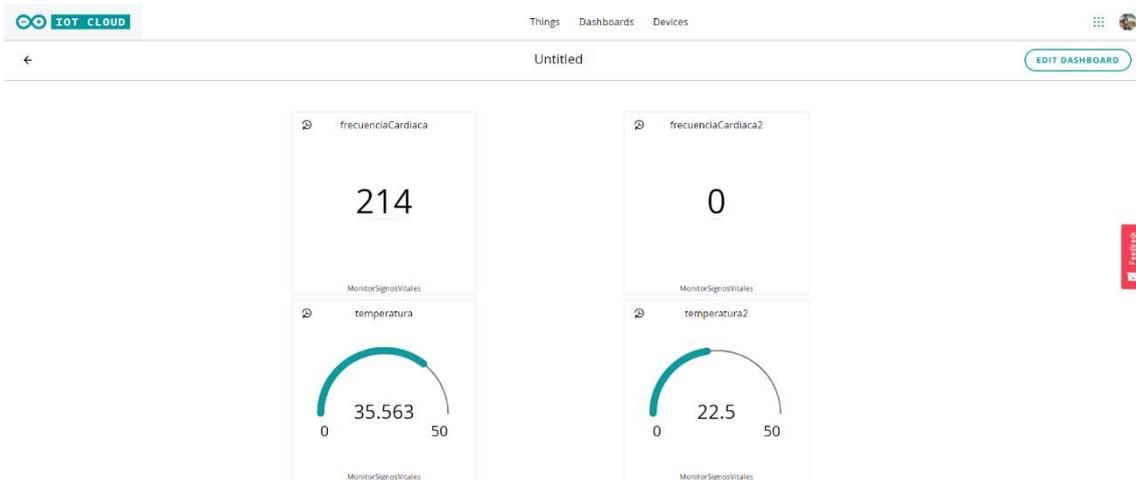


Ilustración 18 Sección del dashboard donde podemos visualizar los signos vitales en la plataforma Arduino.

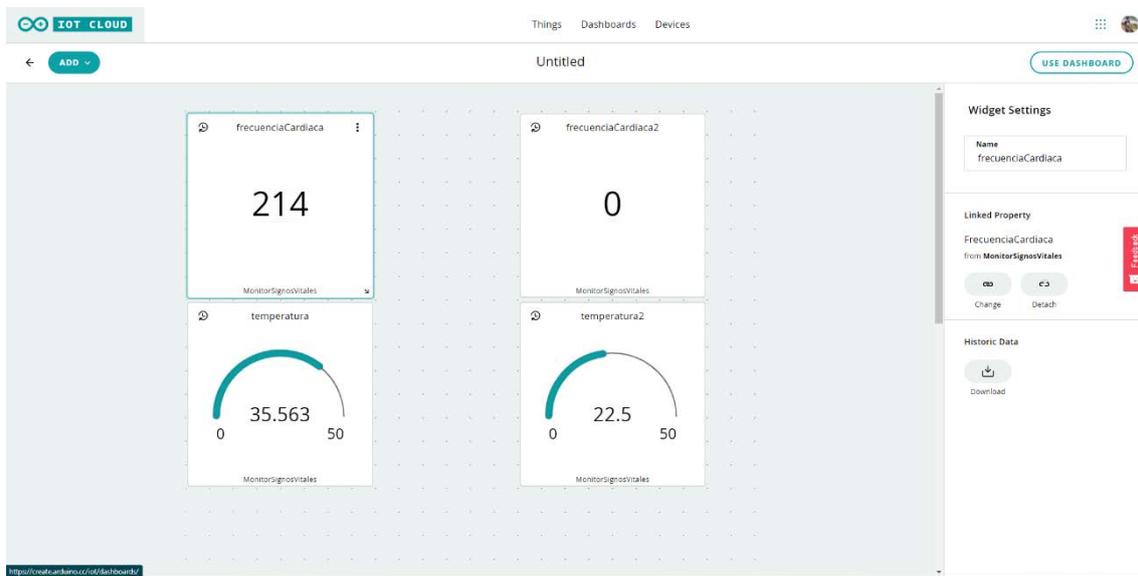


Ilustración 19 Descarga de histórico de datos de cada propiedad.

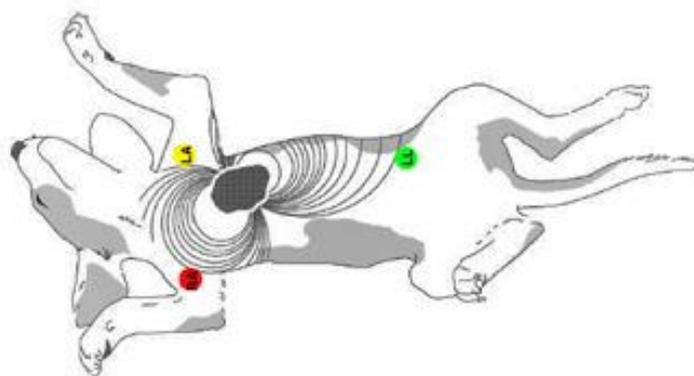
Otra de las características de la plataforma es que esta permite descargar el histórico de datos registrados por cada propiedad, ofreciendo el beneficio de hacer un posterior análisis de estos.

1.21.5 OE4. Poner en operación el prototipo para fines de pruebas y ajustes.

1.21.5.1 Identificación de puntos de medición de signos vitales en pacientes.

Al momento de identificar los puntos de obtención de los signos vitales con el sensor óptico de frecuencia cardiaca, no fue posible establecer el punto de medición ya que la piel de los pacientes veterinarios tiene diferencias en relación a la piel humana y el pelaje de este tipo de pacientes interfiere con la lectura de los cambios en el haz de luz emitido por el sensor, esto produce que no sea posible utilizar este sensor para el cumplimiento de los objetivos establecidos para el proyecto.

Luego de identificar que el sensor óptico no produce resultados en el medio a utilizar se integró otro tipo de sensor al proyecto, el cual funciona con la lectura de las frecuencias eléctricas que emite el corazón por medio de su funcionamiento, los puntos de medición que deben ser utilizados con este sensor están previamente establecidos ya que son los mismos utilizados para la realización de Electrocardiograma (ECG).



<Standard 3 Electrode Placement>

Ilustración 20 Estándar posicionamiento electrodos

1.21.5.2 Pruebas de datos obtenidos por medio del prototipo y comparativas con valores obtenidos desde equipos médicos.

Luego de realizada la comparación de los signos vitales obtenidos por el prototipo se verifico que este ofrece datos equivalentes a los registrados por parte de dispositivos médicos destinados a estas funciones.

1.21.5.2.1 Caso de evaluación 1

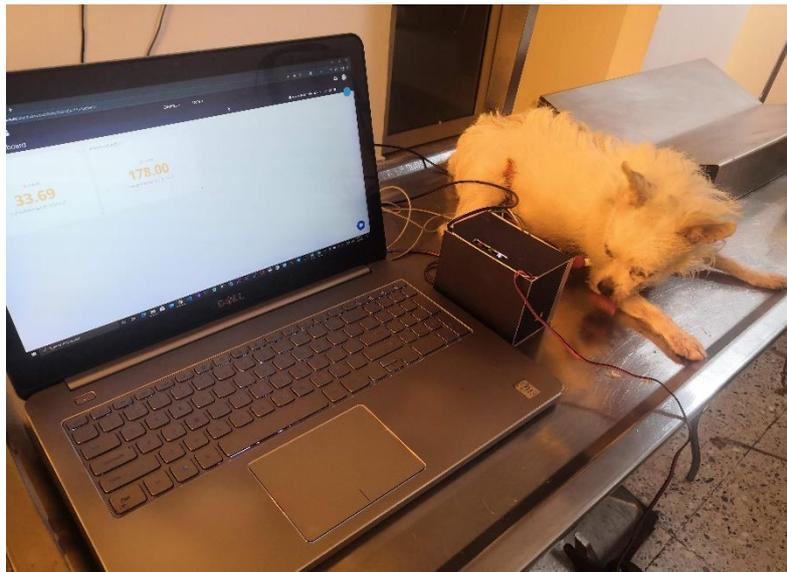


Ilustración 21 Chihuahua operado por obstrucción en la vejiga urinaria debido a piedras.

Se puede verificar que la frecuencia cardiaca se encuentra en 178 y temperatura de 33.69 grados Celsius, que es normal en un cuadro de recuperación postquirúrgico.



Ilustración 22 Signos vitales obtenidos por equipos médicos.



Ilustración 23 Signos vitales obtenidos por equipos médicos.

Luego de comparar los signos vitales obtenidos por el prototipo y los valores obtenidos por el monitor de signos vitales la frecuencia cardiaca tiene una diferencia de 4 latidos por minuto y la temperatura en ambos, mostro una diferencia de 0.01, (33.69 obtenidos por el prototipo y 33.70 obtenidos por el monitor de signos vitales.

1.21.5.2.2 Caso de evaluación 2

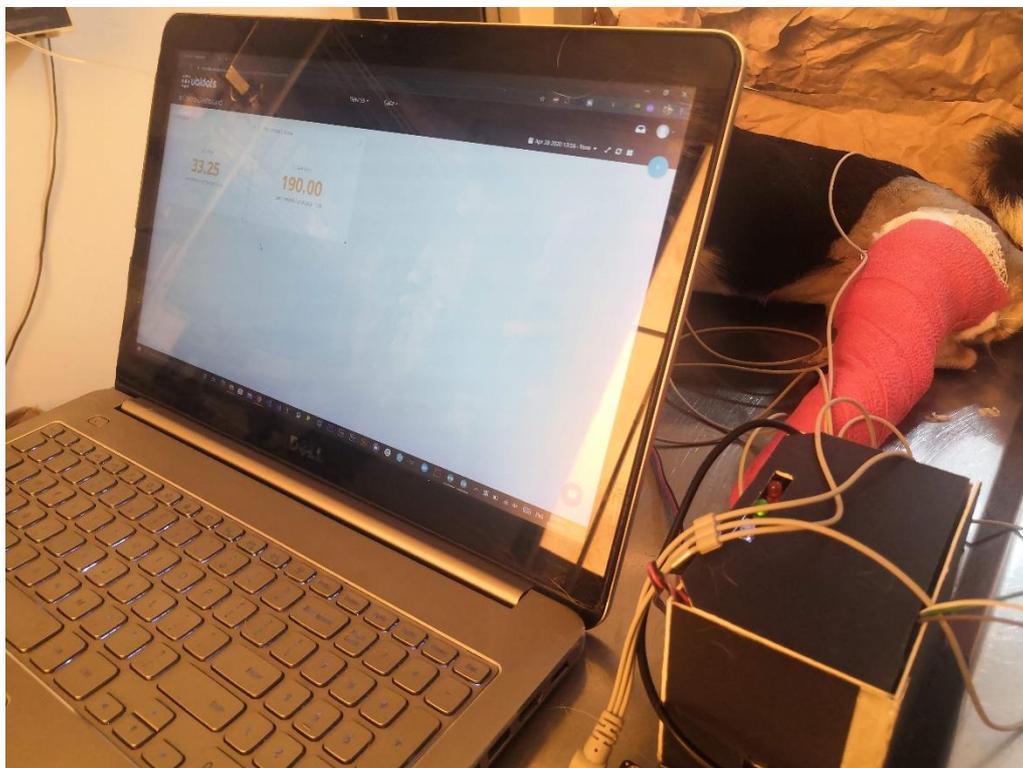


Ilustración 24 Evaluación de signos vitales en paciente de reconstrucción de rodilla.



Ilustración 25 Valores obtenidos por monitor en caso 2



Ilustración 26 Lecturas herradas obtenidas por monitor signos vitales en caso 2

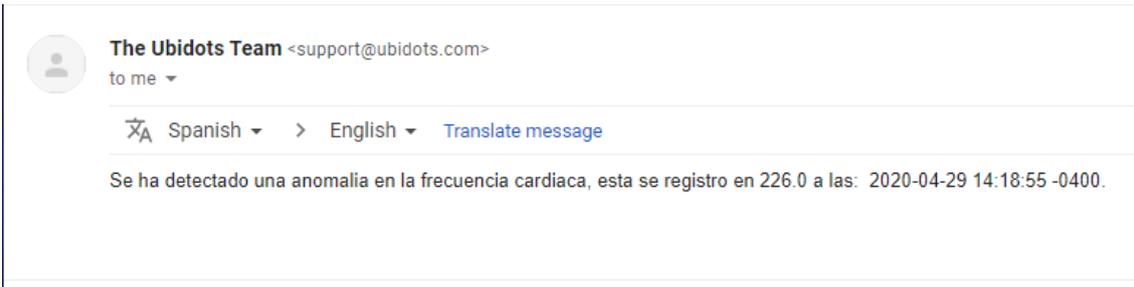


Ilustración 27 Alerta frecuencia cardiaca alta, caso 2

En el caso 2 se pudo evidenciar una diferencia en la frecuencia cardiaca de hasta 46 latidos por minuto y una diferencia de temperatura de 0.75 grados Celsius, mostrando así que en algunos casos las lecturas pueden variar mucho dependiendo el estado del paciente, en este caso se produjeron lecturas erróneas debido a que el paciente tenía temblores mientras se encontraba en recuperación y estas lecturas erróneas se produjeron tanto en el prototipo como en el monitor de signos vitales.

1.21.5.2.3 Caso de evaluación 3

Esta prueba se realizó con la plataforma de Arduino IoT cloud, la aplicación móvil y las notificaciones al teléfono por medio de la plataforma IFTTT, al momento del dispositivo identificar irregularidades inicia la activación de los actuadores (indicador led y buzzer) los cuales el proceso de identificación del paciente que está presentando un cuadro de evolución no adecuado.

La prueba fue realizada en un Chihuahua llamado Carlitos, este paciente presentaba una contusión en la pata posterior derecha.



Ilustración 28 Prueba en paciente Chihuahua.

Se puede ver la adición de una caja donde se encuentran los actuadores de forma que esta se ponga delante del cubículo del paciente que se está monitorizando y así notifique mediante el sonido del buzzer y el led en caso de que el paciente se encuentre en un cuadro de evolución no favorable.

1.21.5.2.4 Caso de evaluación 4

La prueba fue realizada en un Shih-Tzu llamado chubby, este paciente se encontraba en un proceso de recuperación de una cirugía de esterilización.

Se identifico que las superficies que facilitan la conductividad eléctrica pueden afectar de forma negativa las lecturas realizadas por el sensor ECG. Presentando lecturas de signos vitales fuera de los valores reales.

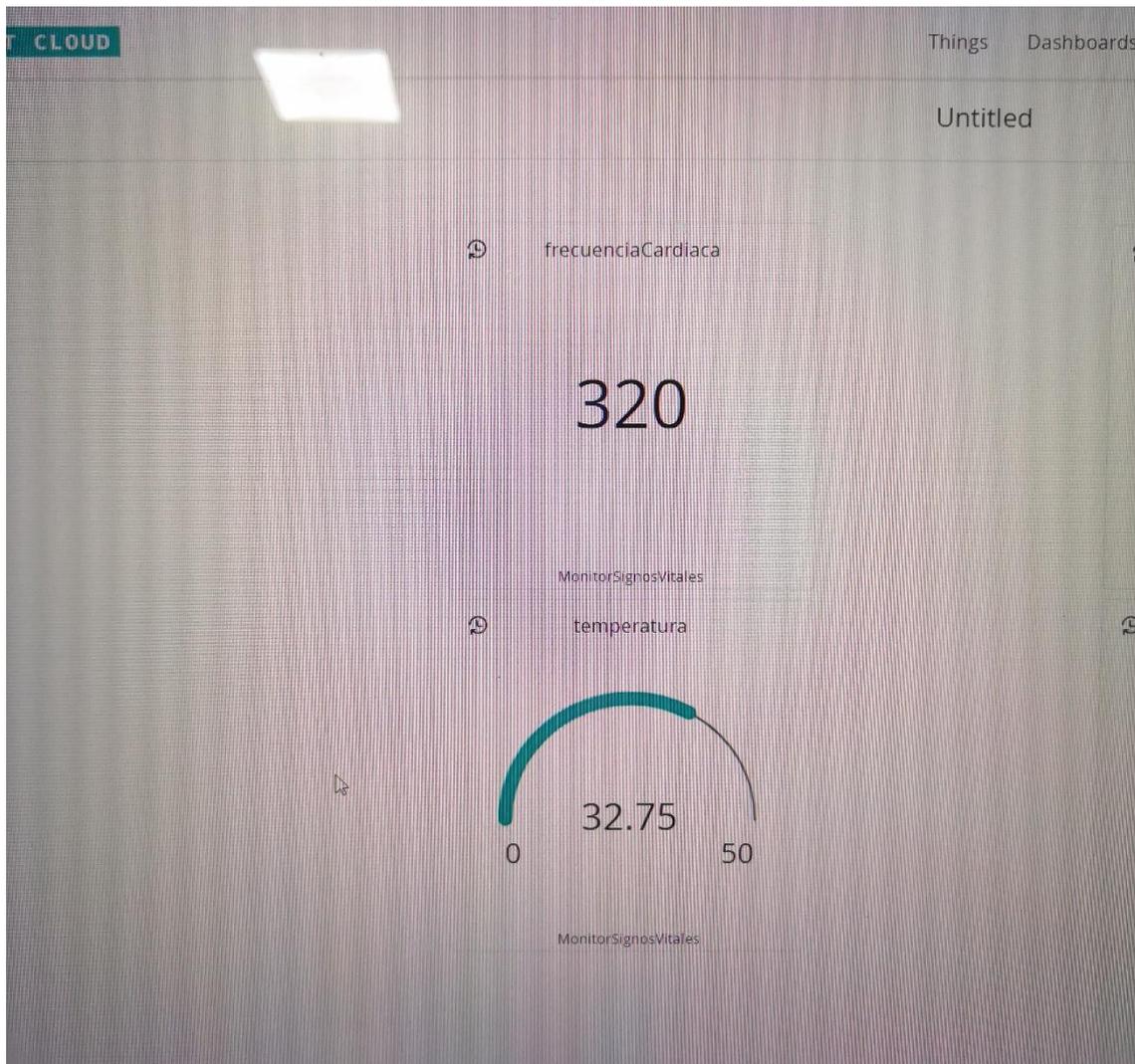


Ilustración 29 Lectura de signos vitales afectada por la interferencia de la superficie de metal.

En la realización de esta prueba se utilizó papel periódico para evitar el contacto de los terminales del sensor ECG. Con la superficie metálica de la mesa ya que se identificó que esta afecta de forma momentánea las lecturas realizadas por el sensor.



Ilustración 30 Prueba prototipo y actuadores en Shih-tzu

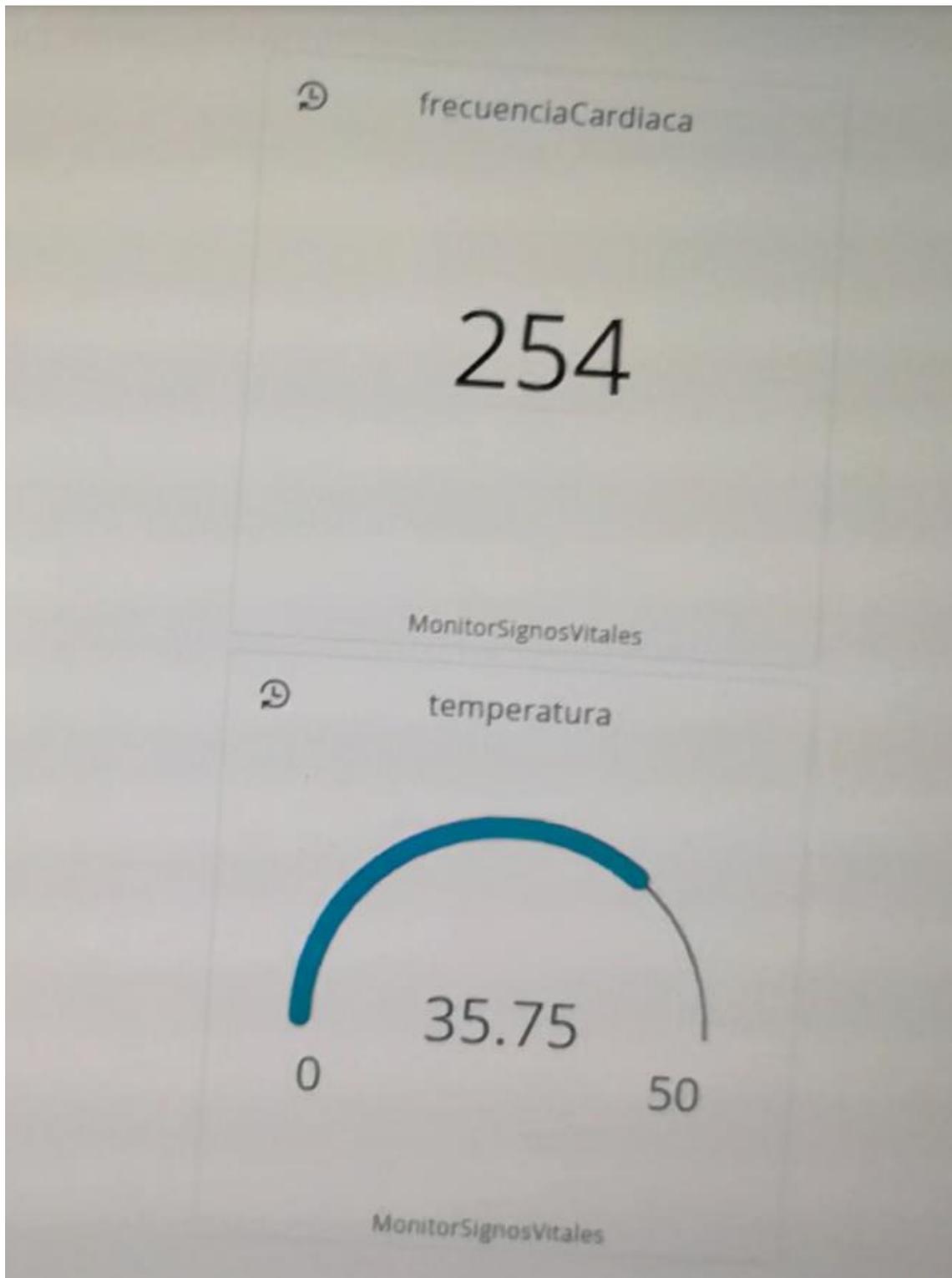


Ilustración 31 Signos vitales registrados en la prueba del paciente Chubby (en presencia de interferencia por parte de la superficie).



Ilustración 32 Monitoreo de signos vitales realizados mediante la aplicación móvil caso Chubby.

Se pudo identificar que al momento de pasar el proceso de anestesia en los pacientes estos tienen temblores y provoca que la lectura de frecuencia cardiaca entre en presencia de irregularidades y proporcione valores por encima de los normal.

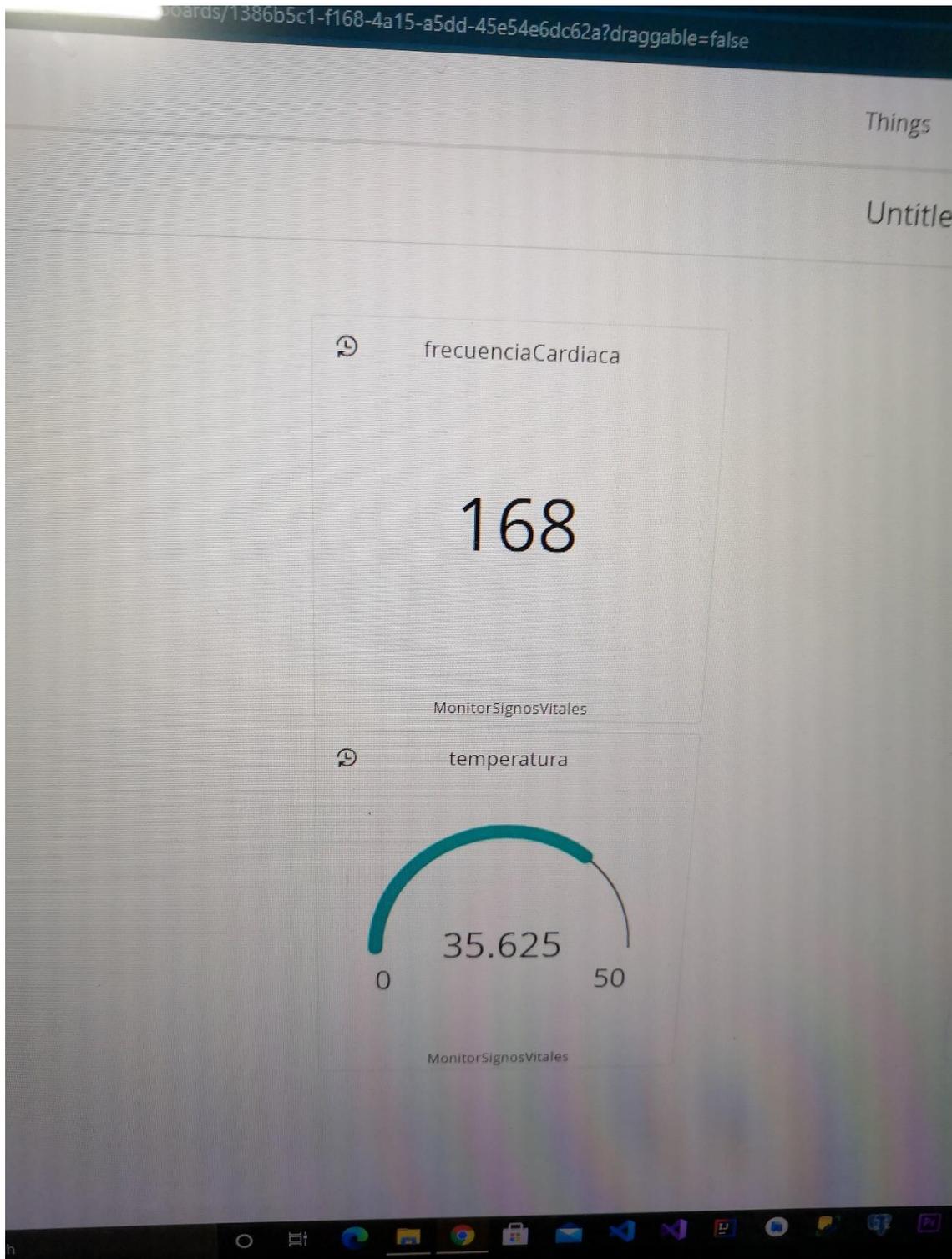


Ilustración 33 Lectura de signos vitales de chubby luego de utilizar periódico para evitar interferencia por la superficie.

El prototipo es capaz de realizar la lectura de signos vitales de forma eficiente, estas lecturas ofrecen valores equivalentes a equipos de monitoreo de signos vitales, diferenciándose en el punto de que gracias a la disposición de puertos que tiene el board Arduino es posible realizar la implementación de un centro de cuidados intensivos ya que podemos agregar más sensores al mismo y monitorizar a más de un paciente, incluyendo los beneficios de la aplicación del IoT para la monitorización de estos desde cualquier lugar con conexión a internet con nuestro dispositivo móvil o computadora y el almacenamiento del histórico de las lecturas de signos vitales de los pacientes en la nube.

En algunos casos el prototipo puede realizar lecturas erróneas al igual que equipos médicos como monitores de signos vitales, e incluso puede llegar a generar alertas con relación a la condición del paciente sin que la condición que genera dicha alerta se manifieste, se determinó como recomendable que las alertas se generen si el comportamiento que las genera se mantiene durante un periodo de tiempo mayor a 1 minuto para reducir las posibilidades de falsas alarmas.

Se evidenció que la lectura de frecuencia cardiaca se puede ver afectada si los terminales del sensor tienen contacto con una superficie que favorezca la conductividad eléctrica como el caso de la mesa donde se realizaron las pruebas, luego de eliminar la interferencia no se detectaron más lecturas erróneas que condujeran a falsas alarmas por parte del dispositivo.

Se identifico que los pacientes que están en proceso de recuperación (normalmente se encuentran bajo efectos de anestesia) pueden arrojar un patrón de signos vitales fuera de los parámetros establecidos como normales, tomando en cuenta que la temperatura de un paciente canino bajo los efectos de la anestesia puede descender de 1 a 4 grados Celsius y que al momento de terminar los efectos de los anestésicos es normal que algunos pacientes presenten temblores alterando así las lecturas cardiacas y levantando falsas alarmas.

1.21.5.2.5 Tabla comparativa pruebas prototipo contra pruebas monitor tradicional

Comparación de lecturas del prototipo contra monitor de signos vitales tradicional.					
Frecuencia cardiaca			Temperatura		
Prototipo	Monitor tradicional	Diferencia	Prototipo	Monitor tradicional	Diferencia
178 BPM	171 BPM	7 BPM	33.69 C	33.70 C	0.01 C
190 BPM	236 BPM	46 BPM	33.25 C	32.50 C	0.75 C
142 BPM	160 BPM	18 BPM	37.31 C	37.10 C	0.21 C
120 BPM	135 BPM	15 BPM	36.80 C	36.93 C	0.13 C

Capítulo 3 Conclusiones

Desde sus inicios, la tecnología ha formado parte fundamental en el desarrollo de la humanidad, dentro de sus variantes, en la rama de las ciencias de la salud esta resulta ser de gran impacto en la actualidad ya que por medio de la aplicación de las diferentes tecnologías como lo son el internet de las cosas se consigue mejorar los procesos ya existentes, haciéndolos así más eficientes.

Los objetivos de este proyecto se lograron a base de investigar y elaborar un prototipo de monitor de signos vitales, como también la observación de los resultados ofrecidos por este con relación a dispositivos médicos destinados a esta tarea.

Se evaluaron diferentes plataformas como Arduino Iot cloud, Cayenne, Firebase, Ubidots, de las cuales al principio fue seleccionada Ubidots por ser la plataforma con las opciones de configuración de monitoreo y alertas más simple, pero al momento de su integración con aplicaciones de terceros se identificó que Arduino Iot cloud es una plataforma más abierta y ofrece un API con más posibilidades y documentación para los fines requeridos.

Con lo expresado anteriormente, se puede determinar que es posible cumplir con los objetivos establecidos gracias a que el prototipo es capaz de realizar la lectura de signos vitales de forma eficiente, estas lecturas ofrecen valores equivalentes a equipos de monitoreo de signos vitales y el mismo es capaz de enviar alertas de forma oportuna de acuerdo a las condiciones establecidas.

En algunos casos el prototipo puede realizar lecturas erróneas al igual que equipos médicos como monitores de signos vitales, e incluso puede llegar a generar alertas con relación a la condición del paciente sin que la condición que genera dicha alerta se manifieste, se determinó como recomendable que las alertas se generen si el comportamiento que las genera se mantiene durante un periodo de tiempo mayor a 1 minuto para reducir las posibilidades de falsas alarmas y se debe evitar el monitoreo de pacientes cuando estos se encuentren en superficies de metal ya que estas favorecen la conductividad eléctrica y afecta las lecturas realizadas por el sensor ECG.

Los componentes utilizados para la elaboración del prototipo funcionan de manera eficiente realizando la lectura de signos vitales, dentro de este renglón cabe destacar que no fue posible realizar lectura de frecuencia cardiaca en pacientes veterinarios con sensores ópticos, ya que estos están elaborados para funcionar con la piel humana y tienen mucha interferencia a causa del pelaje de estos pacientes.

El beneficio principal que traerá nuestro proyecto a los centros veterinarios es la reducción de personal dedicado al seguimiento de pacientes veterinarios en cuidados intensivos, la intervención oportuna en caso de identificar irregularidades en los signos vitales de estos pacientes gracias a las alertas emitidas por los actuadores, las notificaciones a los dispositivos móviles de los médicos veterinarios del centro donde este sea implementado y la obtención de datos que pueden abrir las puertas a futuros proyectos en el desarrollo de aplicaciones para el aprovechamiento de los mismos.

Este proyecto puede funcionar como base para la integración de Big data para el posterior análisis de los datos recopilados de los pacientes, de forma que sea posible desarrollar nuevas aplicaciones para el mismo.

Capítulo 4 Referencias

Referencias

330ohms. (s.f.). Obtenido de <https://www.330ohms.com/products/arduino-mkr-wifi-1010>

A. Barreto, V. B. (Noviembre de 2018). Prototipo de monitoreo cardiaco y deteccion de caidas aplicando IOT en la plataforma Particle Photon. Mexico, Puebla.

Acevedo Arcique, C. M., Gutiérrez Blanco, E., & Ortega Pacheco, A. (s.f.). *vanguardia veterinaria*. Obtenido de *vanguardia veterinaria Revista Especializada en Clínica de Pequeñas Especies*:
<https://www.vanguardiaveterinaria.com.mx/monitorizacion-durante-la-anestesi>

AllDataSheet.com. (s.f.). Obtenido de <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/527942/AD/AD8232.html>

aprendiendoarduino.wordpress.com. (s.f.). Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/mkr/>

aprendiendoarduino.wordpress.com. (s.f.). Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/11/11/arquitecturas-iot/>

arduino.cl. (s.f.). Obtenido de <https://arduino.cl/que-es-arduino/>

Arduino.cl. (s.f.). Obtenido de <https://arduino.cl/arduino-uno/>

bankinter., f. i. (s.f.). *Qué es Internet de las Cosas (IoT)*. Obtenido de fundacion innovacion bankinter.: <https://www.fundacionbankinter.org/que-es-internet-de-las-cosas-iot-/hardware>

- Big Data International Campus*. (s.f.). Obtenido de La relación de IoT con Big Data:
<https://www.campusbigdata.com/big-data-blog/item/101-relacion-iot-con-big-data>
- Case, A. (2011). *Frontiers of Interaction 2011: Cyborg Anthropology and the Evaporation of the Interface*.
- compelelectronica*. (s.f.). Obtenido de compelelectronica:
<https://www.compelelectronica.com/product/sensor-de-pulso-cardiaco-xd-58c-para-arduino-senpulso/>
- Ecured*. (s.f.). Obtenido de https://www.ecured.cu/Temperatura_corporal
- Elder, J. (2 de 9 de 2019). *Cómo Kevin Ashton nombró El Internet de las Cosas*. Obtenido de Avast Blog: <https://blog.avast.com/es/kevin-ashton-named-the-internet-of-things>
- G.Perez. (s.f.). *Gasometria.com*. Obtenido de <https://www.gasometria.com>), URL(https://www.gasometria.com/saturacion_de_oxigeno_en_sangre
- Gazitúa, D. R. (Septiembre de 2007). *web.archive.org*. Obtenido de Manual de semiología:
<https://web.archive.org/web/20130523103006/http://escuela.med.puc.cl/Public/ManualSemiologia/190Respiracion.htm>
- GWHeartandvascular.org*. (s.f.). Obtenido de http://www.gwheartandvascular.org/education/en-espanol/enfermedades/enfermedades_signosvital/
- Klein, B. G. (2013). *Cunningham Fisiología Veterinaria 5ta edición*. En B. G. Klein, *Cunningham Fisiología Veterinaria 5ta edición*. (pág. 179). Elsevier Saunders.
- Klein, B. G. (2013). *Cunningham Fisiología Veterinaria 5ta. Edición*. En B. G. Klein, *Cunningham Fisiología Veterinaria 5ta. Edición*. (pág. 564). Elsevier Saunders.

PetPace. (s.f.). Obtenido de SMART-SENSING COLLAR: <https://petpace.com/smart-sensing-collar/>

Platt, C. (2016). Encyclopedia of Electronic Components Vol3. En *Encyclopedia of Electronic Components Vol3* (págs. 183-185). Maker Media, Inc.

Professional Review. (s.f.). Obtenido de Que es cloud y para que sirve: <https://www.profesionalreview.com/2019/12/29/que-es-cloud-y-para-que-sirve/>

Rouse, M. (01 de 2017). *TechTarget.com*. Obtenido de <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/Internet-de-las-cosas-IoT>

SWENSON, M. J. (1999). Fisiología de los animales domesticos. En M. J. SWENSON, *Fisiología de los animales domesticos (2 Edicion)*. Mexico.

Universidad complutense de Madrid. (s.f.). Obtenido de ¿QUÉ ES BIG DATA?: <https://www.masterbigdataucm.com/que-es-big-data/>

Watts, S. (2016). Internet of Things (IoT): Applications, Technology & Privacy Issues. En S. Watts, *Internet of Things (IoT): Applications, Technology & Privacy Issues*. New York: Nova Science Publishers.

Wikipedia.org. (s.f.). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Frecuencia_card%C3%ADaca

Woodley Veterinary Diagnostics. (s.f.). Obtenido de VETERINARY IPHONE ECG MONITOR: <https://www.woodleyequipment.com/product/501/Veterinary-iPhone-ECG-Monitor>

Anexo A Patrón de signos vitales irregulares encontrados en proceso de cirugía

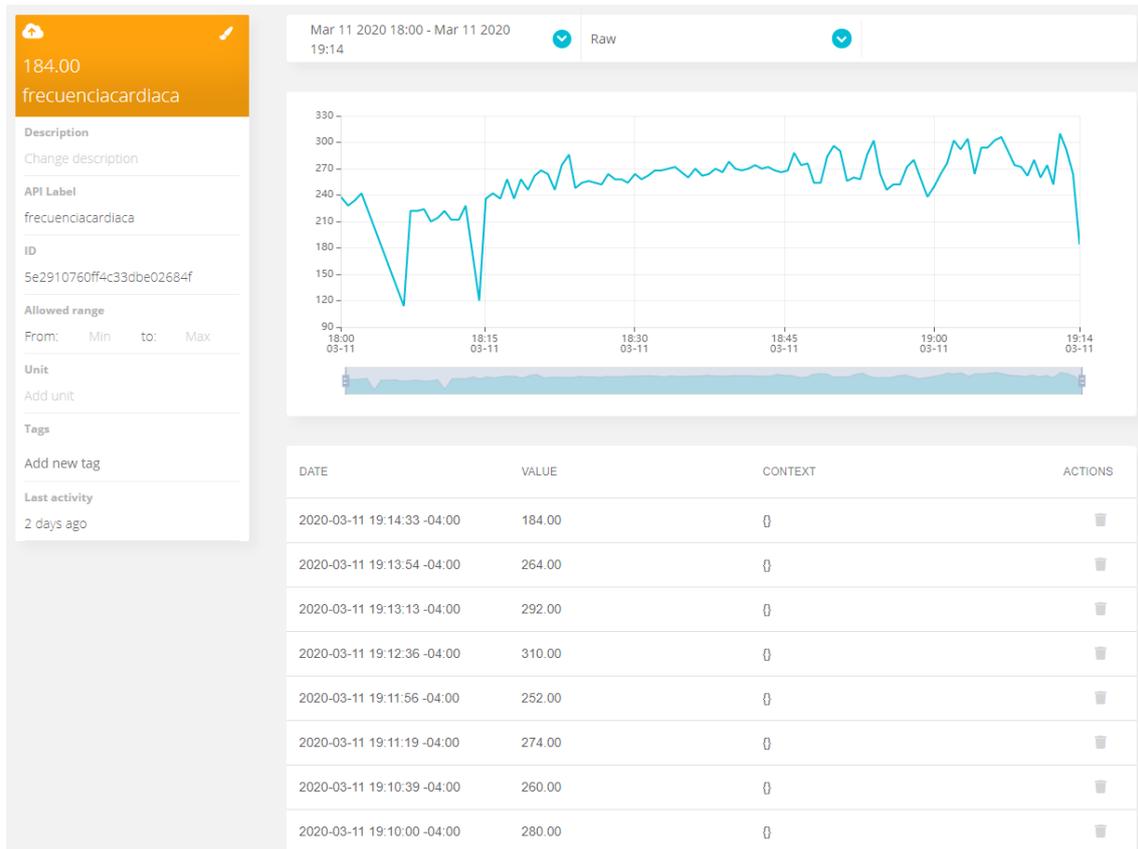


Ilustración 34 Histórico frecuencia cardiaca obtenida en proceso de cirugía.

Anexo B Elaboración de prototipo

La primera fase de elaboración del prototipo consiste en consultar la documentación de los fabricantes de los sensores para realizar la correcta conexión a la placa Arduino con el objetivo de validar el correcto funcionamiento de estos.

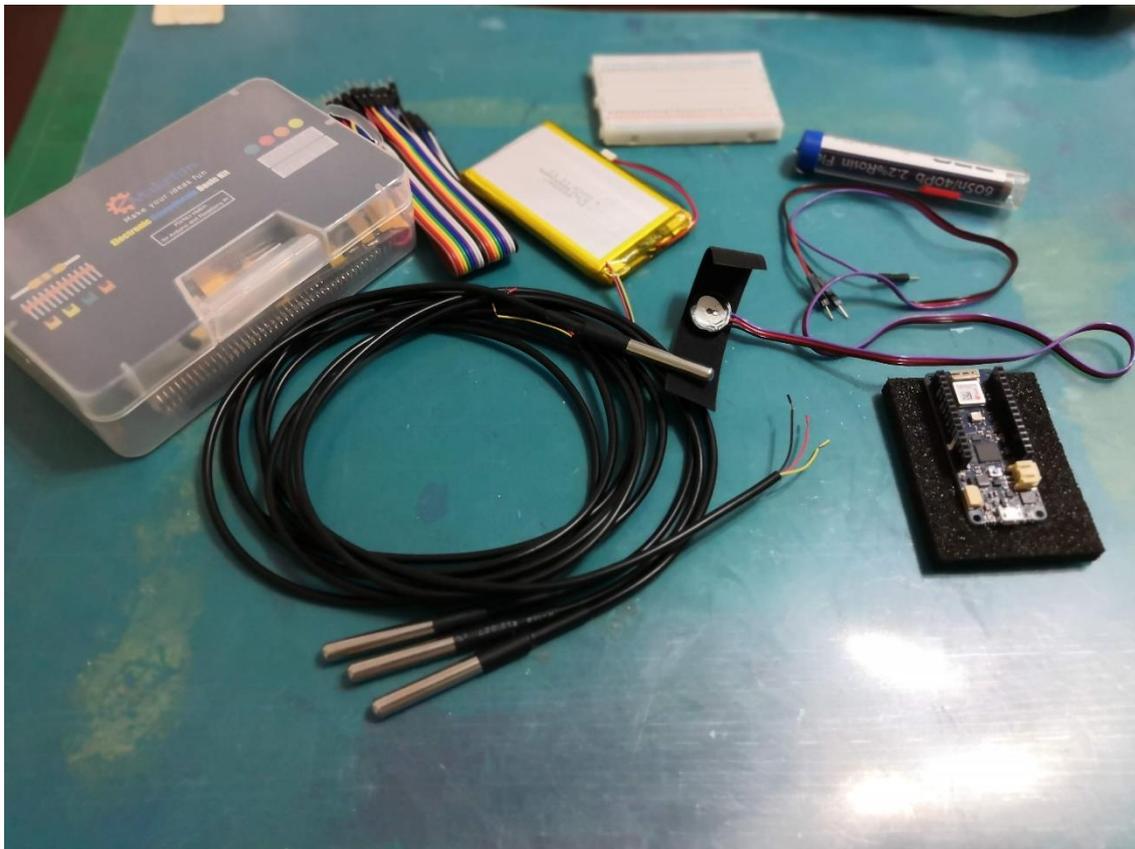


Ilustración 35 Elementos utilizados para la construcción del prototipo.

Una vez determinado el orden en que se conectan los sensores a la placa Arduino se inicia la construcción del prototipo, conexión del board y sensores, elaboración de caja para proteger los elementos del prototipo.

Para la conexión de los sensores se determinó que era una mejor practica el uso de Placas de Circuito impreso (PCB), haciendo una interfaz para cada sensor de modo que estos no estuviesen directamente conectados a la placa evitando así los posibles daños generados por los incidentes mediante el uso del prototipo.

Se elaboro un board con indicadores led para conocer el estado del dispositivo sin la necesidad de consultar la plataforma Ubidots, estas luces indican lo siguiente:

- Verde, indica que el prototipo se encuentra encendido y en funcionamiento.
- Blanco, indica que el prototipo está conectado a internet.

- Rojo, Indica cada latido del corazón del sujeto en observación.

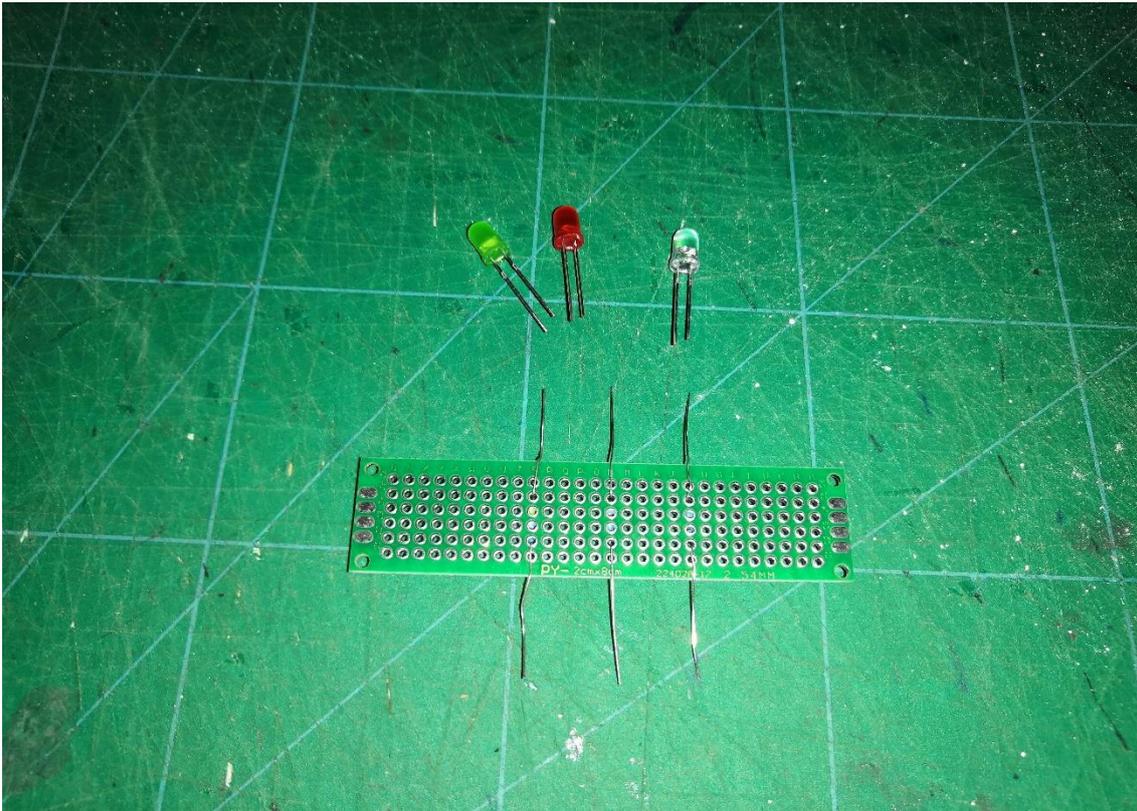


Ilustración 36 Diseño placa indicadores led prototipo.

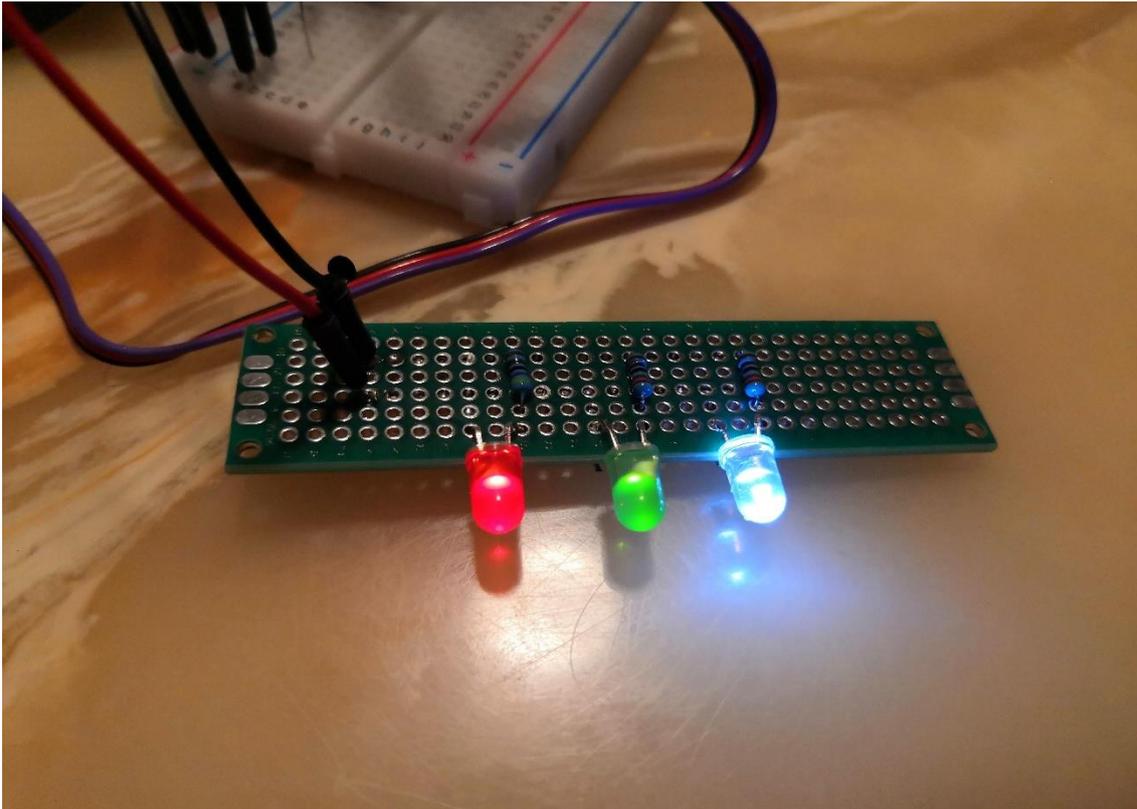


Ilustración 37 Placa indicadores led prototipo.

Una vez elaborados y conectados los boards para cada sensor se realizan pruebas para verificar que estos funcionan de forma adecuada y así proceder con la elaboración de una caja para proteger los componentes electrónicos.

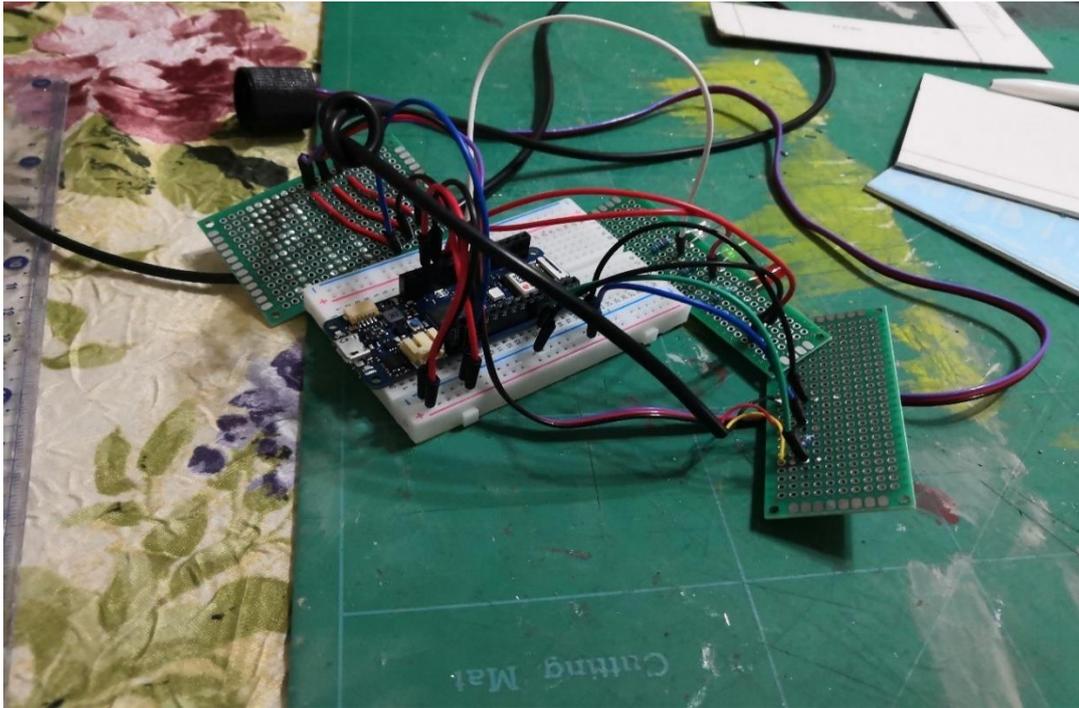


Ilustración 38 Componentes interconectados y funcionales del prototipo.



Ilustración 39 Componentes interconectados y funcionales del prototipo.

La caja fue elaborada con medidas de 11 x 8 x 11 Centímetros, (Largo, ancho y alto), de forma que hubiera espacio para colocar los boards correspondientes a cada sensor y los indicadores led.

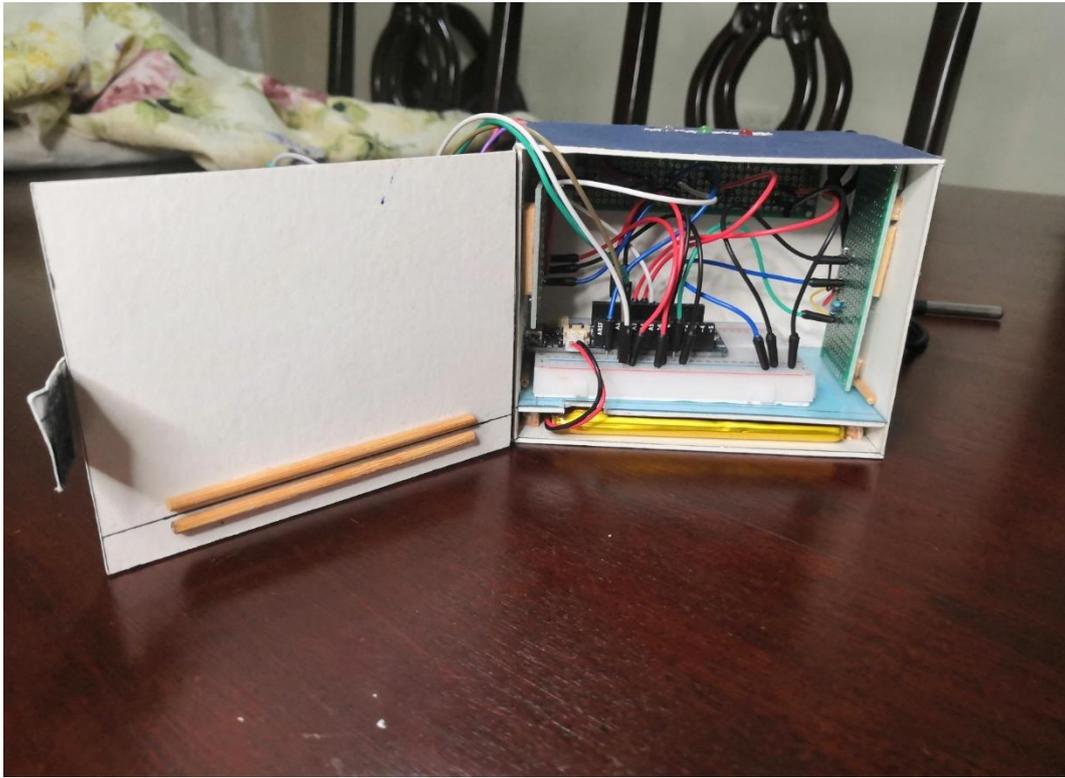


Ilustración 40 Prototipo funcional.

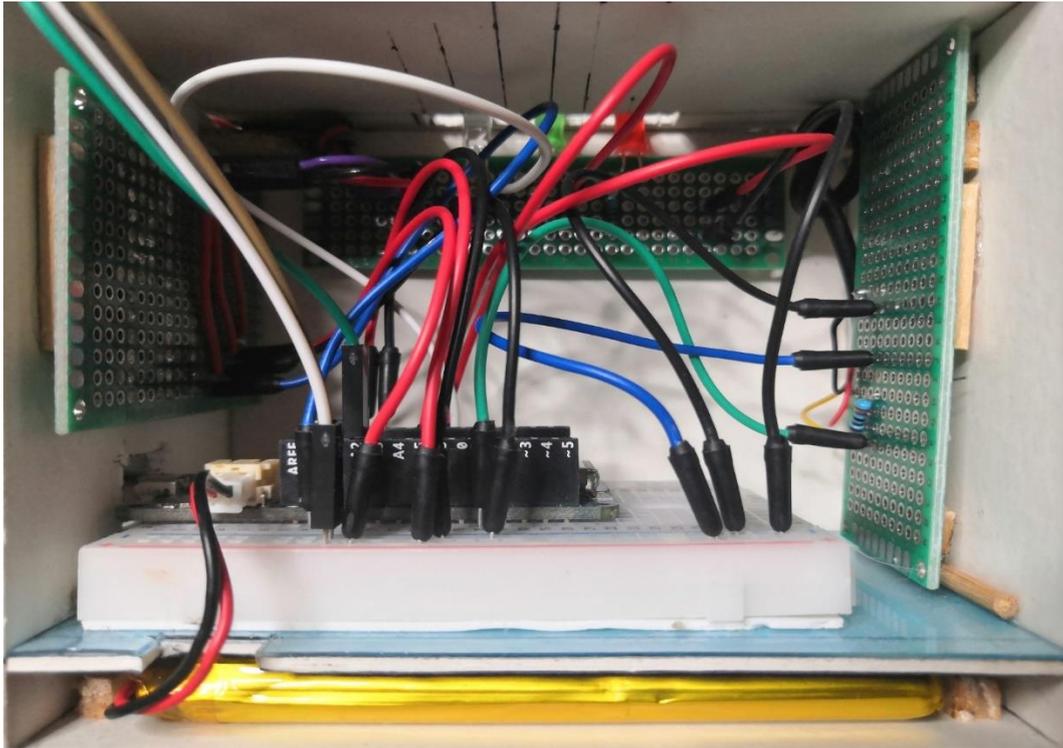


Ilustración 41 Interior prototipo funcional.

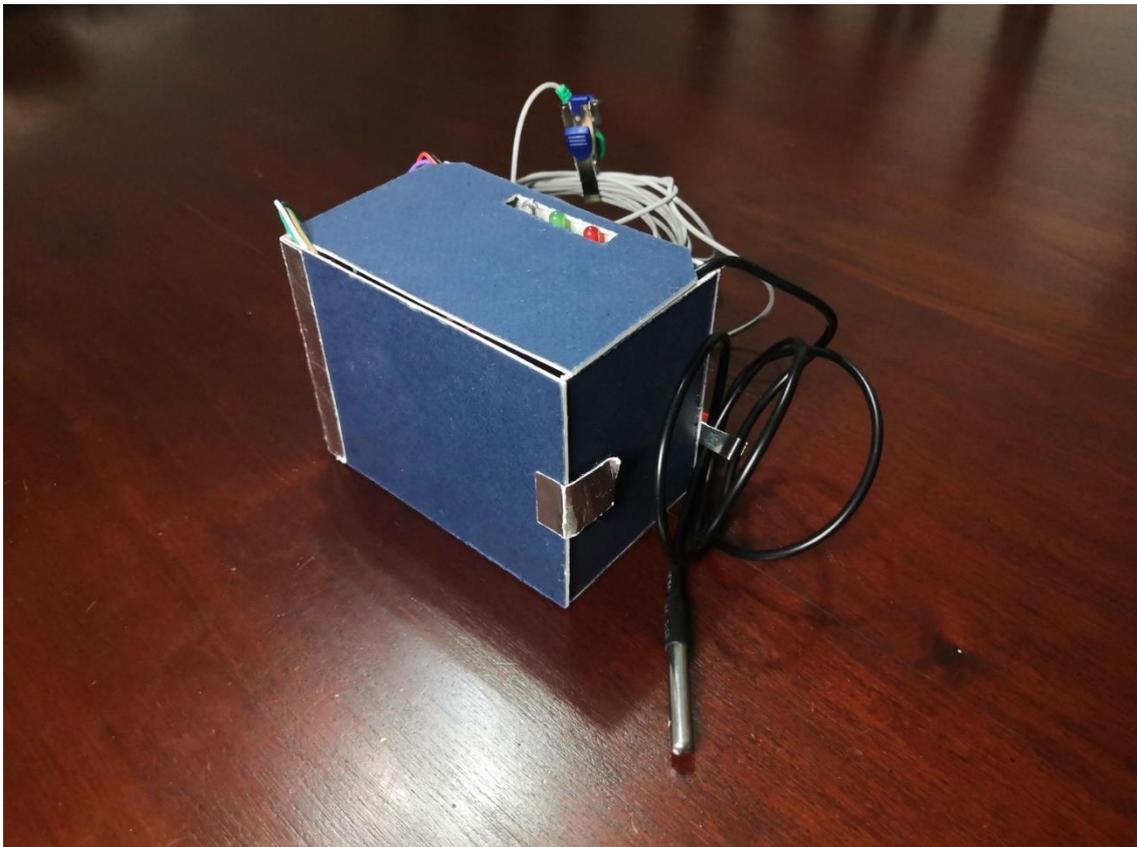


Ilustración 42 Prototipo final.

Descripción tareas construcción prototipo		
Tarea realizada	Fecha inicio	Fecha finalizado
Prueba de lectura sensores y validación de comportamiento	1/18/2020	1/18/2020
Programación de sensores para lectura de frecuencia cardiaca y envío a plataforma Ubidots	1/18/2020	1/23/2020
Configuración de alertas signos vitales	1/23/2020	1/23/2020
Construcción de prototipo y caja	1/24/2020	1/27/2020
Primera prueba funcional	1/27/2020	1/27/2020
Pruebas en pacientes veterinarios	3/11/2020	4/29/2020
Pruebas en pacientes veterinarios (incluyendo app móvil y notificaciones por medio de Arduino Iot Cloud e IFTTT)	11/20/2020	11/20/2020

Anexo C Prueba de prototipo



Ilustración 43 Prueba realizada en Golden retriever en proceso de recuperación de reconstrucción de parpado.